

必修一

第一章 运动的描述

匀变速直线运动的研究

X

第1讲 运动的描述

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点1

质点、参考系 (考纲要求 I)

1. 质点

(1)定义: 忽略物体的大小和形状, 把物体简化为一个有质量的物质点, 叫质点.(2)把物体看做质点的条件: 物体的大小和形状对研究问题的影响可以忽略.

2. 参考系

(1)定义: 要描述一个物体的运动, 首先要选定某个其它的物体做参考, 这个被选作参考的物体叫参考系.(2)选取: 可任意选取, 但对同一物体的运动, 所选的参考系不同, 运动的描述可能会不同, 通常以地面为参考系.**思维深化 1** 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1)质点是一种理想化模型, 实际并不存在. ()

(2)只要是体积很小的物体, 就能被看作质点. ()

(3)参考系必须要选择静止不动的物体. ()

(4)比较两物体的运动情况时, 必须选取同一参考系. ()

答案 (1)√ (2)× (3)× (4)√

考点2

位移、速度 (考纲要求 II)

1. 位移和路程

(1)位移: 描述物体位置的变化, 用从初位置指向末位置的有向线段表示, 是矢量.(2)路程: 是物体运动轨迹的长度, 是标量.

2. 速度

(1)平均速度: 在变速运动中, 物体在某段时间内的位移与发生这段位移所用时间的比值, 即 $\bar{v} = \frac{x}{t}$, 是矢量.(2)瞬时速度: 运动物体在某一时刻(或某一位置)的速度, 是矢量.

3. 速率和平均速率

(1)速率: 瞬时速度的大小, 是标量.(2)平均速率: 路程与时间的比值, 不一定等于平均速度的大小.**思维深化 2** 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1)一个物体做单向直线运动, 其位移的大小一定等于路程. ()

(2)一个物体在直线运动过程中路程不会大于位移的大小. ()

(3)平均速度的方向与位移的方向相同. ()

(4)瞬时速度的方向就是该时刻(或该位置)物体运动的方向。()

答案 (1)√ (2)× (3)√ (4)√

考点3

加速度 (考纲要求 II)

1.定义

速度的变化量与发生这一变化所用时间的比值.

2. 定义式

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \text{ 单位: } \underline{\text{m/s}^2}.$$

3. 方向

与速度变化量的方向相同.

4. 物理意义

描述物体速度变化快慢的物理量.

思维深化 3 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1)物体的速度很大, 加速度不可能为零.()

(2)物体的加速度在减小, 速度可能在增大.()

(3)加速度 $a_{甲} = 2 \text{ m/s}^2$ 大于加速度 $a_{乙} = -3 \text{ m/s}^2$.()

(4)速度增大或减小是由速度与加速度的方向关系决定的.()

答案 (1)× (2)√ (3)× (4)√

基础自测

1. (多选)下列情况下的物体可以看做质点的是().

A. 研究绕地球飞行时的“神州十号”飞船

B. 研究飞行中直升飞机上的螺旋桨的转动情况

C. 放在地面上的木箱, 在上面的箱角处用水平推力推它, 木箱可绕下面的箱角转动

D. 研究“蛟龙号”下潜到 7 000 m 深度过程中的速度时

答案 AD

2. (单选)关于时刻和时间间隔, 下列说法中正确的是().

A. 1 秒很短, 所以 1 秒表示时刻

B. 第 3 秒是指一个时刻

C. 2013 年 12 月 2 日 1 时 30 分“嫦娥三号”发射升空, 1 时 30 分指的是时刻

D. 2013 年 4 月 20 日 8 时 02 分, 四川省雅安市芦山县(北纬 30.3 度, 东经 103.0 度)发生 7.0 级地震, 这里的 8 时 02 分指时间间隔

解析 时刻是时间轴上的一个点, 没有长短之分, 1 s 在时间轴上是一段, 表示的是时间间隔, A 错误; 第 3 秒是 1 秒的时间, 是时间间隔的概念, 而第 3 秒初和第 3 秒末是时刻的概念, B 错误; 1 时 30 分指的是时刻, C 正确; 8 时 02 分在时间轴上是一个点, 指的是时刻, D 错误.

答案 C

3. (2013 潍坊模拟)(多选)关于位移和路程, 下列理解正确的是().

A. 位移是描述物体位置变化的物理量

B. 路程是精确描述物体位置变化的物理量

C. 只要运动物体的初、末位置确定, 位移就确定, 路程也确定

D. 物体沿直线向某一方向运动, 位移的大小等于路程

答案 AD

4. (多选)两个人以相同的速率同时从圆形轨道的 A 点出发, 分别沿 ABC 和 ADE 方向行走, 经过一段时间后在 F 点相遇(图 1-1-1 中未画出). 从出发到相遇的过程中, 描述两人运动情况的物理量相同的是().

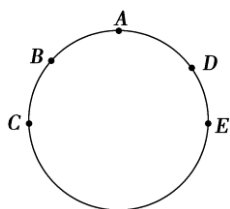


图 1-1-1

- A. 速度 B. 位移 C. 路程 D. 平均速度

解析 运动过程中两人的速度方向不同；起点、终点都相同，说明位移相同；因两个人以相同的速率同时从圆形轨道的 A 点出发，在相同的时间内所走的路程相同，根据平均速度公式，位移相同，运动时间相同，所以平均速度相同。综上分析，本题选 B、C、D。

答案 BCD

5. (单选)关于速度和加速度的关系，以下说法正确的有()。

- A. 加速度方向为正时，速度一定增大
 B. 速度变化得越快，加速度越大
 C. 加速度方向保持不变，速度方向也保持不变
 D. 加速度大小不断变小，速度大小也不断变小

解析 速度是否增大，与加速度的正负无关，只与加速度与速度的方向是否相同有关，故选项 A 错误；“速度变化得越快”是指速度的变化率 $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 越大，即加速度 a 越大，选项 B 正确；加速度方向保持不变，速度方向可能变，也可能不变，当物体做减速直线运动时， $v=0$ 以后就反向运动，故选项 C 错误；物体在运动过程中，若加速度的方向与速度方向相同，尽管加速度在变小，但物体仍在加速，直到加速度 $a=0$ ，速度达到最大，故选项 D 错误。

答案 B

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 对质点和参考系的理解

1. 建立质点模型的两个关键点

(1)明确题目中要研究的问题是什么。质点是对实际物体科学地抽象，是研究物体运动时对实际物体进行的近似，质点实际上并不存在。

(2)物体的大小和形状对所研究的问题能忽略不计时，可将物体视为质点，并非依据物体自身大小来判断。

2. 参考系的选取

(1)参考系可以是运动的物体，也可以是静止的物体，但被选为参考系的物体，我们假定它是静止的。

(2)比较两物体的运动情况时，必须选同一参考系。

(3)选参考系的原则是观测运动方便和描述运动尽可能简单。

【典例 1】科学研究表明，在太阳系的边缘可能还有一颗行星——幸神星。这颗可能存在的行星是太阳系现有的质量最大的行星，它的质量是木星质量的 4 倍，它的轨道与太阳的距离是地球与太阳的距离的几千倍。根据以上信息，下列说法正确的是()。

- A. 幸神星质量太大，不能看做质点
 B. 研究幸神星绕太阳运动，可以将其看做质点
 C. 比较幸神星运行速度与地球运行速度的大小关系，可以选择太阳为参考系
 D. 幸神星运行一周的位移要比地球运行一周的位移大

解析 物体能否看做质点与物体的质量无关，A 错。幸神星的形状和大小相对其到太阳的距离来说属于次要的因素，因此可以看做质点，B 对。比较两个物体运动的快慢，要选择同一参考系，C 对。幸神星运行一周的位移和地球运行一周的位移均为零，D 错。

答案 BC

【跟踪短训】

1. 在“金星凌日”的精彩天象中，观察到太阳表面上有颗小黑点缓慢走过，持续时间达六个半小时，那便是金星，这种天文现象称为“金星凌日”，如图 1-1-2 所示。下面说法正确的是()。



图 1-1-2

- A. 地球在金星与太阳之间
- B. 观测“金星凌日”时可将太阳看成质点
- C. 以太阳为参考系，金星绕太阳一周位移不为零
- D. 以太阳为参考系，可以认为金星是运动的

解析 金星通过太阳和地球之间时，我们才会看到金星没有被太阳照亮的一面呈黑色，选项 A 错误；因为太阳的大小对所研究问题的影响起着至关重要的作用，所以观测“金星凌日”不能将太阳看成质点，选项 B 错误；金星绕太阳一周，起点与终点重合，位移为零，选项 C 错误；金星相对于太阳的空间位置发生了变化，所以以太阳为参考系，金星是运动的，选项 D 正确。

答案 D

热点二 对平均速度和瞬时速度的理解及计算

平均速度与瞬时速度的求解方法

(1) 平均速度的大小与物体不同的运动阶段有关，求解平均速度必须明确是哪一段位移或哪一段时间内的平均速度。

(2) $v = \frac{x}{t}$ 是平均速度的定义式，适用于所有的运动。

(3) 粗略计算时我们可以用很短时间内的平均速度来求某时刻的瞬时速度。

【典例 2】 一质点沿直线 Ox 方向做加速运动，它离开 O 点的距离 x 随时间变化的关系为 $x = 3 + 2t^3$ (m)，它的速度随时间变化的关系为 $v = 6t^2$ (m/s)。则该质点在 $t = 2$ s 时的瞬时速度和 $t = 0$ 到 $t = 2$ s 间的平均速度分别为()。

- A. 8 m/s, 24 m/s
- B. 24 m/s, 8 m/s
- C. 12 m/s, 24 m/s
- D. 24 m/s, 12 m/s

审题指导 关键点：①由 v 与 t 关系 $v = 6t^2$ (m/s)，可知质点任一时刻的瞬时速度。

②由 x 与 t 关系 $x = 3 + 2t^3$ (m)，可知质点任一时刻的位置，进而可得任一段时间内的位移。

解析 由速度随时间变化关系公式可得 $t = 2$ s 时的速度为： $v = 6t^2$ m/s = 6×2^2 m/s = 24 m/s；由 x 与 t 的关系得出各时刻对应的位移，再利用平均速度公式可得 $t = 0$ 到 $t = 2$ s 间的平均速度为： $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} =$

$\frac{19 - 3}{2}$ m/s = 8 m/s，故 B 正确。

答案 B

【跟踪短训】

2. 一质点沿一边长为 2 m 的正方形轨道运动，每秒钟匀速移动 1 m，初始位置在 bc 边的中点 A ，由 b 向 c 运动，如图 1-1-3 所示， A 、 B 、 C 、 D 分别是 bc 、 cd 、 da 、 ab 边的中点，则下列说法正确的是()。

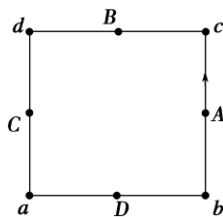


图 1-1-3

- A. 第 2 s 末的瞬时速度是 1 m/s
- B. 前 2 s 内的平均速度为 $\frac{\sqrt{2}}{2}$ m/s
- C. 前 4 s 内的平均速率为 0.5 m/s
- D. 前 2 s 内的平均速度为 2 m/s

解析 由题意质点每 1 s 匀速移动 1 m 可知, 质点运动的速率为 1 m/s, 即在每一时刻的瞬时速率均为 1 m/s, 每段时间内的平均速率也均为 1 m/s. 在 2 s 内质点通过的路程为 2 m, 由 A 运动到 cd 边的中点 B, 在第 2 s 末瞬时速度大小为 1 m/s, 方向由 B 指向 d, 瞬时速率为 1 m/s, 前 2 s 内的位移大小为 $x_1 = |AB| = \sqrt{Ac^2 + Bc^2} = \sqrt{1^2 + 1^2} \text{ m} = \sqrt{2} \text{ m}$, 平均速度 $\bar{v} = \frac{x_1}{t_1} = \frac{\sqrt{2}}{2} \text{ m/s}$, 方向由 A 指向 B, 平均速率为 1 m/s. 前 4 s 内质点通过的路程为 4 m, 在第 4 s 末到达 C 点, 则前 4 s 内位移大小为 $x_2 = |AC| = 2 \text{ m}$, 方向由 A 指向 C, 平均速度为 $\bar{v}_2 = \frac{x_2}{t_2} = \frac{2}{4} \text{ m/s} = 0.5 \text{ m/s}$, 方向由 A 指向 C, 平均速率仍为 1 m/s.

答案 AB

热点三 加速度和速度的关系

判断直线运动中“加速”或“减速”情况

物体做加速运动还是减速运动, 关键是看物体的加速度与速度的方向关系, 而不是看加速度的变化情况. 加速度的大小只反映速度变化(增加或减小)的快慢.

- | | | |
|------------------------------|---|---|
| (1) a 和 v 同向
(加速直线运动) | → | $\left\{ \begin{array}{l} a \text{ 不变, } v \text{ 随时间均匀增加} \\ a \text{ 增大, } v \text{ 增加得越来越快} \\ a \text{ 减小, } v \text{ 增加得越来越慢} \end{array} \right.$ |
| (2) a 和 v 反向
(减速直线运动) | → | $\left\{ \begin{array}{l} a \text{ 不变, } v \text{ 随时间均匀减小} \\ a \text{ 增大, } v \text{ 减小得越来越快} \\ a \text{ 减小, } v \text{ 减小得越来越慢} \end{array} \right.$ |

【典例 3】 关于物体的运动, 下列说法不可能的是().

- A. 加速度在减小, 速度在增大
- B. 加速度方向始终改变而速度不变
- C. 加速度和速度大小都在变化, 加速度最大时速度最小, 速度最大时加速度最小
- D. 加速度方向不变而速度方向变化

解析 若物体做加速直线运动, 当加速度减小时, 速度仍在增大, A 可能; 加速度方向发生改变, 即有加速度存在, 则速度发生改变, B 不可能; 加速度仅仅反映速度改变的快慢, 若加速度方向与速度方向相反, 当加速度最大时, 速度可能取最小值, 若加速度方向与速度方向相同, 当加速度最小时, 速度增大得最慢, 加速度为零时, 速度可能取最大值, C 可能; 物体做平抛运动, 加速度方向不变, 速度方向时刻变化, D 可能.

答案 B

反思总结 对速度与加速度关系的三点提醒

- (1) 速度的大小与加速度的大小没有必然联系.
- (2) 速度变化量与加速度没有必然的联系, 速度变化量的大小由加速度和速度变化的时间决定.
- (3) 速度增大或减小是由速度与加速度的方向关系决定的.

【跟踪短训】

3. (2013 淮北模拟) 沿一条直线运动的物体, 当物体的加速度逐渐减小时, 下列说法正确的是().

- A. 物体运动的速度一定增大
- B. 物体运动的速度可能减小
- C. 物体运动的速度的变化量一定减少
- D. 物体运动的路程一定增大

答案 BD

4. 根据给出的速度和加速度的正负, 对下列运动性质的判断正确的是().

- A. $v_0 > 0, a < 0$, 物体做加速运动
- B. $v_0 < 0, a < 0$, 物体做减速运动
- C. $v_0 < 0, a > 0$, 物体做减速运动
- D. $v_0 > 0, a > 0$, 物体做加速运动

解析 当速度方向和加速度方向相同时, 物体做加速运动; 当速度方向和加速度方向相反时, 物体做减速运动. 速度和加速度的正方向是任意规定的, 不能只根据加速度的正负来判断物体是做加速运动还是减速运动. 选项 C、D 正确.

答案 CD

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

思想方法 1. 极限思维法

1. 极限思维法: 如果把一个复杂的物理全过程分解成几个小过程, 且这些小过程的变化是单一的. 那么, 选取全过程的两个端点及中间的极限来进行分析, 其结果必然包含了所要讨论的物理过程, 从而能使求解过程简单、直观, 这就是极限思想方法.

极限思维法只能用于在选定区间内所研究的物理量连续、单调变化(单调增大或单调减小)的情况.

2. 用极限法求瞬时速度和瞬时加速度

(1) 公式 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ 中当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 v 是瞬时速度.

(2) 公式 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 中当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 a 是瞬时加速度.

【典例】 为了测定气垫导轨上滑块的加速度, 滑块上安装了宽度为 3.0 cm 的遮光板, 如图 1-1-4 所示, 滑块在牵引力作用下先后匀加速通过两个光电门, 配套的数字毫秒计记录了遮光板通过第一个光电门的时间为 $\Delta t_1 = 0.30$ s, 通过第二个光电门的时间为 $\Delta t_2 = 0.10$ s, 遮光板从开始遮住第一个光电门到开始遮住第二个光电门的时间为 $\Delta t = 3.0$ s. 试估算:



图 1-1-4

(1) 滑块的加速度多大?

(2) 两个光电门之间的距离是多少?

解析 (1) 遮光板通过第一个光电门的速度

$$v_1 = \frac{L}{\Delta t_1} = \frac{0.03}{0.30} \text{ m/s} = 0.10 \text{ m/s}$$

遮光板通过第二个光电门的速度

$$v_2 = \frac{L}{\Delta t_2} = \frac{0.03}{0.10} \text{ m/s} = 0.30 \text{ m/s}$$

故滑块的加速度 $a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} \approx 0.067 \text{ m/s}^2$.

(2) 两个光电门之间的距离 $x = \frac{v_1 + v_2}{2} \Delta t = 0.6 \text{ m}$.

答案 (1) 0.067 m/s^2 (2) 0.6 m

即学即练 如图 1-1-5 所示, 物体沿曲线轨迹的箭头方向运动, 在 AB、ABC、ABCD、ABCDE 四段轨迹上运动所用的时间分别是 1 s、2 s、3 s、4 s, 已知方格的边长为 1 m. 下列说法正确的是().

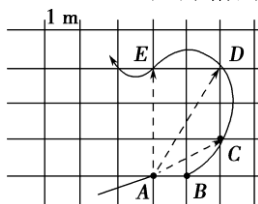


图 1-1-5

- A. 物体在 AB 段的平均速度为 1 m/s
- B. 物体在 ABC 段的平均速度为 $\frac{\sqrt{5}}{2} \text{ m/s}$
- C. AB 段的平均速度比 ABC 段的平均速度更能反映物体处于 A 点时的瞬时速度
- D. 物体在 B 点的速度等于 AC 段的平均速度

解析 由 $\bar{v} = \frac{x}{t}$ 可得: $\bar{v}_{AB} = \frac{1}{1} \text{ m/s} = 1 \text{ m/s}$, $\bar{v}_{AC} = \frac{\sqrt{5}}{2} \text{ m/s}$, 故 A、B 均正确; 所选取的过程离 A 点越近, 其阶段的平均速度越接近 A 点的瞬时速度, 故 C 正确; 由 A 经 B 到 C 的过程不是匀变速直线运动过程, 故 B 点虽为中间时刻, 但其速度不等于 AC 段的平均速度, D 错误.

答案 ABC

附: 对应高考题组

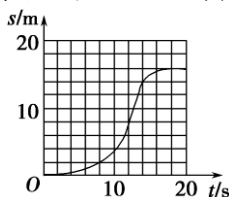
1. [2010·上海综合(理), 4]右图是一张天文爱好者经长时间曝光拍摄的“星星的轨迹”照片. 这些有规律的弧线的形成, 说明了().



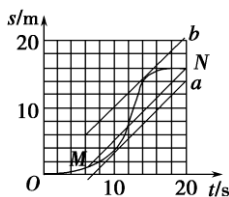
- A. 太阳在运动
- B. 月球在公转
- C. 地球在公转
- D. 地球在自转

答案 D

2. (2012·上海卷, 23)质点做直线运动, 其 $s-t$ 关系如图所示. 质点在 $0 \sim 20 \text{ s}$ 内的平均速度大小为 m/s ; 质点在 时的瞬时速度等于它在 $6 \sim 20 \text{ s}$ 内的平均速度.



解析 质点在 $0 \sim 20 \text{ s}$ 内的位移为 16 m ,



由平均速度 $\bar{v} = \frac{s}{t}$ 可得 $\bar{v} = \frac{16}{20} \text{ m/s} = 0.8 \text{ m/s}$; $s-t$ 图象切线的斜率表示速度, 连接 6 s 、 20 s 两个时刻对应的位移点得直线 MN , 如图所示, 直线 MN 的斜率等于 $6 \sim 20 \text{ s}$ 这段时间内的平均速度, 用作平行线的方法上下平移 MN 得直线 b 、 a , 与图线相切于 10 s 和 14 s 在图线上对应的位置, 这两个时刻的瞬时速度与 $6 \sim 20 \text{ s}$ 内的平均速度相等.

答案 0.8 10 s 和 14 s

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 对质点、参考系概念的理解

1. (单选)在 2012 年伦敦奥运会上, 中国代表团参加了包括田径、体操、柔道等项目的比赛, 下列几种比赛项目中的研究对象可视为质点的是().

- A. 在撑杆跳高比赛中研究运动员手中的支撑杆在支撑地面过程中的转动情况
- B. 帆船比赛中确定帆船在大海中的位置

- C. 跆拳道比赛中研究运动员的动作
- D. 跳水比赛中研究运动员在空中的运动情况

解析 撑杆跳高时,若将支撑杆看做质点,则无法研究支撑杆的转动情况,选项 A 错误;研究帆船在大海中的位置时,帆船的大小和形状可以忽略,故可将帆船看做质点,选项 B 正确;跆拳道比赛中,若将运动员看做质点,则运动员的动作就无法研究,选项 C 错误;研究跳水运动员在空中的运动情况时,运动员的大小和形状不能忽略,故不能将运动员看做质点,选项 D 错误.

答案 B

2. (单选)湖中 O 处有一观察站,一小船从 O 处出发向东行驶 4 km,又向北行驶 3 km,则下列说法中正确的是().

- A. 相对于 O 处的观察员,小船向东北方向运动了 7 km
- B. 相对于小船, O 处的观察员始终处于静止状态
- C. 相对于 O 处的观察员,小船最终位于东偏北 37° 方向 5 km 处
- D. 相对于湖岸上的另一观察员,小船不可能是静止的

解析 在 O 处的观察员看来,小船最终离自己的距离为 $\sqrt{3^2 + 4^2} \text{ km} = 5 \text{ km}$,方向为东偏北 θ ,满足 $\sin \theta = \frac{3}{5}$,即 $\theta = 37^\circ$,A 错 C 对;由运动的相对性可知 B 错;若湖岸上的观察员运行速度大小、方向均与小船一样,则小船相对其而言是静止的,D 错.

答案 C

3. (2013 江西联考)(单选)以下说法正确的是().

- A. 只有很小的物体才能视为质点,很大的物体不能视为质点
- B. 若以河岸为参考系,在顺水漂流的船上行走的人可能是静止的
- C. 做直线运动的物体,其位移大小跟这段时间内它通过的路程一定相等
- D. 一节课 40 分钟,40 分钟指的是下课的时刻

解析 物体能否被看作质点的关键是要分析物体的大小和形状对所研究问题而言是否能忽略,体积大的物体有时也能看成质点,体积小的物体有时也不能看成质点,选项 A 错误;当人逆着水流方向在船上以与水流速度大小相同的速度向后行走时,人与河岸的相对位置是不变的,人相对于河岸是静止的,选项 B 正确;只有物体沿同一方向做直线运动时,位移大小才跟这段时间内它通过的路程相等,除此之外,都是位移大小小于路程,选项 C 错误;40 分钟指的是时间间隔,它对应着两个时刻之间,在时间轴上对应着一段长度,选项 D 错误.

答案 B

题组二 对位移、平均速度的理解

4. (单选)物体沿一条直线运动,下列说法正确的是().

- A. 物体在某时刻的速度为 3 m/s,则物体在 1 s 内一定运动了 3 m
- B. 物体在 1 s 内的平均速度是 3 m/s,则物体在这 1 s 内的位移一定是 3 m
- C. 物体在某段时间内的平均速度是 3 m/s,则物体在任 1 s 内的位移一定是 3 m
- D. 物体在某段时间内的平均速率是 3 m/s,则物体在任 1 s 内的路程一定是 3 m

解析 要注意平均速度、平均速率均与时间有关.平均速度是位移与时间的比值,本题中物体在 1 s 内的平均速度是 3 m/s,则在这 1 s 内的位移一定是 3 m.物体在某段时间内的平均速度是 3 m/s,由于时间不确定,所以任 1 s 内的位移不一定是 3 m.同理,物体在某段时间内的平均速率是 3 m/s,则任 1 s 内的路程也不一定是 3 m.

答案 B

5. (多选)如图 1-1-6 所示,小明骑自行车由静止沿直线运动,他在第 1 s 内、第 2 s 内、第 3 s 内、第 4 s 内通过的位移分别为 1 m、2 m、3 m、4 m,则().



图 1-1-6

- A. 他在 4 s 末的瞬时速度为 4 m/s
- B. 他在第 2 s 内的平均速度为 2 m/s
- C. 他在 4 s 内的平均速度为 2.5 m/s
- D. 他在 1 s 末的速度为 1 m/s

答案 BC

6. (单选) 一辆汽车沿平直公路以速度 v_1 行驶了 $\frac{2}{3}$ 的路程, 接着又以速度 $v_2=20$ km/h 行驶完剩余 $\frac{1}{3}$ 的路程, 如果汽车全程的平均速度为 28 km/h, 那么汽车在前 $\frac{2}{3}$ 路程内速度的大小是().

- A. 25 km/h
- B. 34 km/h
- C. 35 km/h
- D. 38 km/h

解析 设全程的路程为 x , 由平均速度公式可以计算出汽车行驶全程和后 $\frac{1}{3}$ 的路程所用时间分别为 t

$$= \frac{x}{v}, t_2 = \frac{x_2}{v_2} = \frac{\frac{1}{3}x}{v_2}.$$

$$\text{则行驶前 } \frac{2}{3} \text{ 路程所用时间为 } t_1 = t - t_2 = \frac{x}{v} - \frac{\frac{1}{3}x}{v_2} = \frac{x}{28} - \frac{\frac{1}{3}x}{20} = \frac{2x}{105}$$

$$\text{所以 } v_1 = \frac{x_1}{t_1} = \frac{\frac{2}{3}x}{\frac{2x}{105}} = 35 \text{ km/h, 选项 C 正确.}$$

答案 C

题组三 加速度和速度的关系

7. (单选) 关于速度、速度的变化量、加速度, 下列说法正确的是().

- A. 物体运动时, 速度的变化量越大, 它的加速度一定越大
- B. 速度很大的物体, 其加速度可能为零
- C. 某时刻物体的速度为零, 其加速度不可能很大
- D. 加速度很大时, 运动物体的速度一定很快变大

解析 由 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 可知, 在 Δv 很大, 但不知道 Δt 的大小时, 无法确定加速度的大小, 故选项 A 错误; 高速匀速飞行的战斗机, 速度很大, 但速度变化量为零, 加速度为零, 故选项 B 正确; 炮筒中的炮弹, 在火药刚刚燃烧的时刻, 炮弹的速度为零, 但加速度很大, 故选项 C 错误; 加速度很大, 说明速度变化很快, 速度可能很快变大, 也可能很快变小, 故选项 D 错误.

答案 B

8. (单选) 一个质点做方向不变的直线运动, 加速度的方向始终与速度的方向相同, 但加速度大小逐渐减小为零, 则在此过程中().

- A. 速度逐渐减小, 当加速度减小到零时, 速度达到最小值
- B. 速度逐渐增大, 当加速度减小到零时, 速度达到最大值
- C. 位移逐渐增大, 当加速度减小到零时, 位移将不再增大
- D. 位移逐渐减小, 当加速度减小到零时, 位移达到最小值

解析 加速度的方向始终与速度方向相同, 故加速度减小并不代表速度减小, 只是说明单位时间内速度的增加量减小了, 但仍是加速.

答案 B

9. (单选)甲、乙两个物体在同一直线上沿正方向运动, $a_{甲}=4 \text{ m/s}^2$, $a_{乙}=-4 \text{ m/s}^2$, 那么对甲、乙两物体判断正确的是().

- A. 甲的加速度大于乙的加速度
- B. 甲做加速直线运动, 乙做减速直线运动
- C. 甲的速度比乙的速度变化快
- D. 甲、乙在相等时间内速度变化可能相等

解析 加速度的正、负表示方向, 绝对值表示大小, 甲、乙加速度大小相等, A 错. 甲的加速度与速度同向, 所以做加速运动, 乙的加速度与速度方向相反, 所以做减速运动, B 对. 加速度大小表示速度变化的快慢, 甲、乙速度变化一样快, C 错. 由 $\Delta v = a\Delta t$ 可知在相等时间内, 甲、乙速度变化大小相等, 方向相反, D 错.

答案 B

B 深化训练——提高能力技巧

10. (多选)图 1-1-7 所示是某质点运动的速度图象, 由图象得到的正确结果是().

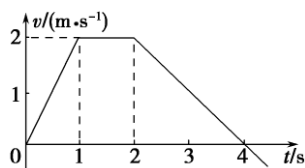


图 1-1-7

- A. 0~1 s 内的平均速度是 2 m/s
- B. 0~2 s 内的位移大小是 3 m
- C. 0~1 s 内的加速度大于 2~4 s 内的加速度
- D. 0~1 s 内的运动方向与 2~4 s 内的运动方向相反

解析 根据 $v-t$ 图象可知, 质点在 0~1 s 内的位移 $x_1 = \frac{1}{2} \times 2 \times 1 \text{ m} = 1 \text{ m}$, 1~2 s 内的位移 $x_2 = 2 \times 1 \text{ m} = 2 \text{ m}$, 故 0~1 s 内的平均速度 $\bar{v}_1 = \frac{x_1}{t_1} = 1 \text{ m/s}$, 0~2 s 内的位移 $x = x_1 + x_2 = 3 \text{ m}$, A 错误、B 正确. 0~1 s

内的加速度 $a_1 = \frac{2-0}{1} \text{ m/s}^2 = 2 \text{ m/s}^2$, 2~4 s 内的加速度 $a_2 = \frac{0-2}{2} \text{ m/s}^2 = -1 \text{ m/s}^2$, 负号表示 a_2 和 v 方向相反, 故 $a_1 > |a_2|$, C 正确. 0~1 s 内与 2~4 s 内的速度均为正值, 表示物体都沿正方向运动, D 错误.

答案 BC

11. (单选)如图 1-1-8 所示是 2012 年 12 月 1 日上午 9 时整, 哈尔滨西客站 D502 次列车首次发车, 标志着世界首条高寒区高速铁路哈大高铁正式开通运营. 哈大高铁运营里程 921 公里, 设计时速 350 公里. D502 次列车到达大连北站时做匀减速直线运动, 开始刹车后第 5 s 内的位移是 57.5 m, 第 10 s 内的位移是 32.5 m, 则下列说法正确的有().



图 1-1-8

- A. 在研究列车从哈尔滨到大连所用时间时不能把列车看成质点
- B. 时速 350 公里是指平均速度, 921 公里是指位移
- C. 列车做匀减速运动时的加速度大小为 6.25 m/s^2
- D. 列车在开始减速时的速度为 80 m/s

解析 因列车的大小远小于哈尔滨到大连的距离, 研究列车行驶该路程所用时间时可以把列车视为质点, A 错; 由时间、时刻、位移与路程的意义知时速 350 公里是指平均速率, 921 公里是指路程, B

错; 由等时位移差公式 $s_n - s_m = (n - m)aT^2$ 可知加速度大小为 $a = \frac{57.5 - 32.5}{5} \text{ m/s}^2 = 5 \text{ m/s}^2$, C 错; 由题意可知第 4.5 s 末列车速度为 57.5 m/s, 由公式 $v = v_0 - at$ 知 $v_0 = 80 \text{ m/s}$, D 对.

答案 D

12. (2013 杭州二测)(多选)酒后驾驶会导致许多安全隐患,这是因为驾驶员的反应时间变长,反应时间是指驾驶员从发现情况到采取制动的时间内汽车行驶的距离;“思考距离”是指驾驶员从发现情况到采取制动的时间内汽车行驶的距离;“制动距离”是指驾驶员发现情况到汽车停止行驶的距离(假设汽车制动时的加速度大小都相同).

速度(m/s)	思考距离(m)		制动距离(m)	
	正常	酒后	正常	酒后
15	7.5	15.0	22.5	30.0
20	10.0	20.0	36.7	46.7
25	12.5	25.0	54.2	66.7

分析上表可知,下列说法正确的是().

- A. 驾驶员正常情况下反应时间为 0.5 s
- B. 驾驶员酒后反应时间比正常情况下多 0.5 s
- C. 驾驶员采取制动措施后汽车的加速度大小为 3.75 m/s^2
- D. 若汽车以 25 m/s 的速度行驶时,发现前方 60 m 处有险情,酒后驾驶者不能安全停车

解析 由题意知正常情况下反应时间为 $t = \frac{x}{v} = \frac{7.5}{15} \text{ s} = 0.5 \text{ s}$, A 选项正确,酒后反应时间 $t' = \frac{x}{v} = \frac{15}{15} \text{ s} = 1 \text{ s}$, $\Delta t = t' - t = 0.5 \text{ s}$, B 选项正确;由运动学公式可得 $v^2 = 2a(x_{\text{制}} - x_{\text{思}})$, $a = 7.5 \text{ m/s}^2$, C 选项错误;由题意可得,当酒后以 25 m/s 的速度行驶时,制动距离为 $66.7 \text{ m} > 60 \text{ m}$,不能安全停车, D 选项正确.

答案 ABD

13. (多选)如图 1-1-9 甲所示是一种速度传感器的工作原理图,在这个系统中 B 为一个能发射超声波的固定小盒子,工作时小盒子 B 向被测物体发出短暂的超声波脉冲,脉冲被运动的物体反射后又被 B 盒接收,从 B 盒发射超声波开始计时,经时间 Δt_0 再次发射超声波脉冲,图乙是连续两次发射的超声波的位移-时间图象.则下列说法正确的是().

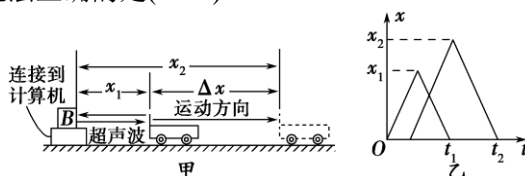


图 1-1-9

- A. 超声波的速度为 $v_{\text{声}} = \frac{2x_1}{t_1}$
- B. 超声波的速度为 $v_{\text{声}} = \frac{2x_2}{t_2}$
- C. 物体的平均速度为 $\bar{v} = \frac{2(x_2 - x_1)}{t_2 - t_1 + 2\Delta t_0}$
- D. 物体的平均速度为 $\bar{v} = \frac{2(x_2 - x_1)}{t_2 - t_1 + \Delta t_0}$

解析 小盒子 B 向被测物体发出短暂的超声波脉冲后,经过 $\frac{1}{2}t_1$ 时间到达被测物体并被反射折回,再经过 $\frac{1}{2}t_1$ 时间回到小盒子 B,该过程中,超声波经过的路程为 $2x_1$,所以超声波的速度为 $v_{\text{声}} = \frac{2x_1}{t_1}$,选项 A 正确;从 B 盒发射超声波开始计时,经时间 Δt_0 再次发射超声波脉冲,经过 $\frac{1}{2}(t_2 - \Delta t_0)$ 时间到达被测物体并被反射折回,再经过 $\frac{1}{2}(t_2 - \Delta t_0)$ 回到小盒子 B,该过程中,超声波经过的路程为 $2x_2$,所以超声波的速度为 $v_{\text{声}} = \frac{2x_2}{t_2 - \Delta t_0}$,选项 B 错误;被测物体在 $\frac{1}{2}t_1$ 时刻第一次接收到超声波,在 $\Delta t_0 + \frac{1}{2}(t_2 - \Delta t_0)$ 即 $\frac{1}{2}(t_2 + \Delta t_0)$ 时刻第二次接收到超声波,该过程中被测物体发生的位移为 $x_2 - x_1$,所以物体的平均速度为 $\bar{v} =$

$$\frac{x_2 - x_1}{\frac{1}{2}(t_2 + \Delta t_0) - \frac{1}{2}t_1} = \frac{2(x_2 - x_1)}{t_2 - t_1 + \Delta t_0}, \text{故选项 C 错误, D 正确.}$$

答案 AD

第 2 讲 匀变速直线运动规律的应用

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点 1

匀变速直线运动及其公式 (考纲要求 II)

1. 匀变速直线运动

(1) 定义: 沿着一条直线且加速度不变的运动.

(2) 分类

① 匀加速直线运动, a 与 v_0 方向相同.

② 匀减速直线运动, a 与 v_0 方向相反.

2. 基本规律

(1) 三个基本公式

① 速度公式: $v = v_0 + at$.

② 位移公式: $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$.

③ 位移速度关系式: $v^2 - v_0^2 = 2ax$

(2) 两个重要推论

① 平均速度公式: $\bar{v} = v_2 = \frac{v_0 + v}{2}$.

② 任意两个连续相等的时间间隔 T 内的位移之差为一恒量, 即 $\Delta x = aT^2$.

3. 初速度为零的匀变速直线运动的四个推论

(1) $1T$ 末、 $2T$ 末、 $3T$ 末……瞬时速度的比为:

$$v_1 : v_2 : v_3 : \dots : v_n = 1 : 2 : 3 : \dots : n$$

(2) $1T$ 内、 $2T$ 内、 $3T$ 内……位移的比为:

$$x_1 : x_2 : x_3 : \dots : x_n = 1^2 : 2^2 : 3^2 : \dots : n^2$$

(3) 第一个 T 内、第二个 T 内、第三个 T 内……位移的比为:

$$x_1 : x_{II} : x_{III} : \dots : x_n = 1 : 3 : 5 : \dots : (2n-1).$$

(4) 从静止开始通过连续相等的位移所用时间的比为:

$$t_1 : t_2 : t_3 : \dots : t_n = 1 : (\sqrt{2}-1) : (\sqrt{3}-\sqrt{2}) : \dots$$

思维深化 1 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1) 匀变速直线运动是加速度均匀变化的直线运动. ()

(2) 匀变速直线运动是速度均匀变化的直线运动. ()

(3) 匀变速直线运动的位移是均匀增加的. ()

答案 (1)× (2)√ (3)×

考点 2

匀变速直线运动的图象 (考纲要求 II)

1. $x-t$ 图象

(1) 物理意义: 反映了物体做直线运动的位移随时间变化的规律.

(2) 斜率的意义: 图线上某点切线斜率的大小表示物体速度的大小, 斜率正负表示物体速度的方向.

2. $v-t$ 图象

(1) 物理意义: 反映了做直线运动的物体的速度随时间变化的规律.

(2) 斜率的意义: 图线上某点切线斜率的大小表示物体在该点加速度的大小, 斜率正负表示物体加速度的方向.

(3) “面积”的意义

① 图线与时间轴围成的面积表示相应时间内的位移的大小.

② 若面积在时间轴的上方, 表示位移方向为正; 若此面积在时间轴的下方, 表示位移方向为负.

思维深化 2 判断正误，正确的划“√”，错误的划“×”。

(1) 无论是 $x-t$ 图象还是 $v-t$ 图象都只能描述直线运动。()

(2) $x-t$ 图象和 $v-t$ 图象不表示物体运动的轨迹。()

(3) $x-t$ 图象与时间轴围成的面积表示物体运动的路程。()

(4) 两条 $v-t$ 图象的交点表示两个物体相遇。()

(5) 两条 $x-t$ 图象的交点表示两个物体相遇。()

答案 (1)√ (2)√ (3)× (4)× (5)√

基础自测

1. (单选)质点做直线运动的位移 x 与时间 t 的关系为 $x=5t+t^2$ (各物理量均采用国际单位制单位)，则该质点()。

- A. 第 1 s 内的位移是 5 m
- B. 前 2 s 内的平均速度是 6 m/s
- C. 任意相邻的 1 s 内位移差都是 1 m
- D. 任意 1 s 内的速度增量都是 2 m/s

解析 由 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 与 $x=5t+t^2$ 的对比可知：该质点做匀加速直线运动的初速度 $v_0=5\text{ m/s}$ ，加速度 $a=2\text{ m/s}^2$ 。将 $t=1\text{ s}$ 代入所给位移公式可求得第 1 s 内的位移是 6 m，A 错误；前 2 s 内的位移是 14 m，平均速度为 $\bar{v}=\frac{x}{t}=\frac{14}{2}\text{ m/s}=7\text{ m/s}$ ，B 错误；相邻 1 s 内位移差 $\Delta x=aT^2=2\text{ m}$ ，C 错误；由加速度的物理意义可得任意 1 s 内速度的增量都是 2 m/s，D 正确。

答案 D

2. (单选)一个物体从静止开始做匀加速直线运动。它在第 1 s 内与第 2 s 内的位移之比为 $x_1:x_2$ ，在走完第 1 m 时与走完第 2 m 时的速度之比为 $v_1:v_2$ 。以下说法正确的是()。

- A. $x_1:x_2=1:3$ ， $v_1:v_2=1:2$
- B. $x_1:x_2=1:3$ ， $v_1:v_2=1:\sqrt{2}$
- C. $x_1:x_2=1:4$ ， $v_1:v_2=1:2$
- D. $x_1:x_2=1:4$ ， $v_1:v_2=1:\sqrt{2}$

解析 由 $x_1:x_2:x_3:\dots:x_n=1:3:5:\dots:(2n-1)$ 知 $x_1:x_2=1:3$ 。由 $x=\frac{1}{2}at^2$ 知 $t_1:t_2=1:\sqrt{2}$ ，又 $v=at$ 可得 $v_1:v_2=1:\sqrt{2}$ ，B 正确。

答案 B

3. (2013 哈尔滨六中模拟)(单选)一个做匀变速直线运动的质点，初速度为 0.5 m/s，第 9 s 内的位移比第 5 s 内的位移多 4 m，则该质点的加速度、9 s 末的速度和质点在 9 s 内通过的位移分别是()。

- A. $a=1\text{ m/s}^2$ ， $v_9=9\text{ m/s}$ ， $x_9=40.5\text{ m}$
- B. $a=1\text{ m/s}^2$ ， $v_9=9\text{ m/s}$ ， $x_9=45\text{ m}$
- C. $a=1\text{ m/s}^2$ ， $v_9=9.5\text{ m/s}$ ， $x_9=45\text{ m}$
- D. $a=0.8\text{ m/s}^2$ ， $v_9=7.7\text{ m/s}$ ， $x_9=36.9\text{ m}$

解析 由 $x_9-x_5=4aT^2$ 解得 $a=1\text{ m/s}^2$ ；9 s 末的速度 $v_9=v_0+at=0.5\text{ m/s}+1\times 9\text{ m/s}=9.5\text{ m/s}$ ，质点在 9 s 内通过的位移 $x_9=v_0t+\frac{1}{2}at^2=45\text{ m}$ ，C 正确。

答案 C

4. (2013 大庆模拟)(多选)如图 1-2-1 所示，是 A、B 两质点从同一地点运动的 $x-t$ 图象，则下列说法正确的是()。

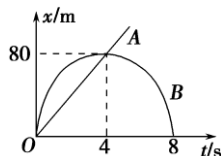


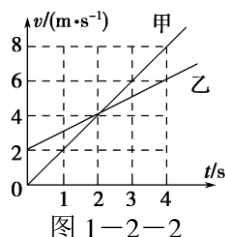
图 1-2-1

- A. A 质点以 20 m/s 的速度匀速运动
- B. B 质点先沿正方向做直线运动，后沿负方向做直线运动
- C. B 质点最初 4 s 做加速运动，后 4 秒做减速运动
- D. A、B 两质点在 4 s 末相遇

解析 $x-t$ 图象的斜率大小表示质点运动速度的大小，正负表示速度的方向，由 $x-t$ 图象可知，A 质点沿正方向做匀速直线运动，其速度 $v = \frac{x}{t} = \frac{80}{4} \text{ m/s} = 20 \text{ m/s}$ ，A 正确；B 质点最初 4 s 沿正方向做加速运动，后 4 s 沿负方向做加速运动，B 正确，C 错误；4 s 末 A、B 两质点达到同一位置，故相遇，D 正确。

答案 ABD

5. (2013 广州模拟)(多选)甲、乙两物体同时从同一地点出发，同方向做匀加速直线运动的 $v-t$ 图象如图 1-2-2 所示，则()。



- A. 甲的瞬时速度表达式为 $v=2t$
- B. 乙的加速度比甲的加速度大
- C. $t=2 \text{ s}$ 时，甲在乙的前面
- D. $t=4 \text{ s}$ 时，甲、乙两物体相遇

答案 AD

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 匀变速直线运动规律的应用

运动学问题的求解一般有多种方法，除直接应用公式外，还有如下方法：

1. 平均速度法

定义式 $\bar{v} = \frac{x}{t}$ 对任何性质的运动都适用，而 $\bar{v} = \frac{1}{2}(v_0 + v)$ 只适用于匀变速直线运动。

2. 中间时刻速度法

“任一时间 t 中间时刻的瞬时速度等于这段时间 t 内的平均速度”，即 $v_{\frac{t}{2}} = \bar{v}$ ，适用于任何一个匀变速直线运动，有些题目应用它可以避免常规解法中用位移公式列出的含有 t^2 的复杂式子，从而简化解题过程，提高解题速度。

3. 比例法

对于初速度为零的匀加速直线运动与末速度为零的匀减速直线运动，可利用初速度为零的匀加速直线运动的重要特征的比例关系，用比例法求解。

4. 逆向思维法

把运动过程的“末态”作为“初态”的反向研究问题的方法，一般用于末态已知的情況。

5. 图象法

应用 $v-t$ 图象，可以使比较复杂的问题变得形象、直观和简单，尤其是用图象定性分析，可避开繁杂的计算，快速得出答案。

6. 推论法

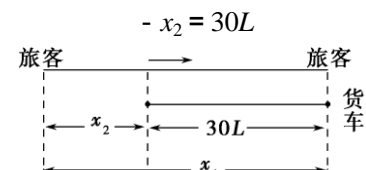
在匀变速直线运动中，两个连续相等的时间 T 内的位移之差为一恒量，即 $\Delta x = x_{n+1} - x_n = aT^2$ ，若出现相等的时间间隔问题，应优先考虑用 $\Delta x = aT^2$ 求解。

【典例 1】(2013 大纲卷，24)一客运列车匀速行驶，其车轮在铁轨间的接缝处会产生周期性的撞击。坐在该客车中的某旅客测得从第 1 次到第 16 次撞击声之间的时间间隔为 10.0 s。在相邻的平行车道上有一列货车，当该旅客经过货车车尾时，货车恰好从静止开始以恒定加速度沿客车行进方向运动。该旅客在此后的 20.0 s 内，看到恰好有 30 节货车车厢被他连续超过。已知每根铁轨的长度为 25.0 m，每

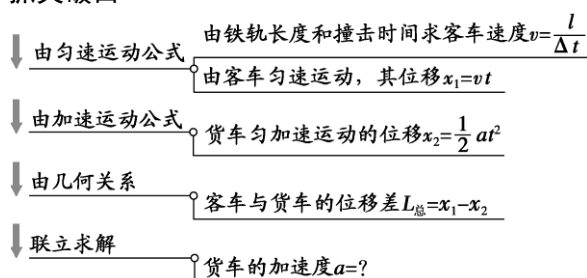
节货车车厢的长度为 16.0 m，货车车厢间距忽略不计。求：

- (1) 客车运行速度的大小；
- (2) 货车运行加速度的大小。

审题指导 第一步：读题获取信息→找切入点

题干关键词	挖掘隐含信息
① “测得从第 1 次到第 16 次撞击之声之间的时间间隔为 10.0 s。”	客运列车运动 15 节车厢长的距离需要时间 $\Delta t = 10.0$ s
② “当旅客经过货车尾时，货车恰好从静止开始以恒定加速度沿客车行进方向运动”	旅客与货车尾二者从同一地点开始运动，旅客匀速运动，货车做初速度 $v_0 = 0$ 的匀加速度运动
③ “该旅客在此后的 20.0 s 内，看到恰好有 30 节货车车厢被他连续超过”	两车行驶的位移差为 30 节货车车厢长，即 $x_1 - x_2 = 30L$ 

第二步：分析理清思路→抓突破口



解析 (1) 设连续两次撞击铁轨的时间间隔为 Δt ，每根铁轨的长度为 l ，则客车速度为 $v = \frac{l}{\Delta t}$ ①

其中 $l = 25.0$ m， $\Delta t = \frac{10.0}{16 - 1}$ s，得 $v = 37.5$ m/s ②

(2) 设从货车开始运动后 $t = 20.0$ s 内客车行驶了 x_1 ，货车行驶了 x_2 ，货车的加速度为 a ，30 节货车车厢的总长度为

$L_{\text{总}} = 30 \times 16.0$ m。由运动学公式有 $x_1 = vt$ ③

$$x_2 = \frac{1}{2} at^2 \text{ ④}$$

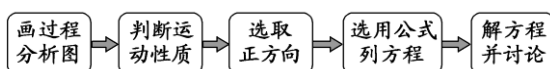
由题给条件有 $L_{\text{总}} = x_1 - x_2$ ⑤

由③④⑤式解得 $a = 1.35$ m/s² ⑥

答案 (1) 37.5 m/s (2) 1.35 m/s²

反思总结 求解匀变速直线运动问题的一般步骤

1. 基本思路



2. 应注意的三类问题

(1) 如果一个物体的运动包含几个阶段，就要分段分析，各段交接处的速度往往是联系各段的纽带。

(2) 描述匀变速直线运动的基本物理量涉及 v_0 、 v 、 a 、 x 、 t 五个量，每一个基本公式中都涉及四个量，选择公式时一定要分析已知量和待求量，根据所涉及的物理量选择合适的公式求解，会使问题简化。

(3) 对于刹车类问题，当车速度为零时，停止运动，其加速度也突变为零。求解此类问题应先判断车

停下所用时间，再选择合适公式求解。

【跟踪短训】

1. (2013 青岛模拟) 一个小球从斜面顶端无初速下滑，接着又在水平面上做匀减速运动，直到停止，它共运动了 10 s，斜面长 4 m，在水平面上运动的距离为 6 m，求：

- (1) 小球在运动过程中的最大速度；
- (2) 小球在斜面和水平面上运动的加速度大小。

解析 方法一 (基本公式法) 设小球在斜面上的加速度大小为 a_1 ，运动时间为 t_1 ；在水平面上的加速度大小为 a_2 ，运动时间为 t_2 ，由 $x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ 可得： $4 = \frac{1}{2} a_1 t_1^2$ ①

$$6 = \frac{1}{2} a_2 t_2^2$$
 ②

由最大速度相等可得 $v_m = a_1 t_1 = a_2 t_2$ ③

$$t_1 + t_2 = 10 \text{ s}$$
 ④

联立①②③④可解得

$$v_m = 2 \text{ m/s}, a_1 = 0.5 \text{ m/s}^2, a_2 = 0.33 \text{ m/s}^2$$

方法二 (平均速度法) 设小球运动过程中的最大速度为 v_m ，由 $x = \frac{v_0 + v}{2} t$

$$\text{可得：} \frac{0 + v_m}{2} t_1 + \frac{v_m + 0}{2} t_2 = 10 \text{ m}$$

即 $\frac{v_m}{2} (t_1 + t_2) = 10 \text{ m}$ ，而 $t_1 + t_2 = 10 \text{ s}$ ，解得 $v_m = 2 \text{ m/s}$ 。

$$\text{由 } a = \frac{v^2 - v_0^2}{2x} \text{ 可得 } a_1 = \frac{2^2 - 0}{2 \times 4} \text{ m/s}^2 = 0.5 \text{ m/s}^2$$

$$a_2 = \frac{0 - 2^2}{2 \times 6} \text{ m/s}^2 = -0.33 \text{ m/s}^2$$

答案 (1) 2 m/s (2) 0.5 m/s² 0.33 m/s²，方向竖直向下

热点二 自由落体和竖直上抛运动规律

竖直上抛运动的处理方法

(1) 两种方法

① “分段法”就是把竖直上抛运动分为上升阶段和下降阶段，上升阶段物体做匀减速直线运动，下降阶段物体做自由落体运动。下落过程是上升过程的逆过程。

② “全程法”就是把整个过程看成是一个匀减速直线运动过程。从全程来看，加速度方向始终与初速度 v_0 的方向相反。

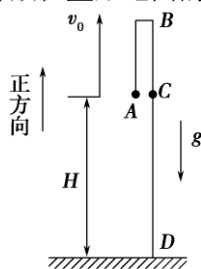
(2) 符号法则：应用公式时，要特别注意 v_0 、 v 、 h 等矢量的正负号，一般选向上为正方向， v_0 总是正值，上升过程中 v 为正值，下降过程中 v 为负值，物体在抛出点以上时 h 为正值，在抛出点以下时 h 为负值。

(3) 巧用竖直上抛运动的对称性

① 速度对称：上升和下降过程经过同一位置时速度等大反向。

② 时间对称：上升和下降过程经过同一段高度的上升时间和下降时间相等。

【典例 2】 研究人员为检验某一产品的抗撞击能力，乘坐热气球并携带该产品竖直升空，当热气球以 10 m/s 的速度匀速上升到某一高度时，研究人员从热气球上将产品自由释放，测得经 11 s 产品撞击地面。不计产品所受的空气阻力，求产品的释放位置距地面的高度。(g 取 10 m/s²)



解析 方法一 (全程法) 将产品的运动视为匀变速直线运动，根据题意画出运动草图如图所示。

规定向上为正方向，则 $v_0 = 10 \text{ m/s}$ ，

$$a = -g = -10 \text{ m/s}^2$$

$$\text{根据 } H = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2,$$

$$\text{解得 } H = -495 \text{ m.}$$

即产品刚释放时离地面的高度为 495 m.

方法二 (分段法) 仍然根据题意画出运动草图如图所示. 将产品的运动过程分为 $A \rightarrow B$ 和 $B \rightarrow C \rightarrow D$ 两段来处理. $A \rightarrow B$ 为竖直上抛运动, $B \rightarrow C \rightarrow D$ 为自由落体运动.

在 $A \rightarrow B$ 段, 根据竖直上抛运动规律可知

$$t_{AB} = \frac{v_0}{g} = 1 \text{ s}$$

$$h_{AB} = h_{BC} = \frac{1}{2} g t_{AB}^2 = 5 \text{ m}$$

由题意可知 $t_{BD} = 11 \text{ s} - 1 \text{ s} = 10 \text{ s}$

$$\text{根据自由落体运动规律可得 } h_{BD} = \frac{1}{2} g t_{BD}^2 = 500 \text{ m}$$

故释放点离地面的高度 $H = h_{BD} - h_{BC} = 495 \text{ m}$.

答案 见解析

【跟踪短训】

2. 一根轻质细线将 2 个薄铁垫圈 A、B 连接起来, 一同学用手固定 B, 此时 A、B 间距为 $3L$, A 距地面为 L , 如图 1-2-3 所示. 由静止释放 A、B, 不计空气阻力, 从开始释放到 A 落地历时 t_1 , A 落地前瞬间速率为 v_1 , 从 A 落地到 B 落在 A 上历时 t_2 , B 落在 A 上前瞬间速率为 v_2 , 则().

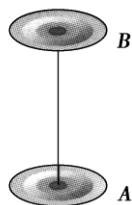


图 1-2-3

- A. $t_1 > t_2$ B. $t_1 = t_2$ C. $v_1 : v_2 = 1 : 2$ D. $v_1 : v_2 = 1 : 3$

解析 对 A 有 $L = \frac{1}{2} g t_1^2$, 且 $v_1 = g t_1$, 对 B 有 $3L + L = \frac{1}{2} g (t_1 + t_2)^2$, 且 $v_2 = g (t_1 + t_2)$, 联立解得 $t_1 = t_2$,

$$v_1 : v_2 = 1 : 2.$$

答案 BC

热点三 对运动图象的理解及应用

应用运动图象解题“六看”

- 看“轴” $\begin{cases} x-t \text{ 图象纵轴表示位移} \\ v-t \text{ 图象纵轴表示速度} \end{cases}$
- 看“线” $\begin{cases} x-t \text{ 图象上倾斜直线表示匀速直线运动} \\ v-t \text{ 图象上倾斜直线表示匀变速直线运动} \end{cases}$
- 看“斜率” $\begin{cases} x-t \text{ 图象上斜率表示速度} \\ v-t \text{ 图象上斜率表示加速度} \end{cases}$
- 看“面积” $\begin{cases} x-t \text{ 图象上面积无实际意义} \\ v-t \text{ 图象上图线和时间轴围成的“面积”表示位移} \end{cases}$

5. 看“纵截距” $\begin{cases} x-t \text{ 图象表示初位置} \\ v-t \text{ 图象表示初速度} \end{cases}$
6. 看“特殊点” $\begin{cases} \text{拐点(转折点)一般表示从一种运动变为另一} \\ \text{种运动} \\ \text{交点在 } x-t \text{ 图象上表示相遇, 在 } v-t \text{ 图} \\ \text{象上表示速度相等} \end{cases}$

【典例 3】 (2013 四川卷, 6)甲、乙两物体在 $t=0$ 时刻经过同一位置沿 x 轴运动, 其 $v-t$ 图象如图 1-2-4 所示, 则().

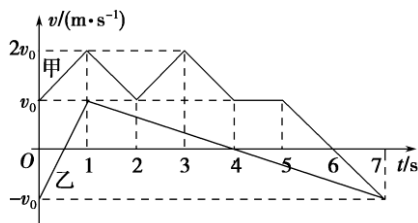
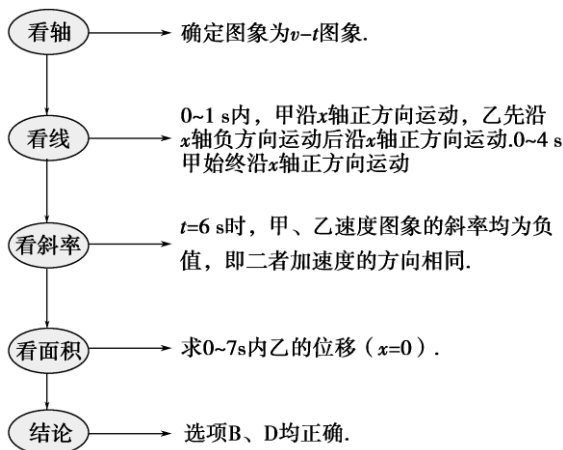


图 1-2-4

- A. 甲、乙在 $t=0$ 到 $t=1$ s 之间沿同一方向运动
 B. 乙在 $t=0$ 到 $t=7$ s 之间的位移为零
 C. 甲在 $t=0$ 到 $t=4$ s 之间做往复运动
 D. 甲、乙在 $t=6$ s 时的加速度方向相同

审题指导



解析 根据 $v-t$ 图象可知, 在 $t=0$ 到 $t=1$ s 这段时间内, 甲一直向正方向运动, 而乙先向负方向运动再向正方向运动, 故 A 选项错误; 根据 $v-t$ 图象可知, 在 $t=0$ 到 $t=7$ s 这段时间内, 乙的位移为零, 故 B 选项正确; 根据 $v-t$ 图象可知, 在 $t=0$ 到 $t=4$ s 这段时间内, 甲一直向正方向运动, 故 C 选项错误; 根据 $v-t$ 图象可知, 在 $t=6$ s 时, 甲、乙的加速度方向均与正方向相反, 故 D 选项正确.

答案 BD

反思总结 用速度—时间图象巧得四个运动量

- (1) 运动速度: 从速度轴上直接读出.
- (2) 运动时间: 从时间轴上直接读出时刻, 取差得到运动时间.
- (3) 运动加速度: 从图线的斜率得到加速度, 斜率的大小表示加速度的大小, 斜率的正负反映了加速度的方向.
- (4) 运动的位移: 从图线与时间轴围成的面积得到位移, 图线与时间轴围成的“面积”表示位移的大小, 第一象限的面积表示与规定的正方向相同, 第四象限的面积表示与规定的正方向相反.

【跟踪短训】

3. (2013 新课标全国 I, 19)如图 1-2-5 所示, 直线 a 和曲线 b 分别是在平直公路上行驶的汽车 a

和 b 的位移 — 时间($x-t$)图线, 由图可知().

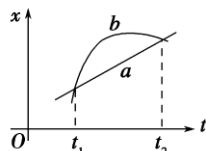
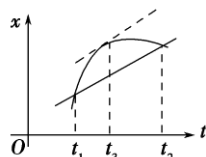


图 1-2-5

- A. 在时刻 t_1 , a 车追上 b 车
- B. 在时刻 t_2 , a 、 b 两车运动方向相反
- C. 在 t_1 到 t_2 这段时间内, b 车的速率先减少后增加
- D. 在 t_1 到 t_2 这段时间内, b 车的速率一直比 a 车的大



解析 由题图可知, t_1 时刻, b 车追上 a 车, 故 A 错误. $x-t$ 图象的斜率表示速度, 由于 t_2 时刻 a 、 b 两图象的斜率一正、一负, 故两车运动方向相反, B 正确; 由 b 图线的斜率的变化可以看出 t_1 到 t_2 这段时间 b 车的速率先减少后反向增加, C 正确. 如图所示, 在 t_3 时刻 b 图线的斜率与 a 图线的相等, 此时两车的速率相等, 故 D 错误.

答案 BC

4. 如图 1-2-6 所示, 汽车以 10 m/s 的速度匀速驶向路口, 当行驶至距路口停车线 20 m 处时, 绿灯还有 3 s 熄灭. 而该汽车在绿灯熄灭时刚好停在停车线处, 则汽车运动的速度(v)—时间(t)图象可能是().

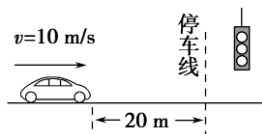
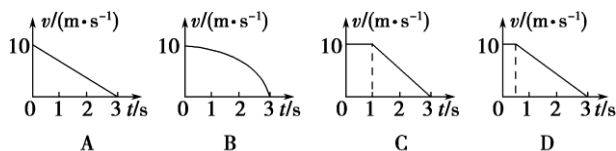


图 1-2-6



解析 $v-t$ 图线与时间坐标轴所围“面积”表示位移, A、D 图中 $v-t$ 图象中“面积”不等于 20 m , A、D 错误; B 中 $v-t$ 图象的“面积”可能等于 20 m , B 正确; C 中 $v-t$ 图象的“面积”正好等于 20 m , C 正确.

答案 BC

热点四 追及、相遇问题

1. 分析“追及”问题应注意的几点

(1)一定要抓住“一个条件, 两个关系”:

①“一个条件”是两物体的速度满足的临界条件, 如两物体距离最大、最小, 恰好追上或恰好追不上等.

②“两个关系”是时间关系和位移关系. 其中通过画草图找到两物体位移之间的数量关系, 是解题的突破口.

(2)若被追赶的物体做匀减速运动, 一定要注意被追上前该物体是否已停止运动.

(3)仔细审题, 注意抓住题目中的关键字眼(如“刚好”、“恰好”、“最多”、“至少”等), 充分挖掘题目中的隐含条件.

2. 主要方法

①临界条件法 ②图象法 ③数学法

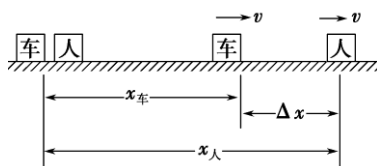
【典例 4】一辆汽车在十字路口等待绿灯, 当绿灯亮时汽车以 $a=3 \text{ m/s}^2$ 的加速度开始行驶, 恰在

这时一人骑自行车以 $v_0=6\text{ m/s}$ 的速度匀速驶来，从后边超过汽车，试问：

(1)汽车从路口开动后，在追上自行车之前经过多长时间两车相距最远？最远距离是多大？

(2)当汽车与自行车距离最近时汽车的速度是多大？

解析 方法一 用临界条件求解



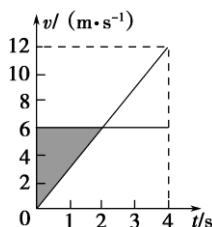
(1)当汽车的速度为 $v = 6\text{ m/s}$ 时，二者相距最远，所用时间为 $t = \frac{v}{a} = 2\text{ s}$

最远距离为 $\Delta x = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2 = 6\text{ m}$.

(2)两车距离最近时有 $v_0 t' = \frac{1}{2} a t'^2$

解得 $t' = 4\text{ s}$

汽车的速度为 $v = a t' = 12\text{ m/s}$.



方法二 用图象法求解

(1)汽车和自行车的 $v-t$ 图象如图所示，由图象可得 $t=2\text{ s}$ 时，二者相距最远。最远距离等于图中阴影部分的面积，即 $\Delta x = \frac{1}{2} \times 6 \times 2\text{ m} = 6\text{ m}$.

(2)两车距离最近时，即两个 $v-t$ 图线下方面积相等时，由图象得此时汽车的速度为 $v = 12\text{ m/s}$.

方法三 用数学方法求解

(1)由题意知自行车与汽车的位移之差为 $\Delta x = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2$

因二次项系数小于零，当 $t = \frac{-v_0}{2 \times (-\frac{1}{2}a)} = 2\text{ s}$ 时有最大值

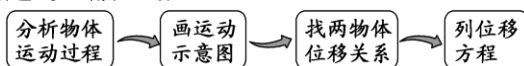
最大值 $\Delta x_m = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2 = 6 \times 2\text{ m} - \frac{1}{2} \times 3 \times 2^2\text{ m} = 6\text{ m}$.

(2)当 $\Delta x = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2 = 0$ 时相遇

得 $t = 4\text{ s}$ ，汽车的速度为 $v = a t = 12\text{ m/s}$.

答案 (1)2 s 6 m (2)12 m/s

反思总结 求解追及相遇问题的一般思路



【跟踪短训】

5. 如图 1-2-7 所示，直线 MN 表示一条平直公路，甲、乙两辆汽车原来停在 A 、 B 两处， A 、 B 间的距离为 85 m ，现甲车先开始向右做匀加速直线运动，加速度 $a_1=2.5\text{ m/s}^2$ ，甲车运动 6.0 s 时，乙车开始向右做匀加速直线运动，加速度 $a_2=5.0\text{ m/s}^2$ ，求两辆汽车相遇处距 A 处的距离。

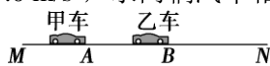


图 1-2-7

解析 甲车运动 6 s 的位移为 $x_0 = \frac{1}{2}a_1t_0^2 = 45 \text{ m}$

此时甲车尚未追上乙车，设此后经过时间 t 与乙车相遇，则有 $\frac{1}{2}a_1(t+t_0)^2 = \frac{1}{2}a_2t^2 + 85 \text{ m}$

将上式代入数据并整理得： $t^2 - 12t + 32 = 0$

解得： $t_1 = 4 \text{ s}$ ， $t_2 = 8 \text{ s}$

t_1 、 t_2 都有意义， $t_1 = 4 \text{ s}$ 时，甲车追上乙车； $t_2 = 8 \text{ s}$ 时，乙车追上甲车再次相遇

第一次相遇地点距 A 的距离： $x_1 = \frac{1}{2}a_1(t_1 + t_0)^2 = 125 \text{ m}$

第二次相遇地点距 A 的距离： $x_2 = \frac{1}{2}a_1(t_2 + t_0)^2 = 245 \text{ m}$.

答案 125 m 或 245 m

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

思想方法 2. 思维转化法

思维转化法：在运动学问题的解题过程中，若按正常解法求解有困难时，往往可以通过变换思维方式、转换研究对象，使解答过程简单明了。

1. 逆向思维法

将匀减速直线运动直至速度变为零的过程转化为初速度为零的匀加速直线运动，利用运动学规律可以使问题巧解。

【典例 1】一物块(可看作质点)以一定的初速度从一光滑斜面底端 A 点上滑，最高可滑至 C 点，已知 AB 是 BC 的 3 倍，如图 1-2-8 所示，已知物块从 A 至 B 所需时间为 t_0 ，则它从 B 经 C 再回到 B，需要的时间是()。

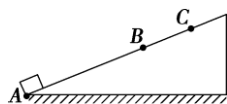


图 1-2-8

- A. t_0 B. $\frac{t_0}{4}$ C. $2t_0$ D. $\frac{t_0}{2}$

解析 将物块从 A 到 C 的匀减速直线运动，运用逆向思维可看作从 C 到 A 的初速度为零的匀加速直线运动，根据初速度为零的匀加速直线运动规律，可知连续相邻相等的时间内位移之比为奇数比，而 $CB:AB = 1:3$ ，正好符合奇数比，故 $t_{AB} = t_{BC} = t_0$ ，且从 B 到 C 的时间等于从 C 到 B 的时间，故从 B 经 C 再回到 B 需要的时间是 $2t_0$ ，C 对。

答案 C

即学即练 1 做匀减速直线运动的物体经 4 s 后停止，若在第 1 s 内的位移是 14 m，则最后 1 s 内的位移是()。

- A. 3.5 m B. 2 m C. 1 m D. 0

解析 设加速度大小为 a ，则开始减速时的初速度大小为 $v_0 = at = 4a$ ，第 1 s 内的位移是 $x_1 = v_0t_1 - \frac{1}{2}at_1^2 = 3.5a = 14 \text{ m}$ ，所以 $a = 4 \text{ m/s}^2$ ，物体最后 1 s 的位移是 $x = \frac{1}{2}at_1^2 = 2 \text{ m}$ 。

本题也可以采用逆向思维的方法，把物体的运动看作是初速度为零的匀加速直线运动，其在连续相邻相等的时间内的位移之比是 1:3:5:7，已知第 4 s 内的位移是 14 m，所以第 1 s 内的位移是 2 m。

答案 B

2. 等效转化法

“将多个物体的运动”转化为“一个物体的运动”。

【典例 2】屋檐每隔一定时间滴下一滴水，当第 5 滴正欲滴下时，第 1 滴刚好落到地面，而第 3 滴与第 2 滴分别位于高 1 m 的窗子的上、下沿，如图 1-2-9 所示，(g 取 10 m/s^2)问：

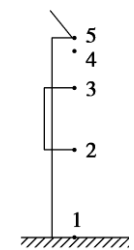
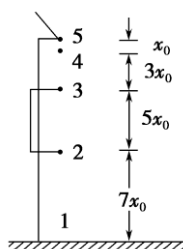


图 1-2-9

- (1)此屋檐离地面多高?
 (2)滴水的时间间隔是多少?



解析 如图所示,如果将这 5 滴水运动等效为一滴水的自由落体,并且将这一滴水运动的全过程分成时间相等的 4 段,设每段时间间隔为 T ,则这一滴水在 0 时刻、 T 末、 $2T$ 末、 $3T$ 末、 $4T$ 末所处的位置,分别对应图示第 5 滴水、第 4 滴水、第 3 滴水、第 2 滴水、第 1 滴水所处的位置,据此可作出解答.

设屋檐离地面高为 x ,滴水间隔为 T .则 $x = 16x_0, 5x_0 = 1 \text{ m}$

所以 $x = 3.2 \text{ m}$

另有 $x = \frac{1}{2}g(4T)^2$

解得 $T = 0.2 \text{ s}$

答案 (1)3.2 m (2)0.2 s

即学即练 2 从斜面上某一位置,每隔 0.1 s 释放一个小球,在连续释放几颗小球后,对在斜面上滚动的小球拍下照片,如图 1-2-10 所示,测得 $x_{AB} = 15 \text{ cm}$, $x_{BC} = 20 \text{ cm}$,求:

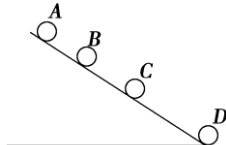


图 1-2-10

- (1)小球的加速度;
 (2)拍摄时 B 球的速度;
 (3)拍摄时 x_{CD} 的大小;
 (4) A 球上方滚动的小球还有几颗.

解析 (1)由 $a = \frac{\Delta x}{t^2}$ 得小球的加速度 $a = \frac{x_{BC} - x_{AB}}{t^2} = 5 \text{ m/s}^2$

(2) B 点的速度等于 AC 段上的平均速度,即

$$v_B = \frac{x_{AC}}{2t} = 1.75 \text{ m/s}$$

(3)由相邻相等时间内的位移差恒定,即 $x_{CD} - x_{BC} = x_{BC} - x_{AB}$,所以 $x_{CD} = 2x_{BC} - x_{AB} = 0.25 \text{ m}$

(4)设 A 点小球的速度为 v_A ,由于

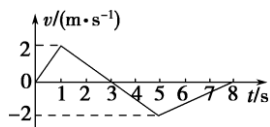
$$v_A = v_B - at = 1.25 \text{ m/s}$$

所以 A 球的运动时间为 $t_A = \frac{v_A}{a} = 0.25 \text{ s}$,所以在 A 球上方滚动的小球还有 2 颗.

答案 (1) 5 m/s^2 (2)1.75 m/s (3)0.25 m (4)2

附:对应高考题组

1. (2010 天津卷, 3)质点做直线运动的 $v-t$ 图象如图所示, 规定向右为正方向, 则该质点在前 8 s 内平均速度的大小和方向分别为().



- A. 0.25 m/s 向右 B. 0.25 m/s 向左 C. 1 m/s 向右 D. 1 m/s 向左

解析 前 8 s 内的位移 $x = \frac{1}{2} \times 2 \times 3 \text{ m} + \frac{1}{2} \times (-2) \times 5 \text{ m} = -2 \text{ m}$. $\bar{v} = \frac{x}{t} = \frac{-2}{8} \text{ m/s} = -0.25 \text{ m/s}$, 负号说明平均速度的方向向左, 故选项 B 正确.

答案 B

2. (2011 重庆卷, 14)某人估测一竖直枯井深度, 从井口静止释放一石头并开始计时, 经 2 s 听到石头落底声. 由此可知井深约为(不计声音传播时间, 重力加速度 g 取 10 m/s^2)().

- A. 10 m B. 20 m C. 30 m D. 40 m

解析 从井口由静止释放, 石头做自由落体运动, 由运动学公式 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 可得 $h = \frac{1}{2} \times 10 \times 2^2 \text{ m} = 20 \text{ m}$.

答案 B

3. (2011 安徽卷, 16)一物体做匀加速直线运动, 通过一段位移 Δx 所用的时间为 t_1 , 紧接着通过下一段位移 Δx 所用的时间为 t_2 , 则物体运动的加速度为().

- A. $\frac{2\Delta x(t_1 - t_2)}{t_1 t_2(t_1 + t_2)}$ B. $\frac{\Delta x(t_1 - t_2)}{t_1 t_2(t_1 + t_2)}$ C. $\frac{2\Delta x(t_1 + t_2)}{t_1 t_2(t_1 - t_2)}$ D. $\frac{\Delta x(t_1 + t_2)}{t_1 t_2(t_1 - t_2)}$

解析 物体做匀变速直线运动, 由匀变速直线运动规律:

$$\frac{v}{2} = \frac{t}{2} = \frac{x}{t} \text{ 知: } v \frac{t_1}{2} = \frac{\Delta x}{t_1}$$

$$v \frac{t_2}{2} = \frac{\Delta x}{t_2} \text{ ②}$$

$$v \frac{t_2}{2} - v \frac{t_1}{2} = a \left(\frac{t_2}{2} - \frac{t_1}{2} \right) \text{ ③}$$

$$\text{由①②③得 } a = \frac{2\Delta x(t_1 - t_2)}{t_1 t_2(t_1 + t_2)}$$

答案 A

4. (2012 上海卷, 10)小球每隔 0.2 s 从同一高度抛出, 做初速度为 6 m/s 的竖直上抛运动, 设它们在空中不相碰. 第一个小球在抛出点以上能遇到的小球数为(取 $g = 10 \text{ m/s}^2$)().

- A. 三个 B. 四个 C. 五个 D. 六个

解析 小球在抛点上方运动的时间 $t = \frac{2v_0}{g} = \frac{2 \times 6}{10} \text{ s} = 1.2 \text{ s}$. 因每隔 0.2 s 在抛出点抛出一个球, 因此第一个小球在 1.2 s 的时间内能遇上 $n = \frac{1.2 \text{ s}}{0.2 \text{ s}} - 1 = 5$ 个小球, 故只有选项 C 正确.

答案 C

5. (2013 广东卷, 13)某航母跑道长 200 m, 飞机在航母上滑行的最大加速度为 6 m/s^2 , 起飞需要的最低速度为 50 m/s. 那么, 飞机在滑行前, 需要借助弹射系统获得的最小初速度为().

- A. 5 m/s B. 10 m/s C. 15 m/s D. 20 m/s

解析 飞机在滑行过程中, 做匀加速直线运动, 根据速度与位移的关系 $v^2 - v_0^2 = 2ax$.

由题知 $v = 50 \text{ m/s}$, $a = 6 \text{ m/s}^2$, $x = 200 \text{ m}$, 得飞机获得的最小速度 $v_0 = \sqrt{v^2 - 2ax} = \sqrt{50^2 - 2 \times 6 \times 200} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$. 故选项 B 正确.

答案 B

6. (2011 新课标全国卷, 24)甲、乙两辆汽车都从静止出发做加速直线运动, 加速度方向一直不变. 在第一段时间间隔内, 两辆汽车的加速度大小不变, 汽车乙的加速度大小是甲的两倍; 在接下来的相同时间间隔内, 汽车甲的加速度大小增加为原来的两倍, 汽车乙的加速度大小减小为原来的一半. 求甲、乙两车各自在这两段时间间隔内走过的总路程之比.

解析 设汽车甲在第一段时间间隔末(时刻 t_0)的速度为 v , 第一段时间间隔内行驶的路程为 x_1 , 加速度为 a ; 在第二段时间间隔内行驶的路程为 x_2 . 由运动学公式得

$$v = at_0, x_1 = \frac{1}{2}at_0^2, x_2 = vt_0 + \frac{1}{2}(2a)t_0^2$$

设汽车乙在时刻 t_0 的速度为 v' , 在第一、二段时间间隔内行驶的路程分别为 x_1' 、 x_2' . 同样有

$$v' = (2a)t_0, x_1' = \frac{1}{2}(2a)t_0^2, x_2' = v't_0 + \frac{1}{2}at_0^2$$

设甲、乙两车行驶的总路程分别为 x 、 x' , 则有

$$x = x_1 + x_2, x' = x_1' + x_2'$$

联立以上各式解得, 甲、乙两车各自行驶的总路程之比为 $\frac{x}{x'} = \frac{5}{7}$.

答案 $\frac{5}{7}$

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 匀变速直线运动基本规律的应用

1. (单选)某驾驶员手册规定具有良好刹车性能的汽车在以 80 km/h 的速率行驶时, 可以在 56 m 的距离内被刹住; 在以 48 km/h 的速率行驶时, 可以在 24 m 的距离内被刹住, 假设对于这两种速率, 驾驶员所允许的反应时间(在反应时间内驾驶员来不及刹车, 车速不变)与刹车的加速度都相同, 则允许驾驶员的反应时间约为().

A. 0.5 s B. 0.7 s C. 1.5 s D. 2 s

解析 $v_1 = 80 \text{ km/h} = \frac{200}{9} \text{ m/s}$, $v_2 = 48 \text{ km/h} = \frac{40}{3} \text{ m/s}$, 设反应时间均是 t , 加速度大小均为 a , 则 $v_1^2 = 2a(56 - v_1t)$, $v_2^2 = 2a(24 - v_2t)$, 联立可得, $t = 0.72 \text{ s}$, 选项 B 正确.

答案 B

2. (多选)物体自 O 点由静止开始做匀加速直线运动, A 、 B 、 C 、 D 为其运动轨迹上的四点, 测得 $AB=2 \text{ m}$, $BC=3 \text{ m}$. 且物体通过 AB 、 BC 、 CD 所用时间相等, 则下列说法正确的是().

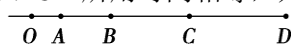


图 1-2-11

- A. 可以求出物体加速度的大小
- B. 可以求得 $CD=4 \text{ m}$
- C. 可求得 OA 之间的距离为 1.125 m
- D. 可求得 OA 之间的距离为 1.5 m

解析 设加速度为 a , 时间为 T , 则有 $\Delta s = aT^2 = 1 \text{ m}$, 可以求得 $CD=4 \text{ m}$, 而 B 点的瞬时速度 $v_B = \frac{s_{AC}}{2T}$, 所以 OB 之间的距离为 $s_{OB} = \frac{v_B^2}{2a} = 3.125 \text{ m}$, OA 之间的距离为 $s_{OA} = s_{OB} - s_{AB} = 1.125 \text{ m}$, 即 B、C 选项正确.

答案 BC

3. 如图 1-2-12 所示, 小滑块在较长的斜面顶端, 以初速度 $v_0=2 \text{ m/s}$ 、加速度 $a=2 \text{ m/s}^2$ 向下滑, 在到达底端前 1 s 内, 所滑过的距离为 $\frac{7}{15}L$, 其中 L 为斜面长, 则

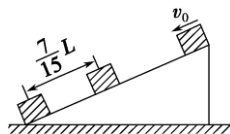


图 1-2-12

- (1)小滑块在斜面上滑行的时间为多少?
- (2)小滑块到达斜面底端时的速度 v 是多大?
- (3)斜面的长度 L 是多少?

解析 $a = 2 \text{ m/s}^2$, $v_0 = 2 \text{ m/s}$

$$\frac{7L}{15} = v_1 \times 1 + \frac{1}{2}a \times 1^2 \text{①}$$

$$v_1 = v_0 + at \text{②}$$

$$\frac{8L}{15} = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \text{③}$$

①②③联立得 $t = 2 \text{ s}$, $L = 15 \text{ m}$

小滑块在斜面上滑行的时间 $t_{\text{总}} = t + 1 \text{ s} = 3 \text{ s}$

到达斜面底端时 $v = v_0 + at_{\text{总}} = 8 \text{ m/s}$.

答案 (1)3 s (2)8 m/s (3)15 m

题组二 自由落体运动及竖直上抛运动

4. (2013 庆阳模拟)(多选)从水平地面竖直向上抛出一物体,物体在空中运动到最后又落回地面.在不计空气阻力的条件下,以下判断正确的是().

- A. 物体上升阶段的加速度与物体下落阶段的加速度相同
- B. 物体上升阶段的加速度与物体下落阶段的加速度方向相反
- C. 物体上升过程经历的时间等于物体下落过程经历的时间
- D. 物体上升过程经历的时间小于物体下落过程经历的时间

解析 物体竖直上抛,不计空气阻力,只受重力,则物体上升和下降阶段加速度相同,大小为 g ,方向向下, A 正确, B 错误;上升和下落阶段位移大小相等,加速度大小相等,所以上升和下落过程所经历的时间相等, C 正确, D 错误.

答案 AC

5. (2013 福建六校联考)(单选)一位同学在某星球上完成自由落体运动实验:让一个质量为 2 kg 的小球从一定的高度自由下落,测得在第 5 s 内的位移是 18 m ,则().

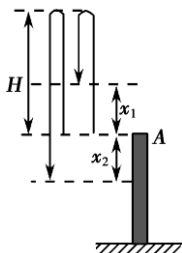
- A. 物体在 2 s 末的速度是 20 m/s
- B. 物体在第 5 s 内的平均速度是 3.6 m/s
- C. 物体在前 2 s 内的位移是 20 m
- D. 物体在 5 s 内的位移是 50 m

解析 设星球表面的重力加速度为 g ,由自由下落在第 5 s 内的位移是 18 m ,可得 $\frac{1}{2}g \times (5)^2 - \frac{1}{2}g \times (4)^2 = 18 \text{ m}$,解得 $g = 4 \text{ m/s}^2$.物体在 2 s 末的速度是 $v = gt = 8 \text{ m/s}$,选项 A 错误;物体在第 5 s 内的平均速度是 18 m/s ,选项 B 错误;物体在前 2 s 内的位移是 $\frac{1}{2}g \times (2)^2 = 8 \text{ m}$,选项 C 错误;物体在 5 s 内的位移是 $\frac{1}{2}g \times (5)^2 = 50 \text{ m}$,选项 D 正确.

答案 D

6. (多选)在塔顶上将一物体竖直向上抛出,抛出点为 A,物体上升的最大高度为 20 m .不计空气阻力,设塔足够高.则物体位移大小为 10 m 时,物体通过的路程可能为().

- A. 10 m
- B. 20 m
- C. 30 m
- D. 50 m



解析 物体从塔顶上的 A 点抛出,位移大小为 10 m 的位置有两处,如图所示,一处是在 A 点之上,另一处是在 A 点之下.在 A 点之上时,位移为 10 m 又有上升和下降两种过程.上升通过时,物体的路程

L_1 等于位移 x_1 的大小, 即 $L_1 = x_1 = 10 \text{ m}$; 下落通过时, 路程 $L_2 = 2H - x_1 = 2 \times 20 \text{ m} - 10 \text{ m} = 30 \text{ m}$. 在 A 点之下时, 通过的路程 $L_3 = 2H + x_2 = 2 \times 20 \text{ m} + 10 \text{ m} = 50 \text{ m}$.

答案 ACD

题组三 图象、追及相遇问题

7. (2013 大纲卷, 19)(多选)将甲、乙两小球先后以同样的速度在距地面不同高度处竖直向上抛出, 抛出时间相隔 2 s, 它们运动的 $v-t$ 图象分别如图 1-2-13 所示直线甲、乙所示. 则().

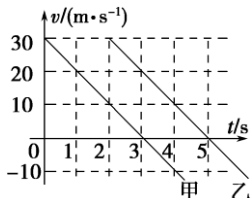


图 1-2-13

- A. $t=2 \text{ s}$ 时, 两球高度相差一定为 40 m
- B. $t=4 \text{ s}$ 时, 两球相对于各自抛出点的位移相等
- C. 两球从抛出至落到地面所用的时间间隔相等
- D. 甲球从抛出至达到最高点的时间间隔与乙球的相等

解析 由于两球的抛出点未知, 则 A、C 均错; 由图象可知 4 s 时两球上升的高度均为 40 m, 则距各自出发点的位移相等, 则 B 正确; 由于两球的初速度都为 30 m/s, 则上升到最高点的时间均为 $t = \frac{v_0}{g}$, 则 D 正确.

答案 BD

8. (单选)如图 1-2-14 所示是甲、乙两物体从同一点出发的位移-时间($x-t$)图象, 由图象可以看出在 0~4 s 这段时间内().

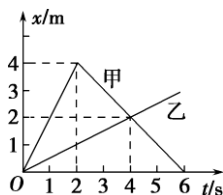


图 1-2-14

- A. 甲、乙两物体始终同向运动
- B. 4 s 时甲、乙两物体之间的距离最大
- C. 甲的平均速度大于乙的平均速度
- D. 甲、乙两物体之间的最大距离为 3 m

解析 $x-t$ 图象的斜率表示速度的大小和方向, 甲在 2 s 时速度反向, 乙一直沿着正方向运动, 故 A 错; 2 s 时, 甲、乙位移之差最大, 最大距离为 3 m, 故 B 错, D 对; 甲、乙在前 4 s 内运动位移均为 2 m, 平均速度均为 0.5 m/s, C 错.

答案 D

9. 平直道路上有甲、乙两辆汽车同向匀速行驶, 乙车在前, 甲车在后. 甲、乙两车速度分别为 40 m/s 和 25 m/s, 当两车距离为 200 m 时, 两车同时刹车, 已知甲、乙两车刹车的加速度大小分别为 1.0 m/s^2 和 0.5 m/s^2 . 问: 甲车是否会撞上乙车? 若未相撞, 两车最近距离多大? 若能相撞, 两车从开始刹车直到相撞经历了多长时间?

解析 设经过 t 时间甲、乙两车的速度相等, 即



$$v_{甲} - a_{甲}t = v_{乙} - a_{乙}t$$

代入数据得: $t = 30 \text{ s}$ $v = 10 \text{ m/s}$

设在 30 s 时甲、乙两车的距离为 Δx , 则

$$\begin{aligned}\Delta x &= 200 + x_{乙} - x_{甲} \\ &= 200 \text{ m} + \frac{1}{2}(25 + 10) \times 30 \text{ m} - \frac{1}{2}(40 + 10) \times 30 \text{ m} \\ &= -25 \text{ m}\end{aligned}$$

说明 30 s 以前两车已碰撞，设从开始刹车到相撞时间为 t' ，

$$\text{则 } x_{甲}' = 40t' - \frac{1}{2} \times 1 \times t'^2 \quad \text{①}$$

$$x_{乙}' = 25t' - \frac{1}{2} \times 0.5t'^2 \quad \text{②}$$

$$x_{甲}' = 200 + x_{乙}' \quad \text{③}$$

$$\text{由①②③得: } t'^2 - 60t' + 800 = 0$$

$$\text{即 } t' = 20 \text{ s 或 } t' = 40 \text{ s (舍去)}$$

答案 相撞 20 s

B 深化训练——提高能力技巧

10. (多选)如图 1-2-15 所示，小球沿足够长的斜面向上做匀变速运动，依次经 a 、 b 、 c 、 d 到达最高点 e 。已知 $ab=bd=6 \text{ m}$ ， $bc=1 \text{ m}$ ，小球从 a 到 c 和从 c 到 d 所用的时间都是 2 s，设小球经 b 、 c 时的速度分别为 v_b 、 v_c ，则()。

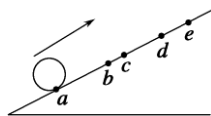


图 1-2-15

- A. $v_b = \sqrt{8} \text{ m/s}$ B. $v_b = \sqrt{10} \text{ m/s}$ C. $v_c = 4 \text{ m/s}$ D. $v_c = 3 \text{ m/s}$

解析 因为 $ab = bd = 6 \text{ m}$ $bc = 1 \text{ m}$

所以 $ac = 7 \text{ m}$ $cd = 5 \text{ m}$

$$v_c = \frac{x_{ac} + x_{cd}}{2T} = \frac{12}{2 \times 2} \text{ m/s} = 3 \text{ m/s}$$

选项 D 正确。

$$\text{由 } x_2 - x_1 = aT^2 \text{ 得 } a = \frac{x_{ac} - x_{cd}}{T^2} = \frac{7 - 5}{2^2} \text{ m/s}^2 = 0.5 \text{ m/s}^2$$

$$\text{由 } v^2 - v_0^2 = 2ax \text{ 得: } v_c^2 - v_b^2 = -2ax_{bc}$$

$$\text{代入数据得 } v_b = \sqrt{10} \text{ m/s}$$

选项 B 正确。

答案 BD

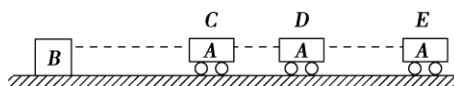
11. (单选)测速仪安装有超声波发射和接收装置，如图 1-2-16 所示， B 为测速仪， A 为汽车，两者相距 335 m。某时刻 B 发出超声波，同时 A 由静止开始做匀加速直线运动。当 B 接收到反射回来的超声波信号时 A 、 B 相距 355 m，已知声速为 340 m/s，则下列说法正确的是()。



图 1-2-16

- A. 经 1 s， B 接收到返回的超声波
 B. 超声波追上 A 车时， A 车前进了 10 m
 C. A 车加速度的大小为 10 m/s^2
 D. A 车加速度的大小为 5 m/s^2

解析 从 B 发出超声波到接收到超声波过程中，汽车 A 的运动如图所示：



B 发出超声波时，小车在 C 位置

小车反射超声波时，小车在 D 位置

B 接收超声波时，小车在 E 位置

经分析可知： $T_{CD} = T_{DE}$ ， $x_{CE} = 20$ m

所以 $x_{CD} = 5$ m $x_{DE} = 15$ m， $T_{CD} = \frac{335 + 5}{340}$ s = 1 s

可见 B 接收到返回的超声波需 2 s.

对小车 A ： $\Delta x = aT_{CD}^2$ 所以 $a = 10$ m/s²

由以上可知只有选项 C 正确.

答案 C

12. (2013 四川卷, 9) 近来，我国多个城市开始重点治理“中国式过马路”行为。每年全国由于行人不遵守交通规则而引发的交通事故上万起，死亡上千人。只有科学设置交通管制，人人遵守交通规则，才能保证行人的生命安全。

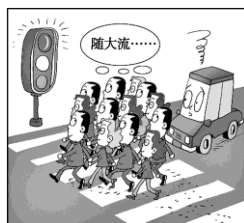


图 1-2-17

如图 1-2-18 所示，停车线 AB 与前方斑马线边界 CD 间的距离为 23 m。质量 8 t、车长 7 m 的卡车以 54 km/h 的速度向北匀速行驶，当车前端刚驶过停车线 AB ，该车前方的机动车交通信号灯由绿灯变黄灯。

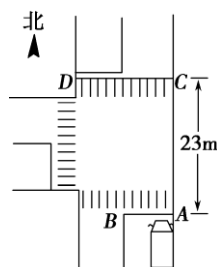


图 1-2-18

(1) 若此时前方 C 处人行横道路边等待的行人就抢先过马路，卡车司机发现行人，立即制动，卡车受到的阻力为 3×10^4 N。求卡车的制动距离；

(2) 若人人遵守交通规则，该车将不受影响地驶过前方斑马线边界 CD 。为确保行人安全， D 处人行横道信号灯应该在南北向机动车信号灯变黄灯后至少多久变为绿灯？

解析 已知卡车质量 $m = 8$ t = 8×10^3 kg、

初速度 $v_0 = 54$ km/h = 15 m/s

(1) 设卡车减速的加速度为 a ，由牛顿第二定律得：

$$F_f = ma \quad ①$$

由运动学公式得： $v_0^2 = 2ax_1$ ，②

联立①②式，代入数据解得 $x_1 = 30$ m③

(2) 已知车长 $l = 7$ m， AB 与 CD 的距离为 $x_0 = 23$ m。设卡车驶过的距离为 x_2 ， D 处人行横道信号灯至少需要经过时间 Δt 后变灯，有 $x_2 = x_0 + l$ ④

$$x_2 = v_0 \Delta t \quad ⑤$$

联立④⑤式，代入数据解得 $\Delta t = 2 \text{ s}$.

答案 (1)30 m (2)2 s

专题一 对运动图象的剖析及应用

一、“三类”运动图象的比较

1. 位移—时间($x-t$)图象

(1)位移是矢量，故位移—时间图象上只能表示物体运动的两个方向； t 轴上方代表的是正方向， t 轴下方代表的负方向；位移—时间图象只能描述物体做直线运动的情况，如果物体做曲线运动，则画不出位移—时间图象。

(2)位移—时间图象没有时间 t 的负轴，因时间没有负值，画图时要注意这一点。

(3)位移—时间图象中，图线上每一点的斜率代表该点的速度，斜率的大小表示速度的大小，斜率的正负表示物体速度的方向。

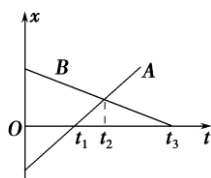


图 1

【典例 1】图 1 是 A、B 两运动物体的位移—时间图象。下列说法正确的是()。

- A. 两物体在同一直线上运动
- B. 两物体在 t_2 时刻相遇
- C. 两物体向相同的方向运动
- D. 如果以正方向为前方，开始计时时物体 B 在物体 A 的前方

解析 题目明确指出物体的图象是位移—时间图象，由图象的特点可以知道，两物体做的是在同一直线上的运动，且在 t_2 时刻两物体相遇。因 A 物体运动图线的斜率为正值，即 A 物体的速度是正的，沿正方向运动；物体 B 运动图线的斜率是负的，即物体 B 的速度是负的，沿负方向运动。以正方向为前方，物体 A 的初始坐标为负，物体 B 的初始坐标为正，所以开始计时时物体 B 在物体 A 的前方。故正确答案为 A、B、D。

答案 ABD

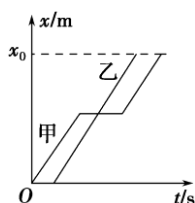


图 2

即学即练 1 甲、乙两车从同一地点出发，向同一方向行驶，它们的 $x-t$ 图象如图 2 所示，则由图可看出()。

- A. 乙比甲先出发，甲比乙先到达距出发点 x_0 处
- B. 甲比乙先出发，乙比甲先到达距出发点 x_0 处
- C. 两车的平均速度相同
- D. 两车行驶时的速度相同

解析 甲车在 $t=0$ 时开始运动，乙比甲后出发，但先到达距出发点 x_0 处，选项 A 错误，B 正确；甲、乙两车行驶的位移相同，但甲所用时间长，两车的平均速度不相同，选项 C 错误；从题图可以看出，直线的斜率相同，即两车行驶时的速度相同，选项 D 正确。

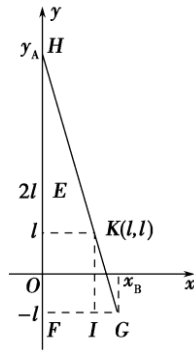
答案 BD

2. 位置坐标图象

表示物体位置的坐标图，图线表示物体的实际运动的路线，在坐标图上能表示出运动物体运动的位移。

【典例 2】(2013 全国新课标 I, 24)水平桌面上有两个玩具车 A 和 B，两者用一轻质细橡皮筋相连，在橡皮筋上有一红色标记 R。在初始时橡皮筋处于拉直状态，A、B 和 R 分别位于直角坐标系中的(0,2l)、

(0, -l)和(0,0)点. 已知 A 从静止开始沿 y 轴正向做加速度大小为 a 的匀加速运动, B 平行于 x 轴朝 x 轴正向匀速运动. 在两车此后运动的过程中, 标记 R 在某时刻通过点(l, l). 假定橡皮筋的伸长是均匀的, 求 B 运动速度的大小.



解析 设 B 车的速度大小为 v. 如图, 标记 R 在时刻 t 通过 K(l, l), 此时 A、B 的位置分别为 H、G. 由运动学公式, H 的纵坐标 y_A 、G 的横坐标 x_B 分别为

$$y_A = 2l + \frac{1}{2}at^2 \quad \text{①}$$

$$x_B = vt \quad \text{②}$$

在刚开始运动时, 标记 R 到 A 和 B 的距离之比为 2:1, 即 $OE:OF = 2:1$

由于橡皮筋的伸长是均匀的, 在以后任一时刻 R 到 A 和 B 的距离之比都为 2:1. 因此, 在时刻 t 有 $HK:KG = 2:1$ ③

由于 $\triangle FGH \sim \triangle IGK$, 有 $HG:KG = x_B:(x_B - l)$ ④

$$HG:KG = (y_A + l):2l \quad \text{⑤}$$

由③④⑤式得, $x_B = \frac{3}{2}l$ ⑥

$$y_A = 5l \quad \text{⑦}$$

联立①②⑥⑦式得, $v = \frac{1}{4}\sqrt{6al}$

答案 $\frac{1}{4}\sqrt{6al}$

即学即练 2 图 3 为甲、乙、丙三个军事小分队进行军事行动的运动图象,

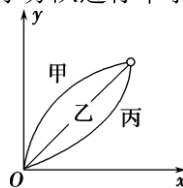


图 3

下列说法正确的是().

- A. 甲、丙两个分队的运动路线为曲线, 乙分队的运动路线为直线
- B. 甲、乙、丙三个分队的位移相等
- C. 甲、乙、丙三个分队的平均速度相等
- D. 甲、乙、丙三个分队运动的路程相等

解析 该图既不是运动物体的位移—时间图象, 也不是速度—时间图象, 而是表示物体位置的坐标图, 图线表示物体的实际运动的路线. 由此可以看出, 甲、丙两个小分队的运动轨迹为曲线, 乙小分队的运动轨迹为直线, 三个小分队的位移一样, 选项 A、B 均正确. 三个小分队的运动时间不一定相等, 选项 C、D 均错误.

答案 AB

3. 速度—时间(v-t)图象

(1)因为速度是矢量，速度—时间图象只能表示物体运动的两个方向， t 轴上方代表正方向， t 轴下方代表负方向，所以速度—时间图象只能描述物体做直线运动的情况。如果物体做曲线运动，则画不出物体的速度—时间图象。

(2)速度—时间图象没有时间 t 的负轴，因时间没有负值，画图时要注意这一点。

【典例3】(2013 青岛质检)

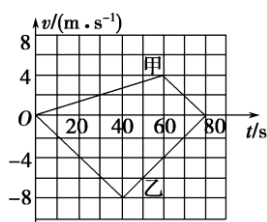


图 4

甲、乙两辆汽车在平直公路上的同一地点，同时出发，分别向相反方向做如图 4 所示的运动，则下列关于汽车运动的描述正确的是()。

- A. 前 80 s，乙车平均速度是甲车平均速度的四倍
- B. 70 s 末，甲乙两车的加速度大小相等、方向相同
- C. 60 s 末，两车相距最远
- D. 80 s 末，两车相距最远

解析 前 80 s 内，乙车的位移大小是甲车位移大小的两倍，故乙车平均速度是甲车平均速度的两倍，A 项错；由图象知，70 s 末甲、乙两车的加速度大小相等、方向相反，B 项错；80 s 末两车相距最远，C 项错、D 项正确。

答案 D

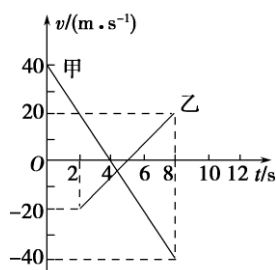


图 5

即学即练 3 如图 5 所示是甲、乙两质点从同一地点沿同一直线运动的 $v-t$ 图线。关于两质点在 0~8 s 内的运动，下列说法正确的是()。

- A. 甲、乙两质点都在做匀速直线运动
- B. 甲、乙图线交点对应的时刻两质点速度相等，且相距最远
- C. 乙质点距离出发点的最远距离为 80 m
- D. 甲、乙两质点在 $t=8$ s 时同时回到出发点

解析 由 $v-t$ 图可知甲质点的运动是匀变速直线运动，乙质点从 2 s 时刻开始做匀变速直线运动，A 错；甲质点的加速度大小为 $a_1 = 10 \text{ m/s}^2$ ，乙的加速度大小为 $a_2 = \frac{20}{3} \text{ m/s}^2$ ，设向右运动为正方向，图线交点时刻为 t_0 时刻，则甲在前 4 s 内向右运动，4 s 时刻到 t_0 时刻向左运动，乙在 2~5 s 时间内向左运动，前 4 s 时间内甲向右运动而乙向左运动，距离越来越大，4 s 时刻到 t_0 时刻这段时间内甲、乙运动方向均向左，但甲的速度小于乙的速度，故继续拉大距离，直到 t_0 时刻以后开始缩小距离，故 B 对；乙质点在前 5 s 内向左运动，之后向右运动，故乙质点在 5 s 时刻距离出发点最远，由乙图线与坐标轴围成的面积可知乙质点离出发点最远距离为 $\frac{1}{2} \times 3 \times 20 \text{ m} = 30 \text{ m}$ ，C 错；由图线与坐标轴围成的面积可知，在 8 s 内甲运动的位移为零，乙运动的位移也为零，故 D 对。

答案 BD

二、图象问题的解题思想

用图象来描述两个物理量之间的关系,是物理学中常用的方法.是一种直观且形象的语言和工具.它运用数和形的巧妙结合,恰当地表达各种现象的物理过程和物理规律.运用图象解题的能力可归纳为以下两个方面:

1. 读图

即从图象中获取有用信息作为解题的条件,弄清试题中图象所反映的物理过程及规律,从中获取有效信息,通常情况下,需要关注的特征量有三个层面:

第一层:关注横坐标、纵坐标的物理意义

- (1)确认横坐标、纵坐标对应的物理量各是什么.
- (2)坐标轴物理量的单位也是不能忽视的.
- (3)注意图象是否过坐标原点.

第二层:关注斜率、面积、截距的物理意义

- (1)图线的斜率:不同坐标系中,斜率表示的物理意义不同.
- (2)面积:由图线、横轴及图线上某两点到横轴的垂线段围成的几何图形的面积或由横轴、纵轴及图线上某点到两轴的垂线段围成的矩形的面积.
- (3)截距:图线在纵轴上以及横轴上的截距.

第三层:重视交点、转折点、渐近线

- (1)交点:往往是解决问题的切入点.
- (2)转折点:满足不同的函数关系式,对解题起关键作用.
- (3)渐近线:往往可以利用渐近线求出该物理量的极值和它的变化趋势.

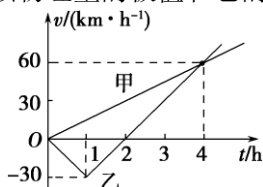
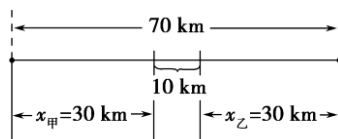


图 6

【典例 4】 $t=0$ 时,甲、乙两辆汽车从相距 70 km 的两地开始相向行驶,它们的 $v-t$ 图象如图 6 所示.忽略汽车掉头所需时间.下列对汽车运动状况的描述正确的是().

- A. 在第 1 小时末,乙车改变运动方向
- B. 在第 2 小时末,甲、乙两车相距 10 km
- C. 在前 4 小时内,乙车运动加速度的大小总比甲车的大
- D. 在第 4 小时末,甲、乙两车相遇



解析 第 1 小时末,图象上的拐点并不表示运动方向改变,而表示由匀加速变为匀减速,故 A 错;由 0~2 小时末甲、乙两图线围成的面积可知,乙车位移为 30 km,甲车位移也是 30 km,由图可知,此时两车相距 10 km,故 B 正确;

$v-t$ 图象的斜率表示加速度,从斜率可以看出,4 小时内乙车加速度一直比甲车加速度大,故 C 正确;

$v-t$ 图象的交点不表示相遇,只表示速度相等,由图象围成的面积知,甲的位移为 120 km,乙的位移为 30 km,原来相距 70 km,最后相距 20 km,故 D 错.

答案 BC

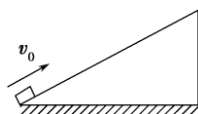
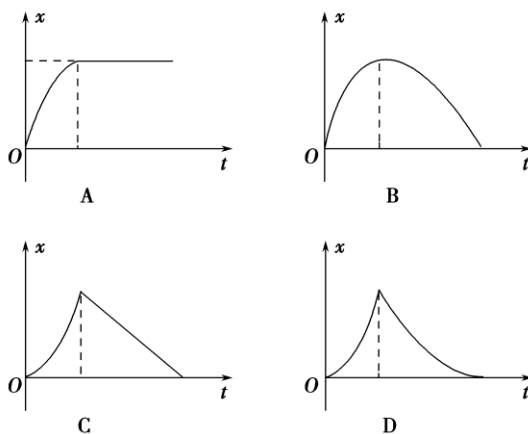


图 7

即学即练 4 如图 7 所示,物体以初速度 v_0 冲上足够长的粗糙斜面,下列图中关于物体位移 x 与时间 t 关系的图象可能正确的是().



答案 AB

2. 作图和用图

依据物体的状态或物理过程所遵循的物理规律，作出与之对应的示意图或数学函数图象来研究和处理问题。

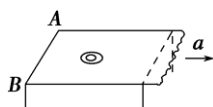
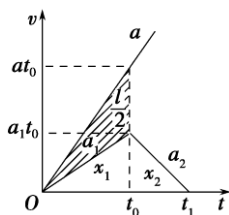


图 8

【典例 5】一小圆盘静止在桌布上，位于一方桌的水平桌面的中央。桌布的一边与桌的 AB 边重合，如图 8 所示。已知盘与桌布间的动摩擦因数为 μ_1 ，盘在桌面间的动摩擦因数为 μ_2 。现突然以恒定加速度 a 将桌布抽离桌面，加速度的方向是水平的且垂直于 AB 边。若圆盘最后未从桌面掉下，则加速度 a 满足的条件是什么？(用 g 表示重力加速度)



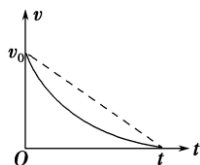
解析 由题意可知，桌布以加速度 a 在水平方向做匀加速直线运动，圆盘先在桌布上做匀加速直线运动，后脱离桌布在桌面上做匀减速直线运动，最后静止在桌面上。由此可知在 $v-t$ 图上画出桌布、圆盘运动的图象。设桌子的边长为 l ，桌布在 t_0 时间内的位移为 $x_{\text{布}}$ ，圆盘在桌布上做匀加速运动的位移为 x_1 ，在桌面上做匀减速运动的位移为 x_2 ，由图可知： $x_{\text{布}} - x_1 = \frac{l}{2}$ ， $x_1 + x_2 \leq \frac{l}{2}$ 。

且 $x_{\text{布}} = \frac{1}{2}at_0^2$ ， $x_1 = \frac{1}{2}a_1t_0^2$ ， $x_2 = \frac{a_1t_0^2}{2a_2}$ ， $a_1 = \mu_1g$ ， $a_2 = \mu_2g$ 。由以上各式得： $a \geq \left(2 + \frac{\mu_1}{\mu_2}\right)\mu_1g$ 。

答案 $a \geq \left(2 + \frac{\mu_1}{\mu_2}\right)\mu_1g$

即学即练 5 某同学欲估算飞机着陆时的速度，他假设飞机在平直跑道上做匀减速运动，飞机在跑道上滑行的距离为 x ，从着陆到停下来所用的时间为 t ，实际上，飞机的速度越大，所受的阻力越大，则飞机着陆时的速度应是()。

A. $v = \frac{x}{t}$ B. $v = \frac{2x}{t}$ C. $v > \frac{2x}{t}$ D. $\frac{x}{t} < v < \frac{2x}{t}$



解析 由题意知，当飞机的速度减小时，所受的阻力减小，因而它的加速度会逐渐变小。画出相应的 $v-t$ 图象大致如图所示。

根据图象的意义可知，实线与坐标轴包围的面积为 x ，虚线(匀减速运动)下方的“面积”表示的位移为 $\frac{v}{2}t$ 。应有 $\frac{v}{2}t > x$ ，所以 $v > \frac{2x}{t}$ ，所以选项 C 正确。

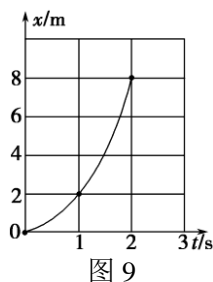
答案 C

专题强化练一

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 位移—时间图象问题

1. (2013 西安模拟)(单选)一个质点沿 x 轴做匀加速直线运动。其位移—时间图象如图 9 所示，则下列说法正确的是()。

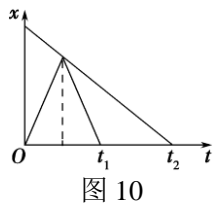


- A. 该质点的加速度大小为 2 m/s^2
- B. 该质点在 $t=1 \text{ s}$ 时的速度大小为 2 m/s
- C. 该质点在 $t=0$ 到 $t=2 \text{ s}$ 时间内的位移大小为 6 m
- D. 该质点在 $t=0$ 时速度为零

解析 质点做匀加速直线运动，设 $t=0$ 时质点的速度为 v_0 ，加速度为 a ，由图象知 $t_1=1 \text{ s}$ 时， $x_1=2 \text{ m}$ ； $t_2=2 \text{ s}$ 时， $x_2=8 \text{ m}$ ，利用公式 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 得： $x_1=v_0t_1+\frac{1}{2}at_1^2$ ， $x_2=v_0t_2+\frac{1}{2}at_2^2$ ，代入数据解得 $a=4 \text{ m/s}^2$ ， $v_0=0$ ， $t=1 \text{ s}$ 时的速度大小为 4 m/s ，故只有 D 正确。

答案 D

2. (2013 盐城模拟)(多选)一条东西方向的平直公路边上有两块路牌 A、B，A 在西 B 在东，一辆匀速行驶的汽车自东向西经过 B 路牌时，一只小鸟恰自 A 路牌向 B 匀速飞去，小鸟飞到汽车正上方立即折返，以原速率飞回 A，过一段时间后，汽车也行驶到 A。以向东为正方向，它们的位移—时间图象如图 10 所示，图中 $t_2=2t_1$ ，由图可知()。



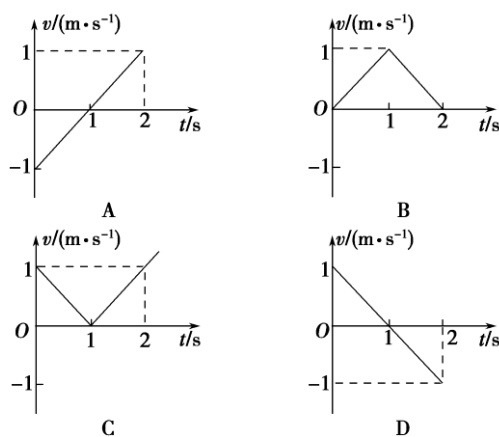
- A. 小鸟的速率是汽车速率的两倍
- B. 相遇时小鸟与汽车位移的大小之比是 3:1
- C. 小鸟飞行的总路程是汽车的 1.5 倍
- D. 小鸟和汽车在 $0\sim t_2$ 时间内位移相等

解析 设 A、B 之间的距离为 x 。由 $t_2=2t_1$ ，结合图象可知，小鸟与汽车相遇时，汽车的位移大小为 $\frac{x}{4}$ ，小鸟的位移大小为 $\frac{3}{4}x$ ，故 A 错误，B 正确；小鸟飞行的总路程为 $\frac{6}{4}x=1.5x$ ，C 正确；小鸟在 $0\sim t_2$ 时间内的位移为零，而汽车在 $0\sim t_2$ 时间内位移大小为 x ，故 D 错误。

答案 BC

题组二 速度—时间图象问题

3. (多选)四个质点做直线运动，它们的速度图象分别如下图所示，在 2 s 末能回到出发点的是()。



解析 根据速度 - 时间图象所围的“面积”表示位移，时间轴以上的“面积”表示正向位移，时间轴以下的“面积”表示负向位移，总位移为两位移的代数和，可知 A、D 正确，B、C 错误。

答案 AD

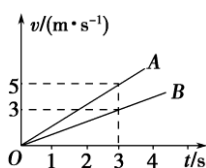


图 11

4. (2013 龙岩质检)(单选)A 和 B 两物体在同一直线上运动的 $v-t$ 图线如图 11 所示. 已知在第 3 s 末两个物体在途中相遇, 则下列说法正确的是().

- A. 两物体从同一地点出发
- B. 出发时 B 在 A 前 3 m 处
- C. 3 s 末两个物体相遇后, 两物体可能再相遇
- D. 运动过程中 B 的加速度大于 A 的加速度

解析 由 $v-t$ 图线与横轴所围面积表示位移可知, 在第 3 s 末物体 A 的位移比物体 B 的位移大 3 m, 所以出发时 B 在 A 前 3 m 处, 两物体不是从同一地点出发, 选项 B 正确, A 错误; 3 s 末两个物体相遇后, 两物体不可能再相遇, 选项 C 错误; $v-t$ 图线的斜率表示加速度, 运动过程中 A 的加速度大于 B 的加速度, 选项 D 错误.

答案 B

5. (2013 银川模拟)(单选)如图 12 所示, 是从同一地点同时开始沿同一直线运动的两个物体 I、II 的 $v-t$ 图象. 在 $0 \sim t_2$ 时间内, 下列说法中正确的是().

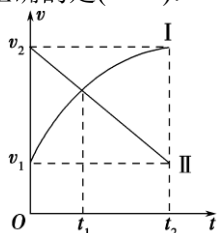


图 12

- A. I 物体所受的合外力不断增大, II 物体所受的合外力不断减小
- B. 在第一次相遇之前, t_1 时刻两物体相距最远
- C. t_2 时刻两物体相遇
- D. I、II 两个物体的平均速度大小都是 $\frac{v_1+v_2}{2}$

解析 物体的加速度在 $v-t$ 图象中是每点对应切线的斜率, 可知 I 物体的加速度一直在减小, 合外力不断减小, II 物体加速度不变, 所受合外力不变, A 错误; 由图象可知, 在第一次相遇之前, t_1 时刻两

物体相距最远， t_2 时刻两物体不相遇，B 正确，C 错误；I 物体的平均速度大于 $\frac{v_1 + v_2}{2}$ ，D 错误。

答案 B

6. 酒后驾车严重威胁公众交通安全。若将驾驶员从视觉感知前方危险到汽车开始制动的时间内称为反应时间，将反应时间和制动时间内汽车行驶的总距离称为感知制动距离。科学研究发现，反应时间和感知制动距离在驾驶员饮酒前后会发生明显变化。一驾驶员正常驾车和酒后驾车时，感知前方危险后汽车运动 $v-t$ 图线分别如图 13 甲、乙所示。求：

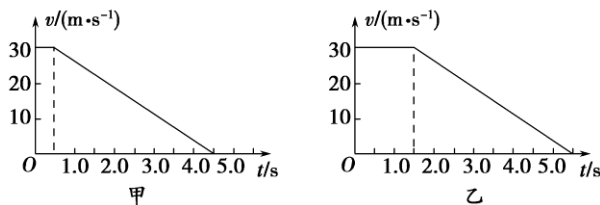


图 13

- (1) 正常驾驶时的感知制动距离 x ；
 (2) 酒后驾驶时的感知制动距离比正常驾驶时增加的距离 Δx 。

解析 (1) 设驾驶员饮酒前、后的反应时间分别为 t_1 、 t_2 ，由图线可得： $t_1 = 0.5 \text{ s}$ $t_2 = 1.5 \text{ s}$

汽车减速时间为 $t_3 = 4.0 \text{ s}$

初速度 $v_0 = 30 \text{ m/s}$

由图线可得： $x = v_0 t_1 + \frac{v_0 + 0}{2} t_3$

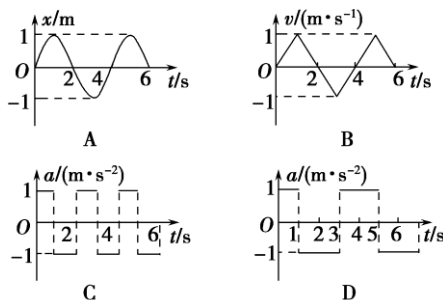
解得： $x = 75 \text{ m}$

(2) $\Delta x = v_0(t_2 - t_1) = 30 \times (1.5 - 0.5) \text{ m} = 30 \text{ m}$

答案 (1) 75 m (2) 30 m

题组三 运动图象的综合问题

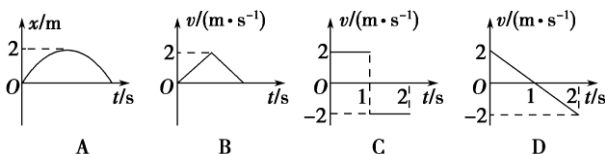
7. (单选) 某同学在学习了动力学知识后，绘出了一个沿直线运动的物体的加速度 a 、速度 v 、位移 x 随时间变化的图象如下图所示，若该物体在 $t=0$ 时刻，初速度均为零，则下列图象中表示该物体沿单一方向运动的图象是()。



解析 A 项位移正负交替，说明物体做往复运动；B 项物体先做匀加速运动，再做匀减速运动，然后做反向匀加速运动，再做反向匀减速运动，周而复始；C 项表示物体先做匀加速运动，再做匀减速运动，循环下去，物体始终单向运动，C 正确；D 项从面积判断物体速度有负值出现，不是单向运动。

答案 C

8. (单选) 下列所给的图象中能反映做直线运动的物体不会回到初始位置的是()。



解析 A 选项为位移—时间图象，图线与 t 轴相交的两个时刻即为相同的初始位置，说明物体回到了初始位置；B、C、D 选项中的图象均为速度—时间图象，要回到初始位置，则 t 轴上方的图线与坐标

轴围成的面积和 t 轴下方的图线与坐标轴围成的面积相等，显然 B 选项中只有 t 轴上方的面积，故 B 选项表示物体一直朝一个方向运动，不会回到初始位置，而 C、D 选项在 $t=2\text{ s}$ 时刻，物体回到了初始位置，故选 B.

答案 B

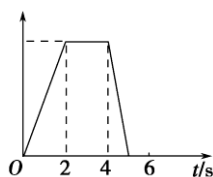


图 14

9. (多选)如图 14 所示的图象表示做直线运动的某一物体在 $0\sim 5\text{ s}$ 内的运动情况，由于画图人粗心未标明此图是 $v-t$ 图还是 $x-t$ 图，但已知第 1 s 内的速度小于第 3 s 内的速度，则下列说法正确的是 ()。

- A. 该图一定是 $v-t$ 图
- B. 该图一定是 $x-t$ 图
- C. 在这 5 s 内，物体的速度越来越大
- D. 在这 5 s 内，物体的位移越来越大

解析 若该图是 $x-t$ 图象，则图象的斜率表示速度，根据题图，该图线在第 1 s 内的斜率不为零，而第 3 s 内的斜率为零，说明物体在第 1 s 内的速度大于第 3 s 内的速度，故该图是 $v-t$ 图，选项 B 错误，A 正确； $v-t$ 图象的纵坐标表示瞬时速度，根据题图，该物体的速度先增大 ($0\sim 2\text{ s}$) 后不变 ($2\sim 4\text{ s}$) 然后再逐渐减小 ($4\sim 5\text{ s}$)，所以选项 C 错误； $v-t$ 图象的“面积”表示位移，根据题图，该“面积”越来越大，所以物体的位移越来越大，选项 D 正确。

答案 AD

10. (单选)如图 15 所示为物体做直线运动的 $v-t$ 图象。若将该物体的运动过程用 $x-t$ 图象表示出来(其中 x 为物体相对出发点的位移)，则下列四幅图中描述正确的是 ()。

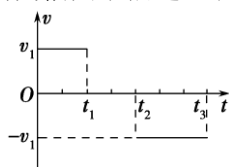
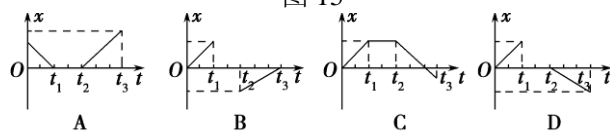


图 15



解析 $0\sim t_1$ 时间内物体沿正向匀速运动，选项 A 错误； $t_1\sim t_2$ 时间内，物体静止，且此时离出发点有一定距离，选项 B、D 错误； $t_2\sim t_3$ 时间内，物体反向运动，且速度大小不变，即 $x-t$ 图象中， $0\sim t_1$ 和 $t_2\sim t_3$ 两段时间内，图线斜率的绝对值相等，选项 C 正确。

答案 C

B 深化训练——提高能力技巧

11. (2013 海南卷, 4)(单选)一物体做直线运动，其加速度随时间变化的 $a-t$ 图象如图 16 所示。下列 $v-t$ 图象中，可能正确描述此物体运动的是 ()。

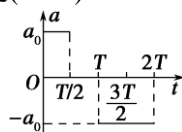
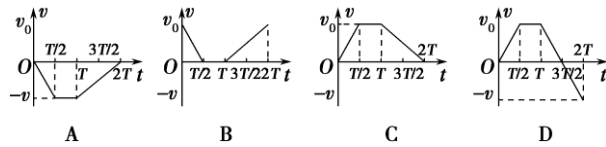


图 16



解析 由 $a-t$ 图象知 $T \sim 2T$ 时间内的加速度跟 $0 \sim \frac{T}{2}$ 时间内的加速度大小相等, 方向相反, 从而排除选项 A、B、C, 本题选 D.

答案 D

12. (多选) A、B 两物体同时同地同向出发, 其运动的 $v-t$ 图象和 $a-t$ 图象如图 17 甲、乙所示, 已知在 $0 \sim t_0$ 和 $t_0 \sim 2t_0$ 两段时间内, A 物体在 $v-t$ 图象中的两段曲线形状相同, 则有关 A、B 两物体的说法中, 正确的为().

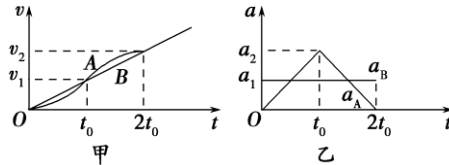


图 17

- A. A 物体先加速后减速
- B. $a_2 = 2a_1$
- C. t_0 时刻, A、B 两物体第一次相遇
- D. $2t_0$ 时刻, A、B 两物体第一次相遇

解析 由题图可知, 虽然 A 物体的加速度先增大后减小, 但速度一直在增大, 所以 A 物体一直在做加速运动; 由 $v-t$ 图象不难判断, 在 $2t_0$ 时刻, A、B 两物体位移相同, 又由于两物体从同地出发, 故两者此时第一次相遇, C 错误、D 正确; 由 $v-t$ 图象可知 $v_2 = 2v_1$, 又由 $a-t$ 图象与时间轴所围面积等于速度的改变量, 可得 $a_2 = 2a_1$, B 正确.

答案 BD

13. (单选) 我国“蛟龙号”深潜器经过多次试验, 终于在 2012 年 6 月 24 日以 7 020 m 深度创下世界最新纪录(国外最深不超过 6 500 m). 预示着可以征服全球 99.8% 的海底世界. 假设在某次试验时, 深潜器内的显示屏上显示出了深潜器从水面开始下潜到最后返回水面这 10 min 内的深度图象(a)和速度图象(b), 如图 18 所示, 则有().

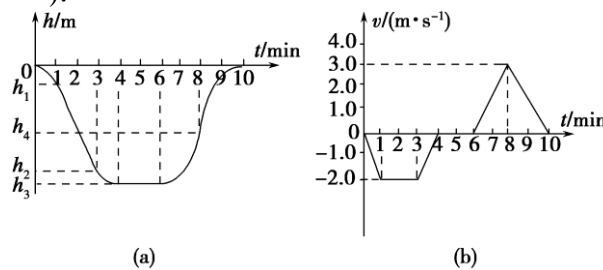


图 18

- A. (a) 图中 h_3 代表本次下潜的最大深度, 应为 60 m
- B. 全过程中最大加速度是 0.025 m/s^2
- C. 超重现象应发生在 3~4 min 和 6~8 min 的时间段内
- D. 整个深潜器在 8~10 min 时间段内机械能守恒

解析 由速度图象(b)可知, (a) 图中 h_3 代表本次下潜的最大深度, 应为 $\frac{(2+4) \times 60}{2} \times 2 \text{ m} = 360 \text{ m}$, A 错误; 全过程中最大加速度为 $\frac{2}{60} \text{ m/s}^2 = 0.033 \text{ m/s}^2$, B 错误; 当深潜器有竖直向上的加速度时, 处于超重状态, 由图(b)可知应发生在 3~4 min 和 6~8 min 的时间段内, C 正确; 整个深潜器在 8~10 min 时间段内减速运动的加速度是 0.025 m/s^2 , 所以机械能不守恒, D 错误.

答案 C

14. 如图 19 甲所示, 在水平地面上固定一倾角为 30° 的光滑斜面, 一劲度系数 $k=100 \text{ N/m}$ 的轻质弹簧, 其下端固定在斜面底端, 整根弹簧足够长且处于自然状态. 质量为 $m=2.0 \text{ kg}$ 的滑块从距离弹簧上端 $x_0=0.35 \text{ m}$ 处由静止释放. 设滑块与弹簧接触过程系统没有机械能损失, 弹簧始终处在弹性限度内, 取重力加速度大小为 $g=10 \text{ m/s}^2$. 规定滑块释放处为坐标原点、沿斜面向下为位移 x 正向.

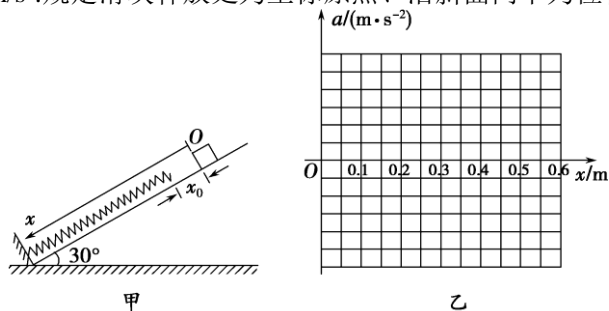
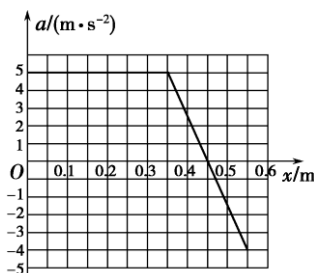


图 19

(1)请在图乙所示的坐标纸上画出滑块下滑位移在 0.55 m 范围内, 滑块加速度 a 随位移 x 变化的图象(即 $a-x$ 图象);

(2)由 $a-x$ 图象求出滑块下滑速度的最大值 v_m .

解析 (1)当滑块下滑位移 $x \leq x_0$ 时, 其加速度大小为 $a = g \sin 30^\circ = 5 \text{ m/s}^2$; 当滑块下滑位移大于 x_0 时, 其加速度大小为 $a = \frac{mg \sin 30^\circ - k(x - x_0)}{m} = (22.5 - 50x) \text{ m/s}^2$. 所以, $a-x$ 图象如图所示.



(2)由 $a-x$ 图象可以看出, 滑块下滑位移 $x \leq 0.45 \text{ m}$ 时, 滑块加速下滑, 当 $x = 0.45 \text{ m}$ 时, 滑块加速度为零, 此时速度最大. 由运动学公式可以推得 $v_m^2 = 2ax$, 其中的“ ax ”为 $a-x$ 图象时图线与 x 轴包围的

“面积”, 由此可求得滑块下滑速度的最大值为: $v_m = \sqrt{(5 \times 0.35 + \frac{5 \times 0.1}{2}) \times 2} \text{ m/s} = 2.0 \text{ m/s}$.

答案 (1)见解析 (2)2.0 m/s

实验一 研究匀变速直线运动

基本实验要求

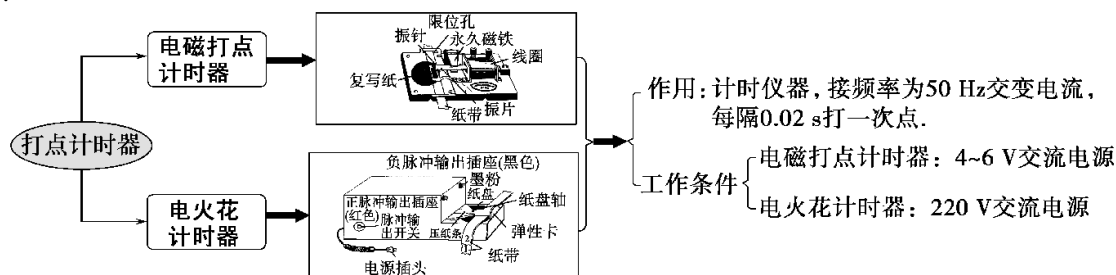
必考必会 必记必做

实验目的

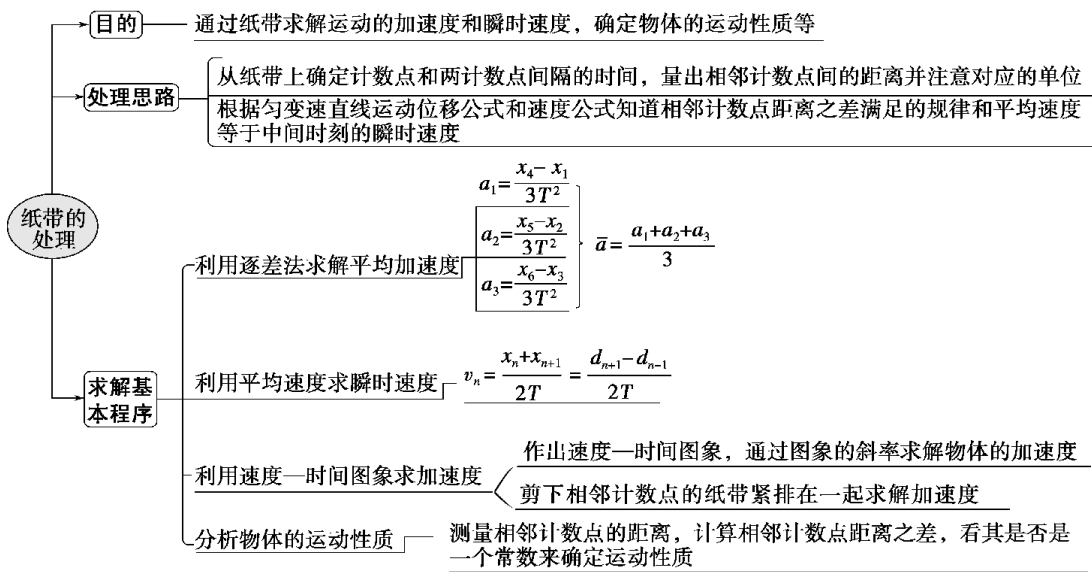
1. 练习正确使用打点计时器.
2. 会利用纸带求匀变速直线运动的瞬时速度、加速度.
3. 会利用纸带探究小车速度随时间变化的规律, 并能画出小车运动的 $v-t$ 图象, 根据图象求加速度.

实验原理

1.

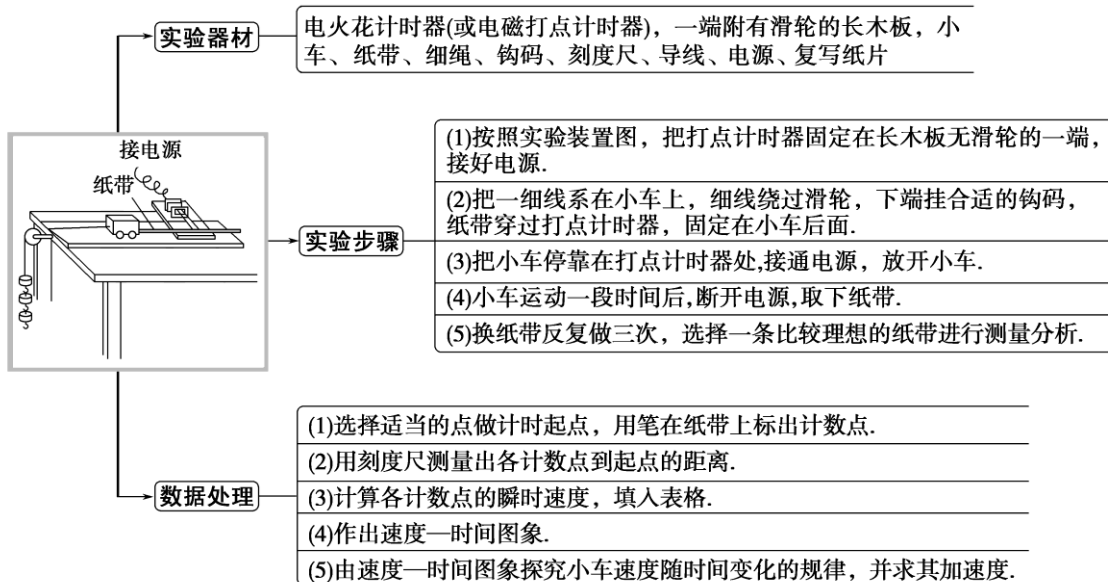


2.



实

验过程



注意事项

1. **平行**：纸带和细绳要和木板平行。
2. **两先两后**：实验中应先接通电源，后让小车运动；实验完毕应先断开电源后取纸带。
3. **防止碰撞**：在到达长木板末端前应让小车停止运动，要防止钩码落地和小车与滑轮相撞。
4. **减小误差**：小车的加速度要适当大些，可以减小长度的测量误差，加速度大小以能在约 50 cm 的纸带上清楚地取出 6~7 个计数点为宜。
5. **纸带选取**
选择一条点迹清晰的纸带，舍弃点密集部分，适当选取计数点。
6. **准确作图**
在坐标纸上，纵、横轴选取合适的单位(避免所描点过密或过疏，而导致误差过大)，仔细描点连线，不能连成折线，应作一条直线，让各点尽量落到这条直线上，落不到直线上的各点应均匀分布在直线的两侧。

实验热点聚焦

考向预测 热点聚焦

热点一 刻度尺的读数

【典例 1】如图 1 所示，用毫米刻度尺测量纸带中的计数点 0、1 之间的距离为_____ mm、0、2

之间的距离为_____ mm,2、3之间的距离为_____ mm.



图 1

解析 毫米刻度尺的最小刻度为 1 mm,读数时要估读到毫米的下一位.计数点 0、1 之间的距离为 8.9 mm(9.0 mm 也可),若读成 8.90 mm 或 9 mm 都是错误的;0、2 之间的距离为 19.5 mm,2、3 之间的距离为 12.5 mm(32.0 mm - 19.5 mm).

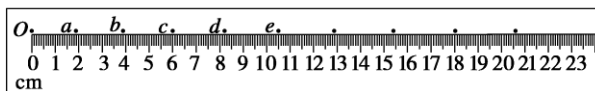
答案 8.9(9.0 也可) 19.5 12.5

反思总结 刻度尺的读数应注意

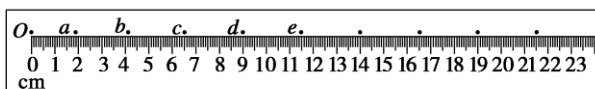
- (1)刻度尺读数时要使刻度线紧贴被测物体,眼睛正对刻度线读数.
- (2)毫米刻度尺的精确度为 1 mm,读数时要估读到最小刻度的下一位.

【跟踪短训】

1. (2013 浙江卷, 21)如图 2 所示,装置甲中挂有小桶的细线绕过定滑轮,固定在小车上;装置乙中橡皮筋的一端固定在导轨的左端,另一端系在小车上.一同学用装置甲和乙分别进行实验,经正确操作获得两条纸带①和②,纸带上的 a、b、c……均为打点计时器打出的点.



纸带①



纸带②

图 2

- (1)任选一条纸带读出 b、c 两点间距离为_____;
- (2)任选一条纸带求出 c、e 两点间的平均速度大小为_____,纸带①和②上 c、e 两点间的平均速度 $\bar{v}_①$ _____ $\bar{v}_②$ (填“大于”、“等于”或“小于”);

(3)图中_____ (填选项字母).

- A. 两条纸带均为用装置甲实验所得
- B. 两条纸带均为用装置乙实验所得
- C. 纸带①为用装置甲实验所得,纸带②为用装置乙实验所得
- D. 纸带①为用装置乙实验所得,纸带②为用装置甲实验所得

解析 (1)由纸带①可读出 b、c 间距为 2.10 cm,由纸带②读出 b、c 间距为 2.40 cm(± 0.05 cm,有效数字位数要准确).

(2)由 $\bar{v} = \frac{x}{t}$, $t = 0.04$ s, $\bar{v}_{ce} = 1.13$ m/s(纸带①)或 1.25 m/s(纸带②), $\bar{v}_① < \bar{v}_②$.

(3)由纸带①各点间距分析可知,小车做匀加速运动,从纸带②各点间距来看,小车开始做加速运动,一段距离后做匀速运动,故可知纸带①是用装置甲实验所得,纸带②是用装置乙实验所得,选 C.

答案 (1)2.10 cm 或 2.40 cm(± 0.05 cm,有效数字位数正确)

(2)1.13 m/s 或 1.25 m/s(± 0.05 m/s,有效数字位数不作要求) 小于

(3)C

热点二 纸带数据处理

【典例 2】 [2013 广东卷, 34(1)]研究小车匀变速直线运动的实验装置如图 3(a)所示, 其中斜面倾角 θ 可调. 打点计时器的工作频率为 50 Hz. 纸带上计数点的间距如图(b)所示, 其中每相邻两点之间还有 4 个记录点未画出.

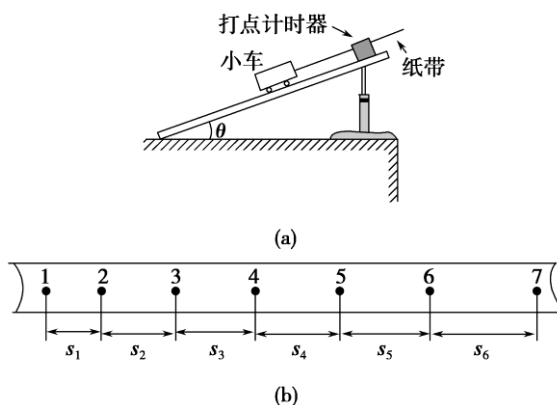


图 3

(1)部分实验步骤如下:

- A. 测量完毕, 关闭电源, 取出纸带
- B. 接通电源, 待打点计时器工作稳定后放开小车
- C. 将小车停靠在打点计时器附近, 小车尾部与纸带相连
- D. 把打点计时器固定在平板上, 让纸带穿过限位孔

上述实验步骤的正确顺序是: _____(用字母填写).

(2)图(b)中标出的相邻两计数点的时间间隔 $T = \underline{\hspace{2cm}}$ s.

(3)计数点 5 对应的瞬时速度大小计算式为 $v_5 = \underline{\hspace{2cm}}$.

(4)为了充分利用记录数据, 减小误差, 小车加速度大小的计算式应为 $a = \underline{\hspace{2cm}}$.

解析 本题是研究小车做匀变速直线运动的实验, 根据一段时间内的平均速度等于中间时刻的瞬时速度及利用逐差法求加速度解决问题.

(1)实验步骤的正确顺序是 D、C、B、A.

(2)电源的工作频率 $f = 50 \text{ Hz}$, 所以打点周期 $T_0 = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} \text{ s} = 0.02 \text{ s}$, 相邻两计数点的时间间隔 $T = 5T_0 = 0.1 \text{ s}$.

(3)计数点 5 对应的瞬时速度等于计数点 4、6 间的平均速度, 故 $v_5 = \frac{s_4 + s_5}{2T}$.

(4)为了减小误差, 计算小车的加速度利用逐差法, 即

$$s_4 - s_1 = 3a_1T^2, \quad s_5 - s_2 = 3a_2T^2, \quad s_6 - s_3 = 3a_3T^2,$$

$$a = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} = \frac{(s_6 + s_5 + s_4) - (s_3 + s_2 + s_1)}{9T^2}.$$

答案 (1)DCBA (2)0.1 (3) $\frac{s_4 + s_5}{2T}$

(4) $\frac{(s_4 + s_5 + s_6) - (s_1 + s_2 + s_3)}{9T^2}$

反思总结

1. 利用纸带判定物体运动的性质

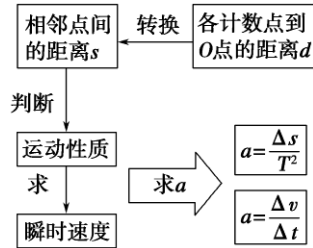
(1)若 s_1 、 s_2 、 s_3 ... 基本相等, 则可判定物体在实验误差允许的范围内做匀速直线运动.

(2)利用 s_1 、 s_2 、 s_3 ... 可以计算出在相邻相等时间间隔内物体的位移差 $s_2 - s_1$ 、 $s_3 - s_2$ 、 $s_4 - s_3$..., 如果它们在实验误差允许的范围内相等, 则可以判定物体做匀变速直线运动.

2. 计算点间的距离

计数点间距离的给定有两种: 相邻点间距离和各计数点到 O 点的距离, 计算时后者要先转换为前者,

如框图所示 .



3. 常见错误

对纸带进行数据处理时，常见的错误有：(1)误认为 $T=0.02\text{ s}$ ，没有注意到图中相邻计数点之间有几个点没画出。(2)没有进行单位换算，图中各数据的单位都是 cm ，应当换算为 m 。

【跟踪短训】

2. [2012 山东卷, 21(1)]某同学利用图 4 甲所示的实验装置，探究物块在水平桌面上的运动规律。物块在重物的牵引下开始运动，重物落地后，物块再运动一段距离停在桌面上(尚未到达滑轮处)。从纸带上便于测量的点开始，每 5 个点取 1 个计数点，相邻计数点间的距离如图乙所示。打点计时器电源的频率为 50 Hz 。

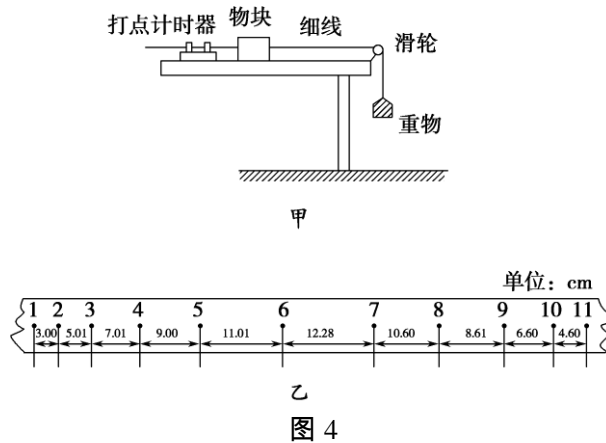


图 4

- (1)通过分析纸带数据，可判断物块在两相邻计数点_____和_____之间某时刻开始减速。
 (2)计数点 5 对应的速度大小为_____ m/s ，计数点 6 对应的速度大小为_____ m/s 。(保留三位有效数字)
 (3)物块减速运动过程中加速度的大小为 $a=$ _____ m/s^2 。

解析 (1)从计数点 1 到 6 相邻的相等时间内的位移差 $\Delta x \approx 2.00\text{ cm}$ ，在 6、7 计数点间的位移比 5、6 之间增加了 $(12.28 - 11.01)\text{cm} = 1.27\text{ cm} < 2.00\text{ cm}$ ，因此，开始减速的时刻在计数点 6 和 7 之间。

(2)计数点 5 对应的速度大小为

$$v_5 = \frac{x_4 + x_5}{2T} = \frac{(9.00 + 11.01) \times 10^{-2}}{2 \times 0.1} \text{ m/s} = 1.00 \text{ m/s}.$$

计数点 4 对应的速度大小为

$$v_4 = \frac{x_3 + x_4}{2T} = \frac{(7.01 + 9.00) \times 10^{-2}}{2 \times 0.1} \text{ m/s} = 0.80 \text{ m/s}.$$

根据 $v_5 = \frac{v_4 + v_6}{2}$ ，得计数点 6 对应的速度大小为 $v_6 = 2v_5 - v_4 = (2 \times 1.00 - 0.80)\text{m/s} = 1.20\text{ m/s}$ 。

(3)物块在计数点 7 到 11 之间做减速运动，根据 $\Delta x = aT^2$ 得 $x_9 - x_7 = 2a_1T^2$

$$x_{10} - x_8 = 2a_2T^2$$

$$\text{故 } a = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{(x_9 + x_{10}) - (x_8 + x_7)}{2 \times 2T^2} \approx -2.00 \text{ m/s}^2.$$

答案 (1)6 7(或 7 6) (2)1.00 1.20 (3)2.00

探究高考命题视角

以本实验为背景，通过改变实验条件、实验仪器设置题目，不脱离教材而又不拘泥教材，体现开放性、探究性等特点。

视角 1 实验器材的改进

①为了保证小车真正做匀加速直线运动，用气垫导轨 $\xrightarrow{\text{替代}}$ 长木板

②用频闪照相或光电计时 $\xrightarrow{\text{替代}}$ 打点计时器

视角 2 在新情景下完善实验步骤及数据分析

【典例 3】(2013 江苏卷·11)某兴趣小组利用自由落体运动测定重力加速度，实验装置如图 5 所示。倾斜的球槽中放有若干个小铁球，闭合开关 K，电磁铁吸住第 1 个小球。手动敲击弹性金属片 M，M 与触头瞬间分开，第 1 个小球开始下落，M 迅速恢复，电磁铁又吸住第 2 个小球。当第 1 个小球撞击 M 时，M 与触头分开，第 2 个小球开始下落……这样，就可测出多个小球下落的总时间。

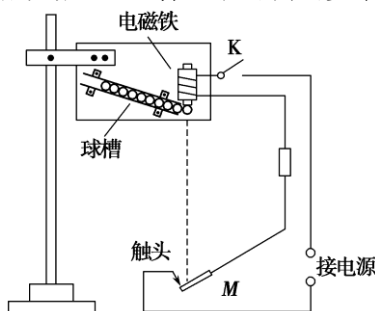


图 5

(1)在实验中，下列做法正确的有_____。

- A. 电路中的电源只能选用交流电源
- B. 实验前应将 M 调整到电磁铁的正下方
- C. 用直尺测量电磁铁下端到 M 的竖直距离作为小球下落的高度
- D. 手动敲击 M 的同时按下秒表开始计时

(2)实验测得小球下落的高度 $H=1.980\text{ m}$ ，10 个小球下落的总时间 $T=6.5\text{ s}$ 。可求出重力加速度 $g=$ _____ m/s^2 。(结果保留两位有效数字)

(3)在不增加实验器材的情况下，请提出减小实验误差的两个办法。

(4)某同学考虑到电磁铁在每次断电后需要时间 Δt 磁性才消失，因此，每个小球的实际下落时间与它的测量时间相差 Δt ，这导致实验误差。为此，他分别取高度 H_1 和 H_2 ，测量 n 个小球下落的总时间 T_1 和 T_2 。他是否可以利用这两组数据消除 Δt 对实验结果的影响？请推导说明。

解析 根据自由落体运动的规律 $h=\frac{1}{2}gt^2$ 解决问题。

(1)若电源选用直流电源，电磁铁可正常工作，选项 A 错误；实验时小球要撞击 M 断开电源，因此 M 应在电磁铁的正下方，选项 B 正确；小球下落的高度为电磁铁下端到 M 的竖直距离与小球直径的差，选项 C 错误；根据 $H=\frac{1}{2}gt^2$ ， t 可利用累积法，即从手动敲击 M 的同时开始计时，测量出落下 n 个小球的时间 T ，则一个小球下落时间 $t=\frac{T}{n}$ ，选项 D 正确。

(2)根据 $H=\frac{1}{2}gt^2$ 和 $t=\frac{T}{n}$ ，解得

$$g = \frac{2H}{t^2} = \frac{2n^2H}{T^2} = \frac{2 \times 10^2 \times 1.980}{6.5^2} \text{ m/s}^2 \approx 9.4 \text{ m/s}^2.$$

(3)要减小实验误差，可以适当增大小球下落的高度，并多次测量取平均值。

(4)根据题意，小球从 H_1 、 H_2 高处落下需要的时间 $t_1 = \frac{T_1}{n} - \Delta t$ 和 $t_2 = \frac{T_2}{n} - \Delta t$ ，根据 $H = \frac{1}{2}gt^2$ 得 $H_1 = \frac{1}{2}$

$$g\left(\frac{T_1}{n} - \Delta t\right)^2 \text{ 和 } H_2 = \frac{1}{2}g\left(\frac{T_2}{n} - \Delta t\right)^2$$

解得 $g = \frac{2n^2(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})^2}{(T_1 - T_2)^2}$ ，因此可以消除 Δt 的影响。

答案 (1)BD (2)9.4

(3)增加小球下落的高度；多次重复实验，结果取平均值。(其他答案只要合理也可)

(4)可以消除 Δt 对实验结果的影响，推导过程见解析

【探究跟踪】

(1)在 DIS 系统中，光电门测量的是运动物体挡光时间内的平均速度，因为挡光片较窄，所以可看作测量的是瞬时速度。为了测量做匀变速直线运动的小车的加速度，将宽度均为 b 的挡光片 A、B 固定在小车上，如图 6 所示。当小车做匀变速运动经过光电门时，测得 A、B 先后挡光的时间分别为 Δt_1 和 Δt_2 ，A、B 开始挡光时刻的间隔为 t ，则 A、B 先后经过光电门时的速度分别为_____，_____；小车的加速度 $a = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

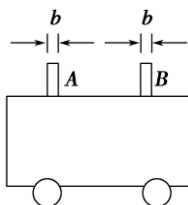


图 6

(2)如图 7 所示为用打点计时器研究小车运动情况的装置：实验时由静止释放钩码，小车开始做匀加速直线运动，在小车进入布面前钩码已经落地了，小车在平玻璃板上做匀速直线运动，后来在布面上做匀减速直线运动，所打出的纸带的一部分如图 8 所示，纸带上相邻两点对应的时间间隔为 $T = 0.02 \text{ s}$ ，试分析：(以下结果均保留三位有效数字)

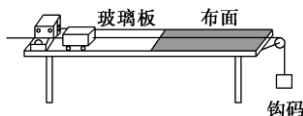


图 7

①由图 8 可知，小车在玻璃板上做匀速运动的速度大小为 $v = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}$ ；打点计时器打下计数点 D 时小车的瞬时速度 $v_D = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}$ 。

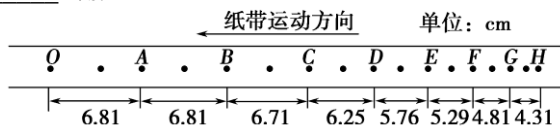


图 8

②根据纸带得到了如图 9 所示的 $v-t$ 图象，则小车做匀减速直线运动时的加速度为 $a = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}^2$ 。

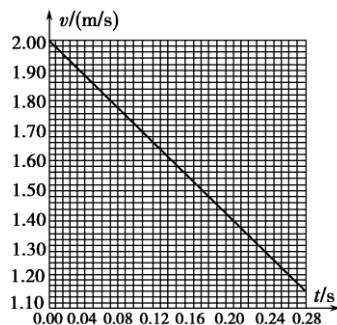


图 9

解析 (1)光电门测量的是运动物体挡光时间内的平均速度，因为挡光片较窄，所以可看作测量的是瞬时速度。A、B 先后经过光电门时的速度分别为 $v_A = \frac{b}{\Delta t_1}$ ， $v_B = \frac{b}{\Delta t_2}$ ；

$$\text{小车的加速度 } a = \frac{v_B - v_A}{t} = \frac{b}{t} \left(\frac{1}{\Delta t_2} - \frac{1}{\Delta t_1} \right)$$

(2)①由纸带知小车在 OB 段做匀速直线运动, 此时的速度为 $v = \frac{s_{OA}}{2T} = \frac{6.81 \times 10^{-2}}{2 \times 0.02} \text{ m/s} = 1.70 \text{ m/s}$; 由

匀变速直线运动规律有

$$v_D = \frac{s_{DE} + s_{CD}}{4T} = \frac{(5.76 + 6.25)}{4 \times 0.02} \times 10^{-2} \text{ m/s} = 1.50 \text{ m/s}.$$

② $v-t$ 图象的斜率表示加速度, 为求直线的斜率, 可在直线上取两个距离较远的点, 如(0.104, 1.68)

和(0.192, 1.42), 则加速度为 $a = k = \frac{1.68 - 1.42}{0.104 - 0.192} \text{ m/s}^2 = -2.95 \text{ m/s}^2$.

答案 (1) $\frac{b}{\Delta t_1}$ $\frac{b}{\Delta t_2}$ $\frac{b}{t} \left(\frac{1}{\Delta t_2} - \frac{1}{\Delta t_1} \right)$

(2)① 1.70 1.50 ② -2.95

随堂达标演练

通关达标 技能提升

1. (2013 咸阳模拟)在“测定匀变速直线运动加速度”的实验中:

(1)除打点计时器(含纸带、复写纸)、小车、一端附有滑轮的长木板、细绳、钩码、导线及开关外, 在下面的仪器和器材中, 必须使用的有_____。(填选项代号)

- A. 电压合适的 50 Hz 交流电源
- B. 电压可调的直流电源
- C. 刻度尺
- D. 秒表
- E. 天平

(2)实验过程中, 下列做法正确的是_____.

- A. 先接通电源, 再使纸带运动
- B. 先使纸带运动, 再接通电源
- C. 将接好纸带的小车停在靠近滑轮处
- D. 将接好纸带的小车停在靠近打点计时器处

(3)如图 10 所示为一次实验得到的一条纸带, 纸带上每相邻的两计数点间都有 4 个点未画出, 按时间顺序取 0、1、2、3、4、5、6 共 7 个计数点, 测出 1、2、3、4、5、6 点到 0 点的距离, 如图所示(单位: cm). 由纸带数据计算可得计数点 4 所代表时刻的瞬时速度大小 $v_4 =$ _____m/s, 小车的加速度大小为_____m/s².(保留二位有效数字)

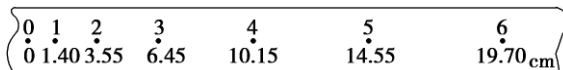


图 10

解析 (1)打点计时器应使用交流电源, 测量位移需用到刻度尺.

(2)为充分利用纸带和实验的顺利进行, 可知 A、D 正确.

(3)相邻计数点之间都还有 4 个点未画出, 说明相邻计数点之间的时间间隔是 0.1 s. 由全程的平均速度等于中间时刻的瞬时速度得 $v_4 = \frac{(14.55 - 6.45) \times 10^{-2}}{2 \times 0.1} \text{ m/s} \approx 0.41 \text{ m/s}$.

$$v_4 = \frac{(14.55 - 6.45) \times 10^{-2}}{2 \times 0.1} \text{ m/s} \approx 0.41 \text{ m/s}.$$

$$\text{由 } \Delta x = aT^2 \text{ 得 } a = \frac{(19.70 - 6.45) - 6.45}{9 \times 0.1^2} \times 10^{-2} \text{ m/s}^2 \approx 0.76 \text{ m/s}^2$$

答案 (1)AC (2)AD (3)0.41 0.76

2. (2013 淮阴中学测试)在研究某小车运动状态的实验中, 如图 11 所示为一次记录小车运动情况的纸带, 图中 A、B、C、D 为依次打下的相邻的计数点, 且相邻计数点间的时间间隔 $T=0.1 \text{ s}$.

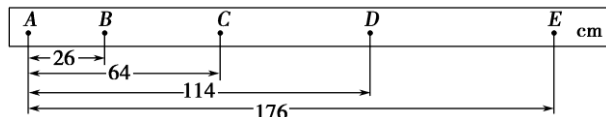


图 11

(1)由纸带可以判定小车做_____运动, 因为: _____

(2)根据纸带可以计算 C 点的瞬时速度, $v_C =$ _____ m/s.

(3)根据纸带可以计算出该小车的加速度大小为 $a =$ _____ m/s^2 .

解析 由纸带分析可得小车在连续相等的时间间隔内的相邻位移之差恒定, 所以小车做匀加速直线

运动; $v_C = \frac{BC + CD}{2T} = 4.4 \text{ m/s}$, $a = \frac{CD - BC}{T^2} = 12 \text{ m/s}^2$.

答案 (1)匀加速直线 小车在连续相等的时间间隔内的相邻位移之差恒定 (2)4.4 (3)12

3. 如图 12 所示为一次记录小车运动情况的纸带, 图中 A、B、C、D、E、F、G 为相邻的计数点, 相邻计数点的时间间隔 $T = 0.1 \text{ s}$.

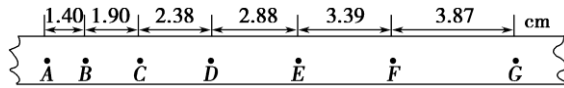


图 12

(1)在如图 13 所示的坐标系中作出小车的 $v-t$ 图线.

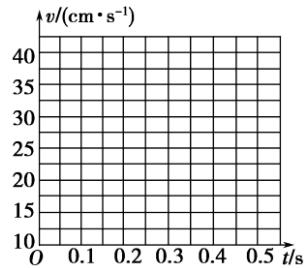


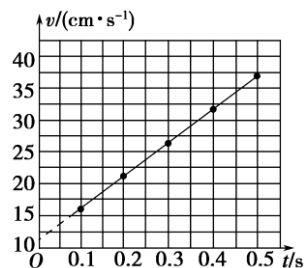
图 13

(2) 将图线延长与纵轴相交, 交点的速度大小是_____ cm/s , 此速度的物理意义是_____.

(3)小车的加速度大小是_____.

解析 (1)应用 $v_n = \frac{x_n + x_{n+1}}{2T}$, 求出计数点 B、C、D、E、F 对应的速度为 $v_B = 16.50 \text{ cm/s}$, $v_C = 21.40$

cm/s , $v_D = 26.30 \text{ cm/s}$, $v_E = 31.35 \text{ cm/s}$, $v_F = 36.30 \text{ cm/s}$, 在 $v-t$ 坐标系中描点、连线, 如图所示.



(2)由图中可以读出, 图线与纵轴交点的速度大小为

11.60 cm/s , 此速度表示 A 点的瞬时速度.

(3)利用斜率求加速度 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 0.5 \text{ m/s}^2$.

答案 (1)见解析 (2)11.60(11.30~11.60 均对) 表示 A 点的瞬时速度 (3)0.5 m/s^2

4. (2013 苏锡常镇四市一调)在暗室中用如图 14 所示的装置做“测定重力加速度”的实验.

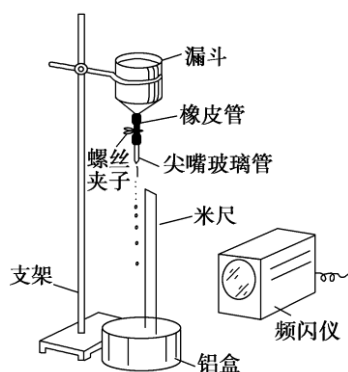


图 14

实验器材有：支架、漏斗、橡皮管、尖嘴玻璃管、螺丝夹子、接水铝盒、一根荧光刻度的米尺、频闪仪。

具体实验步骤如下：

①在漏斗内盛满清水，旋松螺丝夹子，水滴会以一定的频率一滴滴地落下。

②用频闪仪发出的白闪光将水滴流照亮，由大到小逐渐调节频闪仪的频率直到第一次看到一串仿佛固定不动的水滴。

③用竖直放置的米尺测得各个水滴所对应的刻度。

④采集数据进行处理。

(1)实验中看到空间有一串仿佛固定不动的水滴时，频闪仪的闪光频率满足的条件是：

(2)实验中观察到水滴“固定不动”时的闪光频率为 30 Hz，某同学读出其中比较圆的水滴到第一个水滴的距离如图 15 所示，根据数据测得当地重力加速度 $g = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}^2$ ；第 8 个水滴此时的速度 $v_8 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}$ (结果都保留三位有效数字)。

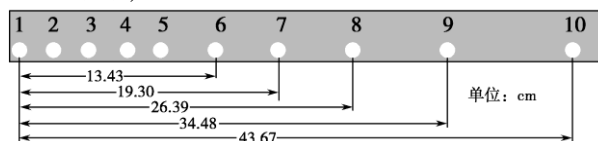


图 15

(3)该实验存在的系统误差可能有(答出一条即可)： 米尺没有竖直放置。

解析 (1)当频闪仪闪光频率等于水滴滴落的频率时，才能看到空间有一串仿佛固定不动的水滴。

(2)根据图示距离可知 $x_1 = (19.30 - 13.43)\text{cm} = 5.87 \times 10^{-2} \text{ m}$ 、 $x_2 = (26.39 - 19.30)\text{cm} = 7.09 \times 10^{-2} \text{ m}$ 、 $x_3 = (34.48 - 26.39)\text{cm} = 8.09 \times 10^{-2} \text{ m}$ 、 $x_4 = (43.67 - 34.48)\text{cm} = 9.19 \times 10^{-2} \text{ m}$ ，闪光周期 $T = \frac{1}{30} \text{ s}$ ，利用

逐差法测得当地重力加速度 $g = \frac{(x_4 + x_3 - x_2 - x_1)}{4T^2} = 9.72 \text{ m/s}^2$ ，第 8 个水滴此时的速度 $v_8 = \frac{34.48 - 19.30}{2}$

$\times 30 \times 10^{-2} \text{ m/s} = 2.28 \text{ m/s}$ 。

(3)该实验存在系统误差的原因可能有空气阻力、水滴滴落的频率变化、米尺没有竖直放置等。

答案 (1)频闪仪频率等于水滴滴落的频率

(2)9.72 2.28

(3)存在空气阻力(或水滴滴落的频率变化)

章末定时练一

(时间：60 分钟)

一、选择题(本题共 8 小题，在每小题给出的四个选项中，1~5 题只有一项符合题目要求，第 6~8 题有多项符合题目要求)。

1. 某同学在实验室做了如图 1 所示的实验，铁质小球被电磁铁吸附，断开电磁铁的电源，小球自由下落，已知小球的直径为 0.5 cm，该同学从计时器上读出小球通过光电门的时间为 $1.00 \times 10^{-3} \text{ s}$ ，则小球开始下落的位置距光电门的距离为()。

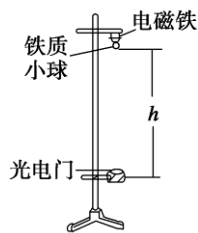


图 1

- A. 1 m B. 1.25 m C. 0.4 m D. 1.5 m

解析 小球通过光电门的时间很短，这段时间内的平均速度可看成瞬时速度 $v = \frac{x}{t} = 5 \text{ m/s}$ ，由自由落体运动规律可知 $h = \frac{v^2}{2g} = 1.25 \text{ m}$ ，故 B 正确。

答案 B

2. 在水平面上有 a 、 b 两点，相距 0.2 m，一质点在一恒定的水平合外力作用下沿 a 向 b 做直线运动，经过 0.2 s 的时间先后通过 a 、 b 两点，则该质点通过 a 、 b 中点时的速度大小()。

- A. 若力的方向由 a 向 b ，则大于 1 m/s，若力的方向由 b 向 a ，则小于 1 m/s
 B. 若力的方向由 a 向 b ，则小于 1 m/s，若力的方向由 b 向 a ，则大于 1 m/s
 C. 无论力的方向如何均小于 1 m/s
 D. 无论力的方向如何均大于 1 m/s

解析 质点沿 a 向 b 做匀变速直线运动，平均速度大小为 1 m/s，通过 a 、 b 中间时刻的速度大小也为 1 m/s，若质点沿 a 向 b 做匀加速直线运动，则通过 a 、 b 中点时的速度大小大于 1 m/s；若质点沿 a 向 b 做匀减速直线运动，则通过 a 、 b 中点时的速度大小也大于 1 m/s，故选项 D 正确。

答案 D

3. 汽车由静止开始在平直的公路上行驶，0~50 s 内汽车的加速度随时间变化的图线如图 2 所示，下列说法中正确的是()。

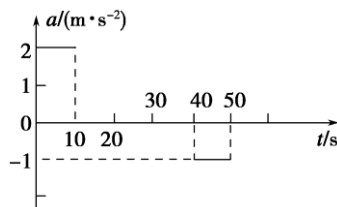


图 2

- A. 汽车行驶的最大速度为 20 m/s
 B. 汽车在 40~50 s 内的速度方向和 0~10 s 内的速度方向相反
 C. 汽车在 50 s 末的速度为零
 D. 在 0~50 s 内汽车行驶的总位移为 900 m

解析 由加速度图象可知，前 10 s 汽车做匀加速直线运动，中间 30 s 汽车做匀速直线运动，后 10 s 汽车做匀减速直线运动。由 $a-t$ 图象和匀变速直线运动的公式得， $v_m = a_1 t_1 = 20 \text{ m/s}$ ，A 对；50 s 末的速度为 $v = 20 \text{ m/s} - 1 \times 10 \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$ ，B、C 不对；在 0~50 s 内汽车行驶的总位移为 $x = \frac{1}{2} v_m t_1 + v_m t_2 + \frac{1}{2} (v_m + v) t_3 = 850 \text{ m}$ ，D 不对。

答案 A

4. (2013 广东广州四月测试)甲、乙两物体做直线运动的 $v-t$ 图象如图 3，由图可知()。

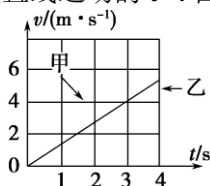


图 3

- A. 甲的加速度为 4 m/s^2

- B. 乙的速度为 1.3 m/s
- C. 3 s 末两物体的速度相等
- D. 3 s 内两物体通过的位移相等

解析 甲做速度为 4 m/s 的匀速运动，A 错；乙做匀加速直线运动，B 错；3 s 末两物体的速度都为 4 m/s，C 正确；3 s 内甲的位移大于乙的位移，D 错。

答案 C

5. 物体做匀加速直线运动，在第一个时间 T 内通过位移 x_1 到达 A 点，接着在第二个时间 T 内通过位移 x_2 到达 B 点，第三个时间 T 末到达 C 点，则物体()。

- A. 在 A 点的速度大小为 $\frac{x_1+x_2}{2T}$
- B. 在 B 点的速度大小为 $\frac{2x_2-x_1}{2T}$
- C. 运动的加速度为 $\frac{2x_1}{T^2}$
- D. 在第三个时间 T 内的位移为 $3x_2-2x_1$

解析 由匀变速直线运动规律可知物体在 A 点的瞬时速度大小等于物体在 A、B 两点间的平均速度大小，即 $v_A = \frac{x_1+x_2}{2T}$ ，A 对；由 $\Delta x = aT^2$ 得运动的加速度为 $a = \frac{x_2-x_1}{T^2}$ ，C 错；由速度 $v_t = v_0 + at$ 得物体在 B 点的速度大小为 $v_B = v_A + aT = \frac{3x_2-x_1}{2T}$ ，B 错；令第三个时间 T 内的位移为 x_3 ，由 $\Delta x = aT^2$ 知 $x_3 - x_2 = x_2 - x_1$ ，所以 $x_3 = 2x_2 - x_1$ ，D 错。

答案 A

6. 甲、乙两车在同一水平道路上，一前一后相距 $x=4$ m，乙车在前，甲车在后，某时刻两车同时开始运动，两车运动的 $x-t$ 图象如图 4 所示，则下列表述正确的是()。

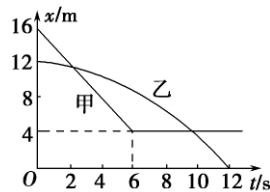


图 4

- A. 乙车做曲线运动，甲车做直线运动
- B. 甲车先做匀减速运动，后做匀速运动
- C. 乙车的速度不断增大
- D. 两车相遇两次

解析 由题图可知，两车的运动方向与规定的正方向相反，甲车在前 6 s 内做匀速运动，以后处于静止状态，B 错误；乙车的 $x-t$ 图象虽为曲线，但这不是运动轨迹，且图象只能表示正反两个方向的运动，A 错误；由于乙车图象的倾斜程度逐渐增大，即其速度逐渐增大，C 正确；在 $x-t$ 图象中图线的交点表示两车相遇，故两车相遇两次，D 正确。

答案 CD

7. 一物体在粗糙地面上以一定的初速度匀减速滑动。若已知物体在第 1 s 内位移为 8.0 m，在第 3 s 内位移为 0.5 m。则下列说法正确的是()。

- A. 物体的加速度大小一定为 4.0 m/s^2
- B. 物体的加速度大小一定为 3.75 m/s^2
- C. 物体在第 0.5 s 末速度一定为 8.0 m/s
- D. 物体在第 2.5 s 末速度一定为 0.5 m/s

解析 假设物体一直做匀减速直线运动，在第 3 s 末未停下来，根据匀变速直线运动规律可知，某段时间内的平均速度等于该时间的中间时刻的瞬时速度，故 $t_1 = 0.5 \text{ s}$ 时刻的瞬时速度 $v_1 = 8 \text{ m/s}$ ， $t_2 =$

2.5 s 时刻的瞬时速度为 $v_2 = 0.5 \text{ m/s}$ ，根据加速度定义式可得加速度大小为 $a_1 = \frac{v_1 - v_2}{t_2 - t_1} = 3.75 \text{ m/s}^2$ ，则物

体从 0.5 s 时刻开始到停下来所用时间为 $t = \frac{v_1}{a_1} = \frac{32}{15} \text{ s}$ ，即物体整个运动时间为 $0.5 \text{ s} + \frac{32}{15} \text{ s} < 3 \text{ s}$ ，故假设不成立， v_2 并非 2.5 s 时刻的瞬时速度，物体一定在 3 s 时刻之前停下来了。设物体在 2 s 时刻后再运动 t_0 时间停下，则 $v_1 = a(1.5 + t_0)$ ，2 s 时刻物体的速度为 $v_{20} = v_1 - 1.5a$ ，从 2 s 时刻开始到物体停下来的这段时间内，即 t_0 时间内物体运动的位移 $x = v_{20}t_0 - \frac{1}{2}at_0^2 = 0.5$ ，解得 $t_0 = 0.5 \text{ s}$ ， $a = 4 \text{ m/s}^2$ ，故物体实际上在 2.5 s 时刻停止运动，此后静止，A、C 正确，B、D 错误。

答案 AC

8. 2013 年 6 月 9 日晚，受沿线焚烧秸秆产生烟雾影响，宁洛高速公路安徽省蒙城段发生多起车辆追尾事故。假设高速公路上甲、乙两车在同一车道上同向行驶，甲车在前，乙车在后，速度均为 $v_0 = 30 \text{ m/s}$ ，距离 $s_0 = 100 \text{ m}$ ， $t = 0$ 时刻甲车遇紧急情况后，甲、乙两车的加速度随时间的变化规律如图 5 甲、乙所示，取运动方向为正方向，则下面说法正确的是()。

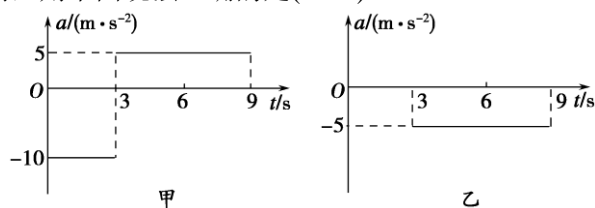


图 5

- A. $t = 6 \text{ s}$ 时甲、乙两车的速度相等
- B. $t = 6 \text{ s}$ 时甲、乙两车的距离最近
- C. 0~6 s 内甲、乙两车的位移之差为 190 m
- D. 甲、乙两车会在 0~9 s 内相撞

解析 甲车经 3 s 速度减为 0，再经 3 s 速度增加到 15 m/s，前 6 s 发生的位移大小为 $x_1 = \frac{1}{2} \times 30 \times 3 \text{ m} + \frac{1}{2} \times 15 \times 3 \text{ m} = 67.5 \text{ m}$ 。乙车前 3 s 速度大小不变，再经 3 s 速度减小到 15 m/s，前 6 s 发生的位移大小为 $x_2 = 30 \times 3 \text{ m} + \frac{30 + 15}{2} \times 3 \text{ m} = 157.5 \text{ m}$ ，则 $x_2 - x_1 = 90 \text{ m} < 100 \text{ m}$ ，6 s 以后甲车速度大于乙车速度，6~9 s 这段时间两车距离逐渐变大。故本题答案为 A、B。

答案 AB

二、非选择题

9. 图 6 是“研究匀变速直线运动”实验中获得的一条纸带，O、A、B、C、D 和 E 为纸带上六个计数点，加速度大小用 a 表示。

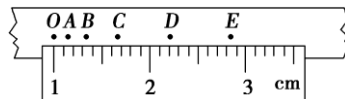


图 6

(1) OD 间的距离为_____ cm.

(2) 图 7 是根据实验数据绘出的 $x-t^2$ 图线 (x 为各计数点至同一起点的距离)，斜率表示_____，其大小为_____ m/s^2 (保留三位有效数字).

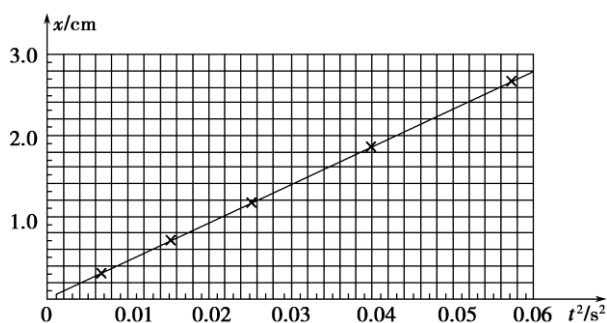


图 7

解析 (1) $1\text{ cm} + 1\text{ mm} \times 2.0 = 1.20\text{ cm}$.

(2) 加速度的一半, $\frac{1}{2}a = \frac{(2.8 - 0) \times 10^{-2}}{0.06 - 0} \text{ m/s}^2 = 0.467 \text{ m/s}^2$,

所以加速度大小 $a \approx 0.933 \text{ m/s}^2$.

答案 (1) 1.20 (2) 加速度的一半 0.933

10. 某校研究性学习小组的同学用如图 8 甲所示的滴水法测量小车在斜面上运动时的加速度. 实验过程如下: 在斜面上铺上白纸, 用图钉固定; 把滴水计时器固定在小车的末端, 在小车上固定一平衡物; 调节滴水计时器的滴水速度, 使其每 0.2 s 滴一滴(以滴水计时器内盛满水为准); 在斜面顶端放置一浅盘, 把小车放在斜面顶端, 把调好的滴水计时器盛满水, 使水滴能滴入浅盘内; 然后撤去浅盘并同时放开小车, 于是水滴在白纸上留下标志小车运动规律的点迹; 小车到达斜面底端时立即将小车移开. 图乙为实验得到的一条纸带, 用刻度尺量出相邻点之间的距离是 $x_{01} = 1.40\text{ cm}$, $x_{12} = 2.15\text{ cm}$, $x_{23} = 2.91\text{ cm}$, $x_{34} = 3.65\text{ cm}$, $x_{45} = 4.41\text{ cm}$, $x_{56} = 5.15\text{ cm}$. 试问:

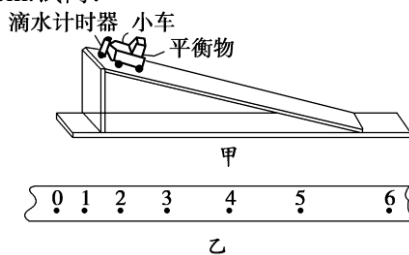


图 8

(1) 滴水计时器的原理与课本上介绍的_____原理类似.

(2) 由纸带数据计算可得计数点 4 所代表时刻的瞬时速度 $v_4 =$ _____m/s, 小车的加速度 $a =$ _____m/s². (结果均保留二位有效数字)

解析 (2) 可把小车的运动看做是匀变速直线运动, 则 $v_4 = \frac{x_{34} + x_{45}}{2T} = \frac{(3.65 + 4.41) \times 10^{-2}}{2 \times 0.2} \text{ m/s} = 0.20 \text{ m/s}$; 求加速度利用逐差法: $(x_{56} + x_{45} + x_{34}) - (x_{23} + x_{12} + x_{01}) = 9aT^2$, $(5.15 + 4.41 + 3.65) \times 10^{-2} \text{ m} - (2.91 + 2.15 + 1.40) \times 10^{-2} \text{ m} = 9a \times (0.2 \text{ s})^2$, 解得 $a = 0.19 \text{ m/s}^2$.

答案 (1) 打点计时器 (2) 0.20 0.19

11. 斜面长度为 4 m, 一个尺寸可以忽略不计的滑块以不同的初速度 v_0 从斜面顶端沿斜面下滑时, 其下滑距离 x 与初速度二次方 v_0^2 的关系图象(即 $x - v_0^2$ 图象)如图 9 所示.

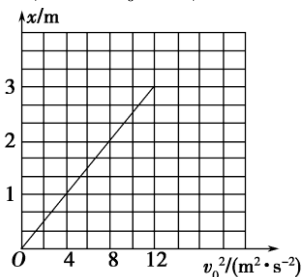


图 9

(1)求滑块下滑的加速度大小.

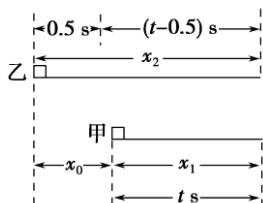
(2)若滑块下滑的初速度为 5.0 m/s, 则滑块沿斜面下滑的时间为多长?

解析 (1)由 $v_0^2 = 2ax$ 推知, 图线“斜率”为 $\frac{1}{2a}$, 所以滑块下滑的加速度大小 $a = 2 \text{ m/s}^2$

(2)由 $v_0^2 = 2ax$ 可知, 当滑块的初速度为 4 m/s 时, 滑块刚好滑到斜面最低点. 设滑块在斜面上的滑动时间为 t , 则 $x = v_0t - \frac{1}{2}at^2$, 即: $4 = 5t - \frac{1}{2} \times 2t^2$, 解得 $t = 1 \text{ s}$.

答案 (1) 2 m/s^2 (2) 1 s

12. 甲、乙两汽车沿同一平直公路同向匀速行驶, 甲车在前, 乙车在后, 它们行驶的速度均为 16 m/s. 已知甲车紧急刹车时加速度 $a_1 = 3 \text{ m/s}^2$, 乙车紧急刹车时加速度 $a_2 = 4 \text{ m/s}^2$, 乙车司机的反应时间是 0.5 s (即乙车司机看到甲车刹车后 0.5 s 才开始刹车). 为保证两车紧急刹车过程不相碰, 甲、乙两车行驶过程至少应保持多大距离?



解析 甲刹车经时间 $t(t > 0.5 \text{ s})$, 甲、乙两车的运动情景如图所示.

$$\text{甲车位移为 } x_1 = v_0t - \frac{1}{2}a_1t^2 = 16t - \frac{3}{2}t^2$$

$$\text{甲车速度为 } v_1 = v_0 - a_1t = 16 - 3t$$

$$\text{乙车位移为 } x_2 = v_0 \times 0.5 + v_0(t - 0.5) - \frac{1}{2}a_2(t - 0.5)^2$$

$$= 16 \times 0.5 + 16(t - 0.5) - \frac{4}{2}(t - 0.5)^2$$

$$\text{乙车速度为 } v_2 = v_0 - a_2(t - 0.5) = 16 - 4(t - 0.5)$$

二车免碰的临界条件是速度相等且位置相同(注意: 有人错误地认为免碰的临界条件是二车速度为 0 时位置也相同), 因此有 $v_1 = v_2$, $x_1 + x_0 = x_2$

其中, x_0 就是它们不相碰应该保持的最小距离.

解以上方程组可得 $x_0 = 1.5 \text{ m}$.

答案 1.5 m

必修一

第二章 相互作用

第 1 讲 重力 弹力

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点 1

形变、弹性 (考纲要求 1)

1. 重力

- (1)产生：由于地球的吸引而使物体受到的力。
 (2)大小：与物体的质量成正比，即 $G=mg$.可用弹簧测力计测量重力。
 (3)方向：总是竖直向下的。
 (4)重心：其位置与物体的质量分布和形状有关。

2. 弹力

- (1)形变：物体在力的作用下形状或体积的变化叫形变。
 (2)弹性
 ①弹性形变：有些物体在形变后撤去作用力时能够恢复原状的形变。
 ②弹性限度：当形变超过一定限度时，撤去作用力后，物体不能完全恢复原来的形状，这个限度叫弹性限度。
 (3)弹力
 ①定义：发生弹性形变的物体，由于要恢复原状，会对与它接触的物体产生力的作用。
 ②产生条件
 物体相互接触且发生弹性形变。
 ③方向：弹力的方向总是与施力物体形变的方向相反。

思维深化

判断正误，正确的划“√”，错误的划“×”。

- (1)重力的方向竖直向下，但不一定与接触面垂直。()
 (2)物体所受弹力方向与自身形变的方向相同。()
 (3)绳、杆的弹力方向一定沿绳、杆。()
 (4)面面接触(或点面接触)的物体间的弹力垂直于面(或切面)并指向受力物体。()

答案 (1)√ (2)√ (3)× (4)√

考点2

胡克定律 (考纲要求 I)

1.内容：弹簧发生弹性形变时，弹力的大小 F 跟弹簧伸长(或缩短)的长度 x 成正比。

2. 表达式： $F=kx$ 。

- (1) k 是弹簧的劲度系数，单位为 N/m ； k 的大小由弹簧自身性质决定。
 (2) x 是弹簧长度的变化量，不是弹簧形变以后的长度。

基础自测

1. (多选)如图 2-1-1 所示，两辆车在以相同的速度做匀速运动，根据图中所给信息和所学知识你可以得出的结论是()。

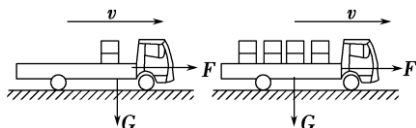


图 2-1-1

- A. 物体各部分都受重力作用，但可以认为物体各部分所受重力集中于一点
 B. 重力的方向总是垂直向下的
 C. 物体重心的位置与物体形状或质量分布有关
 D. 力是使物体运动的原因

解析 物体各部分都受重力作用，但可以认为物体各部分所受重力集中于一点，这个点就是物体的重心，重力的方向总是和水平面垂直，是竖直向下而不是垂直向下，所以 A 正确，B 错误；从图中可以看出，汽车(包括货物)的形状和质量分布发生了变化，重心的位置就发生了变化，故 C 正确；力不是使物体运动的原因而是改变物体运动状态的原因，所以 D 错误。

答案 AC

2. (单选)玩具汽车停在模型桥面上，如图 2-1-2 所示，下列说法正确的是()。

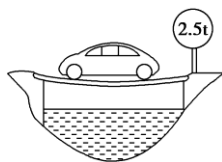


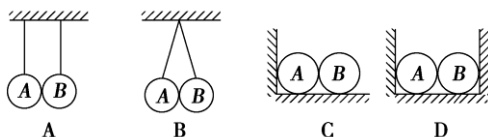
图 2-1-2

- A. 桥面受向下的弹力, 是因为桥梁发生了弹性形变
- B. 汽车没有发生形变, 所以汽车不受弹力
- C. 汽车受向上的弹力, 是因为桥梁发生了弹性形变
- D. 汽车受向上的弹力, 是因为汽车发生了形变

解析 汽车与桥面相互挤压都发生了形变, B 错; 由于桥面发生弹性形变, 所以对汽车有向上的弹力, C 对, D 错; 由于汽车发生了形变, 所以对桥面产生向下的压力, A 错.

答案 C

3. (单选)在图中, A、B 均处于静止状态, 则 A、B 之间一定有弹力的是().



解析 假设将与研究对象接触的物体逐一移走, 如果研究对象的状态发生变化, 则表示它们之间有弹力; 如果状态无变化, 则表示它们之间无弹力. 四个选项中当 B 选项中的 B 物体移走后, A 物体一定会摆动, 所以 B 选项中 A、B 间一定有弹力.

答案 B

4. (单选)在半球形光滑碗内斜搁一根筷子, 如图 2-1-3 所示, 筷子与碗的接触点分别为 A、B, 则碗对筷子 A、B 两点处的作用力方向分别为().

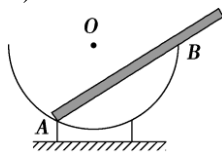


图 2-1-3

- A. 均竖直向上
- B. 均指向球心 O
- C. A 点处指向球心 O, B 点处竖直向上
- D. A 点处指向球心 O, B 点处垂直于筷子斜向上

解析 碗对筷子 A、B 两点处的作用力属于弹力, 而接触的弹力总是垂直于接触面, 因而寻找接触面便成为确定弹力方向的关键. 在 A 点处, 当筷子滑动时, 筷子与碗的接触点在碗的内表面(半球面)上滑动, 所以在 A 点处的接触面是球面在该点的切面, 此处的弹力与切面垂直, 即指向球心 O. 在 B 点处, 当筷子滑动时, 筷子与碗的接触点在筷子的下表面上滑动, 所以在 B 点处的接触面与筷子平行, 此处的弹力垂直于筷子斜向上. 故选项 D 正确.

答案 D

5. (单选)一根轻质弹簧, 当它上端固定、下端悬挂重为 G 的物体时, 长度为 L_1 ; 当它下端固定在水平地面上, 上端压一重为 G 的物体时, 其长度为 L_2 , 则它的劲度系数是().

- A. $\frac{G}{L_1}$
- B. $\frac{G}{L_2}$
- C. $\frac{G}{L_1 - L_2}$
- D. $\frac{2G}{L_1 - L_2}$

解析 设弹簧原长为 L_0 , 由胡克定律知, $G = k(L_1 - L_0)$,

$G = k(L_0 - L_2)$, 联立可得 $k = \frac{2G}{L_1 - L_2}$, D 对.

答案 D

热点一 弹力的有无及方向的判断

1. 弹力有无的判断“四法”

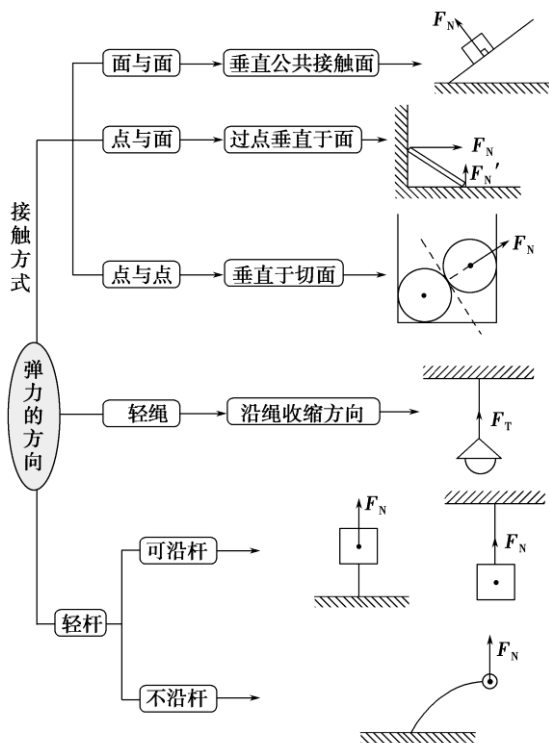
(1)条件法：根据物体是否直接接触并发生弹性形变来判断是否存在弹力。此方法多用来判断形变较明显的情况。

(2)假设法：对形变不明显的情况，可假设两个物体间弹力不存在，看物体能否保持原有的状态，若运动状态不变，则此处不存在弹力；若运动状态改变，则此处一定有弹力。

(3)状态法：根据物体的运动状态，利用牛顿第二定律或共点力平衡条件判断弹力是否存在。

(4)替换法：可以将硬的、形变不明显的施力物体用软的、易产生明显形变的物体来替换，看能否发生形态的变化，若发生形变，则此处一定有弹力。

2. 弹力方向的确定



【典例 1】 如图 2-1-4 所示，在一个正方体的盒子中放有一个质量分布均匀的小球，小球的直径恰好和盒子内表面正方体的边长相等，盒子沿倾角为 α 的固定斜面滑动，不计一切摩擦，下列说法中正确的是()。

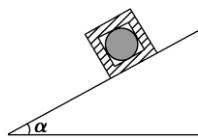


图 2-1-4

- A. 无论盒子沿斜面上滑还是下滑，球都仅对盒子的下底面有压力
- B. 盒子沿斜面下滑时，球对盒子的下底面和右侧面有压力
- C. 盒子沿斜面下滑时，球对盒子的下底面和左侧面有压力
- D. 盒子沿斜面上滑时，球对盒子的下底面和左侧面有压力

解析 先以盒子和小球组成的系统为研究对象，无论上滑还是下滑，用牛顿第二定律均可求得系统的加速度大小为 $a = g \sin \alpha$ ，方向沿斜面向下，由于盒子和小球始终保持相对静止，所以小球的加速度大小也是 $a = g \sin \alpha$ ，方向沿斜面向下，小球沿斜面向下的重力分力大小恰好等于所需的合外力，因此不需要左、右侧面提供弹力。故选项 A 正确。

答案 A

【跟踪短训】

1. 画出下图 2-1-5 中物体 A 所受弹力的示意图。(所有接触面均光滑)

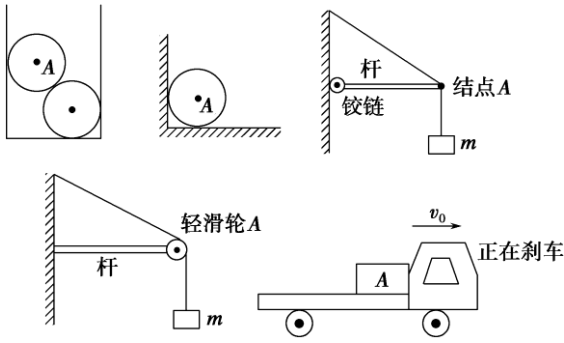
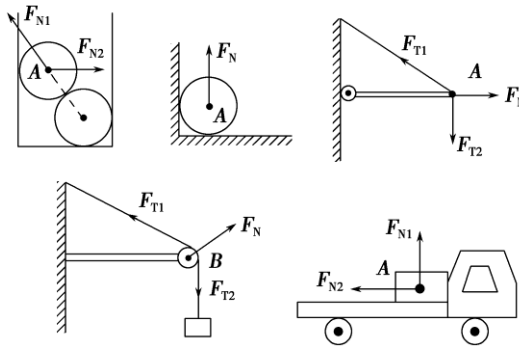


图 2-1-5

答案



热点二 弹力大小的计算

弹力大小的计算方法

(1)对于难以观察的微小形变,可以根据物体的受力情况和运动情况,运用物体平衡条件或牛顿第二定律来确定弹力大小.

(2)对有明显形变的弹簧、橡皮条等物体,弹力的大小可以由胡克定律 $F=k \cdot \Delta x$ 计算.

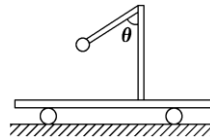


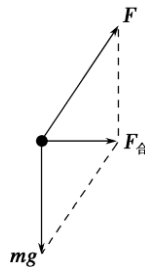
图 2-1-6

【典例 2】 图 2-1-6 所示为位于水平面上的小车,固定在小车上的支架的斜杆与竖直杆的夹角为 θ ,在斜杆的下端固定有质量为 m 的小球. 下列关于杆对球的作用力 F 的判断中, 正确的是().

- A. 小车静止时, $F=mg \sin \theta$, 方向沿杆向上
- B. 小车静止时, $F=mg \cos \theta$, 方向垂直于杆向上
- C. 小车向右做匀速运动时, 一定有 $F=mg$, 方向竖直向上
- D. 小车向右做匀加速运动时, 一定有 $F>mg$, 方向可能沿杆向上

审题指导 审题关键词: 固定曲杆.

杆发生微小弹性形变 \rightarrow 杆上的弹力方向具有多种可能性 \rightarrow 需借助相关物体的运动状态来判断 (不能直接判断).



解析 小球受重力和杆的作用力 F 处于静止或匀速运动状态时, 由力的平衡条件知, 二力必等大反向, 有 $F=mg$, 方向竖直向上. 小车向右做匀加速运动时, 小球有向右的恒定加速度, 根据牛顿第二定律知, mg 和 F 的合力应水平向右, 如图所示, 由图可知, $F>mg$, 方向可能沿杆向上.

答案 CD

反思总结 轻杆弹力的确定方法

杆的弹力与绳的弹力不同,绳的弹力始终沿绳指向绳收缩的方向,但杆的弹力方向不一定沿杆的方向,其大小和方向的判断要根据物体的运动状态来确定,可以理解为“按需提供”,即为了维持物体的状态,由受力平衡或牛顿运动定律求解得到所需弹力的大小和方向,杆就会根据需要提供相应大小和方向的弹力.

【跟踪短训】

2. 如图 2-1-7 所示,四个完全相同的弹簧都处于水平位置,它们的右端受到大小皆为 F 的拉力作用,而左端的情况各不相同:

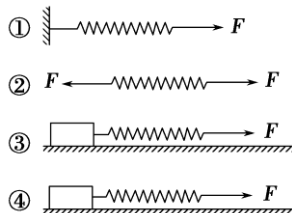


图 2-1-7

①弹簧的左端固定在墙上;②弹簧的左端受大小也为 F 的拉力作用;③弹簧的左端拴一小物块,物块在光滑的桌面上滑动;④弹簧的左端拴一小物块,物块在有摩擦的桌面上滑动.

若认为弹簧质量都为零,以 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 依次表示四个弹簧的伸长量,则有().

A. $L_2 > L_1$

B. $L_4 > L_3$ C. $L_1 > L_3$ D. $L_2 = L_4$

解析 弹簧伸长量由弹簧的弹力($F_{\text{弹}}$)大小决定.由于弹簧质量不计,这四种情况下, $F_{\text{弹}}$ 都等于弹簧右端拉力 F ,因而弹簧伸长量均相同,故选 D 项.

答案 D

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

物理建模 1.轻杆、轻绳、轻弹簧模型

模型阐述

轻杆、轻绳、轻弹簧都是忽略质量的理想模型,与这三个模型相关的问题在高中物理中有相当重要的地位,且涉及的情景综合性较强,物理过程复杂,能很好地考查学生的综合分析能力,是高考的常考问题.

三种模型	轻杆	轻绳	轻弹簧
模型图示			

续表

模型特点	形变特点	只能发生微小形变	柔软,只能发生微小形变,各处张力大小相等	既可伸长,也可压缩,各处弹力大小相等
	方向特点	不一定沿杆,可以是任意方向	只能沿绳,指向绳收缩的方向	一定沿弹簧轴线,与形变方向相反
	作用效果特点	可提供拉力、推力	只能提供拉力	可以提供拉力、推力
	大小突变特点	可以发生突变	可以发生突变	一般不能发生突变

自由杆和固定杆中的弹力方向

类型	特征	受力特征
自由杆	可以自由转动	杆受力一定沿杆方向
固定杆	不能自由转动	不一定沿杆方向,由物体所处状态决定

【典例 1】甲、乙两图中的杆都保持静止,试画出甲、乙两图 O 点受杆的作用力的方向.(O 为结点)

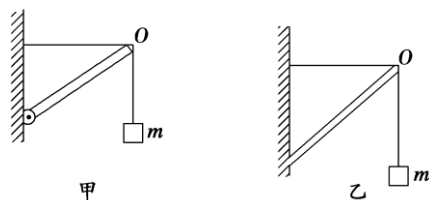
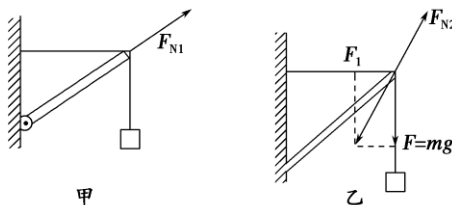


图 2-1-8

解析 甲为自由杆, 受力一定沿杆方向, 如下图甲所示的 F_{N1} . 乙为固定杆, 受力由 O 点所处状态决定, 此时受力平衡, 由平衡条件知杆的支持力 F_{N2} 的方向与 mg 和 F_1 的合力方向相反, 如下图乙所示.



答案 如解析图所示

【典例 2】 一轻弹簧两端分别连接物体 a 、 b , 在水平力作用下共同向右做匀加速运动, 如图 2-1-9 所示, 在水平面上时, 力为 F_1 , 弹簧长为 L_1 , 在斜面上时, 力为 F_2 , 弹簧长为 L_2 , 已知 a 、 b 两物体与接触面间的动摩擦因数相同, 则轻弹簧的原长为().

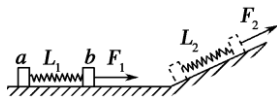


图 2-1-9

- A. $\frac{L_1+L_2}{2}$ B. $\frac{F_1L_1-F_2L_2}{F_2-F_1}$
 C. $\frac{F_2L_1-F_1L_2}{F_2-F_1}$ D. $\frac{F_2L_1+F_1L_2}{F_2+F_1}$

解析 设物体 a 、 b 的质量分别为 m_1 、 m_2 , 与接触面间的动摩擦因数为 μ , 弹簧原长为 L_0 , 在水平面上时, 以整体为研究对象有 $F_1 - \mu(m_1 + m_2)g = (m_1 + m_2)a$, ①

隔离 a 物体有 $k(L_1 - L_0) - \mu m_1 g = m_1 a$, ②

联立解得 $k(L_1 - L_0) = \frac{m_1}{m_1 + m_2} F_1$, ③

同理可得 $k(L_2 - L_0) = \frac{m_1}{m_1 + m_2} F_2$, ④

联立③④可得轻弹簧的原长为 $L_0 = \frac{F_2 L_1 - F_1 L_2}{F_2 - F_1}$, C 对.

答案 C

反思总结 如何理解理想化模型——“轻弹簧”与“橡皮筋”

- (1) 弹簧与橡皮筋产生的弹力遵循胡克定律 $F = kx$, x 是指形变量.
- (2) “轻”即指弹簧(或橡皮筋)的重力不计, 所以同一弹簧的两端及中间各点的弹力大小相等.
- (3) 弹簧既能受拉力, 也能受压力(沿弹簧轴线), 分析弹簧问题时一定要特别注意这一点, 而橡皮筋只能受拉力作用.
- (4) 弹簧和橡皮筋中的弹力均不能突变, 但当将弹簧(或橡皮筋)剪断时, 其弹力立即消失.

即学即练 (2013 石家庄质检, 18) 如图 2-1-10 所示, 一个“Y”形弹弓顶部跨度为 L , 两根相同的橡皮条自由长度均为 L , 在两橡皮条的末端用一块软羊皮(长度不计)做成裹片. 若橡皮条的弹力与形变量的关系满足胡克定律, 且劲度系数为 k , 发射弹丸时每根橡皮条的最大长度为 $2L$ (弹性限度内), 则发

射过程中裹片对弹丸的最大作用力为()。

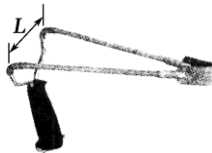
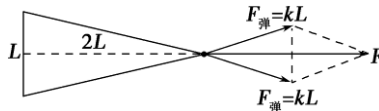


图 2-1-10

- A. kL B. $2kL$ C. $\frac{\sqrt{3}}{2}kL$ D. $\frac{\sqrt{15}}{2}kL$

解析 对裹片受力分析，由相似三角形可得：



$$\frac{kL}{2L} = \frac{\frac{F}{2}}{\sqrt{(2L)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2}} \text{得} : F = \frac{\sqrt{15}}{2}kL$$

则裹片对弹丸的最大作用力为 $F_{丸} = F = \frac{\sqrt{15}}{2}kL$ ，故选项 D 正确。

答案 D

附：对应高考题组

1. (2010 新课标全国卷, 15)一根轻质弹簧一端固定，用大小为 F_1 的力压弹簧的另一端，平衡时长度为 l_1 ；改用大小为 F_2 的力拉弹簧，平衡时长度为 l_2 。弹簧的拉伸或压缩均在弹性限度内，该弹簧的劲度系数为()。

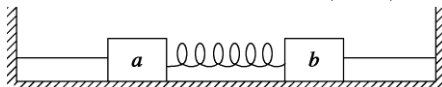
- A. $\frac{F_2 - F_1}{l_2 - l_1}$ B. $\frac{F_2 + F_1}{l_2 + l_1}$
C. $\frac{F_2 + F_1}{l_2 - l_1}$ D. $\frac{F_2 - F_1}{l_2 + l_1}$

解析 设弹簧原长为 l ，由题意知， $F_1 = k(l - l_1)$ ，

$$F_2 = k(l_2 - l)，\text{两式联立，得 } k = \frac{F_2 + F_1}{l_2 - l_1}，\text{选项 C 正确。}$$

答案 C

2. (2011 山东卷, 19)如图所示，将两相同的木块 a 、 b 置于粗糙的水平地面上，中间用一轻弹簧连接，两侧用细绳系于墙壁。开始时 a 、 b 均静止，弹簧处于伸长状态，两细绳均有拉力， a 所受摩擦力 $F_{fa} \neq 0$ ， b 所受摩擦力 $F_{fb} = 0$ 。现将右侧细绳剪断，则剪断瞬间()。



- A. F_{fa} 大小不变 B. F_{fa} 方向改变
C. F_{fb} 仍然为零 D. F_{fb} 方向向右

解析 剪断右侧绳的瞬间，右侧细绳上拉力突变为零，而弹簧对两木块的拉力没有发生突变，与原来一样，所以 b 对地面有向左的运动趋势，受到静摩擦力 F_{fb} 方向向右，C 错误，D 正确。剪断右侧绳的瞬间，木块 a 受到的各力都没有发生变化，A 正确，B 错误。

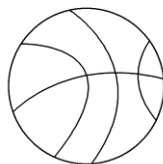
答案 AD

3. (2012 山东基本能力, 85)力是物体间的相互作用，下列有关力的图示及表述正确的是()。



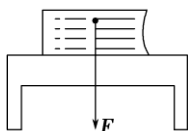
向南飞行的飞机说：尽管飞越不同的纬度，但旅客对我的压力丝毫不变噢！

A



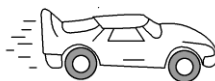
充足气的篮球说：我感觉内外的压力不一样啊！

B



静止的桌子说：瞧瞧那个带箭头的线段，它表示书对我的压力哦！

C



平地上匀速行驶的汽车说：有了地面对车轮的摩擦力，才使我一路向前哦！

D

解析 由于在不同纬度处重力加速度 g 不同，旅客所受重力不同，故对飞机的压力不同，A 错误。充足气的篮球平衡时，篮球壳对内部气体有压力作用，即内外气体对篮球壳压力的差值等于篮球壳对内部气体的压力，故 B 正确。书对桌子的压力作用在桌子上，箭尾应位于桌面上，故 C 错误。平地上匀速行驶的汽车，其主动轮受到地面的摩擦力是其前进的动力，地面对其从动轮的摩擦力是阻力，汽车受到的动力与阻力平衡时才能匀速前进，故 D 正确。

答案 BD

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 对力、重力概念的理解

1. (单选)下列说法正确的是()。

- A. 力是物体对物体的作用
- B. 只有直接接触的物体间才有力的作用
- C. 用脚踢出去的足球，在向前飞行的过程中，始终受到向前的力来维持它向前运动
- D. 甲用力把乙推倒，说明甲对乙的作用力在先，乙对甲的作用力在后

解析 力的作用不一定要直接接触。譬如地球与物体之间的万有引力，电荷与电荷之间的作用力，都不需要直接接触，所以 B 错误；力的作用离不开物体，用脚踢出去的足球，在向前飞行的过程中，球没有受到向前的力来维持它向前运动，C 错误；两个物体之间的相互作用力没有先后之说，所以 D 错误。

答案 A

2. (单选)下列关于重力的说法中正确的是()。

- A. 物体只有静止时才受重力作用
- B. 重力的方向总是指向地心
- C. 地面上的物体在赤道上受的重力最小
- D. 物体挂在弹簧秤下，弹簧秤的示数一定等于物体的重力

解析 物体是否受重力作用与其运动状态无关，故 A 错。重力实际是万有引力的一个分力(另一个分力提供物体绕地球自转的向心力)，万有引力方向指向地心，重力方向不一定指向地心(只有在两极或赤道上的物体所受的重力方向才指向地心)，故 B 错。在赤道上，物体所受的重力等于万有引力与物体随地球运动的向心力之差，而在赤道上向心力最大，物体在赤道上受的重力最小，C 正确。在弹簧秤和物体都静止或匀速运动时，测出的示数才等于物体的重力，若弹簧秤拉着物体加速上升或下降，则弹簧秤的示数不等于重力，故 D 错。

答案 C

3. (单选)关于地球上的物体,下列说法中正确的是().

- A. 在“天上”绕地球飞行的人造卫星不受重力作用
- B. 物体只有落向地面时才受到重力作用
- C. 将物体竖直向上抛出,物体在上升阶段所受的重力比落向地面时小
- D. 物体所受重力的大小与物体的质量有关,与物体是否运动及怎样运动无关

解析 重力是由于地球的吸引而使物体受到的地球的作用力,不管物体静止还是运动,也不管物体上升还是下落,一切物体都受重力作用.在“天上”绕地球飞行的人造卫星也要受重力作用,故 A、B 项错误.地面附近同一物体的重力大小、方向都不会发生改变,重力的大小可由公式 $G = mg$ 求出,C 项错误.重力大小与物体的质量有关,与运动状态无关,选项 D 正确.

答案 D

题组二 对弹力的理解

4. (多选)在日常生活及各项体育运动中,有弹力出现的情况比较普遍,如图 2-1-11 所示的情况就是一个实例.当运动员踩压跳板使跳板弯曲到最低点时,下列说法正确的是().



图 2-1-11

- A. 跳板发生形变,运动员的脚没有发生形变
- B. 运动员受到的支持力,是跳板发生形变而产生的
- C. 此时跳板对运动员的支持力和运动员的重力等大
- D. 此时跳板对运动员的支持力大于运动员的重力

解析 发生相互作用的物体均要发生形变,故 A 错;发生形变的物体,为了恢复原状,会对与它接触的物体产生弹力的作用, B 正确;在最低点,运动员虽然处于瞬间静止状态,但接着运动员要加速上升,故此时跳板对运动员的支持力大于运动员的重力, C 错误、D 正确.

答案 BD

5. (多选)如图 2-1-12 所示,在一张大桌子上放两个平面镜 M 和 N,让一束光依次被两面镜子反射,最后射到墙上,形成一个光点 P.用力压桌面,观察墙上光点位置的变化.下列说法中正确的是().

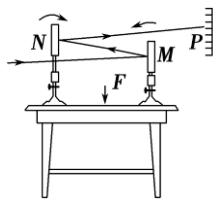


图 2-1-12

- A. F 增大, P 上移
- B. F 增大, P 下移
- C. F 减小, P 下移
- D. F 减小, P 上移

解析 本题考查微小形变的放大法.当力 F 增大时,两镜面均向里倾斜,使入射角减小,经两次累积,使反射光线的反射角更小,光点 P 下移;反之,若力 F 减小,光点 P 上移.所以,选项 B、D 正确.

答案 BD

6. (单选)小车上固定一根弹性直杆 A,杆顶固定一个小球 B(如图 2-1-13 所示),现让小车从光滑斜面上自由下滑,在下图的情况中杆发生了不同的形变,其中正确的是().

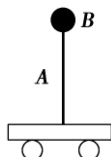
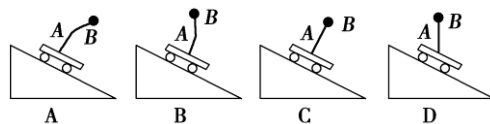


图 2-1-13



解析 小车在光滑斜面上自由下滑，则加速度 $a = g \sin \theta$ (θ 为斜面的倾角)，由牛顿第二定律可知小球所受重力和杆的弹力的合力沿斜面向下，且小球的加速度等于 $g \sin \theta$ ，则杆的弹力方向垂直于斜面向上，杆不会发生弯曲，C 正确。

答案 C

7. (单选)如图 2-1-14 所示，小车内有一固定光滑斜面，一个小球通过细绳与车顶相连，小车处于水平面上，细绳始终保持竖直。关于小球的受力情况，下列说法正确的是()。

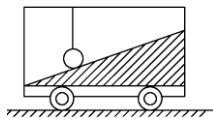


图 2-1-14

- A. 若小车静止，绳对小球的拉力可能为零
- B. 若小车静止，斜面对小球的支持力一定为零
- C. 若小车向右运动，小球一定受两个力的作用
- D. 若小车向右运动，小球一定受三个力的作用

解析 若小车静止，则小球受力平衡，由于斜面光滑，不受摩擦力，小球受重力、绳子的拉力，重力和拉力都沿竖直方向；如果受斜面的支持力，则没法达到平衡，因此在小车静止时，斜面对小球的支持力一定为零，绳子的拉力等于小球的重力，故 A 项错误，B 项正确。若小车向右匀速运动，小球受重力和绳子拉力两个力的作用；若小车向右做减速运动，则一定受重力和斜面的支持力，可能受绳子的拉力，也可能不受绳子的拉力，故 C、D 项都不对。

答案 B

题组三 弹力大小的分析计算

8. (2013 银川、吴忠部分中学联考)(单选)如图 2-1-15 所示，某一弹簧秤外壳的质量为 m ，弹簧及与弹簧相连的挂钩质量忽略不计。将其放在光滑水平面上，现用两水平拉力 F_1 、 F_2 分别作用在与弹簧相连的挂钩和与外壳相连的提环上，关于弹簧秤的示数，下列说法正确的是()。

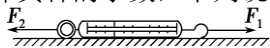


图 2-1-15

- A. 只有 $F_1 > F_2$ 时，示数才为 F_1
- B. 只有 $F_1 < F_2$ 时，示数才为 F_2
- C. 不论 F_1 、 F_2 关系如何，示数均为 F_1
- D. 不论 F_1 、 F_2 关系如何，示数均为 F_2

解析 弹簧秤的示数决定于作用在秤钩上力的大小，而与作用在与外壳相连的提环上的力无关，故 C 正确。

答案 C

9. (单选)如图 2-1-16 所示的装置中，小球的质量均相同，弹簧和细线的质量均不计，一切摩擦忽略不计，平衡时各弹簧的弹力分别为 F_1 、 F_2 、 F_3 ，其大小关系是()。

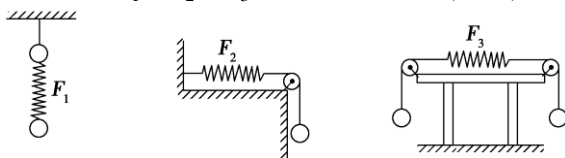


图 2-1-16

- A. $F_1 = F_2 = F_3$
- B. $F_1 = F_2 < F_3$
- C. $F_1 = F_3 > F_2$
- D. $F_3 > F_1 > F_2$

解析 第一个图中，以弹簧下面的小球为研究对象，第二个图中，以悬挂的小球为研究对象，第三

个图中，以任意一小球为研究对象。第一个图中，小球受竖直向下的重力 mg 和弹簧向上的弹力，二力平衡， $F_1 = mg$ ；后面两个图中，小球受竖直向下的重力和细线的拉力，二力平衡，弹簧的弹力大小均等于细线拉力的大小，则 $F_2 = F_3 = mg$ ，故三图中平衡时弹簧的弹力相等。

答案 A

10. (单选)如图 2-1-17 所示，将一轻质弹簧的一端固定在铁架台上，然后将最小刻度是毫米的刻度尺竖直放在弹簧一侧，刻度尺的 0 刻线与弹簧上端对齐，使弹簧下端的指针恰好落在刻度尺上。当弹簧下端挂一个 50 g 的砝码时，指针示数为 $L_1 = 3.40$ cm，当弹簧下端挂两个 50 g 的砝码时，指针示数为 $L_2 = 5.10$ cm。 g 取 9.8 m/s^2 。由此可知()。

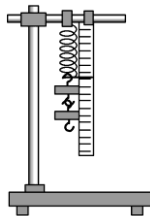


图 2-1-17

- A. 弹簧的原长是 1.70 cm
- B. 仅由题给数据无法获得弹簧的原长
- C. 弹簧的劲度系数是 28 N/m
- D. 由于弹簧的原长未知，无法算出弹簧的劲度系数

解析 设弹簧原长为 L_0 ，由胡克定律得 $k(L_1 - L_0) = mg$ ， $k(L_2 - L_0) = 2mg$ ，解得 $L_0 = 1.70$ cm， $k = 29$ N/m，A 正确。

答案 A

B 深化训练——提高能力技巧

11. (2013 浙江金华十校联考)(单选)如图 2-1-18 所示，重为 10 N 的小球套在与水平面成 37° 角的硬杆上，现用一垂直于杆向上、大小为 20 N 的力 F 拉小球，使小球处于静止状态(已知 $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8$)。则()。

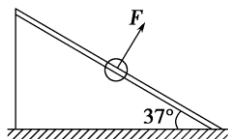
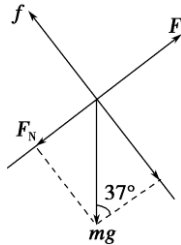


图 2-1-18

- A. 小球不一定受摩擦力的作用
- B. 小球受摩擦力的方向一定沿杆向上，大小为 6 N
- C. 杆对小球的弹力方向垂直于杆向下，大小为 4.8 N
- D. 杆对小球的弹力方向垂直于杆向上，大小为 12 N



解析 对小球受力分析，正交分解如图，由共点力平衡可知， $f = mg \sin 37^\circ = 10 \times 0.6 \text{ N} = 6 \text{ N}$ ， $F_N = F - mg \cos 37^\circ = 20 \text{ N} - 8 \text{ N} = 12 \text{ N}$ 、方向垂直杆向下，故 B 正确，A、C、D 错误。

答案 B

12. (单选)如图 2-1-19 所示，一重为 120 N 的球固定在弹性杆 AB 的上端，今用测力计沿与水平方向成 37° 角斜向右上方拉球，使杆发生弯曲，此时测力计的示数为 100 N，已知 $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8$ ，则杆 AB 对球作用力的大小为()。

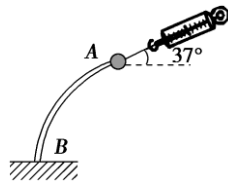


图 2-1-19

- A. 80 N B. 100 N
C. 110 N D. 120 N

解析 球受到重力 mg 、测力计的弹力 $F = 100\text{ N}$ 和杆对其的作用力 F_N ，根据平衡条件可得： $F_{Nx} = F \cos 37^\circ = 80\text{ N}$ ， $F_{Ny} = mg - F \sin 37^\circ = 60\text{ N}$ ，所以 $F_N = \sqrt{F_{Nx}^2 + F_{Ny}^2} = 100\text{ N}$ ，即 B 正确。

答案 B

13. (单选) 如图 2-1-20 所示，重 80 N 的物体 A 放在倾角为 30° 的粗糙斜面上，有一根原长为 10 cm ，劲度系数为 1000 N/m 的弹簧，其一端固定在斜面底端，另一端放置物体 A 后，弹簧长度缩短为 8 cm ，现用一测力计沿斜面向上拉物体，若物体与斜面间最大静摩擦力为 25 N ，当弹簧的长度仍为 8 cm 时，测力计读数不可能为 ()。

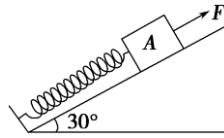


图 2-1-20

- A. 10 N B. 20 N C. 40 N D. 60 N

解析 当物体受到的静摩擦力方向沿斜面向下，且达到最大静摩擦力时，测力计的示数最大，此时

$$F + k\Delta x = mg \sin \theta + F_{fmax}$$

解得 $F = 45\text{ N}$ ，故 F 不能超过 45 N ，选 D。

答案 D

14. (多选) 如图 2-1-21 所示，两根光滑细棒在同一竖直平面内，两棒与水平面成 37° 角，棒上各穿有一个质量为 m 的相同小球，两球用轻质弹簧连接，两小球在图中位置处于静止状态，此时弹簧与水平面平行，则下列判断正确的是 ()。

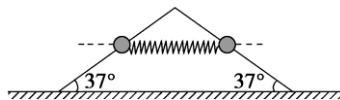
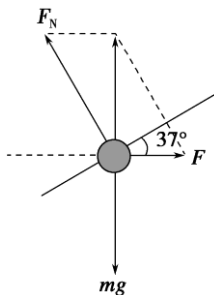


图 2-1-21

- A. 弹簧处于拉伸状态 B. 弹簧处于压缩状态
C. 弹簧的弹力大小为 $\frac{3}{4}mg$ D. 弹簧的弹力大小为 $\frac{3}{8}mg$



解析 若弹簧处于压缩状态，右侧小球受到竖直向下的重力，水平向右的弹簧弹力和垂直细杆斜向左下方的弹力，小球不可能平衡，所以弹簧处于拉伸状态，对左侧小球受力分析如图所示，由平衡条件知 $F = mg \tan 37^\circ = \frac{3}{4}mg$ ，则 A、C 对，B、D 错。

答案 AC

考点1

滑动摩擦力、动摩擦因数 (考纲要求 I)

1. 滑动摩擦力的产生条件

- (1) 接触面粗糙.
 (2) 接触处有弹力.
 (3) 两物体间有相对运动.

2. 滑动摩擦力的定义

滑动摩擦力: 两个相互接触且发生形变的粗糙物体, 当它们发生相对运动时, 就会在接触面上产生阻碍相对运动的力.

3. 滑动摩擦力的大小及方向

- (1) 大小: $F = \mu F_N$
 (2) 方向: 沿两物体的接触面, 与相对运动的方向相反.

4. 动摩擦因数

滑动摩擦力大小的计算公式 $F = \mu F_N$ 中 μ 为比例常数, 称为动摩擦因数, 其大小与两个物体的材料和接触面的粗糙程度有关.

思维深化 1 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

- (1) 滑动摩擦力的方向一定与物体运动方向相反. ()
 (2) 滑动摩擦力一定是阻力. ()
 (3) 滑动摩擦力的大小与物体的运动速度无关, 与接触面的面积大小也无关. ()
 (4) 滑块从向右下方倾斜的逆时针旋转的传送带的顶端以某一初速度沿着传送带滑下时受到的摩擦力沿着传送带向下. ()

答案 (1)× (2)× (3)√ (4)×

考点2

静摩擦力 (考纲要求 I)

1. 产生条件

- (1) 接触面粗糙
 (2) 接触处有弹力
 (3) 两物体有相对运动趋势(仍保持相对静止)

2. 定义: 两个相互接触且发生形变的粗糙物体, 当它们具有相对运动趋势时, 就会在接触面上产生阻碍相对运动趋势的力.

3. 大小和方向

- (1) 大小: $0 < F \leq F_m$
 (2) 方向: 沿两物体的接触面与相对运动趋势的方向相反.

思维深化 2 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

- (1) 静摩擦力一定是阻力, 滑动摩擦力不一定是阻力. ()
 (2) 运动的物体不可能受到静摩擦力的作用. ()
 (3) 用手握紧装满水的瓶子静止提在空中时, 手握瓶子的力越大, 瓶子受到的摩擦力越大. ()
 (4) 静摩擦力的作用效果是阻碍物体间的相对运动趋势. ()

答案 (1)× (2)× (3)× (4)√

基础自测

1. (单选) 下列关于摩擦力的说法正确的是().
 A. 摩擦力的方向总与物体的运动方向相反
 B. 摩擦力的大小与相应的正压力成正比
 C. 运动着的物体不可能受静摩擦力作用, 只能受滑动摩擦力作用
 D. 静摩擦力的方向与接触物体相对运动趋势的方向相反

解析 摩擦力的方向与物体的运动方向可以相同也可以相反,故 A 错;静摩擦力的方向总是与物体间相对运动趋势的方向相反,故 D 对;静摩擦力存在于相对静止的物体间,物体可以是静止的,也可以是运动的,故 C 错;滑动摩擦力大小与正压力成正比,静摩擦力与正压力无关,最大静摩擦力与正压力成正比,故 B 错.

答案 D

2. (多选)下列关于摩擦力的说法中,正确的是().

- A. 滑动摩擦力的大小一定与接触面上的压力成正比
- B. 运动物体受到的摩擦力不一定等于 μF_N
- C. 在水平面上的物体受到的摩擦力一定与该物体的重力大小成正比
- D. 以上说法都不正确

解析 解答本题时要注意静摩擦力与滑动摩擦力的区别,静摩擦力并非与接触面间的压力成正比,而且压力不一定等于重力,故选项 A 正确、C 错误;运动的物体可能受静摩擦力的作用,选项 B 正确.

答案 AB

3. (单选)质量为 m 的物体在水平面上,在大小相等、互相垂直的水平力 F_1 和 F_2 的作用下,从静止开始沿水平面运动,如图 2-2-1 所示,若物体与水平面间的动摩擦因数为 μ ,则物体().

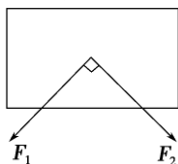


图 2-2-1

- A. 在 F_1 的反方向上受到 $F_{f1} = \mu mg$ 的摩擦力
- B. 在 F_2 的反方向上受到 $F_{f2} = \mu mg$ 的摩擦力
- C. 在 F_1 、 F_2 合力的反方向上受到的摩擦力为 $F_f = \sqrt{2}\mu mg$
- D. 在 F_1 、 F_2 合力的反方向上受到的摩擦力为 $F_f = \mu mg$

答案 D

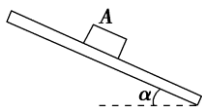


图 2-2-2

4. (2013 山东淄博模拟)(单选)如图 2-2-2 所示,物块 A 放在倾斜的木板上,已知木板的倾角 α 分别为 30° 和 45° 时物块所受摩擦力的大小恰好相同,则物块和木板间的动摩擦因数为().

- A. $\frac{1}{2}$
- B. $\frac{\sqrt{3}}{2}$
- C. $\frac{\sqrt{2}}{2}$
- D. $\frac{\sqrt{5}}{2}$

解析 由题意可以判断出,当倾角 $\alpha = 30^\circ$ 时,物块受到的摩擦力是静摩擦力,大小为 $F_{f1} = mg \sin 30^\circ$,当 $\alpha = 45^\circ$ 时,物块受到的摩擦力为滑动摩擦力,大小为 $F_{f2} = \mu F_N = \mu mg \cos 45^\circ$,由 $F_{f1} = F_{f2}$ 得 $\mu = \frac{\sqrt{2}}{2}$.

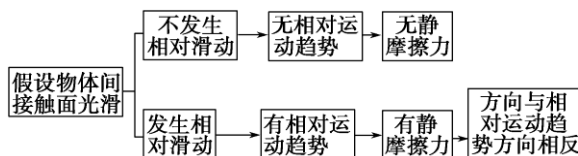
答案 C

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 静摩擦力方向的判断

1. 假设法



2. 状态法

根据平衡条件、牛顿第二定律，可以判断静摩擦力的方向。

3. 相互法

利用牛顿第三定律(即作用力与反作用力的关系)来判断。此法关键是抓住“力是成对出现的”，先确定受力较少的物体受到的静摩擦力的方向，再根据“相互作用”确定另一物体受到的静摩擦力的方向。

【典例 1】如图 2-2-3 所示，A、B 两物块叠放在一起，在粗糙的水平面上保持相对静止地向右做匀减速直线运动，运动过程中 B 受到的摩擦力()。

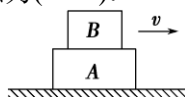
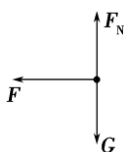


图 2-2-3

- A. 方向向左，大小不变
B. 方向向左，逐渐减小
C. 方向向右，大小不变
D. 方向向右，逐渐减小

解析 对 A、B 整体受力分析如图所示，滑动摩擦力 F 使整体产生加速度 a ， a 等于 μg 不变，对 B 受力分析知，B 所受静摩擦力 $F_f = m_B a = \mu m_B g$ ，大小不变，方向向左，故 A 对，B、C、D 错。



答案 A

反思总结 应用“状态法”解题时应注意的问题

状态法是分析判断静摩擦力有无及方向、大小的常用方法，在使用状态法处理问题时，需注意以下两点：(1)明确物体的运动状态，分析物体的受力情况，根据平衡方程或牛顿定律求解静摩擦力的大小和方向。(2)静摩擦力的方向与物体的运动方向没有必然关系，可能相同，也可能相反，还可能成一定的夹角。

【跟踪短训】

1. 分析图 2-2-4 中各种情况下物体 A 所受摩擦力的方向。

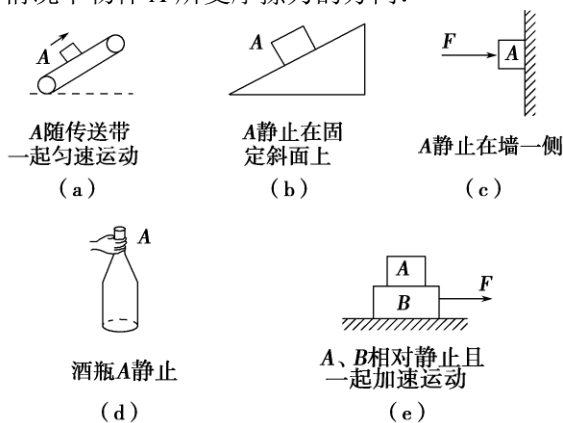


图 2-2-4

答案 (a)A 受沿传送带向上的静摩擦力。

(b)A 受沿斜面向上的静摩擦力。

(c)A 受竖直向上的静摩擦力。

(d)酒瓶 A 受竖直向上的静摩擦力。

(e)A 受水平向右的静摩擦力。

2. 如图 2-2-5 所示，倾角为 θ 的斜面 C 置于水平地面上，小物块 B 置于斜面上，通过细绳跨过光滑的定滑轮与物体 A 相连接，连接 B 的一段细绳与斜面平行，已知 A、B、C 都处于静止状态。则()。

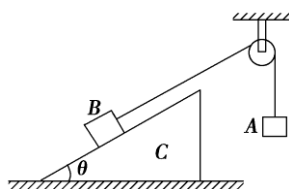


图 2-2-5

- A. B 受到 C 的摩擦力一定不为零
- B. C 受到地面的摩擦力一定为零
- C. C 有沿地面向右滑动的趋势，一定受到地面向左的摩擦力
- D. 将细绳剪断，若 B 依然静止在斜面上，此时地面对 C 的摩擦力为 0

解析 若绳对 B 的拉力恰好与 B 的重力沿斜面向下的分力平衡，则 B 与 C 间的摩擦力为零，A 项错误；将 B 和 C 看成一个整体，则 B 和 C 受到细绳向右上方的拉力作用，故 C 有向右滑动的趋势，一定受到地面向左的摩擦力，B 项错误，C 项正确；将细绳剪断，若 B 依然静止在斜面上，利用整体法判断， B 、 C 整体在水平方向不受其他外力作用，处于平衡状态，则地面对 C 的摩擦力为 0，D 项正确。

答案 CD

热点二 对摩擦力的进一步理解

误区一：有弹力就有摩擦力，有摩擦力就有弹力

从产生摩擦力的条件可知：有弹力存在仅仅是产生摩擦力的一个条件。虽有弹力存在，但两物体间若没有“相对运动或相对运动的趋势”，则不会产生摩擦力，反之，若两物体间有摩擦力，则一定有弹力。

误区二：摩擦力的大小一定与正压力成正比

若摩擦力是滑动摩擦力，根据 $F_f = \mu F_N$ 可知，两物体间的滑动摩擦力确实与正压力成正比。但对静摩擦力而言，它是一个被动力，随着使物体产生“相对运动趋势”的外力的变化而变化，与正压力大小无关，正压力只可影响最大静摩擦力的大小。（同学们自己举例说明）

误区三：摩擦力的方向总是与物体的运动方向相反

摩擦力的方向应与“相对运动”或“相对运动趋势”的方向相反，与物体的运动方向有可能相反也有可能相同。即摩擦力可以是阻力，也可以是动力。

误区四：摩擦力的方向与物体运动方向一定在同一直线上

常见的多数摩擦力的方向与物体运动方向在同一直线上，但不是所有情境下的摩擦力均如此。如图 2-2-6 所示，一人站在扶梯上，随扶梯斜向上加速上升；人沿扶梯斜向上运动，而人所受摩擦力却是水平方向，与运动方向并不共线。故两物体间摩擦力的方向应理解为“与两物体接触面相切，和物体间‘相对运动’或‘相对运动趋势’的方向相反”，而与物体的运动方向无关。

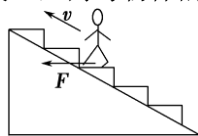


图 2-2-6

【典例 2】 如图 2-2-7 所示，物体 A 置于倾斜的传送带上，它能随传送带一起向上或向下做匀速运动，下列关于物体 A 在上述两种情况下的受力描述，正确的是()。

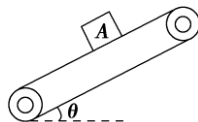
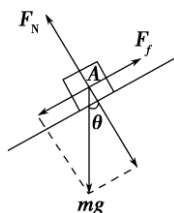


图 2-2-7

- A. 物体 A 随传送带一起向上运动时， A 所受的摩擦力沿斜面向下
- B. 物体 A 随传送带一起向下运动时， A 所受的摩擦力沿斜面向下
- C. 物体 A 随传送带一起向下运动时， A 不受摩擦力作用
- D. 无论 A 随传送带一起向上还是向下运动，传送带对物体 A 的作用力均相同



解析 无论传送带向上还是向下运动,物体 A 随传送带匀速运动处于平衡状态,在重力作用下有相对于传送带沿斜面向下的运动趋势,传送带对物体有沿斜面向上的静摩擦力,根据平衡条件可得 $F_f = mg \sin \theta$, 所以 D 正确.

答案 D

【跟踪短训】

3. 下列关于摩擦力的说法,正确的是().

- A. 作用在物体上的滑动摩擦力只能使物体减速,不可能使物体加速
- B. 作用在物体上的静摩擦力只能使物体加速,不可能使物体减速
- C. 作用在物体上的滑动摩擦力既可能使物体减速,也可能使物体加速
- D. 作用在物体上的静摩擦力既可能使物体加速,也可能使物体减速

解析 摩擦力总是阻碍物体的相对运动(或相对运动趋势),而物体间的相对运动与物体的实际运动无关.当摩擦力的方向与物体的运动方向一致时,摩擦力是动力,方向相反时为阻力,故 C、D 项正确.

答案 CD

热点三 摩擦力的大小计算

摩擦力大小的计算技巧

分析计算摩擦力的大小和方向时,应先分清是滑动摩擦力还是静摩擦力.

(1)静摩擦力根据物体所受外力及所处的状态(平衡或变速),可分为两种情况:

①物体处于平衡状态(静止或匀速)时,利用力的平衡条件来求出其大小.

②物体有加速度时,若只有静摩擦力,则 $F_f = ma$;若除静摩擦力外,物体还受其他力,则先求合力 ($F_{合} = ma$),再求静摩擦力.

(2)滑动摩擦力的大小用公式 $F_f = \mu F_N$ 来计算.其大小只取决于物体所受正压力和接触面间的动摩擦因数,与物体所处的运动状态、接触面积大小无关,当然其大小也可根据物体的运动情况,利用平衡条件或牛顿第二定律求解.

【典例 3】(2013 全国新课标 II 卷, 15)如图 2-2-8,在固定斜面上的一物块受到一外力 F 的作用, F 平行于斜面向上.若要物块在斜面上保持静止, F 的取值应有一定范围,已知其最大值和最小值分别为 F_1 和 F_2 ($F_2 > 0$).由此可求出().

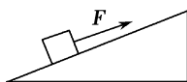


图 2-2-8

- A. 物块的质量
- B. 斜面的倾角
- C. 物块与斜面间的最大静摩擦力
- D. 物块对斜面的正压力

解析 物块在斜面上处于静止状态,先对物块进行受力分析,确定其运动趋势,列平衡方程可得 F_f .

物块受与斜面平行的外力 F 作用,而在斜面上静止,此时摩擦力的大小和方向将随 F 的变化而变化.

设斜面倾角为 θ ,由平衡条件 $F_1 - mg \sin \theta - F_{fmax} = 0$, $F_2 - mg \sin \theta + F_{fmax} = 0$,解得 $F_{fmax} = \frac{F_1 - F_2}{2}$,

故选项 C 正确.

答案 C

【跟踪短训】

4. 如图 2-2-9 所示,质量为 m 的木块在质量为 M 的长木板上,受到向右的拉力 F 的作用而向右滑行,长木板处于静止状态,已知木块与木板间的动摩擦因数为 μ_1 ,木板与地面间的动摩擦因数为 μ_2 .

下列说法正确的是().

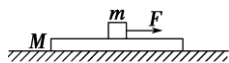


图 2-2-9

- A. 木板受到地面的摩擦力的大小一定是 $\mu_1 mg$
- B. 木板受到地面的摩擦力的大小一定是 $\mu_2(m+M)g$
- C. 当 $F > \mu_2(m+M)g$ 时, 木板便会开始运动
- D. 无论怎样改变 F 的大小, 木板都不可能运动

解析 由于木块在木板上运动, 所以木块受到木板的滑动摩擦力的作用, 其大小为 $\mu_1 mg$, 根据牛顿第三定律可得木块对木板的滑动摩擦力也为 $\mu_1 mg$. 又由于木板处于静止状态, 木板在水平方向上受到木块的摩擦力 $\mu_1 mg$ 和地面的静摩擦力的作用, 二力平衡, 选项 A 正确, B 错误. 若增大 F 的大小, 只能使木块加速运动, 但木块对木板的滑动摩擦力大小不变, 因而也就不可能使木板运动起来, 选项 C 错误, D 正确.

答案 AD

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

物理建模 2. 摩擦力的“突变”模型

► 模型一 “静静”突变

物体在摩擦力和其他力的作用下处于静止状态, 当作用在物体上的其他力的合力发生变化时, 如果物体仍然保持静止状态, 则物体受到的静摩擦力的大小和方向将发生突变.

【典例 1】 一木块放在水平桌面上, 在水平方向共受到三个力即 F_1 、 F_2 和摩擦力的作用, 木块处于静止状态, 如图 2-2-10 所示, 其中 $F_1 = 10 \text{ N}$, $F_2 = 2 \text{ N}$, 若撤去 F_1 , 则木块受到的摩擦力为().

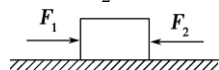


图 2-2-10

- A. 10 N, 方向向左
- B. 6 N, 方向向右
- C. 2 N, 方向向右
- D. 0

解析 当物体受 F_1 、 F_2 及摩擦力的作用而处于平衡状态时, 由平衡条件可知物体所受的摩擦力的大小为 8 N, 可知最大静摩擦力 $F_{f\max} \geq 8 \text{ N}$. 当撤去力 F_1 后, $F_2 = 2 \text{ N} < F_{f\max}$, 物体仍处于静止状态, 由平衡条件可知物体所受的静摩擦力大小和方向发生突变, 且与作用在物体上的 F_2 等大反向. C 正确.

答案 C

即学即练 1 如图 2-2-11 所示, 轻弹簧的一端与物块 P 相连, 另一端固定在木板上. 先将木板水平放置, 并使弹簧处于拉伸状态. 缓慢抬起木板的右端, 使倾角逐渐增大, 直至物块 P 刚要沿木板向下滑动, 在这个过程中, 物块 P 所受静摩擦力的大小变化情况是().

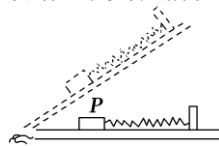


图 2-2-11

- A. 先保持不变
- B. 一直增大
- C. 先增大后减小
- D. 先减小后增大

解析 本题考查共点力的动态平衡问题. 对物块进行受力分析可知, 由于初始状态弹簧被拉伸, 所以物块受到的摩擦力水平向左, 当倾角逐渐增大时, 物块所受重力在斜面方向的分力逐渐增大, 所以摩擦力先逐渐减小, 当弹力与重力的分力平衡时, 摩擦力减为 0; 当倾角继续增大时, 摩擦力向上逐渐增大, 故选项 D 正确.

答案 D

► 模型二 “静动”突变

物体在摩擦力和其他力作用下处于静止状态, 当其他力变化时, 如果物体不能保持静止状态, 则物

体受到的静摩擦力将“突变”成滑动摩擦力。

【典例 2】

如图 2-2-12 所示，在平板与水平面间的夹角 θ 逐渐变大的过程中，分析木块 m 受到的摩擦力的情况。

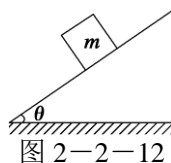


图 2-2-12

解析 ①当 θ 角较小时，木块静止不动，木块受到静摩擦力 $F_{静}$ 的作用，静摩擦力 $F_{静}$ 与物体的重力 G 在沿斜面上的分力 $G\sin\theta$ 是一对平衡力，故 $F_{静} = G\sin\theta$ ， θ 变大，则 $F_{静} = G\sin\theta$ 变大。

②当角达到一个确定的值 θ_0 时，木块恰好匀速运动，这时木块受到滑动摩擦力 $F_{滑}$ 的作用。

利用受力平衡得 $F_{滑} = G\sin\theta_0$

利用公式得 $F_{滑} = \mu G\cos\theta_0$

两式联立得 $\mu = \tan\theta_0$

当 $\theta > \theta_0$ 后，物体受到的摩擦力为滑动摩擦力，则 $F_{滑} = \mu G\cos\theta$

故当 θ 继续变大时，物体受到的滑动摩擦力减小了。

当 $\theta = 90^\circ$ 时，物体受到的滑动摩擦力等于 0。

答案 见解析

即学即练 2 在探究静摩擦力变化的规律及滑动摩擦力变化的规律的实验中，特设计了如图 2-2-13 甲所示的演示装置，力传感器 A 与计算机连接，可获得力随时间变化的规律，将力传感器固定在光滑水平桌面上，测力端通过细绳与一滑块相连(调节传感器高度可使细绳水平)，滑块放在较长的小车上，小车一端连接一根轻绳并跨过光滑的轻定滑轮系一只空沙桶(调节滑轮可使桌面上部细绳水平)，整个装置处于静止状态。实验开始时打开传感器同时缓慢向沙桶里倒入沙子，小车一旦运动起来，立即停止倒沙子，若力传感器采集的图象如图乙，则结合该图象，下列说法正确的是()。

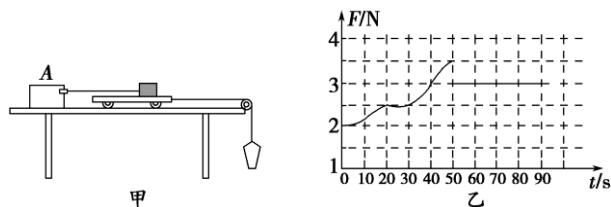


图 2-2-13

- A. 可求出空沙桶的重力
- B. 可求出滑块与小车间的滑动摩擦力的大小
- C. 可求出滑块与小车间的最大静摩擦力的大小
- D. 可判断第 50 秒后小车做匀速直线运动(滑块仍在车上)

解析 $t=0$ 时刻，传感器显示拉力为 2 N，则滑块受到的摩擦力为静摩擦力，大小为 2 N，由车与空沙桶受力平衡可知空沙桶的重力也等于 2 N，A 对； $t=50$ s 时刻摩擦力达到最大值，即最大静摩擦力为 3.5 N，同时小车启动，说明带有沙的沙桶重力等于 3.5 N，此时摩擦力立即变为滑动摩擦力，最大静摩擦力略大于滑动摩擦力，故摩擦力突变为 3 N 的滑动摩擦力，B、C 正确；此后由于沙和沙桶重力 3.5 N 大于滑动摩擦力 3 N，故 50 s 后小车将加速运动，D 错。

答案 ABC

模型三 “动静” 突变

在摩擦力和其他力作用下，做减速运动的物体突然停止滑行时，物体将不受摩擦力作用，或滑动摩擦力“突变”成静摩擦力。

【典例 3】 如图 2-2-14 所示，质量为 1 kg 的物体与地面间的动摩擦因数 $\mu=0.2$ ，从 $t=0$ 开始以初速度 v_0 沿水平地面向右滑行，同时受到一个水平向左的恒力 $F=1$ N 的作用，取 $g=10$ m/s²，向右为

正方向，该物体受到的摩擦力 F_f 随时间变化的图象是(最大静摩擦力等于滑动摩擦力). ().

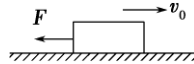
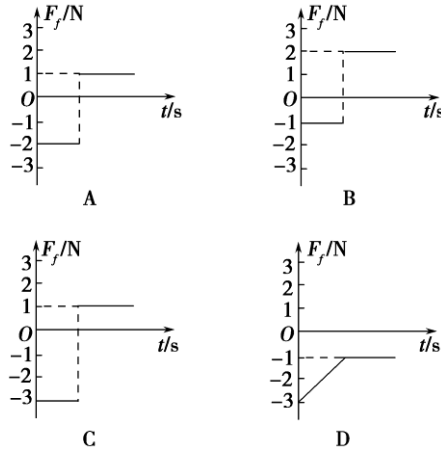
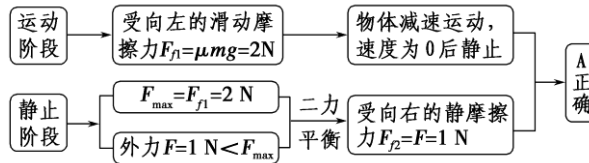


图 2-2-14



解析



答案 A

反思总结 物体受到的外力发生变化时，物体受到的摩擦力的种类就有可能发生突变。解决这类问题的关键是：正确对物体受力和运动状态分析，从而找到物体摩擦力的突变“临界点”。

即学即练 3 如图 2-2-15 所示，把一重为 G 的物体，用一水平方向的推力 $F=kt$ (k 为恒量， t 为时间) 压在竖直的足够高的平整墙上，从 $t=0$ 开始物体所受的摩擦力 F_f 随 t 的变化关系是下图中的()。

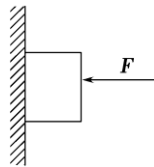
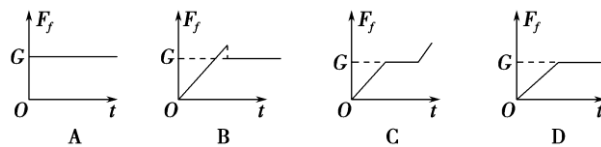


图 2-2-15



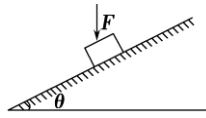
解析 物体在竖直方向上只受重力 G 和摩擦力 F_f 的作用。由于 F_f 从零开始均匀增大，开始一段时间 $F_f < G$ ，物体加速下滑；当 $F_f = G$ 时，物体的速度达到最大值；之后 $F_f > G$ ，物体向下做减速运动，直至减速为零。

在整个运动过程中，摩擦力为滑动摩擦力，其大小为 $F_f = \mu F_N = \mu F = \mu kt$ ，即 F_f 与 t 成正比，是一条过原点的倾斜直线。

当物体速度减为零后，滑动摩擦力突变为静摩擦力，其大小 $F_f = G$ ，所以物体静止后的图线为平行于 t 轴的线段。正确答案为 B。

答案 B

附：对应高考题组(PPT课件文本，见教师用书)



1. (2011 安徽卷, 14)一质量为 m 的物块恰好静止在倾角为 θ 的斜面上. 现对物块施加一个竖直向下的恒力 F , 如图所示. 则物块().

- A. 仍处于静止状态
- B. 沿斜面加速下滑
- C. 受到的摩擦力不变
- D. 受到的合外力增大

解析 由于物块恰好静止在斜面上, 由平衡条件知

$$mg \sin \theta = \mu mg \cos \theta \text{ ①}$$

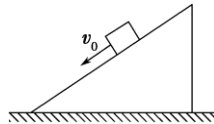
当加一竖直向下的力 F 时

$$F_f = \mu(mg + F) \cos \theta \text{ ②}$$

由①②得 $F_f = (mg + F) \sin \theta$, 所以物块仍保持静止.

答案 A

2. (2011 海南卷, 5)如图, 粗糙的水平地面上有一斜劈, 斜劈上一物块正在沿斜面以速度 v_0 匀速下滑, 斜劈保持静止, 则地面对斜劈的摩擦力().



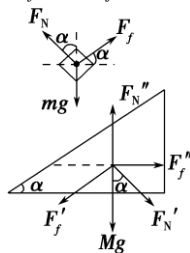
- A. 等于零
- B. 不为零, 方向向右
- C. 不为零, 方向向左
- D. 不为零, v_0 较大时方向向左, v_0 较小时方向向右

解析 解法一 整体法.

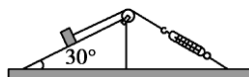
选物块和斜劈组成的系统为研究对象, 由于系统的加速度等于零, 合力等于零, 故系统在水平方向的合力等于零, 因此地面对斜劈的摩擦力等于零. 故 A 正确.

解法二 隔离法.

选物块为研究对象, 受力情况如图所示, 由于物块匀速运动, 故 $F_f \cos \alpha = F_N \sin \alpha$. 选斜劈为研究对象, 受力情况如图所示, 假设地面对斜劈的摩擦力为 F_f'' 向右, 则根据平衡条件, 得 $F_f'' + F_N' \sin \alpha = F_f' \cos \alpha$, 且 $F_f \cos \alpha = F_N \sin \alpha$, $F_N' = F_N$, $F_f' = F_f$, 所以 $F_f'' = F_f \cos \alpha - F_f \cos \alpha = 0$. 故 A 正确.



答案 A



3. (2012 浙江卷, 14)如图所示, 与水平面夹角为 30° 的固定斜面上有一质量 $m = 1.0 \text{ kg}$ 的物体. 细绳的一端与物体相连. 另一端经摩擦不计的定滑轮与固定的弹簧秤相连. 物体静止在斜面上, 弹簧秤的示数为 4.9 N . 关于物体受力的判断(取 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$), 下列说法正确的是().

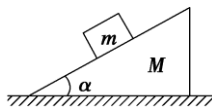
- A. 斜面对物体的摩擦力大小为零
- B. 斜面对物体的摩擦力大小为 4.9 N , 方向沿斜面向上
- C. 斜面对物体的支持力大小为 $4.9 \sqrt{3} \text{ N}$, 方向竖直向上

D. 斜面对物体的支持力大小为 4.9 N, 方向垂直斜面向上

解析 因物体的重力沿斜面方向的分力 $mg\sin 30^\circ = 1 \times 9.8 \times 0.5 \text{ N} = 4.9 \text{ N}$, 与弹簧秤的示数相等, 故斜面对物体的摩擦力大小为 0, 则选项 A 正确, 选项 B 错误; 斜面对物体的支持力大小为 $mg\cos 30^\circ = 1 \times 9.8 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ N} = 4.9\sqrt{3} \text{ N}$, 方向垂直斜面向上, 则选项 C、D 错误.

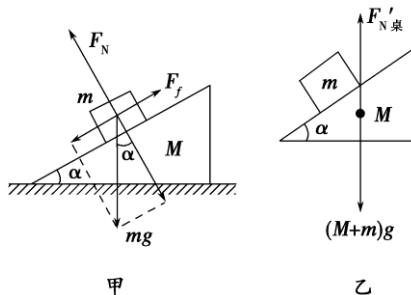
答案 A

4. (2013 北京卷, 16) 倾角为 α 、质量为 M 的斜面体静止在水平桌面上, 质量为 m 的木块静止在斜面体上. 下列结论正确的是().



- A. 木块受到的摩擦力大小是 $mg\cos \alpha$
- B. 木块对斜面体的压力大小是 $mg\sin \alpha$
- C. 桌面对斜面体的摩擦力大小是 $mg\sin \alpha \cos \alpha$
- D. 桌面对斜面体的支持力大小是 $(M+m)g$

解析 以木块为研究对象, 如图甲所示, 有 $F_f = mg\sin \alpha$, $F_N = mg\cos \alpha$, 故选项 A、B 均错误; 以木块与斜面体所组成的整体为研究对象, 如图乙所示, 有 $F_{f\text{桌}}' = 0$, $F_{N\text{桌}}' = (M+m)g$, 故选项 C 错误, 选项 D 正确.



答案 D

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 对摩擦力的理解

1. (单选) 关于摩擦力, 有人总结了“四条不一定”, 其中说法错误的是().

- A. 摩擦力的方向不一定与物体的运动方向相同
- B. 静摩擦力的方向不一定与运动方向共线
- C. 受静摩擦力或滑动摩擦力的物体不一定静止或运动
- D. 静摩擦力一定是阻力, 滑动摩擦力不一定是阻力

解析 摩擦力的方向与跟它相接触的物体的相对运动方向或相对运动趋势的方向相反, 与它的运动方向可能相同, 也可能相反, 也可能不在一条直线上, 故 A、B 正确; 运动的物体可受静摩擦力作用, 如随传送带一起加速的物体, 静止的物体可受滑动摩擦力作用, 如滑块滑过固定的木板时木板受的力, 故 C 正确; 静摩擦力也可以充当动力, 故 D 不正确.

答案 D

2. (多选) 卡车上放一木箱, 车在水平路面上运动时, 以下说法中正确的是().

- A. 车启动时, 木箱给卡车的摩擦力向后
- B. 车做匀速直线运动时, 车给木箱的摩擦力向前
- C. 车做匀速直线运动时, 车给木箱的摩擦力为零
- D. 车突然制动时, 木箱获得向前的摩擦力, 使木箱向前滑动

解析 车启动时, 卡车及木箱均有向前的加速度, 故卡车应给木箱一个向前的摩擦力, 其反作用力

应向后，故 A 项正确；匀速运动时，水平方向不受力或合力为零，故 B 项错误，C 项正确。车突然制动时，减速运动，故加速度向后，木箱获得的摩擦力也向后，木箱向前减速滑行，D 项错误。

答案 AC

3. (单选)关于由滑动摩擦力公式 $F_f = \mu F_N$ 推出的 $\mu = \frac{F_f}{F_N}$ ，下列说法正确的是()。

- A. 动摩擦因数 μ 与摩擦力 F_f 成正比， F_f 越大， μ 越大
- B. 动摩擦因数 μ 与正压力 F_N 成反比， F_N 越大， μ 越小
- C. μ 与 F_f 成正比，与 F_N 成反比
- D. μ 的大小由两物体接触面的情况及其材料决定

解析 动摩擦因数 μ 的大小由接触面的粗糙程度及材料决定，与摩擦力 F_f 和压力 F_N 无关，一旦材料和接触面的情况确定了，动摩擦因数 μ 也就确定了。

答案 D

题组二 静摩擦力分析和计算

4. (单选)如图 2-2-16 所示，有一重力不计的方形容器，被水平力 F 压在竖直的墙面上处于静止状态，现缓慢地向容器内注水，直到注满为止，此过程中容器始终保持静止，则下列说法正确的是()。

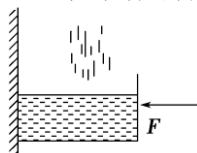


图 2-2-16

- A. 容器受到的摩擦力不断增大
- B. 容器受到的摩擦力不变
- C. 水平力 F 必须逐渐增大
- D. 容器受到的合力逐渐增大

解析 由于容器始终保持静止，故摩擦力为静摩擦力，而且始终与容器受到的重力平衡，由于水的质量不断增大，因此静摩擦力也随之增大，只有 A 正确。

答案 A

5. (2015 揭阳模拟)(单选)如图 2-2-17 所示，物体 P 放在粗糙水平面上，左边用一根轻弹簧与竖直墙相连，物体静止时弹簧的长度小于原长。若再用一个从 0 开始逐渐增大的水平力 F 向右拉 P ，直到拉动，那么在 P 被拉动之前的过程中，弹簧对 P 的弹力 F_T 的大小和地面对 P 的摩擦力 F_f 的大小的变化情况是()。

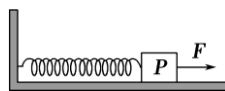


图 2-2-17

- A. 弹簧对 P 的弹力 F_T 始终增大，地面对 P 的摩擦力始终减小
- B. 弹簧对 P 的弹力 F_T 保持不变，地面对 P 的摩擦力始终增大
- C. 弹簧对 P 的弹力 F_T 保持不变，地面对 P 的摩擦力先减小后增大
- D. 弹簧对 P 的弹力 F_T 先不变后增大，地面对 P 的摩擦力先增大后减小

解析 物体 P 始终静止不动，故弹簧的形变量没有变化，弹力 F_T 保持不变。由平衡条件知 $F = F_f - F_T$ ，力 F 逐渐增大时， F_f 也逐渐增大，故选项 B 正确。

答案 B

6. (单选)如图 2-2-18 所示，物体 B 叠放在物体 A 上， A 、 B 的质量均为 m ，且上、下表面均与斜面平行，它们以共同速度沿倾角为 θ 的固定斜面 C 匀速下滑，则()。

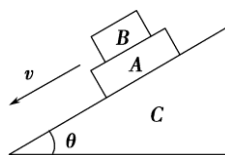


图 2-2-18

- A. A、B 间没有静摩擦力
- B. A 受到 B 的静摩擦力方向沿斜面向上
- C. A 受到斜面的滑动摩擦力大小为 $2mg\sin\theta$
- D. A 与 B 间的动摩擦因数 $\mu = \tan\theta$

解析 当 A、B 以共同速度沿倾角为 θ 的固定斜面 C 匀速下滑时，A 受到斜面的滑动摩擦力大小为 $2mg\sin\theta$ ，C 正确；A 对 B 的摩擦力等于 B 的重力沿斜面方向的分力，A 错误；由牛顿第三定律，A 受到 B 的静摩擦力方向沿斜面向下，B 错误；A 与 B 的摩擦力是静摩擦力，故不能确定 A、B 之间的动摩擦因数，D 错误。

答案 C

题组三 滑动摩擦力的分析与计算

7. (单选)如图 2-2-19 所示，人向右匀速推动水平桌面上的长木板，在木板翻离桌面以前，则()。

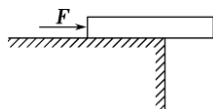


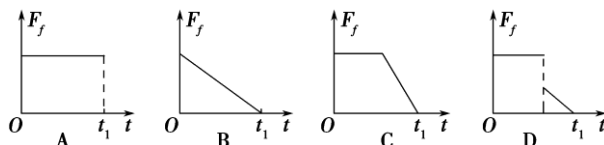
图 2-2-19

- A. 木板露出桌面后，推力将逐渐减小
- B. 木板露出桌面后，木板对桌面的压力将减小
- C. 木板露出桌面后，桌面对木板的摩擦力将减小
- D. 推力、压力、摩擦力均不变

解析 在木板翻离桌面以前，由其竖直方向受力分析可知，桌面对木板的支持力等于重力，所以木板所受到的摩擦力不变，又因为长木板向右匀速运动，推力等于摩擦力，所以推力不变。综上所述，选项 D 正确。

答案 D

8. (多选)用水平力 F 拉着一物体在水平地面上做匀速直线运动，从 $t=0$ 时刻起水平力 F 的大小随时间均匀减小，到 t_1 时刻 F 减小为零。则物体所受的摩擦力 F_f 随时间 t 的变化图象可能是下列图中的()。



解析 若 F 减小为零之前物体始终运动，则摩擦力始终为滑动摩擦力，大小不变，选项 A 正确；若 F 减小为零之前物体停止运动，则停止前摩擦力为滑动摩擦力，大小不变，停止后摩擦力为静摩擦力，大小随 F 的减小而减小，选项 D 正确。

答案 AD

9. (单选)如图 2-2-20 所示，质量为 m 的物体用细绳拴住放在水平粗糙的传送带上，物体与传送带间的动摩擦因数为 μ ，当传送带分别以 v_1 、 v_2 的速度做逆时针运动时($v_1 < v_2$)，绳中的拉力分别为 F_1 、 F_2 ，则下列说法正确的是()。

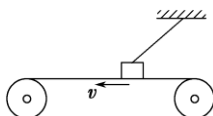
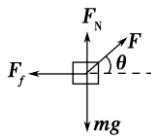


图 2-2-20

- A. 物体受到的摩擦力 $F_{f1} < F_{f2}$

- B. 物体所受摩擦力方向向右
 C. $F_1 = F_2$
 D. 传送带速度足够大时, 物体受到的摩擦力可为 0



解析 物体的受力如图所示, 滑动摩擦力与绳的拉力的水平分量平衡, 因此方向向左, B 错; 设绳与水平方向成 θ 角, 则 $F \cos \theta - \mu F_N = 0$, $F_N + F \sin \theta - mg = 0$, 解得 $F = \frac{\mu mg}{\cos \theta + \mu \sin \theta}$, 恒定不变, C 正

确; 滑动摩擦力 $F_f = F \cos \theta = \frac{\mu mg \cos \theta}{\cos \theta + \mu \sin \theta}$ 也不变, A、D 错.

答案 C

10. 用弹簧测力计测定木块 A 和木块 B 间的动摩擦因数 μ , 有如图 2-2-21 所示的两种装置.

(1) 为了能够用弹簧测力计读数表示滑动摩擦力, 图示装置的两种情况中, 木块 A 是否都要做匀速运动?

(2) 若木块 A 做匀速运动, 甲图中 A、B 间的摩擦力大小是否等于拉力 F_a 的大小?

拉力 $F_a = 110 \text{ N}$, 求 A、B 间的动摩擦因数 μ .

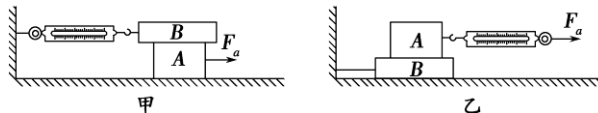


图 2-2-21

解析 (1) 甲图装置中只要 A 相对 B 滑动即可, 弹簧测力计的拉力大小等于 B 受到的滑动摩擦力大小; 乙图装置中要使弹簧测力计的拉力大小等于 A 受到的摩擦力大小, A 必须做匀速直线运动, 即处于平衡状态.

(2) 甲图中 A 受 B 和地面的滑动摩擦力而使 A 处于匀速运动状态, 应是这两个滑动摩擦力的大小之和等于拉力 F_a 的大小.

(3) $F_N = G_B = 150 \text{ N}$, B 所受滑动摩擦力大小等于此时弹簧测力计读数, 即为 $F_f = 60 \text{ N}$, 则由 $F_f = \mu F_N$ 可求得 $\mu = 0.4$. (注: 滑动摩擦力与 F_a 的大小无关, 这种实验方案显然优于乙图装置的方案)

答案 (1) 甲图中 A 可以不做匀速运动, 乙图中 A 必须做匀速运动

(2) 不等 (3) 0.4

B 深化训练——提高能力技巧

11. (单选) 一滑块在水平地面上向右运动, 在经过 A 点时受到一水平恒力 F 作用后运动到 B 点, 已知滑块在 A、B 两处的速度相同. 下列说法正确的有().

- A. 水平地面可能光滑
 B. 滑块一定受到摩擦力, 且一定小于恒力 F
 C. 滑块只能做匀速直线运动
 D. B 点在 A 点的左侧

解析 假设地面光滑: 无论向左或向右施加水平恒力 F , 滑块的合外力均不可能为零, 故滑块不可能出现相同速度, A 错. 假设地面不光滑: 若恒力向右, 当 $F > F_f$ 时, 滑块做匀加速运动, 不符合题意, 当 $F < F_f$ 时, 滑块做匀减速运动直到停止, 也不符合题意, 当 $F = F_f$ 时, 滑块做匀速运动, 符合题意; 若恒力向左, 当 $F \leq F_f$ 时, 滑块将匀减速运动直到停止, 不符合题意, 当 $F > F_f$ 时, 滑块将先匀减速后匀加速向左回来, 速度方向不符合题意. 综上分析, 只有当 $F = F_f$, 且方向向右时, 滑块做匀速直线运动才符合题意, 故 C 对.

答案 C

12. (多选)如图 2-2-22 所示, A、B、C 三个物体质量相等, 它们与传送带间的动摩擦因数相同. 三个物体随传送带一起匀速运动, 运动方向如图中箭头所示. 则下列说法正确的是().

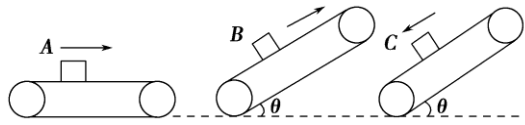


图 2-2-22

- A. A 物体受到的摩擦力不为零, 方向向右
- B. 三个物体只有 A 物体受到的摩擦力为零
- C. B、C 受到的摩擦力大小相等, 方向相同
- D. B、C 受到的摩擦力大小相等, 方向相反

解析 A 物体与传送带一起匀速运动, 没有发生相对滑动, 也没有相对运动趋势, 所以 A 物体不受摩擦力, 选项 A 错误; 对 B、C 物体进行受力分析, 可知 B、C 所受的静摩擦力大小均等于 $mg\sin\theta$, 方向均沿传送带向上, 选项 B、C 正确, D 错误.

答案 BC

13. (单选)如图 2-2-23 所示, 长方体物块 A 叠放在长方体物块 B 上, B 置于水平地面上. A、B 的质量分别为 $m_A=6\text{ kg}$, $m_B=2\text{ kg}$, A、B 之间、B 与水平地面之间的动摩擦因数均为 0.2, 现用大小为 10 N 的水平恒力 F 向右拉 A, 若最大静摩擦力可认为等于滑动摩擦力, $g=10\text{ m/s}^2$, 则以下说法正确的是().

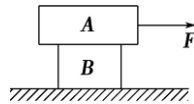


图 2-2-23

- A. A、B 两物块将一起沿水平地面匀速运动
- B. 物块 B 保持静止, 物块 A 相对 B 匀速滑动
- C. 物块 A 所受的摩擦力大小为 10 N
- D. 物块 B 所受的摩擦力大小为 20 N

解析 A、B 间的最大静摩擦力 $F_{fA} = \mu m_A g = 12\text{ N} > 10\text{ N}$, 物块 B 和地面间的最大静摩擦力 $F_{fB} = \mu(m_A + m_B)g = 16\text{ N}$, 用 10 N 的水平恒力 F 向右拉 A, A、B 均保持静止, 物块 A 受到 B 的摩擦力大小为 10 N, B 受到 A 和地面对它的两个摩擦力作用, 合力为零, 故 C 项正确.

答案 C

14. (单选)如图 2-2-24 所示, 物体 A 与斜面体 B 始终保持相对静止并一起沿水平面向右做加速运动, 当加速度逐渐增大时有().

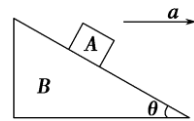
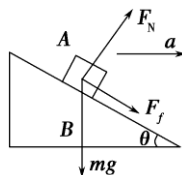


图 2-2-24

- A. B 对 A 的弹力不变, B 对 A 的摩擦力可能减小
- B. B 对 A 的弹力不变, B 对 A 的摩擦力可能增大
- C. B 对 A 的弹力和摩擦力都一定增大
- D. B 对 A 的弹力增大, B 对 A 的摩擦力可能减小



解析 因物体 A 和斜面体 B 保持相对静止, 沿水平方向做加速运动, 所以物体 A 的合力沿水平方向, 竖直方向合力为零. 若开始时静摩擦力方向沿斜面向下, 则物体 A 的受力如图所示, 此时有 $F_N \sin\theta$

$+F_f \cos \theta = ma$, $F_N \cos \theta - F_f \sin \theta = mg$, 所以当 F_N 增大时, F_f 一定增大, 因此 a 增大, F_N 均增大; 同理若开始时静摩擦力方向沿斜面向上, 有 $F_N \sin \theta - F_f \cos \theta = ma$, $F_N \cos \theta + F_f \sin \theta = mg$, 若 F_N 增大, 则 F_f 沿斜面向上先减小到零再沿斜面向下逐渐增大, 所以 A、B、C 错, D 对.

答案 D

第3讲 力的合成和分解

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点1

力的合成和分解 (考纲要求 II)

1. 合力与分力

(1) 定义: 如果一个力产生的效果跟几个共点力共同作用产生的效果相同, 这一个力就叫做那几个力的合力, 原来的几个力叫做分力.

(2) 关系: 合力和分力是等效替代的关系.

2. 共点力: 作用在物体的同一点, 或作用线的延长线交于一点的力, 如图 2-3-1 所示均是共点力.

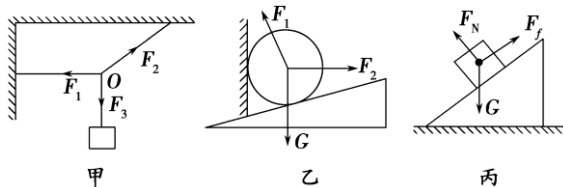


图 2-3-1

3. 力的合成

(1) 定义: 求几个力的合力的过程.

(2) 运算法则

① 平行四边形定则: 求两个互成角度的共点力的合力, 可以用表示这两个力的线段为邻边作平行四边形, 这两个邻边之间的对角线就表示合力的大小和方向.

② 三角形定则: 把两个矢量首尾相接, 从而求出合矢量的方法.

4. 力的分解

(1) 定义: 求一个已知力的分力的过程.

(2) 遵循原则: 平行四边形定则或三角形定则.

(3) 分解方法: ①按力产生的效果分解; ②正交分解.

思维深化 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1) 两个力的合力一定大于任一个分力. ()

(2) 合力和分力是等效替代的关系. ()

(3) 3 N 的力能够分解成 5 N 和 3 N 的两个分力. ()

(4) 1 N 的力和 2 N 的合成一定等于 3 N. ()

答案 (1)× (2)√ (3)√ (4)×

考点2

矢量和标量 (考纲要求 I)

1. 矢量: 既有大小又有方向的量. 相加时遵从平行四边形定则.

2. 标量: 只有大小没有方向的量. 求和时按代数法则相加.

基础自测

1. (单选) F_1 、 F_2 是力 F 的两个分力. 若 $F=10\text{ N}$, 则下列不可能是 F 的两个分力的是().

- A. $F_1=10\text{ N}$, $F_2=10\text{ N}$
- B. $F_1=20\text{ N}$, $F_2=20\text{ N}$
- C. $F_1=2\text{ N}$, $F_2=6\text{ N}$
- D. $F_1=20\text{ N}$, $F_2=30\text{ N}$

解析 合力 F 和两个分力 F_1 、 F_2 之间的关系为 $|F_1 - F_2| \leq F \leq F_1 + F_2$ ，则应选 C。

答案 C

2. (单选)下列各组物理量中全部是矢量的是()。

- A. 位移、速度、加速度、力
- B. 位移、长度、速度、电流
- C. 力、位移、速率、加速度
- D. 速度、加速度、力、电流

解析 可通过以下表格对各选项逐一分析

选项	诊断	结论
A	位移、速度、加速度、力既有大小又有方向，遵循平行四边形定则	√
B	长度只有大小没有方向是标量，电流运算不遵循平行四边形定则	×
C	速率是速度的大小，没有方向	×
D	电流虽然有大小也有方向，但运算不遵循平行四边形定则	×

答案 A

3. (单选)一物体受到三个共面共点力 F_1 、 F_2 、 F_3 的作用，三力的矢量关系如图 2-3-2 所示(小方格边长相等)，则下列说法正确的是()。

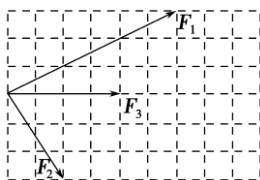


图 2-3-2

- A. 三力的合力有最大值 $F_1 + F_2 + F_3$ ，方向不确定
- B. 三力的合力有唯一值 $3F_3$ ，方向与 F_3 同向
- C. 三力的合力有唯一值 $2F_3$ ，方向与 F_3 同向
- D. 由题给条件无法求出合力大小

解析 考查力的平行四边形定则。对于给定的三个共点力，其大小、方向均确定，则合力的大小唯一、方向确定。排除 A、C；根据图表，可先作出 F_1 、 F_2 的合力，不难发现 F_1 、 F_2 的合力方向与 F_3 同向，大小等于 $2F_3$ ，根据几何关系可求出合力大小等于 $3F_3$ ，B 对。

答案 B

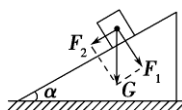


图 2-3-3

4. (单选)如图 2-3-3 所示，重力为 G 的物体静止在倾角为 α 的斜面上，将重力 G 分解为垂直斜面向下的力 F_1 和平行斜面向下的力 F_2 ，那么()。

- A. F_1 就是物体对斜面的压力
- B. 物体对斜面的压力方向与 F_1 方向相同，大小为 $G \cos \alpha$
- C. F_2 就是物体受到的静摩擦力
- D. 物体受到重力、斜面对物体的支持力、静摩擦力、 F_1 和 F_2 共五个力的作用

解析 重力 G 是物体受的力，其两个分力 F_1 和 F_2 作用在物体上，故 A 错误； F_2 与物体受到的静摩擦力等大反向，并不是物体受到的静摩擦力，C 错误； F_1 、 F_2 不能与物体的重力 G 同时作为物体受到的力，D 错误；物体对斜面的压力的大小等于重力 G 的分力 $F_1 = G \cos \alpha$ ，方向与 F_1 方向相同，B 正确。

答案 B

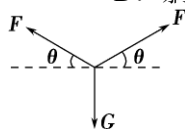
5. (2013 苏北四市二次调考)(单选)如图 2-3-4 所示，吊床用绳子拴在两棵树上等高位置。某人先

坐在吊床上，后躺在吊床上，均处于静止状态。设吊床两端系绳中的拉力为 F_1 、吊床对该人的作用力为 F_2 ，则()。



图 2-3-4

- A. 坐着比躺着时 F_1 大
 B. 躺着比坐着时 F_1 大
 C. 坐着比躺着时 F_2 大
 D. 躺着比坐着时 F_2 大



解析 设绳子与水平方向的夹角为 θ ，在竖直方向上由平衡条件有 $G = 2F\sin\theta$ ，所以 $F = \frac{G}{2\sin\theta}$ ，因坐着比躺着夹角 θ 小一些，所以拉力大，故选项 A 正确，选项 B 错。两种情况吊床对该人的作用力大小等于人的重力，所以选项 C、D 错。

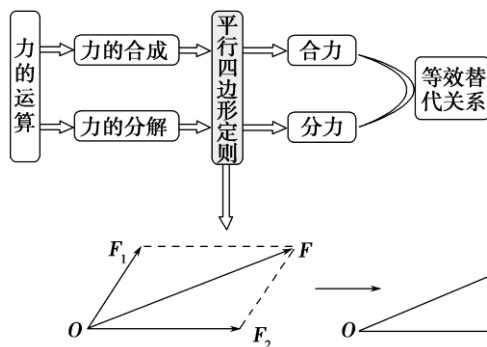
答案 A

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 共点力的合成

1. 力的运算法则



2. 合力范围的确定

(1)两个共点力的合力范围： $|F_1 - F_2| \leq F \leq F_1 + F_2$ 。

(2)三个共点力的合成范围

①最大值：三个力同向时，其合力最大，为 $F_{\max} = F_1 + F_2 + F_3$ 。

②最小值：以这三个力的大小为边，如果能组成封闭的三角形，则其合力的最小值为零，即 $F_{\min} = 0$ ；如果不能，则合力的最小值为 $F_{\min} = F_1 - |F_2 + F_3|$ (F_1 为三个力中最大的力)。

3. 共点力的合成方法

(1)作图法 (2)计算法

【典例 1】(2013 上海卷, 18)两个共点力 F_1 、 F_2 大小不同，它们的合力大小为 F ，则()。

- A. F_1 、 F_2 同时增大一倍， F 也增大一倍
 B. F_1 、 F_2 同时增加 10 N， F 也增加 10 N
 C. F_1 增加 10 N， F_2 减少 10 N， F 一定不变
 D. 若 F_1 、 F_2 中的一个增大， F 不一定增大

解析 F_1 、 F_2 同时增大一倍， F 也增大一倍，选项 A 正确。 F_1 、 F_2 同时增加 10 N， F 不一定增加 10 N，选项 B 错误； F_1 增加 10 N， F_2 减少 10 N， F 可能变化，选项 C 错误。若 F_1 、 F_2 中的一个增大， F 不一定增大，选项 D 正确。

答案 AD

反思总结 解答共点力的合成问题时的两点注意

(1)合成力时，要正确理解合力与分力的大小关系。合力与分力的大小关系要视情况而定，不能形成

合力总大于分力的思维定势。

(2)三个共点力合成时，其合力的最小值不一定等于两个较小力的和与第三个较大的力之差。

【跟踪短训】

1. 如图 2-3-5 所示，相隔一定距离的两个相同的圆柱体 A、B 固定在等高的水平线上，一细绳套在两圆柱体上，细绳下端悬挂一重物。绳和圆柱体之间无摩擦，当重物一定时，绳越长()。

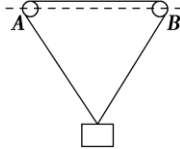


图 2-3-5

- A. 绳对圆柱体 A 的作用力越小，作用力与竖直方向的夹角越小
- B. 绳对圆柱体 A 的作用力越小，作用力与竖直方向的夹角越大
- C. 绳对圆柱体 A 的作用力越大，作用力与竖直方向的夹角越小
- D. 绳对圆柱体 A 的作用力越大，作用力与竖直方向的夹角越大

解析 题中装置关于 AB 连线的中垂线对称，因此，三段绳中的张力相等。对物体，两段绳的张力的合力等于物体的重力，若绳越长，则两段绳间的夹角越小，则张力越小。对 A 圆柱体，两段绳的张力的合力即对圆柱体的作用力，绳越长，两绳的夹角越大，则合力越小，合力方向与竖直方向的夹角越小，选项 A 正确。

答案 A

2. 三个共点力大小分别是 F_1 、 F_2 、 F_3 ，关于它们的合力 F 的大小，下列说法中正确的是()。

- A. F 大小的取值范围一定是 $0 \leq F \leq F_1 + F_2 + F_3$
- B. F 至少比 F_1 、 F_2 、 F_3 中的某一个大
- C. 若 $F_1 : F_2 : F_3 = 3 : 6 : 8$ ，只要适当调整它们之间的夹角，一定能使合力为零
- D. 若 $F_1 : F_2 : F_3 = 3 : 6 : 2$ ，只要适当调整它们之间的夹角，一定能使合力为零

解析 合力不一定大于分力，B 错，三个共点力的合力的最小值能否为零，取决于任何一个力是否都在其余两个力的合力范围内，由于三个力大小未知，所以三个力的合力的最小值不一定为零，A 错；当三个力的大小分别为 $3a$ 、 $6a$ 、 $8a$ ，其中任何一个力都在其余两个力的合力范围内，故 C 正确，当三个力的大小分别为 $3a$ 、 $6a$ 、 $2a$ 时，不满足上述情况，故 D 错。

答案 C

热点二 力的分解

1. 按力的效果分解

- (1)根据力的实际作用效果 $\xrightarrow{\text{确定}}$ 两个实际分力的方向；
- (2)再根据两个实际分力方向 $\xrightarrow{\text{画出}}$ 平行四边形；
- (3)最后由三角形知识 $\xrightarrow{\text{求出}}$ 两分力的大小。

2. 正交分解法

- (1)定义：将已知力按互相垂直的两个方向进行分解的方法。
- (2)建立坐标轴的原则：一般选共点力的作用点为原点，在静力学中，以少分解力和容易分解力为原则(即尽量多的力在坐标轴上)；在动力学中，以加速度方向和垂直加速度方向为坐标轴建立坐标系。

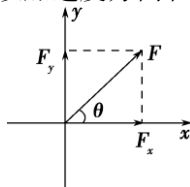


图 2-3-6

- (3)方法：物体受到多个力作用 F_1 、 F_2 、 $F_3 \dots$ ，求合力 F 时，可把各力沿相互垂直的 x 轴、 y 轴分解。
 x 轴上的合力： $F_x = F_{x1} + F_{x2} + F_{x3} + \dots$
 y 轴上的合力： $F_y = F_{y1} + F_{y2} + F_{y3} + \dots$

合力大小: $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$

合力方向: 与 x 轴夹角为 θ , 则 $\tan \theta = \frac{F_y}{F_x}$

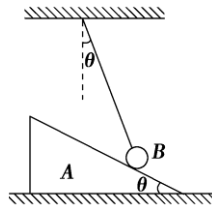
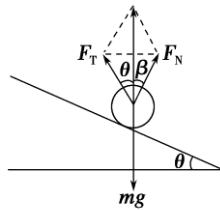


图 2-3-7

【典例 2】 如图 2-3-7 所示, 质量为 M 的斜面体 A 放在粗糙水平面上, 用轻绳拴住质量为 m 的小球 B 置于斜面上, 整个系统处于静止状态, 已知斜面倾角及轻绳与竖直方向夹角均为 $\theta = 30^\circ$. 不计小球与斜面间的摩擦, 则().

- A. 轻绳对小球的作用力大小为 $\frac{\sqrt{3}}{3}mg$
- B. 斜面对小球的作用力大小为 $\sqrt{2}mg$
- C. 斜面体对水平面的压力大小为 $(M+m)g$
- D. 斜面体与水平面间的摩擦力大小为 $\frac{\sqrt{3}}{6}mg$

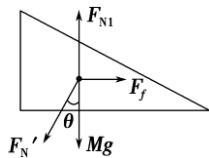


甲

解析 以 B 为研究对象, 受力图为

由几何关系知 $\theta = \beta = 30^\circ$ 根据受力平衡可得 $F_T = F_N = \frac{\sqrt{3}}{3}mg$

以斜面体为研究对象, 其受力如图乙所示



乙

由受力平衡得 $F_{N1} = Mg + F_N' \cos \theta = Mg + \frac{1}{2}mg$

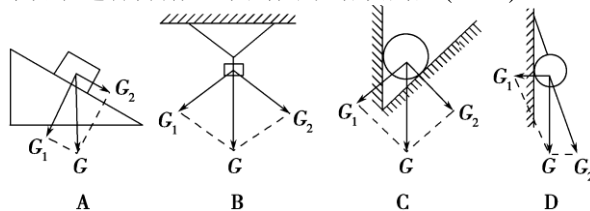
$F_f = F_N' \sin \theta = \frac{\sqrt{3}}{6}mg$

故 B、C 两选项错误, A、D 选项正确.

答案 AD

【跟踪短训】

3. 将物体所受重力按力的效果进行分解, 下列图中错误的是().



解析 A 项中物体重力分解为垂直于斜面使物体压紧斜面的分力 G_1 和沿斜面向下使物体向下滑的分力 G_2 ; B 项中物体的重力分解为沿两条细绳使细绳张紧的分力 G_1 和 G_2 , A、B 项图均画得正确. C

项中物体的重力应分解为垂直于两接触面使物体压紧两接触面的分力 G_1 和 G_2 ，故 C 项图画错。D 项中物体的重力分解为水平向左压紧墙的分力 G_1 和沿绳向下使绳张紧的分力 G_2 ，故 D 项图画得正确。

答案 C

4. 如图 2-3-8 所示，将力 F 分解为 F_1 和 F_2 两个分力，已知 F_1 的大小和 F_2 与 F 之间的夹角 α ，且 α 为锐角，则()。

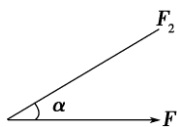


图 2-3-8

- A. 当 $F_1 > F \sin \alpha$ 时，一定有两解
- B. 当 $F_1 = F \sin \alpha$ 时，有唯一解
- C. 当 $F_1 < F \sin \alpha$ 时，无解
- D. 当 $F \sin \alpha < F_1 < F$ 时，一定有两解

解析 将一个力分解为两个分力，由三角形定则知分力与合力可构成封闭三角形。当 $F_1 < F \sin \alpha$ 时，三个力不能构成封闭三角形，故不可能分解为这样的一对分力 F_1 和 F_2 ，选项 C 正确；当 $F_1 = F \sin \alpha$ 时，可构成唯一一个直角三角形，选项 B 正确；当 $F \sin \alpha < F_1 < F$ 时， F_1 、 F_2 与 F 可构成两个矢量三角形，即有两解，选项 D 正确；对于选项 A，由于不能确定 F_1 是否小于 F ，结合前面的分析知，选项 A 错误。

答案 BCD

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

思想方法 3. 处理合力与分力关系的五种方法

》方法一 排除法

根据所学知识，排除明显错误的选项，留下正确的选项，这种方法叫排除法。

【典例 1】有两个大小相等的共点力 F_1 和 F_2 ，当它们的夹角为 90° 时，合力为 F ，则当它们的夹角为 60° 时，合力的大小为()。

- A. $2F$
- B. $\frac{\sqrt{6}}{2}F$
- C. $\frac{\sqrt{3}}{2}F$
- D. $\frac{\sqrt{2}}{2}F$

解析 两共点力大小一定时，当它们的夹角 $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ 时，随 θ 增大， $F_{合}$ 减小。当它们的夹角为 90° 时，合力 $F = \sqrt{2}F_1$ ，当它们的夹角为 60° 时，合力应大于 F ，故排除 C、D 选项；当 $\theta = 0^\circ$ 时，合力为最大， $F_{合} = 2F_1 < 2F$ ，故排除 A 选项，只有 B 选项正确。

答案 B

》方法二 对称法

某些物理问题本身没有表现出对称性，但经过采取适当的措施加以转化，把不具对称性的问题转化为具有对称性的问题，这样可以避开繁琐的推导，迅速地解决问题。

【典例 2】如图 2-3-9 所示，有 5 个力作用于同一点 O ，表示这 5 个力的有向线段恰构成一个正六边形的两邻边和三条对角线，已知 $F_1 = 10 \text{ N}$ ，求这 5 个力的合力大小()。

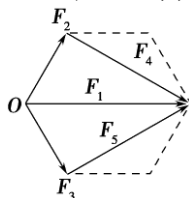


图 2-3-9

- A. 50 N
- B. 30 N
- C. 20 N
- D. 10 N

解析 利用三角形法则可知： F_2 和 F_4 的合力等于 F_1 ， F_5 和 F_3 的合力也等于 F_1 ，这 5 个力的合力大小为 $3F_1 = 30 \text{ N}$ 。

答案 B

方法三 范围法

对于三个共点力的合力是否可能为零,要看三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 是否满足 $|F_1 - F_2| \leq F_3 \leq F_1 + F_2$, 若 F_3 在此范围内,合力可能为零.反之,合力不可能为零.根据三个共点力的这种关系,便可以确定出某个力的范围.

【典例 3】一物体同时受到同一平面内的三个共点力的作用,下列几组力的合力可能为零的是 ().

- A. 5 N, 8 N, 9 N
- B. 5 N, 2 N, 3 N
- C. 2 N, 7 N, 10 N
- D. 1 N, 10 N, 10 N

解析 每一组力中 F_1 、 F_2 、 F_3 任意确定,当第三个力 F_3 的大小介于 $F_1 + F_2$ 与 $|F_1 - F_2|$ 之间时,则合力可能为零,故 A、B、D 正确.

答案 ABD

方法四 讨论法

对某一问题进行分析,取特定值,比较讨论,得出可能的结论.

【典例 4】如图 2-3-10 所示,用滑轮将质量为 m_1 、 m_2 的两物体悬挂起来,忽略滑轮和绳的重力及一切摩擦,使得 $0^\circ < \theta < 180^\circ$,整个系统处于平衡状态,关于 m_1 、 m_2 的大小关系应为 ().

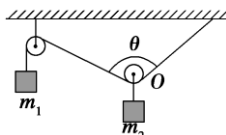
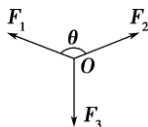


图 2-3-10

- A. m_1 必大于 m_2
- B. m_1 必大于 $\frac{m_2}{2}$
- C. m_1 可能等于 m_2
- D. m_1 可能大于 m_2



解析 结点 O 受三个力作用,如图所示,系统平衡时 $F_1 = F_2 = m_1 g$, $F_3 = m_2 g$,所以 $2m_1 g \cos \frac{\theta}{2} = m_2 g$, $m_1 = \frac{m_2}{2 \cos \frac{\theta}{2}}$,所以 m_1 必大于 $\frac{m_2}{2}$.当 $\theta = 120^\circ$ 时, $m_1 = m_2$; 当 $\theta > 120^\circ$ 时, $m_1 > m_2$; 当 $\theta < 120^\circ$ 时, $m_1 < m_2$, 故

B、C、D 选项正确.

答案 BCD

方法五 图解法

图解法是利用力矢量三角形中,角与边长的变化情况来直接确定物理量变化情况.

【典例 5】如图 2-3-11 所示,一物块受一恒力 F 作用,现要使该物块沿直线 AB 运动,应该再加上另一个力的作用,则加上去的这个力的最小值为 ().

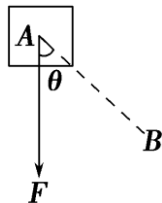
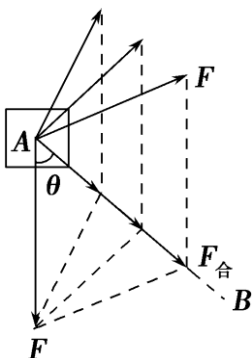


图 2-3-11

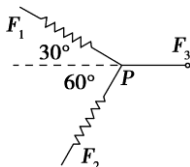
- A. $F \cos \theta$
- B. $F \sin \theta$
- C. $F \tan \theta$
- D. $F \cot \theta$



解析 物体虽只受两个力作用，但物体要沿直线 AB 运动，就意味着这两个力的合力的方向是不变的。可以看成是一个力(已知的力 F)恒定，一个力(合力)的方向一定，另一个力(所求的力)的大小、方向都变，可以利用力的图示法求解，如图所示，可知本题应选 B。

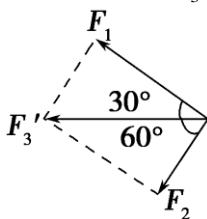
答案 B

附：对应高考题组(PPT课件文本，见教师用书)



1. (2011 广东卷, 16)如图所示的水平面上，橡皮绳一端固定，另一端连接两根弹簧，连接点 P 在 F_1 、 F_2 和 F_3 三力作用下保持静止，下列判断正确的是()。

- A. $F_1 > F_2 > F_3$
- B. $F_3 > F_1 > F_2$
- C. $F_2 > F_3 > F_1$
- D. $F_3 > F_2 > F_1$

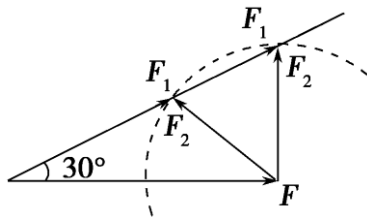


解析 由连接点 P 在三个力作用下静止知，三个力的合力为零，即 F_1 、 F_2 二力的合力 F_3' 与 F_3 等大反向，三力构成的平行四边形如图所示。由数学知识可知 $F_3 > F_1 > F_2$ ，B 正确。

答案 B

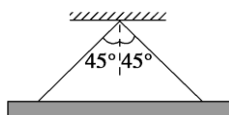
2. (2012 上海卷, 6)已知两个共点力的合力为 50 N ，分力 F_1 的方向与合力 F 的方向成 30° 角，分力 F_2 的大小为 30 N 。则()。

- A. F_1 的大小是唯一的
- B. F_2 的方向是唯一的
- C. F_2 有两个可能的方向
- D. F_2 可取任意方向



解析 如图所示，因为 $F_2 = 30\text{ N} > F \sin 30^\circ = 25\text{ N}$ ，以 F 的矢尖为圆心，以 30 N 为半径画一个圆弧，与 F_1 有两个交点，这样 F_2 有两种可能的方向， F_1 有两个可能的大小。因此 C 正确。

答案 C



3. (2012 广东卷, 16) 如图所示, 两根等长的轻绳将日光灯悬挂在天花板上, 两绳与竖直方向的夹角都为 45° , 日光灯保持水平, 所受重力为 G , 左右两绳的拉力大小分别为().

- A. G 和 G B. $\frac{\sqrt{2}}{2}G$ 和 $\frac{\sqrt{2}}{2}G$
 C. $\frac{1}{2}G$ 和 $\frac{\sqrt{3}}{2}G$ D. $\frac{1}{2}G$ 和 $\frac{1}{2}G$

解析 由对称性可知两根绳的拉力大小相等, 设为 T , 则对日光灯在竖直方向上有: $2T\cos 45^\circ = G$, 可得 $T = \frac{\sqrt{2}}{2}G$, 即 B 正确.

答案 B

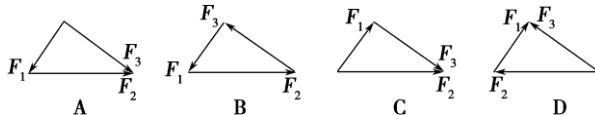
活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 力的合成及合成法的应用

1. (单选) 如图所示, F_1 、 F_2 、 F_3 恰好构成封闭的直角三角形, 这三个力的合力最大的是().



解析 由矢量合成法则可知 A 图的合力为 $2F_3$, B 图的合力为 0, C 图的合力为 $2F_2$, D 图的合力为 $2F_3$, 因 F_2 为直角三角形的斜边, 故这三个力的合力最大的为 C 图.

答案 C

2. (单选) 两个大小分别为 F_1 和 F_2 ($F_2 < F_1$) 的力作用在同一质点上, 它们的合力的大小 F 满足().

- A. $F_2 \leq F \leq F_1$ B. $\frac{F_1 - F_2}{2} \leq F \leq \frac{F_1 + F_2}{2}$

C. $F_1 - F_2 \leq F \leq F_1 + F_2$

D. $F_1^2 - F_2^2 \leq F^2 \leq F_1^2 + F_2^2$

解析 根据两个共点力的合成公式

$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}$ 可知: 当两个分力的夹角为零时, 合力最大, 最大值为 $F_1 + F_2$; 当两个分力的夹角为 180° 时, 合力最小, 最小值为 $F_1 - F_2$. 所以 $F_1 - F_2 \leq F \leq F_1 + F_2$, C 正确.

答案 C

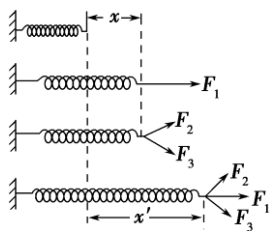


图 2-3-12

3. (2013 天水检测)(单选) 如图 2-3-12 所示, 一轻质弹簧只受一个拉力 F_1 时, 其伸长量为 x , 当弹簧同时受到两个拉力 F_2 和 F_3 作用时, 伸长量也为 x , 现对弹簧同时施加 F_1 、 F_2 、 F_3 三个力作用时, 其伸长量为 x' , 则以下关于 x' 与 x 关系正确的是().

A. $x' = x$

B. $x' = 2x$

C. $x < x' < 2x$

D. $x' < 2x$

解析 由题述可知同时受到两个拉力 F_2 和 F_3 作用时, 作用效果等同于只受一个拉力 F_1 作用; 同时施加 F_1 、 F_2 、 F_3 三个力作用时, 其伸长量为 $x' = 2x$, 选项 B 正确.

答案 B

4. (2013 广州市高三毕业班综合测试, 16)(单选)如图 2-3-13, 细线 a 和 b 的一端分别固定在水平地面上, 另一端系一个静止在空气中的氢气球, 细线与地面的夹角分别为 30° 和 60° . 若 a 、 b 受到的拉力分别为 F_{Ta} 和 F_{Tb} , 氢气球受到的浮力为 F , 则().

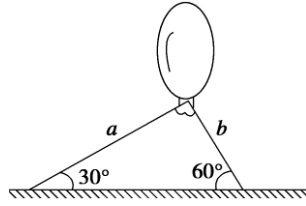
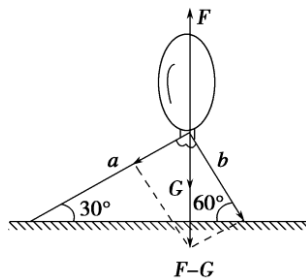


图 2-3-13

- A. $F_{Ta} > F_{Tb}$
- B. $F_{Ta} < F_{Tb}$
- C. $F = F_{Ta}$
- D. $F < F_{Tb}$

解析 对气球受力分析, 根据平衡条件的推论可知, 两拉力的合力与浮力和重力的合力等大反向, 作平行四边形如图所示, 根据大角对大边得 $F - G > F_{Tb} > F_{Ta}$, 故 B 正确.



答案 B

5. (单选)如图 2-3-14 所示, 在水平天花板的 A 点处固定一根轻杆 a , 杆与天花板保持垂直. 杆的下端有一个轻滑轮 O . 另一根细线上端固定在该天花板的 B 点处, 细线跨过滑轮 O , 下端系一个重为 G 的物体, BO 段细线与天花板的夹角为 $\theta = 30^\circ$. 系统保持静止, 不计一切摩擦. 下列说法中正确的是().

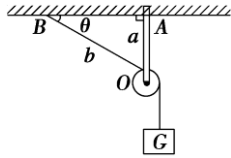


图 2-3-14

- A. 细线 BO 对天花板的拉力大小是 $\frac{G}{2}$
- B. a 杆对滑轮的作用力大小是 $\frac{G}{2}$
- C. a 杆和细线对滑轮的合力大小是 G
- D. a 杆对滑轮的作用力大小是 G

解析 细线对天花板的拉力等于物体的重力 G ; 以滑轮为研究对象, 两段绳的拉力都是 G , 互成 120° 角, 因此合力大小是 G , 根据共点力平衡, a 杆对滑轮的作用力大小也是 G (方向与竖直方向成 60° 斜向右上方); a 杆和细线对滑轮的合力大小为零.

答案 D

题组二 力的分解及分解法的应用

6. (单选)如图 2-3-15 所示, 用一根长 1 m 的轻质细绳将一幅质量为 1 kg 的画框对称悬挂在墙壁上, 已知绳能承受的最大张力为 10 N, 为使绳不断裂, 画框上两个挂钉的间距最大为 (g 取 10 m/s^2) ().

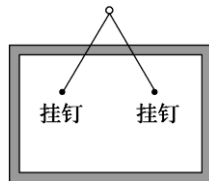
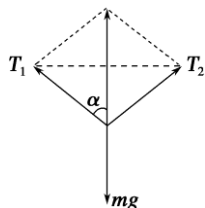


图 2-3-15

- A. $\frac{\sqrt{3}}{2}$ m B. $\frac{\sqrt{2}}{2}$ m
 C. $\frac{1}{2}$ m D. $\frac{\sqrt{3}}{3}$ m



解析 对画框进行受力分析，并把两绳拉力作用点平移至重心处。如图所示，则有

$$2T_1 \cos \alpha = 2T_2 \cos \alpha = mg, \text{ 其中 } T_1 = T_2 \leq 10 \text{ N}, \text{ 所以 } \cos \alpha \geq \frac{1}{2}. \text{ 设挂钉间距为 } s, \text{ 则有 } \sin \alpha = \frac{\frac{s}{2}}{\frac{1}{2}} = s \leq \frac{\sqrt{3}}{2}$$

m, 故 A 正确。

答案 A

7. (单选)假期里，一位同学在厨房里帮助妈妈做菜，对菜刀发生了兴趣。他发现菜刀的刀刃前部和后部的厚薄不一样，刀刃前部的顶角小，后部的顶角大，如图 2-3-16 所示，他先后作出过几个猜想，其中合理的是()。

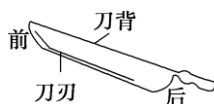
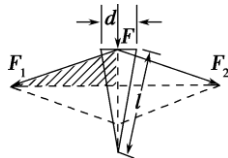


图 2-3-16

- A. 刀刃前部和后部厚薄不匀，仅是为了打造方便，外形美观，跟使用功能无关
 B. 在刀背上加上同样的压力时，分开其他物体的力跟刀刃厚薄无关
 C. 在刀背上加上同样的压力时，顶角越大，分开其他物体的力越大
 D. 在刀背上加上同样的压力时，顶角越小，分开其他物体的力越大



解析 把刀刃部分抽象后，可简化成一个等腰三角形劈，设顶角为 2θ ，背宽为 d ，侧面长为 l ，如图所示。当在刀背施加压力 F 后，产生垂直侧面的两个分力 F_1 、 F_2 ，使用中依靠着这两个分力分开被加工的其他物体。由对称性知，这两个分力大小相等($F_1 = F_2$)，因此画出力分解的平行四边形，实为菱形，如图所示，在这个力的平行四边形中，取其四分之一考虑(图中阴影部分)。根据它跟半个劈的直角三角形的相似关系，有关系式 $\frac{F_1}{\frac{F}{2}} = \frac{l}{\frac{d}{2}} = \frac{1}{\sin \theta}$ ，得 $F_1 = F_2 = \frac{F}{2 \sin \theta}$ 。由此可见，刀背上加上一定的压力 F 时，侧面

分开其他物体的力跟顶角的大小有关，顶角越小， $\sin \theta$ 的值越小， F_1 和 F_2 的值越大，故 D 正确。

答案 D

8. (单选)如图 2-3-17 所示，滑轮本身的质量可忽略不计，滑轮轴 O 安在一根轻木杆 B 上，一根轻绳 AC 绕过滑轮， A 端固定在墙上，且绳保持水平， C 端下面挂一个重物， BO 与竖直方向的夹角为 $\theta = 45^\circ$ ，系统保持平衡。若保持滑轮的位置不变，改变 θ 的大小，则滑轮受到木杆的弹力大小的变化情况是()。

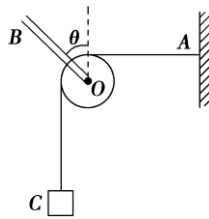


图 2-3-17

- A. 只有 θ 变小, 弹力才变大
- B. 只有 θ 变大, 弹力才变大
- C. 无论 θ 变大还是变小, 弹力都变大
- D. 无论 θ 变大还是变小, 弹力都不变

解析 无论 θ 变大还是变小, 水平绳和竖直绳中的拉力不变, 这两个力的合力与杆的弹力平衡, 故弹力都不变.

答案 D

9. (多选)如图 2-3-18 所示, 一根细线的两端分别固定在 M 、 N 两点, 用小铁夹将一个玩具娃娃固定在细线上, 使 a 段细线恰好水平, b 段细线与水平方向的夹角为 45° . 现将小铁夹的位置稍稍向左移动一段距离, 待玩具平衡后, 关于 a 、 b 两段细线中的拉力, 下列说法正确的是().

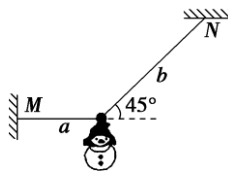


图 2-3-18

- A. 移动前, a 段细线中的拉力等于玩具所受的重力
- B. 移动前, a 段细线中的拉力小于玩具所受的重力
- C. 移动后, b 段细线中拉力的竖直分量不变
- D. 移动后, b 段细线中拉力的竖直分量变小

解析 移动前, 由平衡条件得, a 段细线中的拉力 $F_a = G \cot 45^\circ = G$, A 项正确; 夹子向左移动一小段距离后, 线 a 不再水平, 玩具的位置下移, 与重力平衡的力变为 a 、 b 两线中拉力的力的竖直分量变小, D 项正确.

答案 AD

B 深化训练——提高能力技巧

10. (单选)如图 2-3-19 所示, 一倾角为 30° 的光滑斜面固定在地面上, 一质量为 m 的小木块在水平力 F 的作用下静止在斜面上. 若只改变 F 的方向不改变 F 的大小, 仍使木块静止, 则此时力 F 与水平面的夹角为().

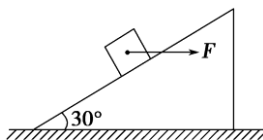
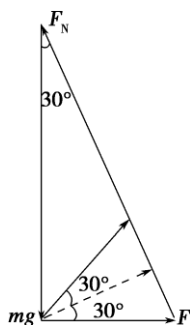


图 2-3-19

- A. 60°
- B. 45°
- C. 30°
- D. 15°



解析 小木块受重力 mg 、斜面支持力 F_N 和外力 F 三个力的作用处于平衡状态，三力合力为零，构成首尾相接的矢量三角形，如图所示，由对称性可知，不改变力 F 的大小只改变其方向，再次平衡时力 F 与水平方向成 60° 角，故本题答案为 A.

答案 A

11. (2013 揭阳市二模)(多选)如图 2-3-20 所示，水平地面上的物体 A 在斜向上的拉力 F 的作用下，向右做匀速直线运动，拉力 F 与水平面夹角为 θ 。下列说法中正确的是()。

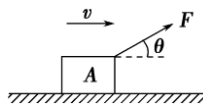
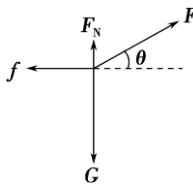


图 2-3-20

- A. 物体 A 一定受到四个力的作用
- B. 物体 A 受到的摩擦力大小为 $F\sin\theta$
- C. 拉力 F 与物体 A 受到的摩擦力的合力方向一定是竖直向上
- D. 物体 A 受到的重力和地面对物体的支持力是一对平衡力



解析 物体在水平地面做匀速直线运动，则其一定处于受力平衡状态，对物体受力分析如图，知物体受四个力，选项 A 正确；物体受力平衡，则有 $f = F\cos\theta$ ， $G = F_N + F\sin\theta$ ，选项 B、D 错误；由图知 G 与 F_N 的合力竖直向下，由平衡知识得 F 与 f 的合力方向必竖直向上，选项 C 正确。

答案 AC

12. (单选)如图 2-3-21 所示，某同学通过滑轮组将一重物吊起，该同学对绳的竖直拉力为 F_1 ，对地面的压力为 F_2 ，不计滑轮与绳的重力及摩擦，则在重物缓慢上升的过程中，下列说法正确的是()。

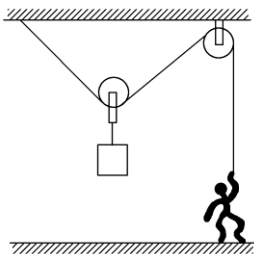


图 2-3-21

- A. F_1 逐渐变小
- B. F_1 逐渐变大
- C. F_2 先变小后变大
- D. F_2 先变大后变小

解析 由题图可知，滑轮两边绳的拉力均为 F_1 ，对滑轮有： $2F_1\cos\frac{\theta}{2} = mg$ ，当重物上升时， $\frac{\theta}{2}$ 变大， $\cos\frac{\theta}{2}$ 变小， F_1 变大。对该同学来说，应有 $F_2' + F_1 = mg$ 。而 F_1 变大， mg 不变， F_2' 变小，即对地面的压力 F_2 变小，综上所述可知选项 B 正确。

答案 B

13. (2013 浙江宁波模拟, 15)(单选)如图 2-3-22 所示, 小方块代表一些相同质量的钩码, 图①中 O 为轻绳之间连接的结点, 图②中光滑的滑轮跨在轻绳上悬挂钩码, 两装置处于静止状态, 现将图①中的 B 滑轮或图②中的端点 B 沿虚线稍稍上移一些, 则关于 θ 角的变化说法正确的是().

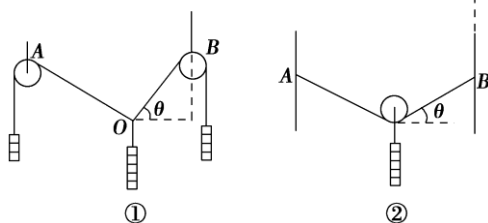
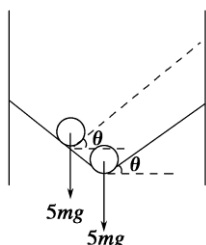


图 2-3-22

- A. 图①、图②中的 θ 角均增大
- B. 图①、图②中 θ 角均不变
- C. 图①中 θ 角增大、图②中 θ 角不变化
- D. 图①中 θ 角不变、图②中 θ 角变大



解析 在图①中由于 A 和 B 均为滑轮, 则知在移动 B 滑轮的过程中, 绳 OA 与 OB 的拉力大小不变, 若 θ 变化时, 合力必变化, 但此时其合力不变, 与 O 点下方五个钩码的重力大小相等, 所以 θ 角不变; 题图②中, 当 B 点稍上移时, θ 角仍然不变, 所以只有 B 项正确.

答案 B

14. (多选)如图 2-3-23 所示, A 、 B 都是重物, A 被绕过小滑轮 P 的细线所悬挂, B 放在粗糙的水平桌面上; 小滑轮 P 被一根斜短线系于天花板上的 O 点; O' 是三根线的结点, bO' 水平拉着 B 物体, cO' 沿竖直方向拉着弹簧; 弹簧、细线、小滑轮的重力和细线与滑轮间的摩擦力均可忽略, 整个装置处于平衡静止状态. 若悬挂小滑轮的斜线 OP 的张力是 $20\sqrt{3}$ N, g 取 10 m/s^2 , 则下列说法中正确的是().

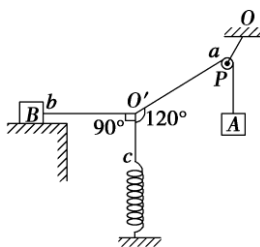


图 2-3-23

- A. 弹簧的弹力为 10 N
- B. 重物 A 的质量为 2 kg
- C. 桌面对 B 物体的摩擦力为 $10\sqrt{3}$ N
- D. OP 与竖直方向的夹角为 60°

解析 $O' a$ 与 aA 两线拉力的合力与 OP 线的张力大小相等. 由几何知识可知 $F_{O'a} = F_{aA} = 20 \text{ N}$, 且 OP 与竖直方向夹角为 30° , D 不正确; 重物 A 的重力 $G_A = F_{aA}$, 所以 $m_A = 2 \text{ kg}$, B 正确; 桌面对 B 的摩擦力 $F_f = F_{O'b} = F_{O'a} \cos 30^\circ = 10\sqrt{3} \text{ N}$, C 正确; 弹簧的弹力 $F_{\text{弹}} = F_{O'c} = F_{O'a} \sin 30^\circ = 10 \text{ N}$, 故 A 正确.

答案 ABC

考点1

受力分析

1. 定义

把指定物体(研究对象)在特定的物理环境中受到的所有外力都找出来, 并画出受力示意图的过程.

2. 受力分析的一般顺序

先分析场力(重力、电场力、磁场力), 再分析接触力(弹力、摩擦力), 最后分析其他力.

考点2

共点力的平衡 (考纲要求 II)

1. 平衡状态

物体处于静止状态或匀速直线运动状态.

2. 共点力的平衡条件

$$F_{\text{合}}=0 \text{ 或者 } \begin{cases} F_x=0 \\ F_y=0 \end{cases}$$

3. 平衡条件的推论

(1)二力平衡: 如果物体在两个共点力的作用下处于平衡状态, 这两个力必定大小相等, 方向相反.

(2)三力平衡: 如果物体在三个共点力的作用下处于平衡状态, 其中任何一个力与其余两个力的合力大小相等, 方向相反; 并且这三个力的矢量可以形成一个封闭的矢量三角形.

(3)多力平衡: 如果物体在多个共点力的作用下处于平衡状态, 其中任何一个力与其余几个力的合力大小相等, 方向相反.

思维深化 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

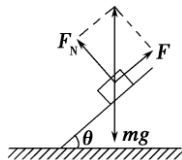
- (1)速度等于零的物体一定处于平衡状态. ()
- (2)物体的平衡状态是指物体处于静止或速度等于零的状态. ()
- (3)物体处于平衡状态时, 加速度等于零. ()
- (4)二力平衡时, 这两个力必定等大反向. ()
- (5)若物体受到三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 的作用而平衡, 将 F_2 转动 90° 时, 三个力的合力大小为 $\sqrt{2}F_2$. ()

答案 (1)× (2)× (3)√ (4)√ (5)√

基础自测

1. (2013 江苏省扬州测试)(单选)质量为 m 的长方形木块静止在倾角为 θ 的斜面上, 斜面对木块的支持力和摩擦力的合力方向应该是().

- A. 沿斜面向下
- B. 垂直于斜面向上
- C. 沿斜面向上
- D. 竖直向上



解析 如图所示, 物体受重力 mg 、支持力 F_N 、摩擦力 F 而处于静止状态, 故支持力与摩擦力的合力必与重力等大反向, D 正确.

答案 D

2. (2013 重庆卷, 1)(单选)如图 2-4-1 所示, 某人静躺在椅子上, 椅子的靠背与水平面之间有固定倾斜角 θ . 若此人所受重力为 G , 则椅子各部分对他的作用力的合力大小为().

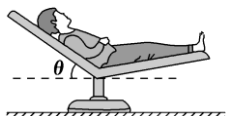


图 2-4-1

- A. G B. $G \sin \theta$
 C. $G \cos \theta$ D. $G \tan \theta$

解析 运用力的平衡条件，可求得椅子对人的作用力。选人为研究对象，人受到重力和椅子各部分对他的作用力的合力，根据力的平衡条件可知，椅子对他的作用力的合力与重力等大、反向，故选项 A 正确。

答案 A

3. (2013 盐城模拟)(多选)如图 2-4-2 所示，A、B 两物体静止在粗糙水平面上，其间用一根轻弹簧相连，弹簧的长度大于原长。若再用一个从零开始缓慢增大的水平力 F 向右拉物体 B，直到 A 即将移动，此过程中，地面对 B 的摩擦力 F_1 和对 A 的摩擦力 F_2 的变化情况是()。

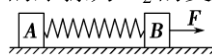


图 2-4-2

- A. F_1 先变小后变大再不变
 B. F_1 先不变后变大再变小
 C. F_2 先变大后不变
 D. F_2 先不变后变大

解析 因在施加拉力 F 前，弹簧处于伸长状态，此时地面对 A 的摩擦力水平向左，地面对 B 的摩擦力水平向右，对 B 施加水平向右的拉力后，随着 F 的增大，物体 B 受的摩擦力先水平向右逐渐减小，再水平向左逐渐增大，当 B 相对地面向右运动后，物体 B 受地面摩擦力不再变化，而在物体 B 运动之前，物体 A 受地面的摩擦力水平向左，大小不变，当 B 向右运动后，随弹簧弹力的增大，物体 A 受到的摩擦力逐渐增大，综上所述，选项 A、D 正确，B、C 错误。

答案 AD

4. (2013 清远市高三调研)(单选)如图 2-4-3 所示，甲、乙、丙三个物体叠放在水平面上，用水平力 F 拉位于中间的物体乙，它们仍保持静止状态，三个物体的接触面均为水平，则乙物体受力的个数为()。

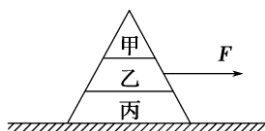


图 2-4-3

- A. 3 个 B. 4 个
 C. 5 个 D. 6 个

解析 以甲物体为研究对象，受重力和乙对它的支持力，共 2 个力的作用，甲、乙两物体间无摩擦力作用；以乙物体为研究对象，受重力、甲对其压力、外力 F 、丙对其支持力和丙对其向左的静摩擦力共 5 个力的作用。故正确选项为 C。

答案 C

5. (单选)如图 2-4-4 所示，一小球在斜面上处于静止状态，不考虑一切摩擦，如果把竖直挡板由竖直位置缓慢绕 O 点转至水平位置，则此过程中球对挡板的压力 F_1 和球对斜面的压力 F_2 的变化情况是()。

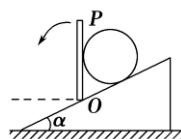
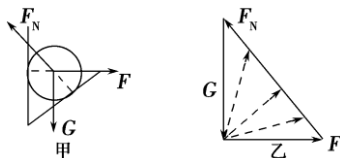


图 2-4-4

- A. F_1 先增大后减小， F_2 一直减小
 B. F_1 先减小后增大， F_2 一直减小
 C. F_1 和 F_2 都一直减小
 D. F_1 和 F_2 都一直增大

解析 小球受力如图甲所示,因挡板是缓慢移动,所以小球处于动态平衡状态,在移动过程中,此三力(重力 G 、斜面的支持力 N 、挡板的弹力 F)组合成一矢量三角形的变化情况如图乙所示(重力大小方向均不变,斜面对其支持力方向始终不变),由图可知此过程中斜面对小球的支持力不断减小,挡板对小球弹力先减小后增大,再由牛顿第三定律知 B 对.



答案 B

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

对应“高考题组”见PPT课件,供参考

热点一 受力分析

受力分析的思路和技巧

进行受力分析应注意以下几个方面:

- (1)明确研究对象(可以是一个点、一个物体或一个系统等).
- (2)按顺序找力(一“重”、二“弹”、三“摩擦”、四“其他”).
- (3)画好受力图后,要检查,防止多力和少力.
- (4)受力分析口诀:地球周围受重力,绕物一周找弹力,考虑有无摩擦力,其他外力细分析,合力分力不重复,只画受力抛施力.
- (5)在受力分析的过程中,要注意题目给出的物理条件(如光滑——不计摩擦;轻物——重力不计;运动时空气阻力忽略等).
- (6)只分析根据性质命名的力(如重力、弹力、摩擦力等),不分析按效果命名的力(如下滑力、动力、阻力等).

【典例 1】如图 2-4-5 所示,两个相似的斜面体 A 、 B 在竖直向上的力 F 的作用下静止靠在竖直粗糙墙壁上.关于斜面体 A 和 B 的受力情况,下列说法正确的是().

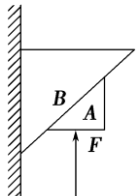
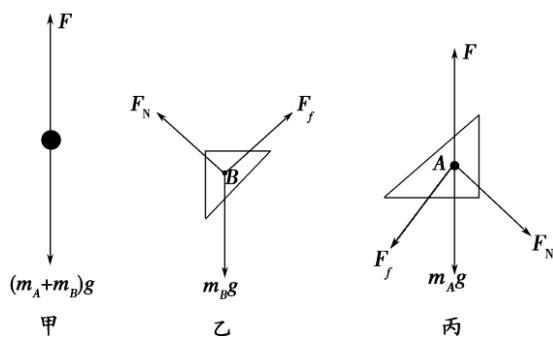


图 2-4-5

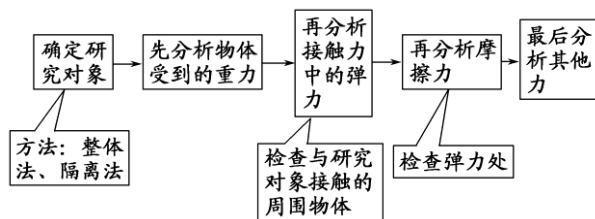
- A. A 一定受到四个力
- B. B 可能受到四个力
- C. B 与墙壁之间一定有弹力和摩擦力
- D. A 与 B 之间一定有摩擦力

解析 对 A 、 B 整体受力分析,如图甲所示,受到向下的重力和向上的推力 F ,由平衡条件可知 B 与墙壁之间不可能有弹力,因此也不可能有摩擦力,故 C 错;对 B 受力分析如图乙所示,其受到重力、 A 对 B 的弹力及摩擦力而处于平衡状态,故 B 只能受到三个力, B 错;对 A 受力分析,如图丙所示,受到重力、推力、 B 对 A 的弹力和摩擦力,共四个力, A、D 对.



答案 AD

反思总结 受力分析的基本思路



【跟踪短训】

1. (2013 江西联考)用一轻绳将小球 P 系于光滑墙壁上的 O 点, 在墙壁和球 P 之间夹有一矩形物块 Q , 如图 2-4-6 所示. P 、 Q 均处于静止状态, 则下列相关说法正确的是().

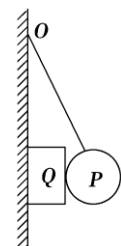


图 2-4-6

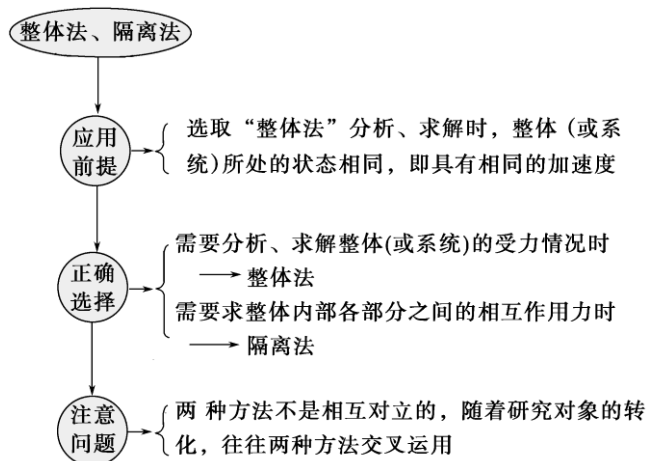
- A. P 受 4 个力
- B. Q 受 3 个力
- C. 若绳子变长, 绳子的拉力将变小
- D. 若绳子变短, Q 受到的静摩擦力将增大

解析 先研究 Q , 水平方向上 Q 受墙壁和小球 P 的弹力而平衡, 竖直方向上 Q 受重力和 P 对它的竖直向上的摩擦力而平衡, 故 Q 受到的静摩擦力始终等于其重力, 选项 B、D 错误; 再研究 P , P 受重力、绳子拉力、 Q 对它的支持力和竖直向下的摩擦力作用, 选项 A 正确; 以 P 、 Q 整体为研究对象, 设绳子与墙壁之间的夹角为 θ , 若绳子变长, θ 将变小, 根据平衡条件在竖直方向上有: $F \cos \theta = G_{\text{总}}$, 则绳子的拉力将变小, 选项 C 正确.

答案 AC

热点二 共点力的平衡问题

1. 研究对象的选取方法



2. 处理平衡问题的常用方法

方法	内容
合成法	物体受三个共点力的作用而平衡，则任意两个力的合力一定与第三个力大小相等，方向相反
分解法	物体受三个共点力的作用而平衡，将某一个力按力的效果分解，则其分力和其他两个力满足平衡条件
正交分解法	物体受到三个或三个以上力的作用时，将物体所受的力分解为相互垂直的两组，每组力都满足平衡条件
力的三角形法	对受三力作用而平衡的物体，将力的矢量图平移使三力组成一个首尾依次相接的矢量三角形，根据正弦定理、余弦定理或相似三角形等数学知识求解未知力

【典例 2】 (2013 山东卷, 15)如图 2-4-7 所示, 用完全相同的轻弹簧 A、B、C 将两个相同的小球连接并悬挂, 小球处于静止状态, 弹簧 A 与竖直方向的夹角为 30° ; 弹簧 C 水平, 则弹簧 A、C 的伸长量之比为()。

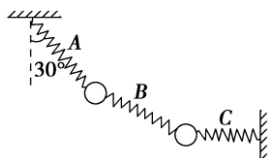
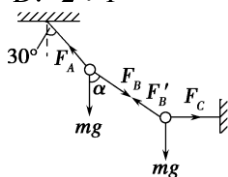


图 2-4-7

- A. $\sqrt{3} : 4$
C. $1 : 2$

- B. $4 : \sqrt{3}$
D. $2 : 1$



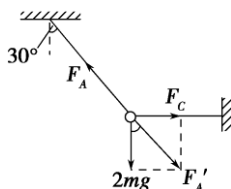
解析 这是典型的平衡模型, 解题的要点是对两小球进行受力分析、列平衡方程, 若取两小球作为一个整体来研究会更方便。

方法 1: 分别对两小球受力分析, 如图所示

$$F_A \sin 30^\circ - F_B \sin \alpha = 0$$

$$F_B' \sin \alpha - F_C = 0, F_B = F_B'$$

得 $F_A = 2F_C$, 即弹簧 A、C 的伸长量之比为 2:1, 选项 D 正确。



方法2: 将两球作为一个整体, 进行受力分析, 如图所示

$$\text{由平衡条件知: } \frac{F_A'}{F_C} = \frac{1}{\sin 30^\circ}$$

$$\text{即 } F_A' = 2F_C$$

又 $F_A' = F_A$, 则 $F_A = 2F_C$, 故选项 D 正确.

答案 D

反思总结 求共点力作用下物体平衡问题的一般步骤



【跟踪短训】

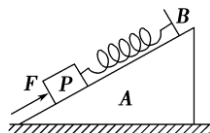


图 2-4-8

2. (2013 安徽名校联考, 14)如图 2-4-8 所示, 用平行于斜面体 A 的斜面的轻弹簧将物块 P 拴接在挡板 B 上, 在物块 P 上施加沿斜面向上的推力 F, 整个系统处于静止状态. 下列说法正确的是().

- A. 物块 P 与斜面之间一定存在摩擦力
- B. 弹簧的弹力一定沿斜面向下
- C. 地面对斜面体 A 的摩擦力水平向左
- D. 若增大推力, 则弹簧弹力一定减小

解析 对物块 P 受力分析可知, 若推力 F 与弹簧弹力的合力平衡了物块重力沿斜面向下的分力, 则无摩擦力, A 错误; 弹簧处于拉伸或压缩状态物块 P 均可能保持静止, B 错误; 由整体法可知地面对斜面体 A 的静摩擦力平衡了推力 F 水平向右的分力, C 正确; 增大推力 F 若物块保持静止则弹簧的弹力不变, D 错误.

答案 C

3. (2013 云南三校统考, 16)一铁架台放于水平地面上, 其上有一轻质细线悬挂一小球, 开始时细线竖直, 现将水平力 F 作用于小球上, 使其缓慢地由实线位置运动到虚线位置, 铁架台始终保持静止, 则在这一过程中().

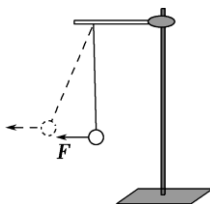


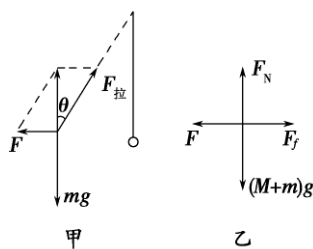
图 2-4-9

- A. 细线拉力逐渐增大
- B. 铁架台对地面的压力逐渐增大
- C. 铁架台对地面的压力逐渐减小
- D. 铁架台所受地面的摩擦力逐渐增大

解析 对小球受力分析知其受重力、线的拉力及水平力(如图甲所示), 因为缓慢运动所以小球处于动态平衡状态,

$$\text{有 } F = mg \tan \theta, F_{\text{拉}} = \frac{mg}{\cos \theta}, \theta \text{ 增大, } F, F_{\text{拉}} \text{ 都变大, A 正确, 将小球、线和铁架台看成一个整体,}$$

对其受力分析, 如图乙所示, 则知 $F_f = F, F_N = (M + m)g$, 当 F 增大时, 可知 F_f 增大, F_N 不变. 所以 B、C 错误, D 正确.



答案 AD

热点三 动态平衡问题的分析

1. 动态平衡

“动态平衡”是指物体所受的力一部分是变力，是动态力，力的大小和方向均要发生变化，但变化过程中的每一个定态均可视为平衡状态，所以叫动态平衡，这是力平衡问题中的一类难题。解决这类问题的一般思路是：把“动”化为“静”，“静”中求“动”。

2. 分析动态平衡问题的两种方法

方法	步骤
解析法	(1)列平衡方程求出未知量与已知量的关系表达式 (2)根据已知量的变化情况来确定未知量的变化情况
图解法	(1)根据已知量的变化情况，画出平行四边形边、角的变化 (2)确定未知量大小、方向的变化

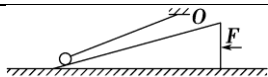
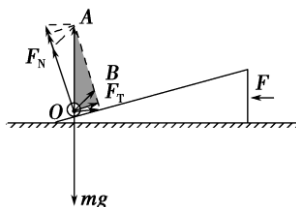


图 2-4-10

【典例 3】 (2013 天津卷, 5)如图 2-4-10 所示, 小球用细绳系住, 绳的另一端固定于 O 点. 现用水平力 F 缓慢推动斜面体, 小球在斜面上无摩擦地滑动, 细绳始终处于直线状态, 当小球升到接近斜面顶端时细绳接近水平, 此过程中斜面对小球的支持力 F_N 以及绳对小球的拉力 F_T 的变化情况是().

- A. F_N 保持不变, F_T 不断增大
- B. F_N 不断增大, F_T 不断减小
- C. F_N 保持不变, F_T 先增大后减小
- D. F_N 不断增大, F_T 先减小后增大



解析 推动斜面时, 小球始终处于平衡状态, 根据共点力的平衡条件解决问题.

选小球为研究对象, 其受力情况如图所示, 用平行四边形定则作出相应的“力三角形 OAB ”, 其中 OA 的大小、方向均不变, AB 的方向不变, 推动斜面时, F_T 逐渐趋于水平, B 点向下转动, 可知 F_T 先减小后增大, F_N 不断增大, 选项 D 正确.

答案 D

【跟踪短训】

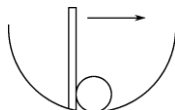


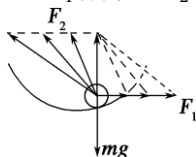
图 2-4-11

4. 如图 2-4-11 所示, 一光滑小球静止放置在光滑半球面的底端, 用竖直放置的光滑挡板水平向右缓慢地推动小球, 则在小球运动的过程中(该过程小球未脱离球面), 木板对小球的推力 F_1 、半球面对小球的支持力 F_2 的变化情况正确的是().

- A. F_1 增大, F_2 减小
- B. F_1 增大, F_2 增大

C. F_1 减小, F_2 减小

D. F_1 减小, F_2 增大



解析 作出球在某位置时的受力分析图, 如图所示, 在小球运动的过程中, F_1 的方向不变, F_2 与竖直方向的夹角逐渐变大, 画力的动态平行四边形, 由图可知 F_1 、 F_2 均增大, 选项 B 正确.

答案 B

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

思想方法 4. 共点力平衡中的临界与极值问题的处理方法

1. 临界问题

当某物理量变化时, 会引起其他几个物理量的变化, 从而使物体所处的平衡状态“恰好出现”或“恰好不出现”, 在问题的描述中常用“刚好”、“刚能”、“恰好”等语言叙述.

处理临界问题的思维方法

假设推理法.

2. 极值问题

平衡物体的极值, 一般指在力的变化过程中的最大值和最小值问题. 一般用图解法或解析法进行分析.

处理极值问题的两种基本方法

(1)解析法: 根据物体的平衡条件列方程, 通过数学知识求极值的方法. 此法思维严谨, 但有时运算量比较大, 相对来说较复杂, 而且还要依据物理情境进行合理的分析讨论.

(2)图解法: 根据物体的平衡条件作出力的矢量三角形, 然后由图进行动态分析, 确定极值的方法. 此法简便、直观.

【典例】一个质量为 1 kg 的物体放在粗糙的水平地面上, 今用最小的拉力拉它, 使之做匀速运动, 已知这个最小拉力为 6 N , $g=10\text{ m/s}^2$, 则下列关于物体与地面间的动摩擦因数 μ , 最小拉力与水平方向的夹角 θ , 正确的是().

A. $\mu=\frac{3}{4}$, $\theta=0$

B. $\mu=\frac{3}{4}$ $\tan \theta=\frac{3}{4}$

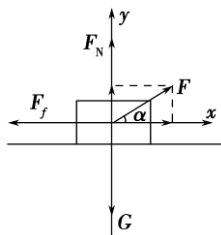
C. $\mu=\frac{3}{4}$ $\tan \theta=\frac{4}{3}$

D. $\mu=\frac{3}{5}$ $\tan \theta=\frac{3}{5}$

审题指导 正确解答本题需要从以下几个角度分析: (1)水平地面上的物体受几个力的作用?

(2)三个以上力的平衡问题用什么方法求解?

(3)求平衡的极值问题有几种方法? 分别要用到什么知识?



解析 由于物体在水平面上做匀速直线运动, 随着拉力与水平方向的夹角 α 的不同, 物体与水平面间的弹力不同, 因而滑动摩擦力也不一样. 而拉力在水平方向的分力与摩擦力相等. 以物体为研究对象, 受力分析如图所示, 因为物体处于平衡

状态, 水平方向有 $F\cos \alpha=\mu F_N$, 竖直方向有 $F\sin \alpha+F_N=mg$.

联立可解得: $F=\frac{\mu mg}{\cos \alpha+\mu \sin \alpha}=\frac{\mu mg}{\sqrt{1+\mu^2 \sin^2(\alpha+\varphi)}}$, $\tan \varphi=\frac{1}{\mu}$, 当 $\alpha+\varphi=90^\circ$, 即 $\alpha=\arctan \mu$ 时, $\sin(\alpha+\varphi)=1$, F 有最小值: $F_{\min}=\frac{\mu mg}{\sqrt{1+\mu^2}}$, 代入数值得 $\mu=\frac{3}{4}$ 此时 $\alpha=\theta$, $\tan \theta=\tan \alpha=\frac{3}{4}$, B 正确.

答案 B

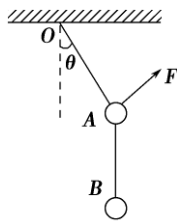
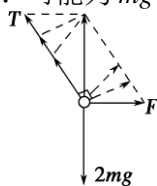


图 2-4-12

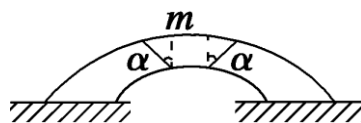
即学即练 (2013 苏州调研)如图 2-4-12 所示, 质量均为 m 的小球 A、B 用两根不可伸长的轻绳连接后悬挂于 O 点, 在外力 F 的作用下, 小球 A、B 处于静止状态. 若要使两小球处于静止状态且悬线 OA 与竖直方向的夹角 θ 保持 30° 不变, 则外力 F 的大小().

- A. 可能为 $\frac{\sqrt{3}}{3}mg$ B. 可能为 $\frac{\sqrt{5}}{2}mg$
 C. 可能为 $\sqrt{2}mg$ D. 可能为 mg



解析 取 A、B 两球为一整体, 质量为 $2m$, 悬线 OA 与竖直方向夹角为 30° , 由图可以看出, 外力 F 与悬线 OA 垂直时为最小, $F_{\min} = 2mg \sin \theta = mg$, 所以外力 F 应大于或等于 mg , 选项 B、C、D 均正确.

答案 BCD
 对应高考题组

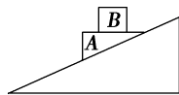


1. (2011 江苏卷, 1)如图所示, 石拱桥的正中央有一质量为 m 的对称楔形石块, 侧面与竖直方向的夹角为 α , 重力加速度为 g . 若接触面间的摩擦力忽略不计, 则石块侧面所受弹力的大小为().

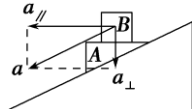
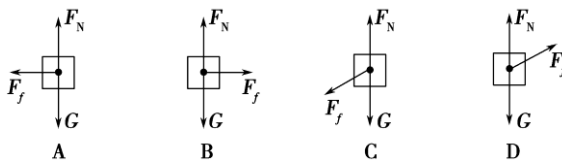
- A. $\frac{mg}{2\sin \alpha}$ B. $\frac{mg}{2\cos \alpha}$
 C. $\frac{1}{2}mg \tan \alpha$ D. $\frac{1}{2}mg \cot \alpha$

解析 以楔形石块为研究对象, 它受到竖直向下的重力和垂直侧面斜向上的两个支持力, 利用正交分解法可解得: $2F \sin \alpha = mg$, 则 $F = \frac{mg}{2\sin \alpha}$, A 正确.

答案 A



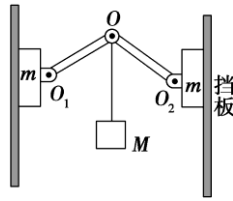
2. (2012 上海卷, 8)如图所示, 光滑斜面固定于水平面, 滑块 A、B 叠放后一起冲上斜面, 且始终保持相对静止, A 上表面水平, 则在斜面上运动时, B 受力的示意图为().



解析 A、B 整体沿斜面向下的加速度 a 可沿水平方向和竖直方向分解为加速度 a_{\parallel} 和 a_{\perp} , 如图所示, 以 B 为研究对象, B 滑块必须受到水平向左的力来产生加速度 a_{\parallel} . 因此 B 受到三个力的作用, 即: 重力、

A 对 B 的支持力、A 对 B 的水平向左的静摩擦力，故只有选项 A 正确。

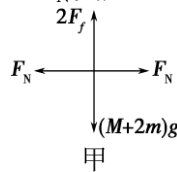
答案 A



3. (2012 山东卷, 17)如图所示, 两相同轻质硬杆 OO_1 、 OO_2 可绕其两端垂直纸面的水平轴 O 、 O_1 、 O_2 转动, 在 O 点悬挂一重物 M , 将两相同木块 m 分别紧压在竖直挡板上, 此时整个系统保持静止. F_f 表示木块与挡板间摩擦力的大小, F_N 表示木块与挡板间正压力的大小. 若挡板间的距离稍许增大后, 系统仍静止且 O_1 、 O_2 始终等高, 则().

- A. F_f 变小
- C. F_N 变小

- B. F_f 不变
- D. F_N 变大



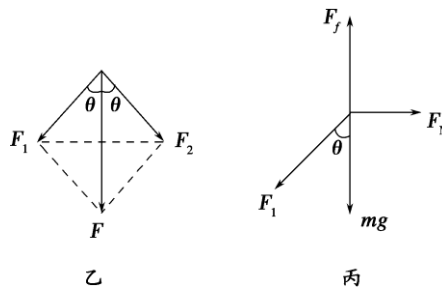
解析 选重物 M 及两个木块 m 组成的系统为研究对象, 系统受力情况如图甲所示, 根据平衡条件

有 $2F_f = (M + 2m)g$, 即 $F_f = \frac{(M + 2m)g}{2}$, 与两挡板间距离无关, 故挡板间距离稍许增大后, F_f 不变, 所以

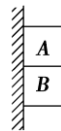
选项 A 错误, 选项 B 正确; 如图乙所示, 将绳的张力 F 沿 OO_1 、 OO_2 两个方向分解为 F_1 、 F_2 , 则 $F_1 =$

$F_2 = \frac{F}{2\cos\theta}$, 当挡板间距离稍许增大后, F 不变, θ 变大, $\cos\theta$ 变小, 故 F_1 变大; 选左边木块 m 为研究

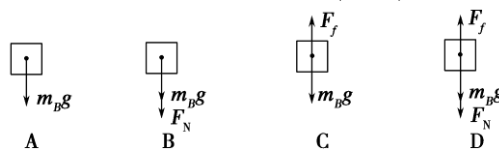
对象, 其受力情况如图丙所示, 根据平衡条件得 $F_N = F_1\sin\theta$, 当两挡板间距离稍许增大后, F_1 变大, θ 变大, $\sin\theta$ 变大, 因此 F_N 变大, 故选项 C 错误、选项 D 正确。



答案 BD



4. (2013 上海卷, 8)如图所示, 质量 $m_A > m_B$ 的两物体 A、B 叠放在一起, 靠着竖直墙面. 让它们由静止释放, 在沿粗糙面下落过程中, 物体 B 的受力示意图是().



解析 两物体 A、B 叠放在一起, 在沿粗糙墙面下落过程中, 由于物块与竖直墙面之间没有压力, 没有摩擦力, 二者一起做自由落体运动, AB 之间没有弹力作用, 物体 B 的受力示意图是图 A.

答案 A

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 受力分析

1. (单选)如图 2-4-13 所示,物块 a 、 b 质量分别为 $2m$ 、 m ,水平地面和竖直墙面均光滑,在水平推力 F 作用下,两物块均处于静止状态,则().

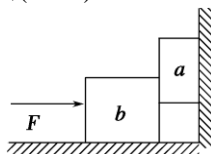


图 2-4-13

- A. 物块 b 受四个力作用
- B. 物块 b 受到的摩擦力大小等于 $2mg$
- C. 物块 b 对地面的压力大小等于 mg
- D. 物块 a 受到物块 b 的作用力水平向右

解析 物块 b 受重力、地面的支持力、物块 a 的水平弹力、物块 a 的竖直向下的摩擦力及外力 F 作用而静止, A 错;物块 a 受重力、墙壁的弹力、物块 b 的水平弹力和竖直向上的摩擦力作用而静止,所以物块 a 受到物块 b 的作用力是斜向右上方的, D 错;物块 b 对物块 a 的摩擦力大小为 $2mg$,所以物块 b 受到的摩擦力大小等于 $2mg$, B 对;由整体法可知物块 b 对地面的压力大小等于 $3mg$, C 错.

答案 B

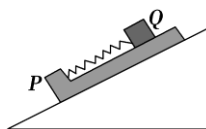


图 2-4-14

2. (单选) L 形木板 P (上表面光滑) 放在固定斜面上,轻质弹簧一端固定在木板上,另一端与置于木板上表面的滑块 Q 相连,如图 2-4-14 所示.若 P 、 Q 一起沿斜面匀速下滑,不计空气阻力.则木板 P 的受力个数为().

- A. 3
- B. 4
- C. 5
- D. 6

解析 木板 P 受到自身的重力、斜面的摩擦力、斜面的支持力、弹簧的弹力及滑块 Q 的压力 5 个力的作用,故选项 C 正确.

答案 C

题组二 共点力作用下的静态平衡

3. (2013 东莞市三模)(多选)如图 2-4-15 所示,质量为 m 的物体 A 在竖直向上的力 F ($F < mg$) 作用下静止于斜面上.若减小力 F ,则().

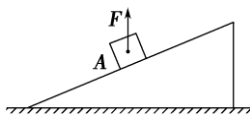


图 2-4-15

- A. 物体 A 所受合力不变
- B. 斜面对物体 A 的支持力不变
- C. 斜面对物体 A 的摩擦力不变
- D. 斜面对物体 A 的摩擦力增大

解析 减小力 F ,物体 A 仍静止于斜面上,合力为零,物体 A 所受合力不变,选项 A 正确.斜面对物体 A 的支持力增大,摩擦力增大,选项 B、C 错误,选项 D 正确.

答案 AD

4. (2013 河北省普通高中调研质检, 4)(单选)如图 2-4-16 所示,质量为 m 的木块 A 放在质量为 M 的三角形斜劈 B 上,现用大小相等、方向相反的水平力 F 分别推 A 和 B ,它们均静止不动,重力加速

度为 g ，则()。

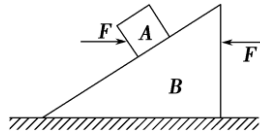


图 2-4-16

- A. A 与 B 之间一定存在摩擦力
- B. B 与地面之间一定存在摩擦力
- C. B 对 A 的支持力一定小于 mg
- D. 地面对 B 的支持力的大小一定等于 $(M+m)g$

解析 以 A 为研究对象，若力 F 沿斜面向上的分力等于重力沿斜面向下的分力，则 A 与 B 之间不存在摩擦力，选项 A 错误。若力 F 和 A 的重力 mg 在垂直斜面方向的分力之和大于 mg ，则由牛顿第三定律可知 B 对 A 的支持力大于 mg ，选项 C 错误； A 和 B 整体在水平方向受力平衡，知 B 与地面之间不存在摩擦力，选项 B 错误；以 A 和 B 整体为研究对象，由竖直方向受力平衡知地面对 B 的支持力一定等于 $(M+m)g$ ，选项 D 正确。

答案 D

5. (单选)如图 2-4-17 所示，质量为 M 、半径为 R 、内壁光滑的半球形容器静止在粗糙水平地面上， O 为球心。有一劲度系数为 k 的轻弹簧一端固定在半球形容器底部 O' 处，另一端与质量为 m 的小球相连，小球静止于 P 点。已知地面与半球形容器间的动摩擦因数为 μ ， OP 与水平方向的夹角为 $\theta=30^\circ$ ，下列说法正确的是()。

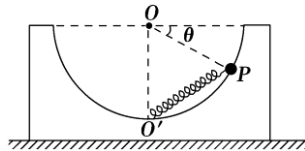
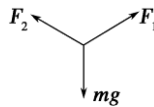


图 2-4-17

- A. 小球受到轻弹簧的弹力大小为 $\frac{\sqrt{3}}{2}mg$
- B. 小球受到容器的支持力大小为 $\frac{mg}{2}$
- C. 小球受到容器的支持力大小为 mg
- D. 半球形容器受到地面的摩擦力大小为 $\frac{\sqrt{3}}{2}mg$



解析 小球受三个力而平衡，如图所示。由题图几何关系可知，这三个力互成 120° 角，因此三个力大小相等，C 正确，A、B 错；对整体，竖直方向受重力和地面支持力而平衡，水平方向不受力，D 错。

答案 C

6. (单选)如图 2-4-18 所示，两个光滑金属球 a 、 b 置于一个桶形容器中，两球的质量 $m_a > m_b$ ，对于图中的两种放置方式，下列说法正确的是()。

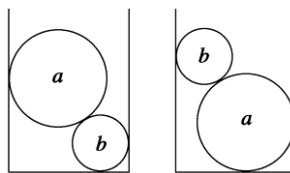


图 2-4-18

- A. 两种情况对于容器左壁的弹力大小相同
- B. 两种情况对于容器右壁的弹力大小相同
- C. 两种情况对于容器底部的弹力大小相同

D. 两种情况两球之间的弹力大小相同

解析 由几何知识可知, 两种情况下两球球心的连线互相平行, 也就是说, 下面小球对上面小球弹力的方向相同. 上面小球受到的弹力的竖直方向上的分力大小等于重力, 水平方向上的分力等于对左壁的弹力, 显然 a 球在上面时对左壁的弹力大, 两球之间的弹力也大, A、D 两项错误; 将两球看做整体分析可知, 在同一容器里对左壁的弹力大小等于对右壁的弹力, 所以是 b 球在下面时对右壁作用力大, 而对底部的作用力大小相同, B 项错误、C 项正确.

答案 C

7. (2013 山西部分重点高中联考)(单选)如图 2-4-19 所示, 左侧是倾角为 60° 的斜面, 右侧是 $\frac{1}{4}$ 圆弧面的物体固定在水平地面上, 圆弧面底端的切线水平, 一根两端分别系有质量为 m_1 、 m_2 小球的轻绳跨过其顶点上的小滑轮. 当它们处于平衡状态时, 连接 m_2 小球的轻绳与水平线的夹角为 60° , 不计一切摩擦, 两小球可视为质点. 两小球的质量之比 $m_1:m_2$ 等于().

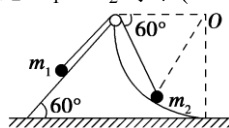


图 2-4-19

- A. 1:1
C. 3:2

- B. 2:3
D. 3:4

解析 设轻绳的张力为 F , 圆弧面对 m_2 的弹力为 F_N , 由对称性可知, $F_N = F$, 由于 m_1 、 m_2 均静止, 由平衡条件可得: $F = m_1 g \sin 60^\circ$, $F \cos 30^\circ + F_N \cos 30^\circ = m_2 g$. 联立解得 $\frac{m_1}{m_2} = \frac{2}{3}$, B 正确.

答案 B

题组三 共点力作用下的动态平衡

8. (2013 山西省四校第二次联考, 15)(单选)如图 2-4-20 所示, 在拉力 F 作用下, 小球 A 沿光滑的斜面缓慢地向上移动, 在此过程中, 小球受到的拉力 F 和支持力 F_N 的大小变化是().

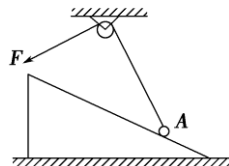


图 2-4-20

- A. F 增大, F_N 减小
C. F 和 F_N 均增大

- B. F 和 F_N 均减小
D. F 减小, F_N 不变

解析 设斜面倾角为 α , 拉力与斜面的夹角为 β , 对小球, 由平衡条件得 $m g \sin \alpha = F \cos \beta$, $F \sin \beta + F_N = m g \cos \alpha$; 小球 A 沿光滑的斜面缓慢地向上移动, 夹角 β 增大, 则 F 增大, F_N 减小, 故 A 正确.

答案 A

9. (单选)半圆柱体 P 放在粗糙的水平地面上, 其右端有固定放置的竖直挡板 MN . 在 P 和 MN 之间放有一个光滑均匀的小圆柱体 Q , 整个装置处于静止状态. 如图 2-4-21 所示是这个装置的纵截面图. 若用外力使 MN 保持竖直, 缓慢地向右移动, 在 Q 落到地面以前, 发现 P 始终保持静止. 在此过程中, 下列说法中正确的是().

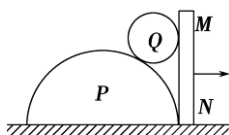
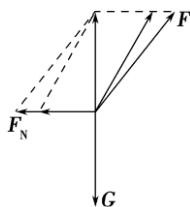


图 2-4-21

- A. MN 对 Q 的弹力逐渐减小
B. 地面对 P 的摩擦力逐渐增大
C. P 、 Q 间的弹力先减小后增大
D. Q 所受的合力逐渐增大



解析 对圆柱体 Q 受力分析如图所示, P 对 Q 的弹力为 F , MN 对 Q 的弹力为 F_N , 挡板 MN 向右运动时, F 和竖直方向的夹角逐渐增大, 如图所示, 而圆柱体所受重力大小不变, 所以 F 和 F_N 的合力大小不变, 故 D 选项错误; 由图可知, F 和 F_N 都在不断增大, 故 A、C 两项都错; 对 P 、 Q 整体受力分析知, 地面对 P 的摩擦力大小就等于 F_N , 所以地面对 P 的摩擦力也逐渐增大. 故选 B.

答案 B

10. (多选)如图 2-4-22 所示, 在斜面上放两个光滑球 A 和 B, 两球的质量均为 m , 它们的半径分别是 R 和 r , 球 A 左侧有一垂直于斜面的挡板 P , 两球沿斜面排列并处于静止状态, 下列说法正确的是 ().

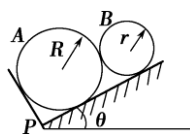


图 2-4-22

- A. 斜面倾角 θ 一定, $R > r$ 时, R 越大, r 越小, 则 B 对斜面的压力越小
- B. 斜面倾角 θ 一定, $R = r$ 时, 两球之间的弹力最小
- C. 斜面倾角 θ 一定时, 无论半径如何, A 对挡板的压力一定
- D. 半径一定时, 随着斜面倾角 θ 逐渐增大, A 受到挡板的作用力先增大后减小

解析 先对 A 、 B 整体受力分析, 整体受到三个力的作用, 当斜面的倾角 θ 不变时, 不管两球的半径如何变化, 这三个力都不变, C 正确; 斜面倾角 θ 逐渐增大时, 采用极限的思维, A 受挡板的弹力最大为两者重力之和, 则 D 错误; 然后采用隔离法对 B 受力分析, B 受三个力, 重力不变, 斜面对 B 的支持力方向不变, A 对 B 的弹力方向和斜面的支持力垂直时, A 和 B 之间的弹力最小, 此时两球的半径相等, B 正确; 斜面倾角 θ 一定, $R > r$ 时, R 越大, r 越小, 斜面对 B 的弹力越大, A 错误.

答案 BC

B 深化训练——提高能力技巧

11. (单选)如图 2-4-23 所示, 将两根劲度系数均为 k 、原长均为 L 的轻弹簧一端固定于水平天花板上相距为 $2L$ 的两点, 另一端共同连接一质量为 m 的物体, 平衡时弹簧与竖直方向的夹角为 37° ; 若将物体的质量变为 M , 平衡时弹簧与竖直方向的夹角为 53° ($\sin 37^\circ = 0.6$), 则 $\frac{M}{m}$ 等于 ().

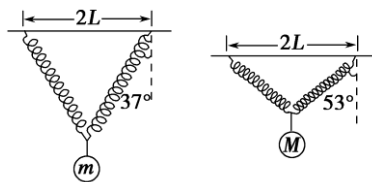


图 2-4-23

- A. $\frac{9}{32}$
- B. $\frac{9}{16}$
- C. $\frac{3}{8}$
- D. $\frac{3}{4}$

解析 取连接点为研究对象, 可知其受竖直向下的拉力 mg 、两弹簧弹力 F 作用而平衡, 利用效果分解法得 $\frac{mg}{\sin 74^\circ} = \frac{F}{\sin 37^\circ}$, 所以 $F = \frac{\sin 37^\circ}{\sin 74^\circ} mg$, 由胡克定律知 $F = k\left(\frac{L}{\sin 37^\circ} - L\right) = \frac{2}{3}kL$, 同理可得 $F' = \frac{\sin 53^\circ}{\sin 74^\circ} Mg$, $F' = \frac{1}{4}kL$, 联立可得 $\frac{M}{m} = \frac{9}{32}$, A 对.

答案 A

12. (多选)如图 2-4-24 所示, 水平地面粗糙, A、B 两同学站在地上水平推墙. 甲图中 A 向前推 B, B 向前推墙; 乙图中 A、B 同时向前推墙. 每人用力的大小都为 F , 方向水平. 则下列说法中正确的是().

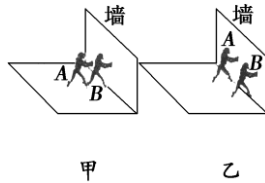
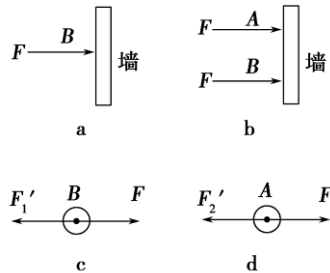


图 2-4-24

- A. 甲图方式中墙受到的推力为 $2F$
- B. 乙图方式中墙受到的推力为 $2F$
- C. 甲图方式中两位同学受到地面的摩擦力大小都为 F
- D. 乙图方式中两位同学受到地面的摩擦力大小都为 F

解析 对于题图甲所示的情况, 先以墙壁为研究对象, 此时墙壁受到的推力只有 B 对它的推力 F , 如图 a 所示. 选项 A 错误. 对于图乙所示的情况, 墙壁在水平方向所受的人的作用力如图 b 所示(俯视图), 此时墙壁所受到的推力为 $F_{\text{合}} = 2F$. 根据力的平衡可知 A、B 两人受到的静摩擦力均为 $f = F$. 选项 B、D 正确.



然后再以 B 为研究对象, B 受到 A 的推力 F 和墙壁的反作用力 F_1' , 由于 $F = F_1'$, 所以此时 B 在水平方向不受摩擦力的作用, B 同学在水平方向的受力情况如图 c 所示, 再以 A 为研究对象, 根据牛顿第三定律可知由于 A 对 B 的作用力为 F , 所以 B 对 A 的反作用力 $F_2' = F$, 根据力的平衡可知 A 所受地面的摩擦力为 F , A 同学在水平方向的受力情况如图 d 所示. 选项 C 错.

答案 BD

13. (2013 广东卷, 20)(多选)如图 2-4-25, 物体 P 静止于固定的斜面上, P 的上表面水平, 现把物体 Q 轻轻地叠放在 P 上, 则().

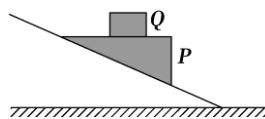


图 2-4-25

- A. P 向下滑动
- B. P 静止不动
- C. P 所受的合外力增大
- D. P 与斜面间的静摩擦力增大

解析 物体 P 处于静止状态, 把物体 Q 轻轻地叠放在 P 上时, P、Q 仍处于静止状态. 根据共点力的平衡条件解决问题. 设斜面倾角为 θ , P、Q 的质量分别为 M 、 m , 因物体 P 静止于固定的斜面上, 则动摩擦因数 $\mu \geq \tan \theta$, 所受合外力 $F_1 = 0$, 静摩擦力 $f_1 = Mg \sin \theta$. 把物体 Q 轻轻地叠放在 P 上, 选整体为研究对象, 则 $(M+m)g \sin \theta \leq \mu(M+m)g \cos \theta$, 故 P、Q 仍处于静止状态. P 所受的合外力 $F_2 = 0$, 即 $F_1 = F_2$, P 与斜面间的静摩擦力 $f_2 = (M+m)g \sin \theta > f_1$. 故选项 B、D 正确, 选项 A、C 错误. 如果将 P、Q 两物体视为一个整体, 则更容易得正确的选项为 B、D.

答案 BD

14. (2013 豫南九校联考)(多选)如图 2-4-26 所示, 不计质量的光滑小滑轮用细绳悬挂于墙上 O 点, 跨过滑轮的细绳连接物块 A 、 B , A 、 B 都处于静止状态, 现将物块 B 移至 C 点后, A 、 B 仍保持静止, 下列说法中正确的是().

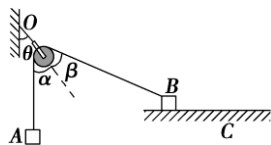


图 2-4-26

- A. B 与水平面间的摩擦力增大
- B. 绳子对 B 的拉力增大
- C. 悬于墙上的绳所受拉力不变
- D. A 、 B 静止时, 图中 α 、 β 、 θ 三角始终相等

解析 因为将物体 B 移至 C 点后, A 、 B 仍保持静止, 所以绳子中的拉力大小始终等于 A 的重力不变, 通过定滑轮, 绳子对 B 的拉力大小也是等于 A 的重力不变, 而 B 移至 C 点后, 右侧绳子与水平方向的夹角减小, 对 B 进行受力分析可知, B 受到水平面的静摩擦力增大, 所以 A 正确, B 错误; 对滑轮受力分析可知, 悬于墙上的绳子所受拉力等于两边绳子的合力, 由于两边绳子的夹角变大, 两边绳子的合力将减小, C 错误; 由几何关系可知 α 、 β 、 θ 三角始终相等, D 正确.

答案 AD

专题二 求解平衡问题的技法

技法一 整体法和隔离法在多物体平衡问题中的应用

1. 研究对象的选取方法是整体法和隔离法
- 2 根据题目要求, 研究对象选取一个平衡体(单个物体或系统, 也可以是结点)作为研究对象.

【典例 1】如图 1 所示, 用一水平力 F 把 A 、 B 两个物体挤压在竖直的墙上, A 、 B 两物体均处于静止状态, 下列判断正确的是().

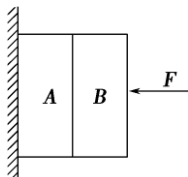


图 1

- A. B 物体对 A 物体的静摩擦力方向向上
- B. F 增大时, A 和墙之间的摩擦力也增大
- C. 若 B 的重力大于 A 的重力, 则 B 受到的摩擦力大于墙对 A 的摩擦力
- D. 不论 A 、 B 的重力哪个大, B 受到的摩擦力一定小于墙对 A 的摩擦力

解析 将 A 、 B 视为整体, 可以看出 A 物体受到墙的摩擦力方向竖直向上. 对 B 受力分析可知 B 受到的摩擦力方向向上, 由牛顿第三定律可知 B 对 A 的摩擦力方向向下, A 错误; 由于 A 、 B 两物体受到的重力不变, 根据平衡条件可知 B 错误; A 和墙之间的摩擦力与 A 、 B 两物体重力平衡, 故 C 错误、 D 正确.

答案 D

即学即练 1 (2013 临汾模拟)如图 2 所示, 在一根粗糙的水平直杆上套有两个质量均为 m 的铁环, 两铁环上系着两根等长细线, 共同拴住质量为 M 的小球, 两铁环与小球都处于静止状态. 现想办法使得两铁环间距离增大稍许而仍能保持系统平衡, 则水平直杆对铁环的支持力 F_N 和摩擦力 F_f 的可能变化是().

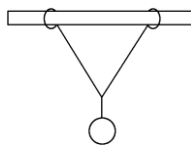


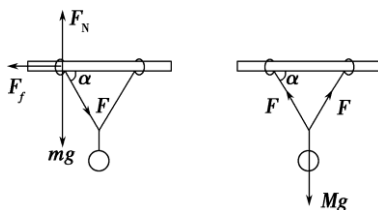
图 2

- A. F_N 不变
- B. F_N 增大

C. F_f 增大

D. F_f 不变

解析 对铁环和小球受力分析如图所示,以整体为研究对象, $2F_N = Mg + 2mg$,可见 F_N 与 α 角无关,即 F_N 不变, A对, B错; 摩擦力 $F_f = F \cos \alpha$, $2F \sin \alpha = Mg$, 所以 $F_f = \frac{Mg \cot \alpha}{2}$, 所以说 F_f 随着 α 角的减小而增大, C对, D错.



答案 AC

技法二 合成法、效果分解法、正交分解法求解力的平衡问题

求解平衡问题的三种解法对比

方法	规律及特点
效果分解法	当物体只受三个力时,有时可以根据力的作用效果,把研究对象所受的某一个力沿另外两个力的反方向分解,将三力变四力构成两对平衡力
正交分解法	把力沿两个相互垂直的坐标轴(x轴和y轴)进行分解,再在这两个坐标轴上求合力的方法,但在选取坐标轴时应注意:可以不考虑力的实际作用效果,少分解力,尽量不要分解未知力,此方法常用于物体受多个(三个以上)作用力的平衡问题
合成法	根据力的平行四边形定则将某两个力进行合成,三力变二力,组成一对平衡力,物体受几个共点力平衡时,其中任一力都与其他力的合力等大反向

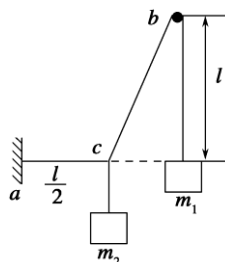


图3

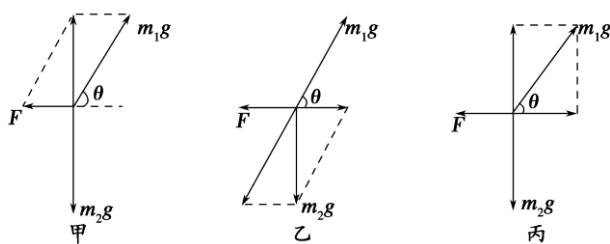
【典例2】如图3,一条不可伸长的轻质细绳一端跨过光滑钉子 b 悬挂一质量为 m_1 的重物,另一端与一轻质绳相连于 c 点, $ac = \frac{l}{2}$, c 点悬挂质量为 m_2 的重物,平衡时 ac 正好水平,此时质量为 m_1 的重物的上表面正好与 ac 在同一水平线上且到 b 点的距离为 l ,到 a 点的距离为 $\frac{5}{4}l$,则两重物的质量之比 $\frac{m_1}{m_2}$ 为().

- A. $\frac{5}{2}$ B. 2 C. $\frac{5}{4}$ D. $\frac{3}{5}$

解析 取 c 点为研究对象,设此时 bc 绳与水平方向夹角为 θ .

方法一 合成法

因 c 点处于平衡状态,所以任意两个力的合力均与第三个力大小相等,方向相反,根据平行四边形定则将力 F 与 m_1g 合成,如图甲,则 $\sin \theta = \frac{m_2g}{m_1g}$, 而 $\sin \theta = \frac{l}{\sqrt{l^2 + (\frac{3l}{4})^2}} = \frac{4}{5}$, 所以 $\frac{m_1}{m_2} = \frac{5}{4}$, C对.



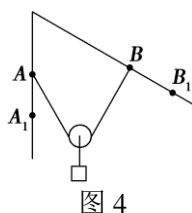
方法二 效果分解法

因 c 点处于平衡状态, 所以可在 F 、 m_1g 方向上分解 m_2g , 如图乙, 则同样有 $\sin \theta = \frac{m_2g}{m_1g}$, 所以 $\frac{m_1}{m_2} = \frac{5}{4}$, C 对.

方法三 正交分解法

将倾斜绳拉力 m_1g 沿竖直方向和水平方向分解, 如图丙, 则 $m_1g \sin \theta = m_2g$, 同样可得 $\frac{m_1}{m_2} = \frac{5}{4}$, C 对.

答案 C



即学即练 2 如图 4 所示, 不可伸长的轻绳跨过动滑轮, 其两端分别系在固定支架上的 A 、 B 两点, 支架的左边竖直, 右边倾斜. 滑轮下挂一物块, 物块处于平衡状态, 下列说法正确的是().

- A. 若左端绳子下移到 A_1 点, 重新平衡后绳子上的拉力将变大
- B. 若左端绳子下移到 A_1 点, 重新平衡后绳子上的拉力将不变
- C. 若右端绳子下移到 B_1 点, 重新平衡后绳子上的拉力将变大
- D. 若右端绳子下移到 B_1 点, 重新平衡后绳子上的拉力将不变

解析 设绳子长度为 L , A 、 B 间水平距离为 d , 绳子与竖直方向的夹角为 α , 绳子拉力为 T , 物块重力为 G , 根据平衡条件可得 $2T \cos \alpha = G$, 且由几何关系可得 $L \sin \alpha = d$, 左端绳子下移到 A_1 点, 重新平衡后, 考虑到 d 不变, L 不变, 故依然满足 $L \sin \alpha = d$, 绳子与竖直方向的夹角不变, 绳子上的拉力不变, 故 B 对; 右端绳子下移到 B_1 点, 重新平衡后, 考虑到 d 变大, L 不变, 故绳子与竖直方向的夹角 α 将增大, 根据力的合成知识可知, 等大的两个分力的合力不变时, 夹角越大分力越大, 故 C 对.

答案 BC

技法三 假设法在平衡问题中的应用

在共点力平衡问题中, 若所研究的物体或关联物体的状态、受力关系不能确定或题中的物理现象、过程存在多种可能的情况常用假设法求解, 即假设其达到某一状态或受某力作用, 然后再进行判定. 假设法解决物体受力平衡问题时, 常用在判断弹力及摩擦力的有无和方向上.

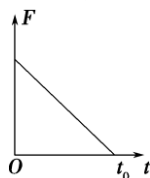
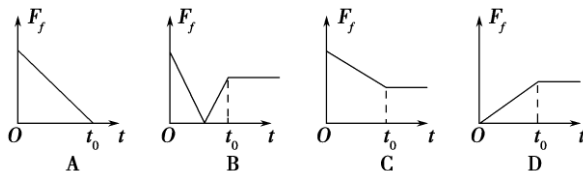


图 5

【典例 3】 一物块放在粗糙斜面上, 在平行斜面向上的外力 F 作用下, 斜面和物块始终处于静止状态, 当 F 的大小按图 5 所示规律变化时, 物块与斜面间的摩擦力大小的变化规律可能是下列选项中的().



解析 静摩擦力的方向有沿斜面向上和沿斜面向下两种情况，假设开始时静摩擦力方向沿斜面向下，则有 $F_f + mg\sin\theta = F$ ，静摩擦力随着 F 的减小而减小，当 $F_f = 0$ 后，静摩擦力的方向变为沿斜面向上，且随着 F 的减小而增大，到 $F_f = mg\sin\theta$ 后保持不变，B 对；假设开始时 $F = mg\sin\theta$ ，静摩擦力为 0，之后随着 F 的减小，静摩擦力方向沿斜面向上，并有 $F_f + F = mg\sin\theta$ ，则静摩擦力随着 F 的减小而增大，直到 $F_f = mg\sin\theta$ 后保持不变，D 对。

答案 BD

即学即练 3 如图 6 所示，将质量为 m 的滑块放在倾角为 θ 的固定斜面上。滑块与斜面之间的动摩擦因数为 μ 。若滑块与斜面之间的最大静摩擦力与滑动摩擦力大小相等，重力加速度为 g ，则()。

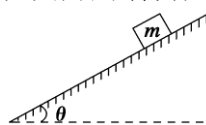


图 6

- A. 将滑块由静止释放，如果 $\mu > \tan\theta$ ，滑块将下滑
- B. 给滑块沿斜面向下的初速度，如果 $\mu < \tan\theta$ ，滑块将减速下滑
- C. 用平行于斜面向上的力拉滑块使其向上匀速滑动，如果 $\mu = \tan\theta$ ，拉力大小应是 $2mg\sin\theta$
- D. 用平行于斜面向下的力拉滑块使其向下匀速滑动，如果 $\mu = \tan\theta$ ，拉力大小应是 $mg\sin\theta$

解析 对处于斜面上的滑块进行受力分析可知，假设滑块沿斜面加速下滑，则需满足： $mg\sin\theta > \mu mg\cos\theta$ ，即 $\mu < \tan\theta$ ，故 A、B 错误；假设滑块在平行于斜面向上的拉力 F 的作用下沿斜面匀速上滑，由平衡条件有： $F - mg\sin\theta - \mu mg\cos\theta = 0$ ，若 $\mu = \tan\theta$ ，则 $mg\sin\theta = \mu mg\cos\theta$ ，即 $F = 2mg\sin\theta$ ，C 正确；若要使滑块在平行于斜面向下的拉力 F 作用下沿斜面向下匀速滑动，由平衡条件有： $F + mg\sin\theta - \mu mg\cos\theta = 0$ ，若 $\mu = \tan\theta$ ，则 $mg\sin\theta = \mu mg\cos\theta$ ，即 $F = 0$ ，D 错误。

答案 C

技法四 图解法在平衡中的应用

物体在 3 个力的作用下处于平衡状态，这 3 个力首尾相连组成一个闭合的矢量三角形，我们可以根据题意，判断出 3 个力中什么不变，什么在变，画出下个平衡状态的 3 个力组成的矢量三角形，得出表示 3 个力的长度的变化情况，从而得到 3 个力的大小变化情况。

【典例 4】如图 7 所示，一小球放置在木板与竖直墙面之间。设墙面对球的压力大小为 F_{N1} ，球对木板的压力大小为 F_{N2} 。以木板与墙连接点所形成的水平直线为轴，将木板从图示位置开始缓慢地转到水平位置。不计摩擦，在此过程中()。

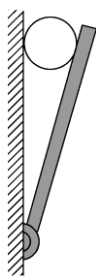
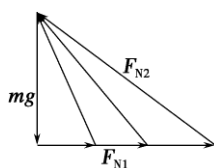


图 7

- A. F_{N1} 始终减小， F_{N2} 始终增大
- B. F_{N1} 始终减小， F_{N2} 始终减小
- C. F_{N1} 先增大后减小， F_{N2} 始终减小
- D. F_{N1} 先增大后减小， F_{N2} 先减小后增大



解析 对小球受力分析，如图所示，根据物体在三个共点力作用下的平衡条件，可将三个力构建成

矢量三角形，随着木板顺时针缓慢转到水平位置，球对木板的压力 F_{N2} 逐渐减小，墙面对球的压力 F_{N1} 逐渐减小，故 B 对。

答案 B

即学即练 4 如图 8 所示，轻绳的一端系在质量为 m 的物体上，另一端系在一个轻质圆环上，圆环套在粗糙水平杆 MN 上。现用水平力 F 拉绳上一点，使物体处于图中实线位置，然后改变 F 的大小使其缓慢下降到图中虚线位置，圆环仍在原来的位置不动。在这一过程中，水平拉力 F 、环与杆的摩擦力 $F_{\text{摩}}$ 和环对杆的压力 F_N 的变化情况是()。

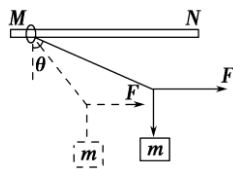
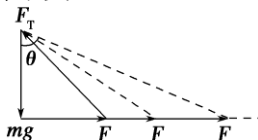


图 8

- A. F 逐渐增大, $F_{\text{摩}}$ 保持不变, F_N 逐渐增大
- B. F 逐渐增大, $F_{\text{摩}}$ 逐渐增大, F_N 保持不变
- C. F 逐渐减小, $F_{\text{摩}}$ 逐渐增大, F_N 逐渐减小
- D. F 逐渐减小, $F_{\text{摩}}$ 逐渐减小, F_N 保持不变



解析 物体在 3 个力的作用下处于平衡状态，根据矢量三角形法，画出力的矢量三角形，如图所示。其中，重力的大小和方向不变，力 F 的方向不变，绳子的拉力 F_T 与竖直方向的夹角 θ 减小，由图可以看出， F 随之减小， $F_{\text{摩}}$ 也随之减小，D 正确。

答案 D

专题强化练二

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 整体法、隔离法在平衡中的应用

1. (单选)如图 9 所示，一光滑斜面固定在地面上，重力为 G 的物体在一水平推力 F 的作用下处于静止状态。若斜面的倾角为 θ ，则()。

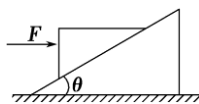
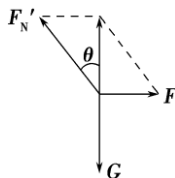


图 9

- A. $F = G \cos \theta$
- B. $F = G \sin \theta$
- C. 物体对斜面的压力 $F_N = G \cos \theta$
- D. 物体对斜面的压力 $F_N = \frac{G}{\cos \theta}$



解析 物体所受三力如图所示，根据平衡条件， F 、 F_N' 的合力与重力等大反向，有 $F = G \tan \theta$ ， $F_N = F_N' = \frac{G}{\cos \theta}$ ，故只有 D 选项正确。

答案 D

2. (多选)3 个相同的物体叠放在一起，置于粗糙的水平地面上，物体之间不光滑，如图 10 所示。现用一水平力 F 作用在 B 物体上，物体仍保持静止。下列说法正确的是()。

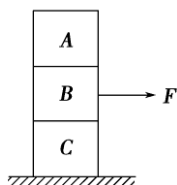


图 10

- A. C 受到地面的摩擦力大小为 F , 方向水平向左
- B. A 受到水平向右的摩擦力作用
- C. B 对 C 的摩擦力大小为 F , 方向水平向右
- D. C 受到 5 个力作用

解析 在选项 A 中, 以 A、B、C 三者的整体为研究对象, 此整体在水平方向上受平衡力的作用, 因此 C 受到地面的摩擦力等于拉力 F , 方向向左, A 选项正确; 在选项 B 中, 以 A 为研究对象, A 不受摩擦力, 选项 B 错误; 在选项 C 中, B 对 C 的摩擦力与 C 对 B 的摩擦力大小相等, 方向相反, 由此可知, B 对 C 的摩擦力的大小等于 F , 方向水平向右, 故选项 C 正确; 对于选项 D, 可将 C 隔离开作为隔离体进行分析, C 受到 5 个力的作用, 选项 D 正确. 选 A、C、D.

答案 ACD

3. (多选)如图 11 所示, 水平固定倾角为 30° 的光滑斜面上有两个质量均为 m 的小球 A、B, 它们用劲度系数为 k 的轻质弹簧连接, 现对 B 施加一水平向左的推力 F 使 A、B 均静止在斜面上, 此时弹簧的长度为 l , 则弹簧原长 l_0 和推力 F 的大小分别为().

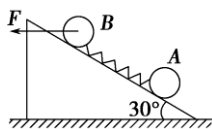


图 11

- A. $l_0 = l + \frac{mg}{2k}$
- B. $l_0 = l - \frac{mg}{2k}$
- C. $F = \frac{2\sqrt{3}}{3}mg$
- D. $F = 2\sqrt{3}mg$

解析 以 A、B 整体为研究对象, 则 $F \cos 30^\circ = 2mg \sin 30^\circ$, 得 $F = \frac{2\sqrt{3}}{3}mg$; 隔离 A 球有 $kx = mg \sin 30^\circ$, 得弹簧原长为 $l_0 = l - x = l - \frac{mg}{2k}$, 则可得选项 B、C 正确.

答案 BC

4. 如图 12 所示, 球 A 重 $G_1 = 60 \text{ N}$, 斜面体 B 重 $G_2 = 100 \text{ N}$, 斜面倾角为 30° ; 一切摩擦均不计. 则水平力 F 为多大时, 才能使 A、B 均处于静止状态? 此时竖直墙壁和水平面受到的压力各为多大?

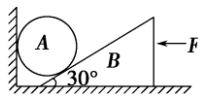
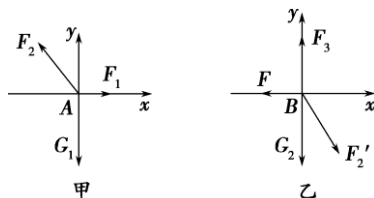


图 12

解析 方法一 (隔离法) 分别对 A、B 进行受力分析, 建立直角坐标系如图甲、乙所示, 由共点力平衡条件可得



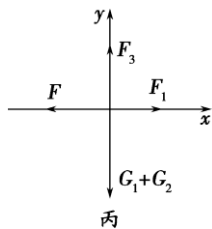
$$\text{对 A 有 } F_2 \sin 30^\circ = F_1, F_2 \cos 30^\circ = G_1$$

$$\text{对 B 有 } F = F_2' \sin 30^\circ, F_3 = F_2' \cos 30^\circ + G_2$$

其中 F_2 和 F_2' 是一对相互作用力, 即 $F_2 = F_2'$

$$\text{代入数据, 联立解得 } F = F_1 = 20\sqrt{3} \text{ N}, F_3 = 160 \text{ N}$$

由牛顿第三定律可知，竖直墙壁和水平面受到的压力分别为 $20\sqrt{3}$ N、160 N.



方法二 (整体法) 将 A、B 视为一个整体，该整体处于静止状态，所受合力为零。对整体进行受力分析如图丙所示，由平衡条件得

$$F = F_1, F_3 = G_1 + G_2 = 160 \text{ N}$$

再隔离 B 进行受力分析如图乙所示，由平衡条件可得 $F = F_2' \sin 30^\circ$

$$F_3 = F_2' \cos 30^\circ + G_2$$

$$\text{联立解得 } F_2' = 40\sqrt{3} \text{ N}, F_1 = F = 20\sqrt{3} \text{ N}$$

由牛顿第三定律可知，竖直墙壁和水平面受到的压力分别为 $20\sqrt{3}$ N、160 N.

答案 $20\sqrt{3}$ N $20\sqrt{3}$ N 160 N

题组二 合成法、效果分解法、正交分解法的应用

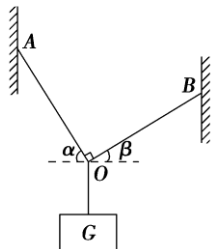
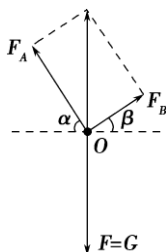


图 13

5. (单选)如图 13 所示，一轻绳的两端分别固定在不等高的 A、B 两点，现用另一轻绳将一物体系于 O 点，设轻绳 AO、BO 相互垂直， $\alpha > \beta$ ，且两绳中的拉力分别为 F_A 、 F_B ，物体受到的重力为 G，下列表述正确的是()。

- A. F_A 一定大于 G
- B. F_A 一定大于 F_B
- C. F_A 一定小于 F_B
- D. F_A 与 F_B 大小之和一定等于 G



解析 物体受力分析如图所示，由三力平衡的知识可知， F_A 、 F_B 的合力大小等于 G，方向竖直向上， $F_A = G \sin \alpha$ ， $F_B = G \sin \beta$ 。故 F_A 一定小于 G，A 选项错误；因为 $\alpha > \beta$ ，故 F_A 一定大于 F_B ，B 选项正确，C 选项错误； F_A 与 F_B 大小之和大于 G，D 选项错误。

答案 B

6. (单选)如图 14 所示，一直杆倾斜固定，并与水平方向成 30° 的夹角；直杆上套有一个质量为 0.5 kg 的圆环，圆环与轻弹簧相连，在轻弹簧上端施加一竖直向上、大小 $F=10$ N 的力，圆环处于静止状态，已知直杆与圆环之间的动摩擦因数为 0.7， $g=10 \text{ m/s}^2$ 。下列说法正确的是()。

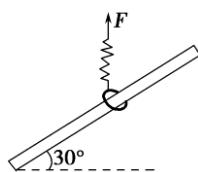
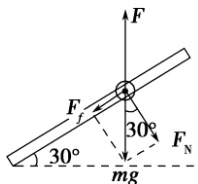


图 14

- A. 圆环受到直杆的弹力，方向垂直直杆向上
- B. 圆环受到直杆的弹力大小等于 2.5 N
- C. 圆环受到直杆的摩擦力，方向沿直杆向上
- D. 圆环受到直杆的摩擦力大小等于 2.5 N



解析 对小环受力分析如图所示：由于 $F = 10 \text{ N} > mg = 5 \text{ N}$ ，所以杆对环的弹力 F_N 垂直杆向下，杆对环还有沿杆向下的静摩擦力 F_f ，则 F_N 与 F_f 的合力应竖直向下，大小为 $F_{\text{合}} = F - mg = 5 \text{ N}$ ，所以 $F_N = F_{\text{合}} \cos 30^\circ = \frac{5}{2}\sqrt{3} \text{ N}$ ， $F_f = F_{\text{合}} \sin 30^\circ = 2.5 \text{ N}$ 。综上可知选项 D 正确。

答案 D

7. (2013 湖北八市联考)(多选)一个倾角为 45° 的斜面固定于竖直墙上，为使质量分布均匀的光滑铁球静止在如图 15 所示的位置，需用一个水平推力 F 作用于球体上， F 的作用线通过球心。设球体的重力为 G ，竖直墙对球体的弹力为 F_{N1} ，斜面对球体的弹力为 F_{N2} ，则以下结论正确的是()。

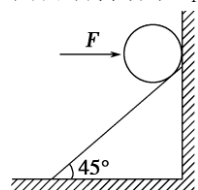
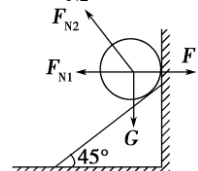


图 15

- A. $F_{N2} > G$
- B. $F_{N1} = F$
- C. $G \leq F$
- D. F_{N2} 一定大于 F_{N1}



解析 画出球体的受力示意图，由物体平衡条件可知， $F_{N2} > G$ ， $F_{N1} < F$ ，由球受力平衡可知，竖直方向 $F_{N2} \sin 45^\circ = G$ ，水平方向 $F_{N1} + F_{N2} \cos 45^\circ = F$ ，故 $G \leq F$ ， F_{N2} 不一定大于 F_{N1} ，A、C 正确。

答案 AC

题组三 假设法在平衡中的应用

8. (单选)人站在自动扶梯的水平踏板上，随扶梯斜向上匀速运动，如图 16 所示。以下说法正确的是()。

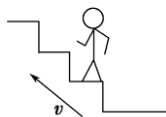


图 16

- A. 人受到重力和支持力的作用
- B. 人受到重力、支持力和摩擦力的作用
- C. 人受到的合外力不为零
- D. 人受到的合外力方向与速度方向相同

解析 人在竖直方向上受到重力和支持力作用，水平方向上是否受摩擦力作用呢？假设人受到水平向左的静摩擦力作用，而人做匀速运动，故所受合外力为零，故水平方向不应该受力，即人不受摩擦力的作用。

答案 A

9. (单选)如图 17 所示，固定斜面上有一光滑小球，分别与一竖直轻弹簧 P 和一平行斜面的轻弹簧 Q 连接着，小球处于静止状态，则关于小球所受力的个数不可能的是()。

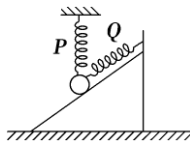


图 17

- A. 1 B. 2
C. 3 D. 4

解析 设斜面倾角为 θ ，小球质量为 m ，假设轻弹簧 P 对小球的拉力恰好等于小球重力 mg ，则小球受二力平衡；假设轻弹簧 Q 对小球的拉力等于 $mg\sin\theta$ ，小球受到重力、弹簧 Q 的拉力和斜面的支持力作用，三力平衡；假设两个弹簧对小球都施加了拉力，那么除了重力，小球只有再受到斜面的支持力才能保证其受力平衡，即四力平衡；小球只受单个力的作用，合力不可能为零，小球不可能处于静止状态。

答案 A

10. (多选)如图 18 所示，在斜面上，木块 A 与 B 的接触面是水平的，绳子呈水平状态，两木块均保持静止，则关于木块 A 和木块 B 可能的受力个数分别为()。

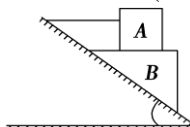
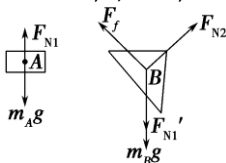


图 18

- A. 2 个和 4 个 B. 3 个和 4 个
C. 4 个和 4 个 D. 4 个和 6 个



解析 (1)假设绳子的拉力为零，以 A 、 B 为研究对象， B 和斜面之间一定有静摩擦力， A 、 B 的受力图如图，所以选项 A 正确。

(2)假设绳子上有拉力，对 A 、 B 分别画受力图可知， A 受到重力、 B 对 A 的支持力、绳子的拉力和 B 对 A 的静摩擦力而平衡， B 受到重力、 A 对 B 的压力、斜面对 B 的支持力和 A 对 B 的静摩擦力，斜面对 B 的摩擦力可有可无，所以选项 C 正确。

答案 AC

题组四 图解法在平衡中的应用

11. (单选)作用于 O 点的三力平衡，设其中一个力大小为 F_1 ，沿 y 轴正方向，力 F_2 大小未知，与 x 轴负方向夹角为 θ ，如图 19 所示。下列关于第三个力 F_3 的判断中正确的是()。

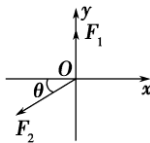
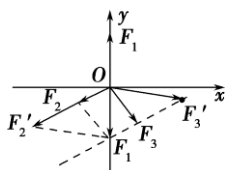


图 19

- A. 力 F_3 只能在第四象限
B. 力 F_3 与 F_2 夹角越小，则 F_2 和 F_3 的合力越小

- C. F_3 的最小值为 $F_1 \cos \theta$
 D. 力 F_3 可能在第一象限的任意区域



解析 O 点受三力平衡，因此 F_2 、 F_3 的合力大小等于 F_1 ，方向与 F_1 相反，故 B 错误；作出平行四边形，由图可以看出 F_3 的方向范围为第一象限中 F_2 反方向下侧及第四象限，故 A、D 错；当 $F_3 \perp F_2$ 时， F_3 最小， $F_3 = F_1 \cos \theta$ ，故 C 正确。

答案 C

12. (单选)如图 20 所示，用 OA 、 OB 两根轻绳将物体悬于两竖直墙之间，开始时 OB 绳水平。现保持 O 点位置不变，改变 OB 绳长使绳端由 B 点缓慢上移至 B' 点，此时绳 OB' 与绳 OA 之间的夹角 $\theta < 90^\circ$ 。设此过程中绳 OA 、 OB 的拉力分别为 F_{OA} 、 F_{OB} ，下列说法正确的是()。

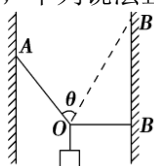
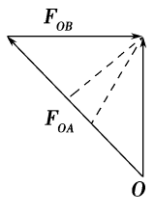


图 20

- A. F_{OA} 逐渐增大
 B. F_{OA} 逐渐减小
 C. F_{OB} 逐渐增大
 D. F_{OB} 逐渐减小



解析 以 O 点为研究对象，进行受力分析，其中 OA 绳拉力方向不变， OA 绳、 OB 绳拉力的合力方向竖直向上，大小等于物体的重力，始终不变，根据力的矢量三角形定则可知， F_{OA} 逐渐减小， F_{OB} 先减小后增大，如图所示，选项 B 正确，A、C、D 错误。

答案 B

B 深化训练——提高能力技巧

13. (多选)一个光滑的圆球搁在光滑的斜面和竖直的挡板之间，如图 21 所示。斜面和挡板对圆球的弹力随斜面倾角 α 变化而变化，故()。

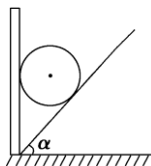
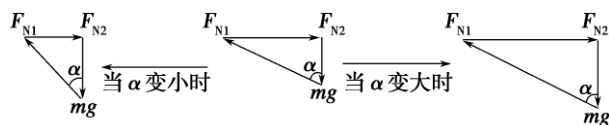


图 21

- A. 斜面弹力 F_{N1} 的变化范围是 $(mg, +\infty)$
 B. 斜面弹力 F_{N1} 的变化范围是 $(0, +\infty)$
 C. 挡板的弹力 F_{N2} 的变化范围是 $(0, +\infty)$
 D. 挡板的弹力 F_{N2} 的变化范围是 $(mg, +\infty)$

解析 圆球受 3 个力，其中重力的大小和方向均为确定的；挡板对圆球的弹力 F_{N2} 的方向始终是水平的，亦为确定的；而斜面对圆球的作用力的大小和方向均在变化中。但是，不论 α 如何变动，只要 α 取一个确定的值，圆球就在三力作用下处于平衡状态，此三力就组成一个封闭的矢量三角形，如图所示。



因为 $0 < \alpha < 90^\circ$ ，所以 $F_{N1} > mg$ ， $F_{N2} > 0$ 。

当然，也可以由 $F_{N1} = \frac{mg}{\cos \alpha}$ ， $F_{N2} = mg \tan \alpha$ 解出。

因此，正确答案为 A、C。

答案 AC

14. 如图 22 所示，两个截面为直角三角形的实心铁块 A、B 并排在粗糙水平地面上，一截面为矩形的实心铁块 C 水平架在两铁块的光滑斜面上，系统处于静止状态。已知三个铁块的重力分别为 $G_A = G_B = 100 \text{ N}$ 、 $G_C = 10 \text{ N}$ ， $\theta = 60^\circ$ ；求：

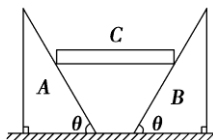


图 22

(1) 地面对铁块 A 的摩擦力 F_f 的大小；

(2) 铁块 A 对地面的压力 F_N 的大小。

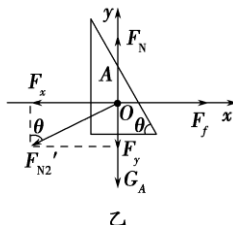
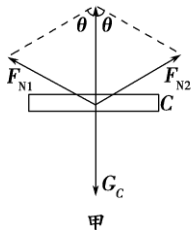
解析 (1) 以 C 为研究对象进行受力分析，如图甲所示。

由平行四边形定则知： $F_{N1} = F_{N2} = G_C$

对 A 进行受力分析，如图乙所示

将 F_{N2}' 进行正交分解，有： $F_x = F_{N2}' \sin 60^\circ$

$F_f = F_x$ ，则 $F_f = 5\sqrt{3} \text{ N}$ 。



(2) 由图乙可知： $F_y = F_{N2}' \cos 60^\circ$

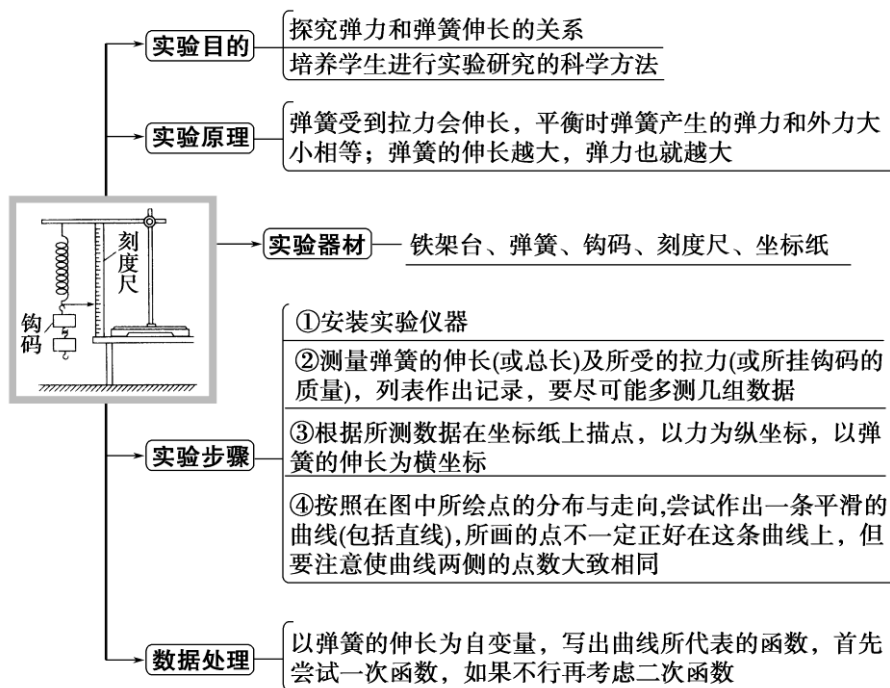
$F_N = G_A + F_y$ ，解得： $F_N = 105 \text{ N}$ 。

答案 (1) $5\sqrt{3} \text{ N}$ (2) 105 N

实验二 探究弹力和弹簧伸长的关系

基本实验要求

必考必会 必记必做



注意事项

1. 安装实验装置：要保持刻度尺竖直并靠近弹簧。
2. 不要超过弹性限度：实验中弹簧下端挂的钩码不要太多，以免超过弹簧的弹性限度。
3. 尽量多测几组数据：要使用轻质弹簧，且要尽量多测几组数据。
4. 观察所描点的走向：不要画折线。
5. 统一单位：记录数据时要注意弹力及弹簧伸长量的对应关系及单位。

误差分析

1. 钩码标值不准确，弹簧长度测量不准确带来误差。
2. 画图时描点及连线不准确也会带来误差。

实验热点聚焦

考向预测 热点聚焦

热点一 对实验的基本操作及注意事项的考查

【典例 1】如图 1 甲所示，用铁架台、弹簧和多个已知质量且质量相等的钩码探究在弹性限度内弹簧弹力与弹簧伸长量的关系。

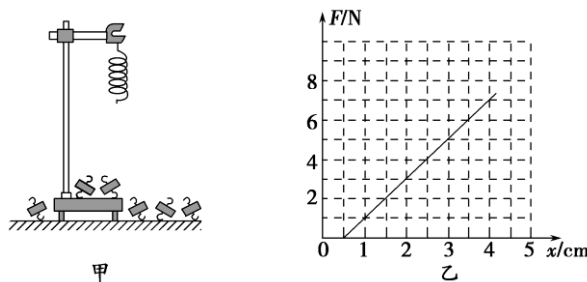


图 1

(1)为完成实验，还需要的实验器材有：

_____.

(2)实验中需要测量的物理量有：

_____.

(3)图乙是弹簧弹力 F 与弹簧伸长量 x 的 $F-x$ 图线，由此可求出弹簧的劲度系数为_____N/m.图线不过原点的原因是由于

_____.

(4)为完成该实验，设计的实验步骤如下：

A. 以弹簧伸长量为横坐标，以弹力为纵坐标，描出各组 (x, F) 对应的点，并用平滑的曲线连接起

来:

- B. 记下弹簧不挂钩码时其下端在刻度尺上的刻度 l_0 ;
- C. 将铁架台固定于桌子上, 并将弹簧的一端系于横梁上, 在弹簧附近竖直固定一把刻度尺;
- D. 依次在弹簧下端挂上 1 个、2 个、3 个、4 个...钩码, 并分别记下钩码静止时弹簧下端所对应的刻度, 并记录在表格内, 然后取下钩码;
- E. 以弹簧伸长量为自变量, 写出弹力与伸长量的关系式. 首先尝试写成一次函数, 如果不行, 则考虑二次函数;
- F. 解释函数表达式中常数的物理意义;
- G. 整理仪器.

请将以上步骤按操作的先后顺序排列出来: _____.

解析 (1)根据实验原理可知还需要刻度尺来测量弹簧原长和形变量; (2)根据实验原理, 实验中需要测量的物理量有弹簧的原长、弹簧所受外力与对应的伸长量(或与弹簧对应的长度); (3)取图象中(0.5,0)和(3.5,6)两个点, 代入 $F=kx$ 可得 $k=200 \text{ N/m}$, 由于弹簧自重的原因, 使得弹簧不加外力时就有形变量. (4)根据完成实验的合理性可知先后顺序为 CBDAEFG.

答案 (1)刻度尺

(2)弹簧原长、弹簧所受外力与弹簧对应的伸长量(或与弹簧对应的长度)

(3)200 弹簧自身存在重力

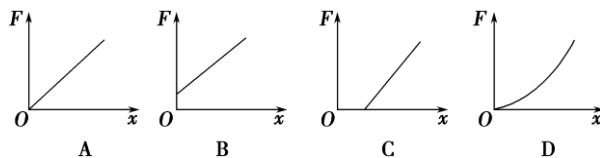
(4)CBDAEFG

【跟踪短训】

1. (1)在“探究弹力和弹簧伸长量的关系”的实验中, 以下说法正确的是().

- A. 弹簧被拉伸时, 不能超出它的弹性限度
- B. 用悬挂钩码的方法给弹簧施加拉力, 应保证弹簧位于竖直位置且处于平衡状态
- C. 用直尺测得弹簧的长度即为弹簧的伸长量
- D. 用几个不同的弹簧, 分别测出几组拉力与伸长量, 得出拉力与伸长量之比相等

(2)某同学做“探究弹力与弹簧伸长量的关系”的实验, 他先把弹簧平放在桌面上使其自然伸长, 用直尺测出弹簧的原长 L_0 , 再把弹簧竖直悬挂起来, 挂上钩码后测出弹簧伸长后的长度 L , 把 $L-L_0$ 作为弹簧的伸长量 x , 这样操作, 由于弹簧自身重力的影响, 最后画出的图线可能是图中的().



解析 (1)实验中应以所研究的一根弹簧为实验对象, 在弹性限度内通过增减钩码的数目来改变对弹簧的拉力, 以探索弹力与弹簧伸长量的关系, 并且拉力和重力平衡, 所以选 A、B.

(2)由于考虑弹簧自身重力的影响, 当不挂钩码时, 弹簧的伸长量 $x>0$, 所以选 C.

答案 (1)AB (2)C

热点二 实验数据处理的方法

1. **图象法**: 根据测量数据, 在建好直角坐标系的坐标纸上描点, 以弹簧的弹力 F 为纵轴, 弹簧的伸长量 x 为横轴, 根据描点的情况, 作出一条经过原点的直线.

2. **列表法**: 将实验数据填入表中, 研究测量的数据, 可发现在实验误差允许的范围内, 弹力与弹簧伸长量的比值是一常数.

3. **函数法**: 根据实验数据, 找出弹力与弹簧伸长量的函数关系.

【典例 2】 某实验小组做“探究弹力和弹簧伸长量的关系”的实验. 实验时, 先把弹簧平放在桌面上, 用刻度尺测出弹簧的原长 $L_0=4.6 \text{ cm}$, 再把弹簧竖直悬挂起来, 在下端挂钩码, 每增加一个钩码均记下对应的弹簧的长度 x , 数据记录如下表所示.

钩码个数	1	2	3	4	5
弹力 F/N	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
弹簧的长度 x/cm	7.0	9.0	11.0	13.0	15.0

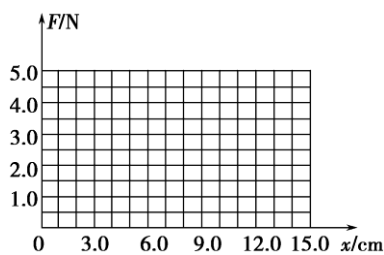


图 2

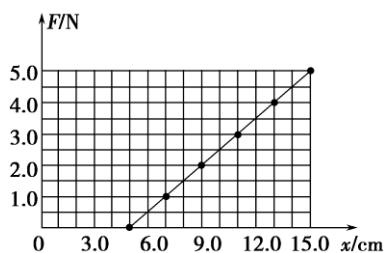
- (1)根据表中数据在图 2 中作出 $F-x$ 图线;
 (2)由此图线可得, 该弹簧劲度系数 $k=$ _____ N/m;
 (3)图线与 x 轴的交点坐标大于 L_0 的原因是

解析 (1)用作图法研究弹簧的弹力与其伸长量的关系, 由于实验误差, 依据实验数据描出的点有时不会完全在一条直线上. 这时所作直线应尽量多地通过这些点, 并使不在直线上的点尽量均匀分布在所作直线两侧. 与其他的点明显相差很远的点应该舍去. 该题中所给出的数据点恰好可以在一条直线上, 所以直接描点后由刻度尺作图即可.

(2)在弹性限度内, 弹簧的弹力与弹簧的伸长量成正比. 由 $\Delta F = k\Delta x$ 得 $k = \frac{\Delta F}{\Delta x} = 50$ N/m, 即图线的斜率为弹簧的劲度系数.

(3)由于弹簧有一定重量, 将其自然悬挂时的长度与平放时的长度不一样, 平放时稍短一些. 量取 L_0 时, 应将弹簧一端固定在铁架台上的铁夹上, 让其自然下垂, 再用毫米刻度尺量得自然状态下的原长.

答案 (1)如图所示



(2)50 (3)弹簧自身重力的影响

【跟踪短训】

2. (2011 安徽卷, 21(1))为了测量某一弹簧的劲度系数, 将该弹簧竖直悬挂起来, 在自由端挂上不同质量的砝码. 实验测出了砝码质量 m 与弹簧长度 l 的相应数据, 其对应点已在图 3 中标出. ($g=9.8$ m/s²)

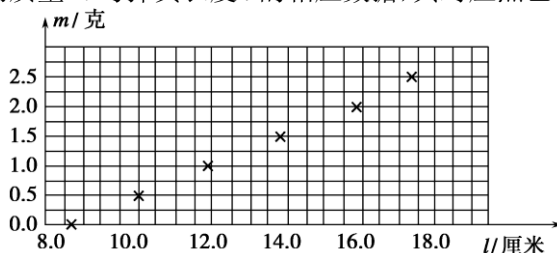


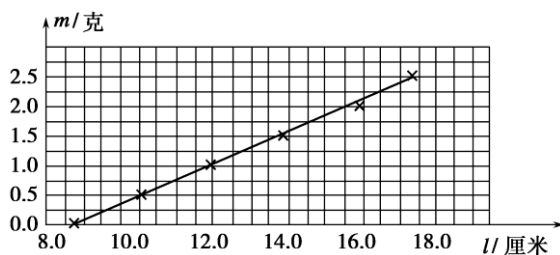
图 3

- (1)作出 $m-l$ 的关系图线;
 (2)弹簧的劲度系数为 _____ N/m.

解析 (1)应使尽量多的点在同一直线上.

(2)由胡克定律 $F = kx$, 得 $k = \frac{\Delta F}{\Delta x} = 0.259$.

答案 (1)如图所示



(2)0.259(0.248~0.262)

拓展创新实验

创新拓展 自主探究

探究高考命题视角

以本实验为背景，通过改变实验条件、实验仪器设置题目，不脱离教材而又不拘泥教材，体现开放性、探究性等特点。

视角1 可能对实验方案进行改进

将弹簧水平放置或穿过一根水平光滑的杠杆，在水平方向做实验。

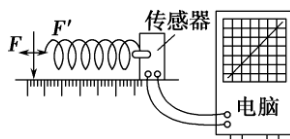


图4

视角2 对实验器材的改进

利用计算机及传感器技术，将弹簧水平放置，且一端固定在传感器上，传感器与电脑相连，对弹簧施加变化的作用力(拉力或推力)时，电脑上得到弹簧弹力和弹簧形变量的关系图象(如图4所示)，分析图象得出结论。

视角3 图象法处理数据

【典例3】在“探究弹力和弹簧伸长量的关系，并测定弹簧的劲度系数”的实验中，实验装置如图5所示。所用的每个钩码的重力相当于对弹簧提供了向右恒定的拉力。实验时先测出不挂钩码时弹簧的自然长度，再将5个钩码逐个挂在绳子的下端，每次测出相应的弹簧总长度。

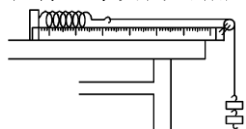


图5

(1)有一个同学通过以上实验测量后把6组数据描点在坐标系图6中，请作出 $F-L$ 图线。

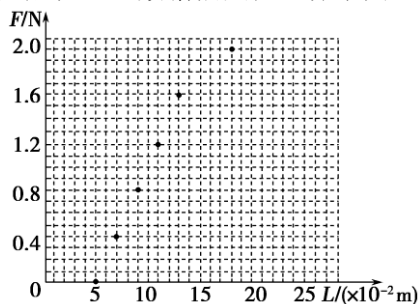


图6

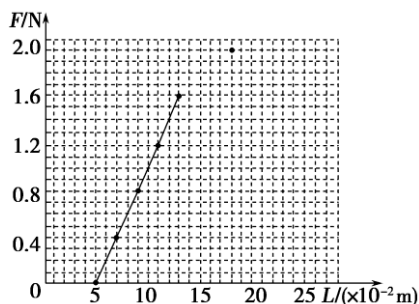
(2)由此图线可得出该弹簧的原长 $L_0=$ _____cm，劲度系数 $k=$ _____N/m。

(3)试根据该同学以上的实验情况，帮助他设计一个记录实验数据的表格(不必填写其实验测得的具体数据)。

(4)该同学实验时，把弹簧水平放置与弹簧悬挂放置相比较，优点在于：

缺点在于：_____。

解析 (1) $F - L$ 图线如图所示：



(2) 弹簧的原长 L_0 即弹力为零时弹簧的长度，由图象可知， $L_0 = 5 \times 10^{-2} \text{ m} = 5 \text{ cm}$ 。

劲度系数为图象直线部分的斜率， $k = 20 \text{ N/m}$ 。

(3) 记录数据的表格如下表

次数	1	2	3	4	5	6
弹力 F/N						
弹簧的长						
度 $L/(\times 10^{-2} \text{ m})$						

(4) 优点是：可以避免弹簧自身重力对实验的影响。

缺点是：弹簧与桌面及绳子与滑轮间存在的摩擦会造成实验误差。

答案 (1) 见解析图 (2) 5 20 (3)、(4) 见解析

【探究跟踪】

(2013 丽水模拟) 某同学在研究性学习中，利用所学的知识解决了如下问题：一轻弹簧一端固定于某一深度为 $h = 0.25 \text{ m}$ 、且开口向右的小筒中(没有外力作用时弹簧的另一端位于筒内)，如图 7 甲所示，如果本实验的长度测量工具只能测量出距筒口右端弹簧的长度 l ，现要测出弹簧的原长 l_0 和弹簧的劲度系数，该同学通过改变挂钩码的个数来改变 l ，作出 $F - l$ 变化的图线如图乙所示。

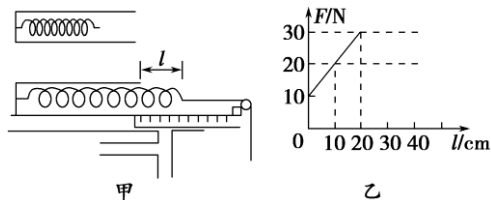


图 7

(1) 由此图线可得出的结论是

(2) 弹簧的劲度系数为 _____ N/m ，弹簧的原长 $l_0 =$ _____ m ；

解析 (1) 在弹性限度内，弹力与弹簧的伸长量成正比。

(2) 由 $\Delta F = k\Delta x$ 和由乙图可知：

$$(30 - 10) = k \times 20 \times 10^{-2}$$

所以 $k = 100 \text{ N/m}$ ，

由乙图可知 $F = 20 \text{ N}$ 时， $l = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$ ，

$$\text{所以 } 20 = k(0.1 + 0.25 - l_0),$$

即 $l_0 = 0.15 \text{ m}$ 。

答案 见解析

随堂达标演练

通关达标 技能提升

1. 某同学利用如图 8(a)装置做“探究弹簧弹力大小与其长度的关系”的实验。

(1)在安装刻度尺时, 必须使刻度尺保持_____状态。

(2)他通过实验得到如图(b)所示的弹力大小 F 与弹簧长度 x 的关系图线。由此图线可得该弹簧的原长 $x_0 =$ _____ cm, 劲度系数 $k =$ _____ N/m。

(3)他又利用本实验原理把该弹簧做成一把弹簧秤, 当弹簧秤上的示数如图(c)所示时, 该弹簧的长度 $x =$ _____ cm。

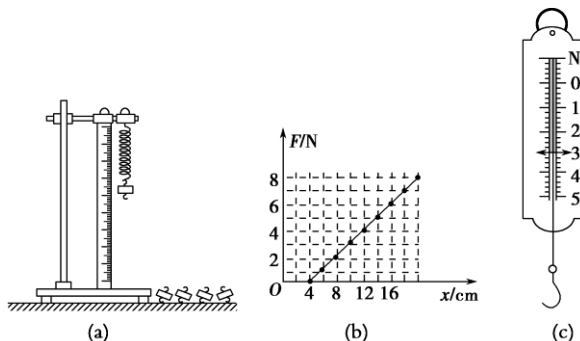


图 8

解析 (1)为了刻度尺读数准确, 要求刻度尺保持竖直。(2)由胡克定律可得: $F = k(x - x_0)$, 可知: 图线与 x 轴的截距大小等于弹簧的原长, 即 $x_0 = 4$ cm; 图线的斜率大小等于弹簧的劲度系数 $k = 50$ N/m。(3)由胡克定律可得: $F = k(x - x_0)$, 代入数据得 $x = 10$ cm。

答案 (1)竖直 (2)4 50 (3)10

2. 用如图 9 甲所示的装置测定弹簧的劲度系数, 被测弹簧一端固定于 A 点, 另一端 B 用细绳绕过定滑轮挂钩码, 旁边竖直固定一最小刻度为 mm 的刻度尺, 当挂两个钩码时, 绳上一定点 P 对应刻度如图乙中 ab 虚线所示, 再增加一个钩码后, P 点对应刻度如图乙中 cd 虚线所示, 已知每个钩码质量为 50 g, 重力加速度 $g = 9.8$ m/s², 则被测弹簧的劲度系数为_____N/m, 挂三个钩码时弹簧的形变量为_____cm。

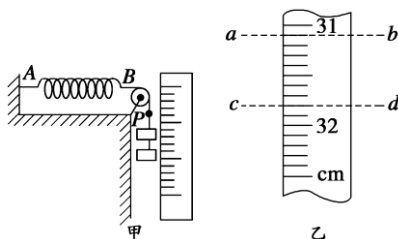


图 9

解析 增加一个钩码, 弹簧的拉力增加 $\Delta F = mg = 0.49$ N, 弹簧的伸长量增加 $\Delta x = 7$ mm = 7×10^{-3} m, 故弹簧的劲度系数为 $k = \frac{\Delta F}{\Delta x} = \frac{0.49}{7 \times 10^{-3}}$ N/m = 70 N/m。

挂三个钩码时,

$$x' = \frac{3mg}{k} = \frac{3 \times 50 \times 10^{-3} \times 9.8}{70} \text{ m} = 2.10 \times 10^{-2} \text{ m} = 2.10 \text{ cm}.$$

答案 70 2.10

3. [2012 广东卷, 34(2)]某同学探究弹力与弹簧伸长量的关系。

(1)将弹簧悬挂在铁架台上, 将刻度尺固定在弹簧一侧。弹簧轴线和刻度尺都应在_____方向(填“水平”或“竖直”)。

(2)弹簧自然悬挂, 待弹簧_____时, 长度记为 L_0 ; 弹簧下端挂上砝码盘时, 长度记为 L_x ; 在砝码盘中每次增加 10 g 砝码, 弹簧长度依次记为 L_1 至 L_6 , 数据如下表:

代表符号	L_0	L_x	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6
数值(cm)	25.35	27.35	29.35	31.30	33.4	35.35	37.40	39.30

表中有一个数值记录不规范, 代表符号为_____。由表可知所用刻度尺的最小分度为_____。

(3)图 10 是该同学根据表中数据作的图,纵轴是砝码的质量,横轴是弹簧长度与_____的差值(填“ L_0 ”或“ L_x ”).

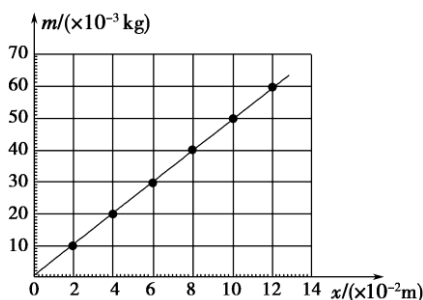


图 10

(4)由图可知弹簧的劲度系数为_____N/m; 通过图和表可知砝码盘的质量为_____g. (结果保留两位有效数字, 重力加速度取 9.8 m/s^2)

解析 (1)为保证弹簧的形变只由砝码和砝码盘的重力引起,所以弹簧轴线和刻度尺均应在竖直方向.

(2)弹簧静止时,记录原长 L_0 ; 表中的数据 L_3 与其他数据有效数字位数不同,所以数据 L_3 不规范,标准数据应读至厘米位的后两位,最后一位应为估计值,精确至 mm 位,所以刻度尺的最小分度为 1 mm.

(3)由题图知所挂砝码质量为 0 时, x 为 0,

所以 $x = L_1 - L_x$.

(4)由胡克定律 $F = k\Delta x$ 知, $mg = k(L - L_x)$, 即 $mg = kx$, 所以图线斜率即为劲度系数

$$k = \frac{\Delta mg}{\Delta x} = \frac{(60 - 10) \times 10^{-3} \times 9.8}{(12 - 2) \times 10^{-2}} \text{ N/m} = 4.9 \text{ N/m}.$$

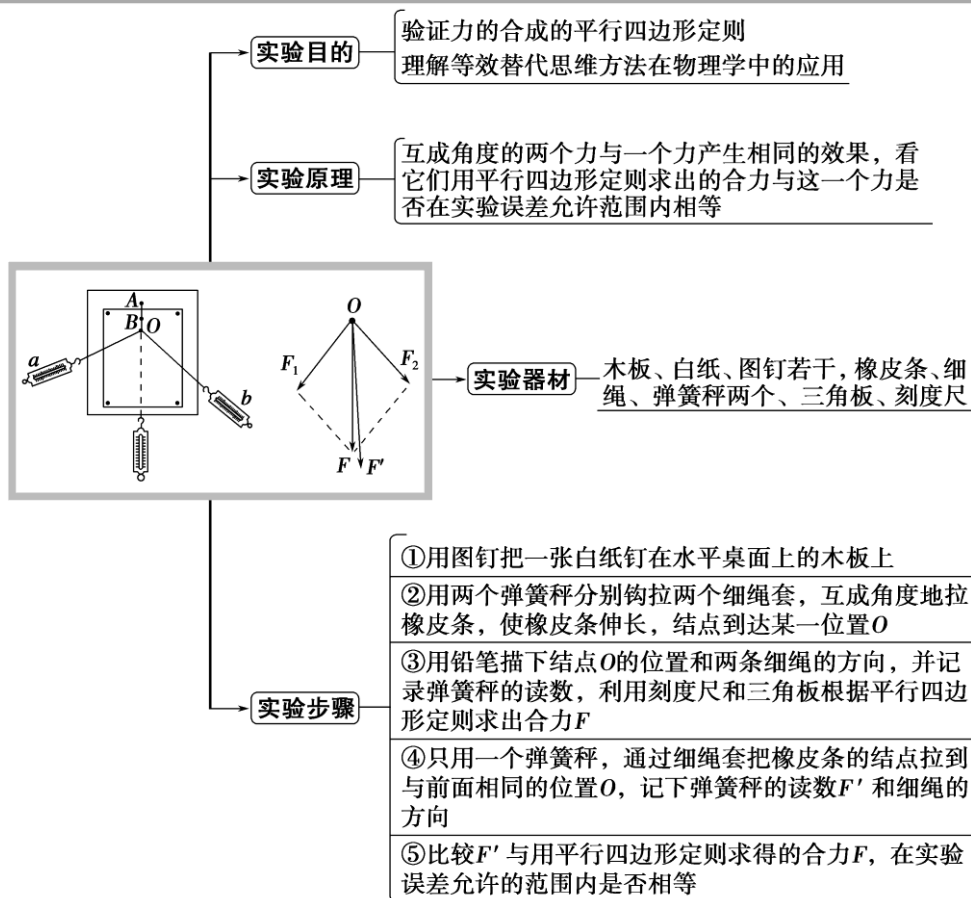
同理砝码盘质量

$$m = \frac{k(L_x - L_0)}{g} = \frac{4.9 \times (27.35 - 25.35) \times 10^{-2}}{9.8} \text{ kg} \\ = 0.01 \text{ kg} = 10 \text{ g}.$$

答案 (1)竖直 (2)静止 L_3 1 mm (3) L_x (4)4.9 10

基本实验要求

必考必会 必记必做



误差分析

本实验的误差除弹簧测力计本身的误差外，还主要来源于以下两个方面：

1. 读数误差

减小读数误差的方法：弹簧测力计数据在允许的情况下，尽量大一些。读数时眼睛一定要正视，要按有效数字正确读数和记录。

2. 作图误差

减小作图误差的方法：作图时两力的对边一定要平行，两个分力 F_1 、 F_2 间的夹角越大，用平行四边形作出的合力 F 的误差 ΔF 就越大，所以实验中不要把 F_1 、 F_2 间的夹角取得太大。

注意事项

1. **位置不变**：在同一次实验中，使橡皮条拉长时结点的位置一定要相同。
2. **角度合适**：用两个弹簧测力计钩住细绳套互成角度地拉橡皮条时，其夹角不宜太小，也不宜太大，以 $60^\circ \sim 120^\circ$ 之间为宜。
3. **尽量减少误差**
 - (1)在合力不超出量程及在橡皮条弹性限度内形变应尽量大一些。
 - (2)细绳套应适当长一些，便于确定力的方向。
4. **统一标度**：在同一次实验中，画力的图示选定的标度要相同，并且要恰当选定标度，使力的图示稍大一些。

实验热点聚焦

考向预测 热点聚焦

热点一 对实验原理及误差分析的考查

【典例 1】在探究求合力的方法时，先将橡皮条的一端固定在水平木板上，另一端系上带有绳套的两根细绳。实验时，需要两次拉伸橡皮条，一次是通过两细绳用两个弹簧测力计互成角度地拉橡皮条，另一次是用一个弹簧测力计通过细绳拉橡皮条。

- (1)实验对两次拉伸橡皮条的要求中，应该将橡皮条和绳的结点沿相同方向拉到_____位置(填

“同一”或“不同”).

(2)同学们在操作过程中有如下讨论,其中对减小实验误差有益的说法是_____ (填字母代号).

- A. 用两个弹簧测力计通过细绳拉橡皮条时,拉力间的角度要小一些
- B. 弹簧测力计、细绳、橡皮条要尽量与木板平行
- C. 用两弹簧测力计同时拉细绳时两弹簧测力计示数之差应尽可能小
- D. 标记同一细绳方向的两点要远些

解析 (1)只有拉到同一位置时,两次的作用效果才能相同.(2)用两个弹簧测力计通过细绳拉橡皮条时,两力间的角度应较大一些,便于实验结果更准确,故 A 错误;弹簧测力计、细绳、橡皮条要尽量与木板平行,如果不平行会导致在木板上画出的力的图示与实际不符,故 B 正确;两弹簧测力计示数之差的大小对实验没有影响,故 C 错误;标记同一细绳方向的两点比较近时,所画直线的方向误差就较大,故 D 正确.

答案 (1)同一 (2)BD

【跟踪短训】

1. 对于“验证力的平行四边形定则”的实验,某同学有以下认识:

- A. 实验中两个分力的夹角取得越大越好
- B. 细绳以及弹簧测力计所在平面必须与木板平行
- C. 拉橡皮条的细绳要长些,用铅笔画出两个定点的位置时,应使这两个点的距离尽量远些
- D. 作图要用细芯铅笔,图的比例要尽量大些,要用严格的几何作图法作出平行四边形,图旁要画出表示力的比例线段,且注明每个力的大小和方向

以上操作可以减小误差的是_____.

解析 如果两个分力夹角太大,则合力很小,用平行四边形作图法得出的合力的误差也越大,所以实验中不能把夹角取得太大,A 错;为了减小摩擦,橡皮条、细绳、弹簧测力计应在同一平面内,且弹簧测力计的方向要与拉力的方向保持在一条直线上,以免挂钩与弹簧测力计之间产生摩擦,B 对;为了减小力的方向的误差,橡皮条的细绳要长些,标记方向时所画的两个点的距离要尽量远些,C 正确;由于我们画力的图示时总是有一定的误差,为了减小画图时产生的误差,要用细芯铅笔,画的图要适当大一些,而且每个力都不应该太小,所以 D 正确.

答案 BCD

热点二 实验过程及数据处理

1. 实验过程应注意

(1)结点 O

- ①定位 O 点时要力求准确.
- ②同一次实验中橡皮条拉长后的 O 点必须保持不变.

(2)拉力

- ①用弹簧秤测拉力时要使拉力沿弹簧秤轴线方向.
- ②应尽量使橡皮条、弹簧秤和细绳套位于与纸面平行的同一平面内.
- ③两个分力 F_1 、 F_2 间的夹角 θ 不要太大或太小.

(3)作图

- ①在同一次实验中,选定的比例要相同.
- ②严格按力的图示要求和几何作图法作出平行四边形,求出合力.

2. 操作不忘“三”“二”“一”

用两个弹簧秤拉橡皮条时的“三记录”(记录两弹簧秤示数、两细绳方向和结点 O 的位置),用一个弹簧秤拉橡皮条时的“二记录”(记录弹簧秤示数和细绳方向)及“一注意”(结点 O 的位置必须在同一位置)等.

【典例 2】在“验证力的平行四边形定则”实验中,需要将橡皮条的一端固定在水平木板上,先用一个弹簧秤拉橡皮条的另一端到某一点并记下该点的位置;再将橡皮条的另一端系两根细绳,细绳的另一端都有绳套,用两个弹簧秤分别勾住绳套,并互成角度地拉橡皮条.

(1)某同学认为在此过程中必须注意以下几项:

- A. 两根细绳必须等长

- B. 橡皮条应与两绳夹角的平分线在同一直线上
 C. 在使用弹簧秤时要注意使弹簧秤与木板平面平行
 D. 在用两个弹簧秤同时拉细绳时要注意使两个弹簧秤的读数相等
 E. 在用两个弹簧秤同时拉细绳时必须将橡皮条的另一端拉到用一个弹簧秤拉时记下的位置
 其中正确的是_____ (填入相应的字母).

(2) “验证力的平行四边形定则”的实验情况如图 1 甲所示, 其中 A 为固定橡皮条的图钉, O 为橡皮条与细绳的结点, OB 和 OC 为细绳. 图乙是在白纸上根据实验结果画出的力的示意图.

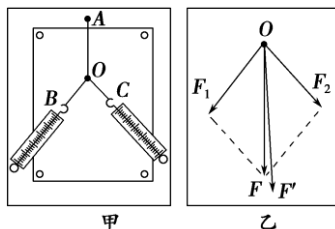


图 1

- ①图乙中的 F 与 F' 两力中, 方向一定沿 AO 方向的是_____。
 ②本实验采用的科学方法是_____。

- A. 理想实验法
 B. 等效替代法
 C. 控制变量法
 D. 建立物理模型法

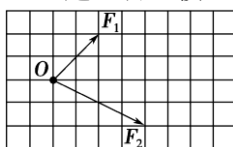


图 2

(3) 某同学在坐标纸上画出了如图 2 所示的两个已知力 F_1 和 F_2 , 图中小正方形的边长表示 2 N , 两力的合力用 F 表示, F_1 、 F_2 与 F 的夹角分别为 θ_1 和 θ_2 , 关于 F_1 、 F_2 与 F 、 θ_1 和 θ_2 关系正确的有_____。

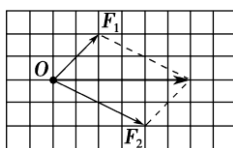
- A. $F_1=4\text{ N}$
 B. $F=12\text{ N}$
 C. $\theta_1=45^\circ$
 D. $\theta_1<\theta_2$

解析 (1) 两细绳套不要太短, 但是不一定要等长, 选项 A 错误; 橡皮条与两绳夹角的平分线是否在同一直线上, 由两分力的大小和方向决定, 选项 B 错误; 用弹簧秤拉细绳套时, 弹簧秤与木板平面必须平行, 选项 C 正确; 验证力的平行四边形定则实验中, 测量分力大小的两个弹簧秤的读数不一定要相等, 选项 D 错误; 在同一次实验中, 需要保持 F_1 和 F_2 的作用效果与合力 F 的作用效果相同, 即拉到同一位置, 所以选项 E 正确, 答案为 C、E.

(2) F' 是利用一个弹簧秤将橡皮条拉到结点 O 位置的力, F 是利用平行四边形定则作出的与 F' 作用效果相同的两个分力 F_1 和 F_2 的合力, 所以沿 AO 方向的力一定是 F' 。

本实验中, 需要保证单个拉力的作用效果与两个拉力的作用效果相同, 即采用了等效替代法。

(3) 以 F_1 和 F_2 为邻边作平行四边形, 如图所示, 其对角线表示合力 F , 由图可知, $F_1=4\sqrt{2}\text{ N}$, $F=12\text{ N}$, $\theta_1=45^\circ$, $\theta_1>\theta_2$, 所以选项 B、C 正确。



答案 (1)CE (2)① F' ②B (3)BC

【跟踪短训】

2. (2012 浙江卷, 22) 在“探究求合力的方法”实验中, 现有木板、白纸、图钉、橡皮筋、细绳套和一把弹簧秤。

(1)为完成实验,某同学另找来一根弹簧,先测量其劲度系数,得到的实验数据如下表:

弹力 $F(\text{N})$	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50
伸长量 $x(\times 10^{-2} \text{ m})$	0.74	1.80	2.80	3.72	4.60	5.58	6.42

根据表中数据在图 3 中作出 $F-x$ 图象并求得该弹簧的劲度系数 $k= \underline{\hspace{2cm}} \text{ N/m}$;

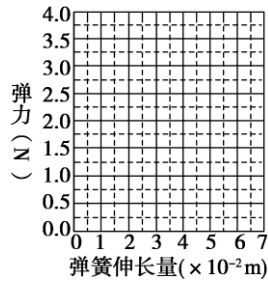


图 3

(2)某次实验中,弹簧秤的指针位置如图 4 所示,其读数为 $\underline{\hspace{2cm}}$ N; 同时利用(1)中结果获得弹簧上的弹力值为 2.50 N, 请在下列虚线框中画出这两个共点力的合力 $F_{\text{合}}$;

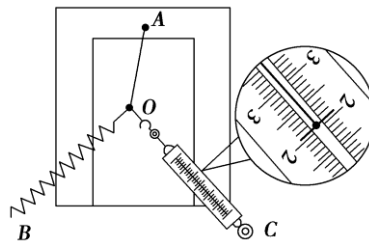
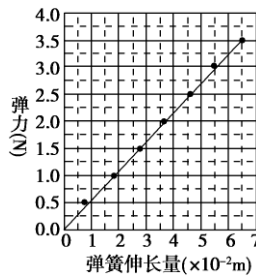


图 4

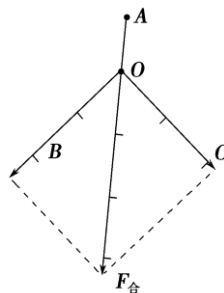
(3)由图得到 $F_{\text{合}}= \underline{\hspace{2cm}}$ N.

解析 (1)以水平方向为 x 轴, 竖直方向为 F 轴, 建立直角坐标系, 然后描点, 选尽可能多的点连成一条线, 其图线的斜率即为弹簧的劲度系数 k , 在直线上任取一点, 如 $(6 \times 10^{-2}, 3.2)$, 则 $k = \frac{3.2}{6 \times 10^{-2}} \text{ N/m} \approx 53 \text{ N/m}$.



(2)弹簧秤的读数为 2.10 N, 选标度 $\underline{1 \text{ N}}$

合力的图示如图所示.



(3)经测量, 合力 $F_{\text{合}} = 3.3 \text{ N}$.

答案 (1)见解析图 53(说明: ± 2 范围内都可)

(2)2.10(说明: 有效数字位数正确, ± 0.02 范围内都可) 见解析图 (3)3.3(说明: ± 0.02 范围内都可)

探究高考命题视角

以本实验为背景，通过改变实验条件、实验仪器设置题目，不脱离教材而又不拘泥教材，体现拓展性、开放性、探究性等特点。

视角 1 考查对实验原理的理解、实验方法的迁移

视角 2 实验器材的改进

(1)用橡皮筋^{替代}→弹簧秤

三个相同的橡皮筋，可将三个橡皮筋系于一点，互成角度地将它们拉长，记下各自的拉力方向，伸长后的长度，并测出原长，根据伸长量确定三个拉力的大小关系，再结合力的图示作图验证平行四边形定则。

(2)使用力的传感器——用力传感器确定各力的大小，同时确定细绳中拉力的方向，再结合力的图示作图验证平行四边形定则。

(3)钩码^{替代}→弹簧秤

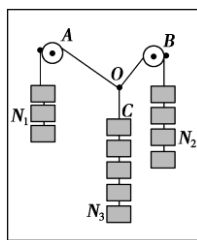


图 5

【典例 3】 有同学利用如图 5 所示的装置来验证力的平行四边形定则：在竖直木板上铺有白纸，固定两个光滑的滑轮 A 和 B，将绳子打一个结点 O，每个钩码的重量相等，当系统达到平衡时，根据钩码个数读出三根绳子的拉力 F_1 、 F_2 和 F_3 ，回答下列问题：

(1)改变钩码个数，实验能完成的是()。

- A. 钩码的个数 $N_1=N_2=2$, $N_3=4$
- B. 钩码的个数 $N_1=N_3=3$, $N_2=4$
- C. 钩码的个数 $N_1=N_2=N_3=4$
- D. 钩码的个数 $N_1=3$, $N_2=4$, $N_3=5$

(2)在拆下钩码和绳子前，最重要的一个步骤是()。

- A. 标记结点 O 的位置，并记录 OA、OB、OC 三段绳子的方向
- B. 量出 OA、OB、OC 三段绳子的长度
- C. 用量角器量出三段绳子之间的夹角
- D. 用天平测出钩码的质量

(3)在作图时，你认为图 6 中_____是正确的。(填“甲”或“乙”)

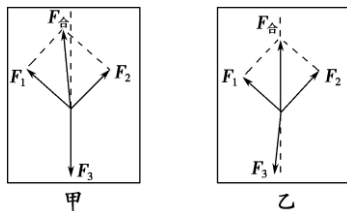


图 6

解析 (1)实验中的分力与合力的关系必须满足：

$$|F_1 - F_2| \leq F_3 \leq F_1 + F_2, \text{ 因此 B、C、D 选项是可以的。}$$

(2)A (3)甲 实验中 F_3 是竖直向下的 .

答案 (1)BCD (2)A (3)甲

【探究跟踪】

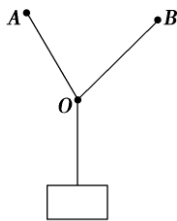


图 7

如图 7 所示, 某同学在家中尝试验证平行四边形定则, 他找到三条相同的橡皮筋(遵循胡克定律)和若干小重物, 以及刻度尺、三角板、铅笔、细绳、白纸、钉子, 设计了如下实验: 将两条橡皮筋的一端分别挂在墙上的两个钉子 A、B 上, 另一端与第三条橡皮筋连接, 结点为 O, 将第三条橡皮筋的另一端通过细绳挂一重物.

(1)为完成该实验, 下述操作中不需要的是_____.

- A. 测量细绳的长度
- B. 测量橡皮筋的原长
- C. 测量悬挂重物后橡皮筋的长度
- D. 记录悬挂重物后结点 O 的位置

(2)钉子位置固定, 欲利用现有器材, 改变条件再次验证, 可采用的方法是_____.

解析 (1)用橡皮筋验证平行四边形定则需要测量的是三条橡皮筋的伸长量及其拉伸的方向, 与细绳的长度无关, 故上述操作中 A 不需要, B 和 C 是需要的; 为了确保力的合成的等效性, 悬挂重物后结点 O 的位置必须相同, 所以上述操作中的 D 也是必需的.

(2)因为钉子的位置已固定, 为了继续进行实验, 可改变重物的质量再次进行验证.

答案 (1)A (2)更换不同的小重物

随堂达标演练

通关达标 技能提升

1. 在探究求合力的方法时, 先将橡皮条的一端固定在水平木板上, 另一端系上带有绳套的两根细绳. 实验时, 需要两次拉伸橡皮条, 一次是通过两细绳用两个弹簧秤互成角度地拉橡皮条, 另一次是用一个弹簧秤通过细绳拉橡皮条.

(1)实验对两次拉伸橡皮条的要求中, 下列哪些说法是正确的_____ (填字母代号).

- A. 将橡皮条拉伸相同长度即可
- B. 将橡皮条沿相同方向拉到相同长度
- C. 将弹簧秤都拉伸到相同刻度
- D. 将橡皮条和绳的结点拉到相同位置

(2)同学们在操作过程中有如下议论, 其中对减小实验误差有益的说法是_____ (填字母代号).

- A. 两细绳必须等长
- B. 弹簧秤、细绳、橡皮条都应与木板平行
- C. 用两弹簧秤同时拉细绳时两弹簧秤示数之差应尽可能大
- D. 拉橡皮条的细绳要长些, 标记同一细绳方向的两点要近些

解析 (1)本实验的目的是为了验证力的平行四边形定则, 即研究合力与分力的关系, 根据合力与分力是等效的, 本实验橡皮条两次沿相同方向拉伸的长度要相同, 故 A 错误, B 正确. 在白纸上标下第一次橡皮条和绳的结点的位置, 第二次将橡皮条和绳的结点拉到相同位置, 表明两次效果相同, 即两个拉力和一个拉力等效, 而弹簧秤不必拉到相同刻度. 故 C 错误, D 正确.

(2)本实验是通过在白纸上作力的图示来验证平行四边形定则, 为了减小实验误差, 弹簧秤、细绳、橡皮条都应与木板与平行, 否则, 作出的是拉力在纸面上的分力, 误差较大, 两细绳长度不需要相同. 故 A 错误, B 正确. 用两弹簧秤同时拉细绳时弹簧读数没有要求, 只要使得两次橡皮条拉伸到同一点就行. 故

C 错误。弹簧秤标记同一细绳方向的两点要远些，作图时产生的角度误差会减小，故 D 错误。

答案 (1)BD (2)B

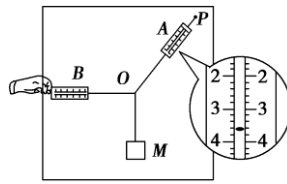


图 8

2. 某同学用如图 8 所示的实验装置来验证“力的平行四边形定则”。弹簧测力计 A 挂于固定点 P，下端用细线挂一重物 M。弹簧测力计 B 的一端用细线系于 O 点，手持另一端向左拉，使结点 O 静止在某位置。分别读出弹簧测力计 A 和 B 的示数，并在贴于竖直木板的白纸上记录 O 点的位置和拉线的方向。

(1) 本实验用的弹簧测力计示数的单位为 N，图中 A 的示数为_____N。

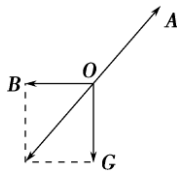
(2) 下列不必要的实验要求是_____。(请填写选项前对应的字母)

- A. 应测量重物 M 所受的重力
- B. 弹簧测力计应在使用前校零
- C. 拉线方向应与木板平面平行
- D. 改变拉力，进行多次实验，每次都要使 O 点静止在同一位置

(3) 某次实验中，该同学发现弹簧测力计 A 的指针稍稍超出量程，请您提出两个解决办法。

解析 (1) 由题图知，弹簧测力计 A 的最小刻度值为 0.2 N，读数为 3.6 N。

(2) 验证力的平行四边形定则，一定要记好合力与两分力的大小与方向，与结点位置无关，D 错；M 的重力即合力，A 对；



测量前弹簧测力计调零才能测量准确，B 对；拉线与木板平行才能保证力在木板平面内，C 对。

(3) 对 O 点受力分析如图所示，可见若减小 F_{OA} 可调节 F_{OB} 的大小或方向，调节 OA 方向或减小物重 G 等。

答案 (1)3.6 (2)D (3)①减小弹簧测力计 B 的拉力；②减小重物 M 的质量(或将 A 更换成较大量程的弹簧测力计、改变弹簧测力计 B 拉力的方向等)。

3. 某同学在做“互成角度的两个力的合成”的实验时，利用坐标纸记下了橡皮筋的结点位置 O 点以及两只弹簧测力计拉力的大小和方向，如图 9(a)所示。

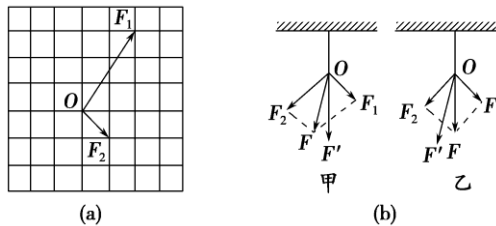


图 9

(1) 试在图(a)中作出无实验误差情况下 F_1 和 F_2 的合力图示，并用 F 表示此力。

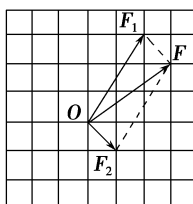
(2) 有关此实验，下列叙述正确的是_____。

- A. 两弹簧测力计的拉力可以同时比橡皮筋的拉力大
- B. 橡皮筋的拉力是合力，两弹簧测力计的拉力是分力
- C. 两次拉橡皮筋时，需将橡皮筋结点拉到同一位置 O，这样做的目的是保证两次弹簧测力计拉力的效果相同
- D. 若只增大某一弹簧测力计的拉力大小而要保证橡皮筋结点位置不变，只需调整另一弹簧测力计拉力的大小即可

(3)如图(b)所示是甲和乙两位同学在做以上实验时得到的结果, 其中哪一个比较符合实验事实? (力 F' 是用一只弹簧测力计拉时的图
示)_____.

(4)在以上比较符合实验事实的一位同学中, 造成误差的主要原因是: (至少写出两种情况)_____.

解析 (1)以 F_1 、 F_2 为邻边作平行四边形, 其对角线 OF 即为所求的合力(如图所示.)



(2)两只弹簧测力计的拉力与橡皮筋的拉力的合力为零, 它们之间不是合力与分力的关系, B 错误; 结点位置不变, 合力不变, 当一只弹簧测力计的拉力大小改变时, 另一只弹簧测力计的拉力的大小和方向必须都改变, 故 D 错误; 正确的选项只有 A、C.

(3)用平行四边形定则求出的合力可以与橡皮筋拉力的方向有偏差, 但用一只弹簧测力计拉结点的拉力与橡皮筋拉力一定在同一直线上, 故甲同学实验得到的结果符合实验事实.

(4)① F_1 的方向比真实方向偏左;

② F_2 的大小比真实值偏小且方向比真实方向偏左;

③作图时两虚线没有分别与 F_1 线和 F_2 线平行. (任选其二).

答案 (1)见解析图 (2)AC (3)甲同学实验得到的结果 (4)见解析

章末定时练二

(时间: 60 分钟)

一、选择题(本题共 8 小题, 在每小题给出的四个选项中, 1~5 题只有一项符合题目要求, 第 6~8 题有多项符合题目要求).



图 1

1. (2013 佛山市质检)如图 1 所示, 两根完全相同的弹簧中间连接一个光滑的小球, 弹簧另外两端固定在凹槽上, 两根弹簧的弹力都是 6 N. 若沿两端点连线方向移动小球, 当右侧弹簧的弹力为 10 N 时, 左侧弹簧的弹力为().

A. 10 N

B. 4 N

C. 2 N

D. 16 N

解析 如果两根弹簧都处于压缩状态, 右侧弹簧的弹力变大, 即小球向右移动, 使右侧弹簧变短, 左侧弹簧变长, 变化量一样. 由于是相同的弹簧, 弹力变化也应该一样, 右侧弹簧的弹力增大了 4 N, 左侧弹簧的弹力应该减小 4 N, 所以左侧弹簧的弹力变为 2 N. 同理可以分析, 如果两根弹簧都处于伸长状态, 结果一样.

答案 C

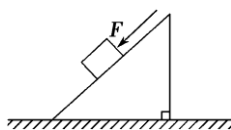


图 2

2. 如图 2 所示, 物体 m 放在质量为 M 的斜面体上, m 可沿斜面体匀速下滑. 现用一沿斜面向下的

力 F 推物体 m ，使其沿斜面向下做加速运动，则水平地面对斜面体()。

- A. 无摩擦力
- B. 有水平向左的摩擦力
- C. 有水平向右的摩擦力
- D. 支持力大于 $(M+m)g$

解析 物体沿斜面匀速下滑时，物体受到的合力为零， M 对 m 的支持力和摩擦力的合力等于 mg ，方向竖直向上， m 对 M 的压力和摩擦力的合力也等于 mg ，方向竖直向下；当用一沿斜面向下的力 F 推物体 m 时， m 对 M 的压力和摩擦力大小和方向都没有改变， M 水平方向上不受摩擦力，竖直方向上受到地面的支持力为 $(M+m)g$ ；综上所述，选项 A 正确，选项 B、C、D 错误。

答案 A

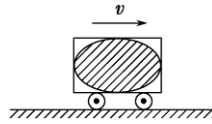


图 3

3. 如图 3 所示，小车内放有一物体，物体刚好可放入车箱中，小车在水平面上向右运动，下列说法正确的有()。

- A. 若小车做匀速运动，则物体不受力作用
- B. 若小车做匀加速运动，则物体受到车箱前壁的作用
- C. 若小车做匀减速运动，则物体受到车箱前壁的作用
- D. 若小车做匀速运动，则物体受三个力作用

解析 当小车做匀速运动时，物体只受重力与竖直向上的支持力。若小车后壁不给物体作用力，则物体不可能做匀加速运动，故小车后壁一定给物体作用力。同理，当小车做匀减速运动时，小车前壁给物体作用力，只有 C 正确。

答案 C

4. 如图 4 所示，甲、乙两物体叠放在水平面上，用水平力 F 拉物体乙，它们保持静止状态，甲、乙间接触面也为水平，则乙物体受力的个数为()。

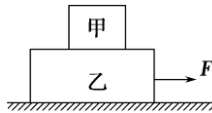


图 4

- A. 3 个
- B. 4 个
- C. 5 个
- D. 6 个

解析 先隔离甲，分析甲的受力，假设甲受乙对甲的摩擦力，那么甲在竖直方向上受重力和支持力，水平方向只受摩擦力，甲将不能保持静止状态，故甲、乙之间无摩擦力。

再隔离乙，分析乙的受力。物体乙一定受到重力 G ，地面的支持力 F_{N1} ，甲对乙的压力 F_{N2} ，乙受水平向右的外力 F ，由平衡力的条件可知，地面对乙有水平向左的静摩擦力，所以物体乙共受到 5 个力的作用，故选 C。

答案 C

5. 如图 5 所示，位于水平桌面上的物块 P ，由跨过定滑轮的轻绳与物块 Q 相连，从滑轮到 P 和到 Q 的两段绳都是水平的。已知 Q 与 P 之间以及 P 与桌面之间的动摩擦因数都是 μ ，两物块的质量都是 m ，滑轮的质量、滑轮轴上的摩擦都不计，若用一水平向右的力 F 拉 P 使它做匀速运动，则 F 的大小为()。

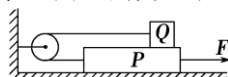


图 5

- A. $4\mu mg$
- B. $3\mu mg$
- C. $2\mu mg$
- D. μmg

解析 以 Q 为研究对象， Q 在水平方向受绳的拉力 F_1 和 P 对 Q 的摩擦力 F_{f1} 作用，由平衡条件可知： $F_1 = F_{f1} = \mu mg$ 。

以 P 为研究对象, 水平方向受外力 F 、绳的拉力 F_2 、 Q 对 P 的摩擦力 F_{f_1}' 和地面对 P 的摩擦力 F_{f_2} , 由平衡条件知: $F = F_2 + F_{f_1}' + F_{f_2}$.

$F_{f_2} = \mu F_N = \mu 2mg$, 由牛顿第三定律知: $F_2 = F_1 = \mu mg$, $F_{f_1}' = F_{f_1} = \mu mg$. 代入得: $F = 4\mu mg$.

答案 A

6. (2013 安庆模拟) 如图 6 甲所示, 物体 A 正从斜面体 B 上沿斜面下滑, 而斜面体在水平面上始终保持静止, 物块沿斜面下滑运动的 $v-t$ 图象如图 6 乙所示, 则下面说法中正确的是().



图 6

- A. 物块 A 在沿斜面下滑的过程中受到两个力的作用
- B. 物体 A 在沿斜面下滑的过程中受到三个力的作用
- C. 地面对斜面体 B 有水平向左的摩擦力作用
- D. 斜面体 B 相对于地面没有水平向左或向右的运动趋势

解析 由图乙可知, 物块 A 沿斜面匀速下滑, 故物块 A 一定受到重力、斜面对 A 的支持力和摩擦力三个力的作用, A 错误, B 正确; 以 A 、 B 为一个系统, 由于系统在水平方向上无加速度, 水平方向合外力必定为零, 故斜面体与地面之间的摩擦力等于零, C 错误, D 正确.

答案 BD

7. 如图 7 所示, A 是一质量为 M 的盒子, B 的质量为 $\frac{M}{2}$, A 、 B 用细绳相连, 跨过光滑的定滑轮, A 置于倾角 $\theta=30^\circ$ 的斜面上, B 悬于斜面之外而处于静止状态. 现在向 A 中缓慢加入沙子, 整个系统始终保持静止, 则在加入沙子的过程中().

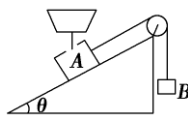


图 7

- A. 绳子拉力逐渐减小
- B. A 对斜面的压力逐渐增大
- C. A 所受的摩擦力逐渐增大
- D. A 所受的合力不变

解析 以 B 为研究对象, 由二力平衡条件可知, 绳子的拉力 F_T 始终等于 B 的重力的大小, 即 $F_T = \frac{1}{2}Mg$, 选项 A 错误; 以 A 为研究对象, 未加沙子前, 绳子的拉力 F_T 刚好等于 A 的重力沿斜面方向的分力, A 沿斜面方向受力平衡, 与斜面间没有摩擦力的作用, 加入沙子后, 相当于 A 的重力增加, A 对斜面的压力增大, 为了平衡加入沙子的重力沿斜面方向的分力, A 将受到沿斜面方向的静摩擦力, 且随着沙子的加入而逐渐增大, 所以选项 B、C 正确; 因为 A 一直处于静止状态, 其所受的合力始终为零, 即 A 所受的合力不变, 所以选项 D 正确.

答案 BCD

8. 如图 8 所示, A 、 B 为两个相同的双向力传感器, 该型号传感器在受到拉力时读数为正, 受到压力时读数为负. A 连接质量不计的细绳, 可沿固定的圆弧形轨道移动. B 固定不动, 通过光滑铰链连接长为 0.3 m 的轻杆. 将细绳连接在杆右端 O 点构成支架. 始终保持杆水平, 绳与杆的夹角 $\angle AOB$ 用 θ 表示. 用另一绳在 O 点悬挂一个钩码, 两个传感器的读数用 F_1 、 F_2 表示. 移动传感器 A 改变 θ , F_1 、 F_2 的数值相应地发生变化, 如表所示($g=10\text{ m/s}^2$). 则().

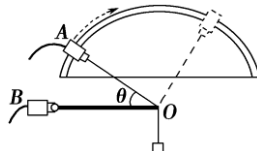
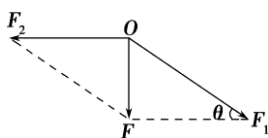


图 8

F_1	1.001	0.580	...	1.002	...
F_2	-0.868	-0.291	...	0.865	...
θ	30°	60°	...	150°	...

- A. A 传感器对应的是表中力 F_1
- B. B 传感器对应的是表中力 F_1
- C. 钩码质量为 0.05 kg
- D. 钩码质量为 0.2 kg



解析 设钩码对点 O 产生竖直向下的拉力为 F ，当 θ 为锐角时，该力作用在 O 点产生两个效果，一个是沿 AO 方向拉细绳，另一个则是沿 OB 方向压杆，而当 θ 为钝角时， F 对细绳和杆都产生拉力，所以 A 传感器对应的是表格中的力 F_1 ，A 项正确。如图为 $\theta = 30^\circ$ 时力 F 的分解示意图，由图可知 $mg = F_1 \cos 60^\circ$ ，故 $m = \frac{F_1 \cos 60^\circ}{g} = 0.05 \text{ kg}$ ，C 项正确。

答案 AC

二、非选择题

9. 在“探究弹力和弹簧伸长的关系”的实验中，某实验小组将不同数量的钩码分别挂在竖直弹簧下端进行测量，根据实验所测数据，利用描点法作出了所挂钩码的重力 G 与弹簧总长 L 的关系图线，如图 9 所示。根据图线回答以下问题。

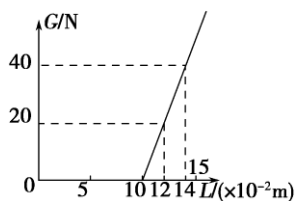


图 9

- (1) 弹簧的原长为_____。
- (2) 弹簧的劲度系数为_____。
- (3) 分析图线，总结出弹簧弹力 F 跟弹簧长度 L 之间的关系式为_____。

解析 由图知，当不挂钩码时，弹簧长 10 cm，即弹簧原长为 10 cm；弹簧的劲度系数等于图线的斜率，即 $k = \frac{40}{(14 - 10) \times 10^{-2}} \text{ N/m} = 1\,000 \text{ N/m}$ ；由数学函数关系可得弹簧弹力 F 跟弹簧长度 L 之间的关

系式为 $F = 1\,000(L - 0.10)$ 。

答案 (1) 10 cm (2) 1 000 N/m

(3) $F = 1\,000(L - 0.10)$

10. (2013 合肥一检)(1) 在“研究共点力的合成”实验中，需要将橡皮筋的一端固定在 A 点，用两个弹簧秤(量程均为 5 N)通过细绳互成角度地拉橡皮筋，使橡皮筋的另一端伸长到 O 点。关于这一实验过程，下列操作正确的是_____。

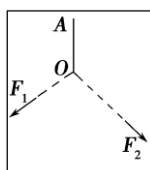


图 10

- A. 实验前，先将所用的弹簧秤竖直提起，挂钩上无任何重物，检查读数是否为零
- B. 将结点拉到位置 O 时，拉力 F_1 、 F_2 要适当大些
- C. 拉橡皮筋时，橡皮筋、细绳和弹簧秤应贴近且平行于木板

D. 可以通过操作使两个弹簧秤的读数均为 4 N，且两弹簧秤拉力的方向相互垂直，然后再用其中一个弹簧秤来测量出它们的合力，与用作图法求出的合力进行比较

(2) 将橡皮筋的一端固定在 A 点，另一端拴上两根细绳，每根细绳分别连着一个量程为 5 N、最小刻度为 0.1 N 的弹簧测力计，沿着两个不同的方向拉弹簧测力计，当橡皮筋的活动端拉到 O 点时，两根细绳相互垂直，如图 11 所示。这时弹簧测力计的读数可从图中读出。

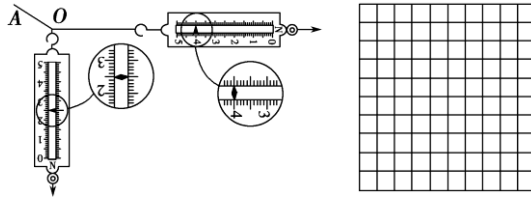


图 11

图 12

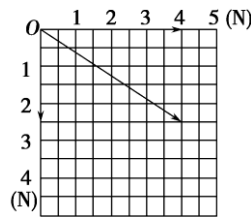
① 由图可读得两个相互垂直的拉力的大小分别为 _____ N 和 _____ N.

② 在如图 12 所示的方格纸上按作图法的要求画出这两个力及它们的合力.

解析 (1) 实验前只需将两弹簧秤挂钩相连，然后向相反方向拉一下，两弹簧秤示数相等即可，故选项 A 错误；为减小读数、画图造成的误差，两弹簧秤的拉力不应太小，选项 B 正确；拉橡皮筋时，橡皮筋、细绳和弹簧秤应贴近且平行于木板，选项 C 正确；实验过程中，两弹簧秤的拉力没有必要读数均为 4 N，更没有必要使两弹簧秤拉力的方向相互垂直，故选项 D 错误。

(2) ① 弹簧测力计的最小刻度为 0.1 N，读数时应估读一位，所以读数分别为 2.50 N 和 4.00 N.

② 取一个小方格的边长表示 0.50 N，作出两个力及它们的合力如图所示。



答案 (1) BC

(2) ① 2.50 4.00 ② 见解析图

11. 两个相同的小球 A 和 B，质量均为 m ，用长度相同的两根细线把 A、B 两球悬挂在水平天花板上的同一点 O，并用长度相同的细线连接 A、B 两小球，然后，用一水平方向的力 F 作用在小球 A 上，此时三根细线均处于直线状态，且 OB 细线恰好处于竖直方向，如图 13 所示。如果不考虑小球的大小，两小球均处于静止状态，则：

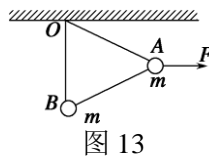


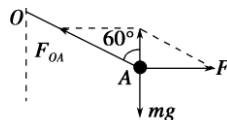
图 13

(1) OB 绳对小球的拉力为多大？

(2) OA 绳对小球的拉力为多大？

(3) 作用力 F 为多大？

解析 (1) 因 OB 绳处于竖直方向，所以 B 球处于平衡状态，AB 绳上的拉力为零，OB 绳对小球的拉力 $F_{OB} = mg$.



(2) A 球在重力 mg 、水平拉力 F 和 OA 绳的拉力 F_{OA} 三力作用下平衡，所以 OA 绳对小球的拉力 $F_{OA} = \frac{mg}{\cos 60^\circ} = 2mg$.

(3) 作用力 $F = mg \tan 60^\circ = \sqrt{3}mg$.

答案 (1) mg (2) $2mg$ (3) $\sqrt{3}mg$

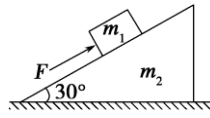
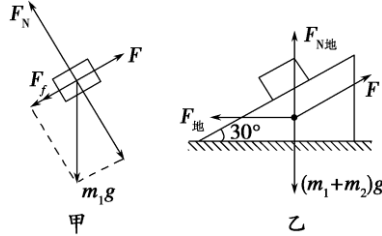


图 14

12. 如图 14 所示, 质量为 $m_1=5 \text{ kg}$ 的滑块, 置于一粗糙的斜面上, 用一平行于斜面的大小为 30 N 的力 F 推滑块, 滑块沿斜面向上匀速运动, 斜面体质量 $m_2=10 \text{ kg}$, 且始终静止, 取 $g=10 \text{ m/s}^2$, 求:

- (1)斜面对滑块的摩擦力;
- (2)地面对斜面体的摩擦力和支持力.

解析 (1)用隔离法: 对滑块作受力分析, 如图甲所示, 在平行斜面的方向上



$$F = m_1 g \sin 30^\circ + F_f,$$

$$F_f = F - m_1 g \sin 30^\circ = (30 - 5 \times 10 \times 0.5) \text{ N} = 5 \text{ N}$$

(2)用整体法: 因两个物体均处于平衡状态, 故可以将滑块与斜面体当做一个整体来研究, 其受力如图乙所示, 由图乙可知: 在水平方向上有 $F_{\text{地}} = F \cos 30^\circ = 15\sqrt{3} \text{ N}$; 在竖直方向上有 $F_{N\text{地}} = (m_1 + m_2)g - F \sin 30^\circ = 135 \text{ N}$.

答案 (1) 5 N (2) $15\sqrt{3} \text{ N}$ 135 N

必修一

第三章 牛顿运动定律

第1讲 牛顿第一定律 牛顿第三定律

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点1

牛顿第一定律 (考纲要求 II)

1. 内容: 一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态, 除非作用在它上面的力迫使它改变这种状态.

2. 意义

(1)指出力不是维持物体运动的原因, 而是改变物体运动状态的原因, 即力是产生加速度的原因.

(2)指出了一切物体都有惯性, 因此牛顿第一定律又称惯性定律.

3. 惯性

(1)定义: 物体具有保持原来匀速直线运动状态或静止状态的性质.

(2)量度: 质量是物体惯性大小的唯一量度, 质量大的物体惯性大, 质量小的物体惯性小.

(3)普遍性: 惯性是物体的固有属性, 一切物体都有惯性. 与物体的运动情况和受力情况无关.

思维深化 1 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1)牛顿第一定律不能用实验验证. ()

(2)在水平面上滑动的木块最终停下来, 是因为没有外力维持木块运动的结果. ()

(3)运动的物体惯性大, 静止的物体惯性小. ()

答案 (1)√ (2)× (3)×

考点2

牛顿第三定律 (考纲要求 II)

1. 作用力和反作用力: 两个物体之间的作用总是相互的. 一个物体对另一个物体施加了力, 另一个物体一定同时对这一个物体也施加了力.

2. 牛顿第三定律

(1)内容: 两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等, 方向相反, 作用在同一条直线上.

(2)表达式: $F = -F'$

思维深化 2 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1)作用力与反作用力可以作用在同一物体上. ()

(2)作用力与反作用力的作用效果不能抵消。()

(3)人走在松软的土地上下陷时,人对地面的压力大于地面对人的支持力。()

(4)定律中的“总是”说明对于任何物体,在任何情况下牛顿第三定律都是成立的。()

答案 (1)× (2)√ (3)× (4)√

基础自测

1. (多选)关于牛顿第一定律的说法正确的是()。

- A. 牛顿第一定律不能在实验室中用实验验证
- B. 牛顿第一定律说明力是改变物体运动状态的原因
- C. 惯性定律与惯性的实质是相同的
- D. 物体的运动不需要力来维持

解析 牛顿第一定律是物体在理想条件下的运动规律,反映的是物体在不受力的情况下所遵循的规律,而自然界中不受力的物体是不存在的,所以 A 正确;惯性是物体保持原有运动状态不变的一种性质,惯性定律(即牛顿第一定律)则是反映物体在一定条件下的运动规律,故 C 不正确;由牛顿第一定律可知,物体的运动不需要力来维持,但要改变物体的运动状态则必须有力的作用,所以 B、D 正确。

答案 ABD

2. (单选)下列关于惯性的说法中正确的是()。

- A. 物体只有静止或做匀速直线运动时才有惯性
- B. 汽车速度越大刹车后越难停下来,表明速度越大惯性越大
- C. 宇宙飞船中的物体处于完全失重状态,所以没有惯性
- D. 乒乓球可以被快速抽杀,是因为乒乓球的惯性小

解析 惯性是物体的固有属性,与物体的运动状态无关,A 错误;惯性的大小仅取决于物体的质量,与其速度的大小及运动的时间无关,B 错误;处于完全失重状态的物体,失去的不是重力,更不是质量,而是物体对悬挂物或支持物的弹力为零,C 错误;乒乓球可以被快速抽杀,是由于它的质量小,即惯性小,D 正确,本题答案为 D。

答案 D

3. (多选)关于两个物体间的作用力和反作用力,下列说法正确的是()。

- A. 作用力和反作用力一定同时产生、同时消失
- B. 作用力和反作用力可以不同时产生
- C. 作用力和反作用力一定是相同性质的力
- D. 作用力和反作用力的效果会相互抵消

解析 作用力和反作用力一定是同时产生、同时变化、同时消失,力的性质一定相同,由于二者分别作用在两个物体上,力的作用效果不能相互抵消,故 A、C 对,B、D 错。

答案 AC

4. (单选)某人用绳子将一桶水从井内向上提的过程中,不计绳子的重力,以下说法正确的是()。

- A. 只有在桶匀速上升过程中,绳子对桶的拉力才等于桶对绳子的拉力
- B. 桶加速上升的过程中,绳子对桶的拉力大于桶对绳子的拉力
- C. 桶加速上升的过程中,绳子对桶的拉力大于桶的重力
- D. 桶减速向上运动的过程中,绳子对桶的拉力小于桶对绳子的拉力

解析 绳子对桶的拉力和桶对绳子的拉力是一对作用力与反作用力,总是大小相等,与桶的运动状态无关,A、B、D 均错;桶加速上升时,以桶作为研究对象,则桶所受合力向上,即绳子对桶的拉力大于桶的重力,C 项正确。

答案 C

5. (多选)关于运动状态与所受外力的关系,下面说法中正确的是()。

- A. 物体受到恒定的力作用时,它的运动状态不发生改变
- B. 物体受到不为零的合力作用时,它的运动状态要发生改变

- C. 物体受到的合力为零时, 它一定处于静止状态
- D. 物体的运动方向与它所受的合力的方向可能相同

解析 力是改变物体运动状态的原因, 只要物体受力(合力不为零), 它的运动状态就一定会改变, A 错误, B 正确; 物体不受力或所受合力为零, 其运动状态一定不变, 处于静止状态或匀速直线运动状态, C 错误; 物体的运动方向与它所受合力的方向可能相同, 也可能相反, 还可能不在一条直线上, D 正确.

答案 BD

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 对牛顿第一定律的理解

1. 惯性和惯性定律的区别

- (1) 惯性是物体保持原有运动状态不变的一种性质, 与物体是否受力、受力的大小无关.
- (2) 惯性定律(牛顿第一定律)则反映物体在一定条件下的运动规律.

2. 对牛顿第一定律的几点说明

(1) 明确惯性的概念: 牛顿第一定律揭示了一切物体所具有的一种固有属性——惯性, 即物体保持原来的匀速直线运动状态或静止状态的性质.

(2) 揭示力的本质: 力是改变物体运动状态的原因, 而不是维持物体运动状态的原因.

(3) 理想化状态: 牛顿第一定律描述的是物体不受外力的状态, 而物体不受外力的情形是不存在的. 在实际情况下, 如果物体所受的合外力等于零, 与物体不受外力时的表现是相同的.

【典例 1】 关于惯性的大小, 下列说法中正确的是().

- A. 高速运动的物体不容易停下来, 所以物体运动速度越大, 惯性越大
- B. 用相同的水平力分别推放在地面上的两个材料不同的物体, 则难以推动的物体惯性大
- C. 两个物体只要质量相同, 那么惯性大小就一定相同
- D. 在月球上举重比在地球上容易, 所以同一个物体在月球上比在地球上惯性小

解析 惯性是物体的固有属性, 只与物体的质量有关, 与物体的速度、受力情况和地理位置均无关, C 正确.

答案 C

反思总结 惯性的两种表现形式

物体的惯性总是以保持“原状”或反抗“改变”两种形式表现出来.

物体在不受外力或所受的合外力为零时, 惯性表现为使物体保持原来的运动状态不变(静止或匀速直线运动).

【跟踪短训】

- 1. 不同质量的汽车在同一水平公路上直线行驶, 则下列说法中正确的是().
- A. 车速越大的汽车, 它的惯性越大
- B. 质量越大的汽车, 它的惯性越大
- C. 车速越大的汽车, 紧急刹车后滑行的路程越短
- D. 质量越大的汽车, 紧急刹车后滑行的路程越长

解析 质量是惯性大小的唯一量度, 质量越大, 惯性越大, A 错误, B 正确; 紧急刹车后, 汽车做匀减速直线运动, 此时 $v^2 = 2\mu gx$, 由此可知速度越大的汽车, 滑行的路程越长, 与汽车的质量无关, C、D 错误.

答案 B

热点二 对牛顿第三定律的理解

1. 作用力与反作用力的“三同、三异、三无关”

- (1) “三同”：
 - ①大小相同;
 - ②性质相同;
 - ③变化情况相同.
- (2) “三异”：

- ①方向不同；
- ②受力物体不同；
- ③产生效果不同.
- (3) “三无关”：
- ①与物体的种类无关；
- ②与物体的运动状态无关；
- ③与是否和另外物体相互作用无关.

2. “一对相互作用力”与“一对平衡力”的比较

内容	一对相互作用力	一对平衡力
受力物体	作用在两个相互作用的物体上	作用在同一物体上
作用时间	同时产生，同时消失，同时变化	不一定同时产生或消失
力的性质	一定是同性质的力	可以是同性质的力，也可以是不同性质的力
大小关系	大小相等	大小相等
方向关系	方向相反且共线	方向相反且共线
依赖关系	相互依存，不可单独存在	无依赖关系，撤除一个力，另一个力依然可以存在，只是不再平衡

【典例 2】粗糙的水平地面上有一只木箱，现用一水平拉力拉木箱匀速前进，则().

- A. 拉力与地面对木箱的摩擦力是一对作用力与反作用力
- B. 木箱对地面的压力与地面对木箱的支持力是一对平衡力
- C. 木箱对地面的压力与地面对木箱的支持力是一对作用力与反作用力
- D. 木箱对地面的压力与木箱受到的重力是一对平衡力

解析 拉力与地面对木箱的摩擦力作用在一个物体上，是一对平衡力，A 错. 木箱对地面的压力与地面对木箱的支持力分别作用在地面和木箱上，作用在两个物体上，不是一对平衡力，B 错. 木箱对地面的压力与地面对木箱的支持力是一对作用力与反作用力，C 对. 木箱对地面的压力与木箱受到的重力方向相同，作用在两个物体上，不是一对平衡力，D 错.

答案 C

【跟踪短训】

2. 16 世纪末，伽利略用实验和推理，推翻了已在欧洲流行了近两千年的亚里士多德关于力和运动的理论，开启了物理学发展的新纪元. 在以下说法中，与亚里士多德观点相反的是().

- A. 四匹马拉的车比两匹马拉的车跑得快，这说明：物体受的力越大，速度就越大
- B. 一个运动的物体，如果不再受力了，它总会逐渐停下来，这说明：静止状态才是物体长时间不受力时的“自然状态”
- C. 两物体从同一高度自由下落，较重的物体下落较快
- D. 一个物体维持匀速直线运动，不需要受力

解析 亚里士多德认为力是维持物体运动状态的原因，力越大，物体运动得越快，没有力的作用，物体将会逐渐停下来，故 A、B、C 均是亚里士多德的观点，只有 D 中说法与亚里士多德的观点相反.

答案 D

3. 如图 3-1-1 所示，质量相等的甲、乙两人所用绳子相同，甲拉住绳子悬在空中处于静止状态；乙拉住绷紧绳子的中点把绳子拉断了. 则().



图 3-1-1

- A. 绳子对甲的拉力小于甲的重力
- B. 绳子对甲的拉力大于甲对绳子的拉力
- C. 乙拉断绳子前瞬间，绳上的拉力一定小于乙的重力
- D. 乙拉断绳子前瞬间，绳上的拉力一定大于乙的重力

解析 由平衡条件可知，绳子对甲的拉力大小等于甲受到的重力，A 错；由作用力与反作用力的关系可知绳子对甲的拉力等于甲对绳子的拉力，B 错；乙能把绳子拉断，对于具有同样承受能力的绳子，说明乙拉断绳子前的瞬间绳上的拉力一定大于绳子的承受力，而甲拉的绳子能承受甲的重力，甲、乙质量相等，因此乙拉的绳子上的拉力一定大于乙的重力，C 错，D 对。

答案 D

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

思想方法 5. “转换对象法”——牛顿第三定律在受力分析中的应用

在对物体进行受力分析时，如果不便于分析求出物体受到的某些力时，可先求它的反作用力，再反过来求待求力。如求压力时，可先求支持力。在许多问题中，摩擦力的求解亦是如此。可见牛顿第三定律将起到非常重要的转换研究对象的作用，使得我们对问题的分析思路更灵活、更宽阔。

【典例】如图 3-1-2 所示，质量为 $M=60\text{ kg}$ 的人站在水平地面上，用定滑轮装置将质量为 $m=40\text{ kg}$ 的重物送入井中。当重物为 2 m/s^2 的加速度加速下落时，忽略绳子和定滑轮的质量及定滑轮的摩擦，则人对地面的压力大小为(g 取 10 m/s^2)()。

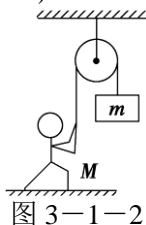


图 3-1-2

A. 200 N

B. 280 N

C. 320 N

D. 920 N

审题指导 求人 对 地面的压力 $\xrightarrow{\text{研究对象}}$ 应该是地面，但无法对地面进行受力分析 $\xrightarrow{\text{转换}}$ 人 受力

解析 设人对绳的拉力大小为 F ，对重物 m 应用牛顿第二定律得 $mg - F = ma$ 。由牛顿第三定律可知，绳对人向上的拉力 F' 与人对绳的拉力 F 等大反向，设地面对人的支持力为 F_N ，对人应用平衡条件可得： $F' + F_N = Mg$ ，可解得 $F_N = Mg - mg + ma = 280\text{ N}$ 。由牛顿第三定律可知，人对地面的压力大小与地面对人的支持力大小相等，故人对地面的压力大小为 280 N ，B 正确。

答案 B

即学即练 如图 3-1-3 所示为杂技“顶竿”表演，一人站在地上，肩上扛一质量为 M 的竖直竹竿，当竿上一质量为 m 的人以加速度 a 加速下滑时，竿对“底人”的压力大小为()。

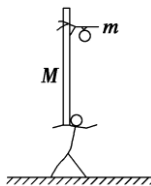


图 3-1-3

A. $(M+m)g$

B. $(M+m)g - ma$

C. $(M+m)g + ma$

D. $(M-m)g$

解析 对竿上的人分析：受重力 mg 、摩擦力 F_f ，有 $mg - F_f = ma$ 得 $F_f = m(g - a)$ 。竿对人有摩擦力，人对竿也有反作用力——摩擦力，且大小相等，方向相反，对竿分析：受重力 Mg 、竿上的人对竿向下的摩擦力 F_f' 、顶竿的人对竿的支持力 F_N ，有 $Mg + F_f' = F_N$ ，又因为竿对“底人”的压力和“底人”对竿的支持力是一对作用力与反作用力，由牛顿第三定律，得到 $F_N' = Mg + F_f' = (M+m)g - ma$ 。B 项正确。

答案 B

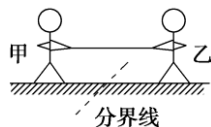
对应高考题组

1. (2012 新课标全国卷, 14)伽利略根据小球在斜面上运动的实验和理想实验, 提出了惯性的概念, 从而奠定了牛顿力学的基础. 早期物理学家关于惯性有下列说法, 其中正确的是().

- A. 物体抵抗运动状态变化的性质是惯性
- B. 没有力的作用, 物体只能处于静止状态
- C. 行星在圆周轨道上保持匀速率运动的性质是惯性
- D. 运动物体如果没有受到力的作用, 将继续以同一速度沿同一直线运动

解析 物体的惯性指物体本身要保持原来运动状态不变的性质, 或者说是物体抵抗运动状态变化的性质, 选项 A 正确; 没有力的作用, 物体将保持静止状态或匀速直线运动状态, 选项 B 错误; 行星在圆周轨道上做匀速圆周运动, 而惯性是指物体保持静止或匀速直线运动的状态, 选项 C 错误; 运动物体如果没有受到力的作用, 根据牛顿第一定律可知, 物体将继续以同一速度沿同一直线一直运动下去, 选项 D 正确.

答案 AD



2. (2011 浙江卷, 14)如图所示, 甲、乙两人在冰面上“拔河”. 两人中间位置处有一分界线, 约定先使对方过分界线者为赢. 若绳子质量不计, 冰面可看成光滑, 则下列说法正确的是().

- A. 甲对绳的拉力与绳对甲的拉力是一对平衡力
- B. 甲对绳的拉力与乙对绳的拉力是作用力与反作用力
- C. 若甲的质量比乙大, 则甲能赢得“拔河”比赛的胜利
- D. 若乙收绳的速度比甲快, 则乙能赢得“拔河”比赛的胜利

解析 甲对绳的拉力与绳对甲的拉力是一对作用力与反作用力, 故选项 A 错误. 甲对绳的拉力与乙对绳的拉力作用在同一物体上, 不是作用力与反作用力, 故选项 B 错误. 设绳子的张力为 F , 则甲、乙两人受到绳子的拉力大小相等, 均为 F , 若 $m_{甲} > m_{乙}$, 则由 $a = \frac{F}{m}$ 得, $a_{甲} < a_{乙}$, 由 $x = \frac{1}{2}at^2$ 得在相等时间内甲的位移小, 因开始时甲、乙距分界线的距离相等, 则乙先过分界线, 所以甲能赢得“拔河”比赛的胜利, 故选项 C 正确. 收绳速度与“拔河”比赛胜负无关, 故选项 D 错误.

答案 C

3. (2011 上海综合, 4)在日常生活中, 小巧美观的冰箱贴使用广泛. 一磁性冰箱贴贴在冰箱的竖直表面上静止不动时, 它受到的磁力().

- A. 小于受到的弹力
- B. 大于受到的弹力
- C. 和受到的弹力是一对作用力与反作用力
- D. 和受到的弹力是一对平衡力

解析 因磁性冰箱贴静止不动, 在水平方向上受到两个力: 磁力与弹力, 应为一对平衡力, 不是作用力与反作用力, 所以 D 正确, A、B、C 错误.

答案 D

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 对力和运动关系的理解

1. (单选)下列物理学史描述不正确的是().
 - A. 亚里士多德认为必须有力作用在物体上, 物体才能运动, 没有力的作用, 物体就静止
 - B. 伽利略认为如果完全排除空气的阻力, 所有的物体将下落得同样快
 - C. 牛顿认为力不是维持物体运动的原因, 而是改变物体运动状态的原因
 - D. 亚里士多德根据理想实验推出, 若没有摩擦, 在水平面上运动的物体将保持其速度继续运动下

去

答案 D

2. (单选)伽利略用两个对接的斜面,一个斜面固定,让小球从固定斜面上滚下,又滚上另一个倾角可以改变的斜面,斜面倾角逐渐改变至零,如图 3-1-4 所示.伽利略设计这个实验的目的是为了说明().

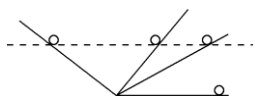


图 3-1-4

- A. 如果没有摩擦,小球将运动到与释放时相同的高度
- B. 如果没有摩擦,物体运动时机械能守恒
- C. 维持物体做匀速直线运动并不需要力
- D. 如果物体不受到力,就不会运动

解析 在伽利略理想斜面实验中,“小球从两个对接的斜面中的固定斜面滚下后将滚上另一个斜面”是经验事实;“如果没有摩擦小球将运动到与释放时相同的高度”是推论;“减小第二个斜面的倾角小球在斜面上滑行的距离更长”也是推论;“当第二个斜面的倾角为零时,小球将沿水平面做匀速直线运动而不需要力来维持”是外推的结果.本实验是为了否定亚里士多德的观点,揭示物体的运动不需要力来维持,所以 C 正确,A、B、D 均错误.

答案 C

3. (单选)关于力和运动的关系,下列说法正确的是().

- A. 物体受力才会运动
- B. 力使物体的运动状态发生改变
- C. 停止用力,运动的物体就会停止
- D. 力是物体保持静止或匀速直线运动状态的原因

解析 由牛顿第一定律可知,力的作用不是使物体运动,而是使物体的运动状态改变.如果物体原来的状态是运动的,不受力仍将永远运动下去,即物体的运动不需要力来维持,因此 A、C 错误,B 正确;物体保持静止或匀速直线运动状态,是物体不受力时的运动规律,并不是力作用的结果,因此 D 错误.

答案 B

题组二 对惯性的理解和应用

4. (多选)我国《道路交通安全法》中规定:各种小型车辆前排乘坐的人(包括司机)必须系好安全带,这是因为().

- A. 系好安全带可以减小惯性
- B. 是否系好安全带对人和车的惯性没有影响
- C. 系好安全带可以防止因车的惯性而造成的伤害
- D. 系好安全带可以防止因人的惯性而造成的伤害

解析 根据惯性的定义知:安全带与人和车的惯性无关,A 错、B 对,系好安全带主要是防止因刹车时人具有向前的惯性而造成伤害事故,C 错,D 对.

答案 BD

5. (多选)如图 3-1-5 所示,在匀速前进的磁悬浮列车里,小明将一小球放在水平桌面上,且小球相对桌面静止.关于小球与列车的运动,下列说法正确的是().

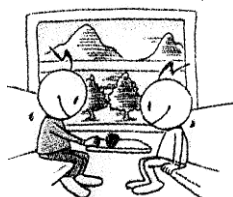


图 3-1-5

- A. 若小球向前滚动, 则磁悬浮列车在加速前进
- B. 若小球向后滚动, 则磁悬浮列车在加速前进
- C. 磁悬浮列车急刹车时, 小球向前滚动
- D. 磁悬浮列车急刹车时, 小球向后滚动

解析 列车加(减)速时, 小球由于惯性保持原来的运动状态不变, 相对于车向后(前)滚动, 选项 B、

C 正确.

答案 BC

6. (单选)在一次交通事故中, 一辆载有 30 吨“工”字形钢材的载重汽车由于避让横穿马路的摩托车而紧急制动, 结果车厢上的钢材向前冲出, 压扁驾驶室. 关于这起事故原因的物理分析正确的是().

- A. 由于车厢上的钢材有惯性, 在汽车制动时, 钢材继续向前运动, 压扁驾驶室
- B. 由于汽车紧急制动, 使其惯性减小, 而钢材惯性较大, 所以继续向前运动
- C. 由于车厢上的钢材所受阻力太小, 不足以克服其惯性, 所以继续向前运动
- D. 由于汽车制动前的速度太大, 汽车的惯性比钢材的惯性大, 在汽车制动后, 钢材继续向前运动

解析 由于车厢上的钢材有惯性, 在汽车制动时, 钢材继续向前运动, 压扁了驾驶室, 惯性只与质量有关, 与运动状态、受力情况无关, A 正确.

答案 A

题组三 对牛顿第三定律的理解

7. (多选)关于牛顿第三定律, 下列说法正确的是().

- A. 对重力、弹力、摩擦力等都适用
- B. 当相互作用的两个物体相距很远时不适用
- C. 当相互作用的两个物体做加速运动时不适用
- D. 相互作用的两个物体没有直接接触时也适用

解析 对于牛顿第三定律, 适用于重力、弹力、摩擦力等所有的力, 而且不管相互作用的两物体的质量如何、运动状态怎样、是否相互接触都适用. 例如, 地球吸引地球表面上的石块, 石块同样以相同大小的力吸引地球, 且不管接触不接触, 都互相吸引, 所以 B、C 错误, A、D 正确.

答案 AD

8. (单选)物体静止于一斜面上, 如图 3-1-6 所示, 则下列说法正确的是().

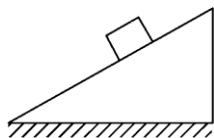


图 3-1-6

- A. 物体对斜面的压力和斜面对物体的支持力是一对平衡力
- B. 物体对斜面的摩擦力和斜面对物体的摩擦力是一对作用力和反作用力
- C. 物体所受的重力和斜面对物体的作用力是一对作用力和反作用力
- D. 物体所受的重力可以分解为沿斜面向下的力和对斜面的压力

解析 根据作用力和反作用力及平衡力的特点可知物体对斜面的压力和斜面对物体的支持力及物体对斜面的摩擦力和斜面对物体的摩擦力, 分别作用在斜面和物体上, 因此它们是两对作用力和反作用力, 故 A 错, B 对. 物体的重力是地球施加的, 它的反作用力应作用在地球上, 由此可知 C 错. 对重力分解, 其分力也是作用在物体上的, 不可能分解为斜面上的压力, D 错.

答案 B

9. (单选)某学校教室里的磁性黑板上通常粘挂一些小磁铁, 小磁铁被吸在黑板上可以用于“贴”挂图或试题答案. 关于小磁铁, 下列说法中正确的是().

- A. 磁铁受到的电磁吸引力大于受到的弹力才能被吸在黑板上
- B. 磁铁与黑板间在水平方向上存在两对作用力与反作用力
- C. 磁铁受到五个力的作用
- D. 磁铁受到的支持力与黑板受到的压力是一对平衡力

解析 磁铁受到重力、电磁吸引力、黑板的弹力和静摩擦力共四个力的作用，其中重力与静摩擦力、电磁吸引力与弹力分别是一对平衡力，它们大小相等，方向相反，故 A、C 错；磁铁与黑板间在水平方向上存在着相互的电磁吸引力和弹力这样两对作用力与反作用力，故 B 正确；磁铁受到的支持力和黑板受到的压力都是弹力，施力物质与受力物体互换，是一对作用力与反作用力，而不是一对平衡力，一对平衡力必须是同一个物体受到的两个力，故 D 错。

答案 B

10. (单选)跳高运动员从地面起跳的瞬间和跳起后，下列说法正确的是()。

A. 跳高运动员从地面起跳的瞬间，地面先给运动员一个大于运动员受到的重力的支持力，运动员再给地面一个压力

B. 跳高运动员从地面起跳的瞬间，地面给运动员的支持力和运动员对地面的压力是同时产生的

C. 跳高运动员从地面起跳起后，地面给运动员的支持力等于运动员的重力

D. 跳高运动员从地面起跳起后，运动员给地面的压力等于地面给人的支持力

解析 地面给运动员的支持力和运动员对地面的压力是一对作用力和反作用力，是同时产生的。所以选项 A 错误，选项 B 正确。跳高运动员从地面起跳的瞬间，必有向上的加速度，这是因为地面给运动员的支持力大于运动员受到的重力，运动员所受合外力竖直向上的结果。跳高运动员从地面起跳后，运动员给地面的压力和地面给运动员的支持力同时消失了，所以 C、D 错误。

答案 B

B 深化训练——提高能力技巧

11. 科学思维和科学方法是我们认识世界的基本手段。在研究和解决问题过程中，不仅需要相应的知识，还需要运用科学的方法。理想实验有时更能深刻地反映自然规律。伽利略设想了一个理想实验，如图 3-1-7 所示，其中有一个是经验事实，其余是推论。

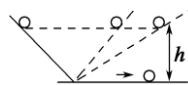


图 3-1-7

①减小第二个斜面的倾角，小球在这个斜面上仍然要达到原来的高度；

②两个对接的斜面，让静止的小球沿一个斜面滚下，小球将滚上另一个斜面；

③如果没有摩擦，小球将上升到原来释放的高度；

④继续减小第二个斜面的倾角，最后使它成水平面，小球要沿水平面做持续的匀速运动。

请将上述理想实验的设想步骤按照正确的顺序排列_____ (只填写序号即可)。在上述的设想步骤中，有的属于可靠的事实，有的则是理想化的推论，下列有关事实和推论的分类正确的是()。

A. ①是事实，②③④是推论

B. ②是事实，①③④是推论

C. ③是事实，①②④是推论

D. ④是事实，①②③是推论

解析 本题再现了伽利略理想实验法，即在可靠的物理事实的基础上进行科学合理外推，将实验理想化，并符合物理规律，得到正确结论。其正确顺序为②③①④，其中②是事实，①③④是推论。

答案 ②③①④ B

12. (多选)在水平的路面上有一辆匀速行驶的小车，车上固定一盛满水的碗。现突然发现碗中的水洒出，水洒出的情况如图 3-1-8 所示，则关于小车在此情况下的运动，下列叙述正确的是()。

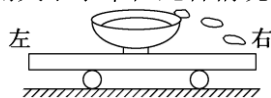


图 3-1-8

A. 小车匀速向左运动

B. 小车可能突然向左加速

C. 小车可能突然向左减速

D. 小车可能突然向右减速

解析 原来水和小车相对静止以共同速度运动，水突然向右洒出有两种可能：①原来小车向左运动，

突然加速，碗中水由于惯性保持原速度不变，故相对碗向右洒出。②原来小车向右运动，突然减速，碗中水由于惯性保持原速度不变，相对于碗向右洒出，故 B、D 正确。

答案 BD

13. (单选)在滑冰场上，甲、乙两小孩分别坐在滑冰板上，原来静止不动，在相互猛推一下后分别向相反方向运动。假定两板与冰面间的动摩擦因数相同。已知甲在冰上滑行的距离比乙远，这是由于()。

- A. 在推的过程中，甲推乙的力小于乙推甲的力
- B. 在推的过程中，甲推乙的时间小于乙推甲的时间
- C. 在刚分开时，甲的初速度大于乙的初速度
- D. 在分开后，甲的加速度大小小于乙的加速度大小

解析 在推的过程中，作用力与反作用力大小相等，相互作用时间相同，故 A、B 均错。分开后，两者滑动摩擦力分别为 $F_{f1} = \mu m_1 g$ ， $F_{f2} = \mu m_2 g$ ，则各自的加速度分别为 $a_1 = \frac{F_{f1}}{m_1} = \mu g$ ， $a_2 = \frac{F_{f2}}{m_2} = \mu g$ ，两者做匀减速直线运动的加速度大小相等，则根据 $v^2 = 2ax$ 可知 $\frac{x_1}{x_2} = \frac{v_1^2}{v_2^2}$ ，因为 $x_1 > x_2$ ，则 $v_1 > v_2$ 。故 C 对，D 错。

答案 C

14. (单选)如图 3-1-9 所示为英国人阿特伍德设计的装置，不考虑绳与滑轮的质量，不计轴承、绳与滑轮间的摩擦。初始时两人均站在水平地面上，当位于左侧的甲用力向上攀爬时，位于右侧的乙始终用力抓住绳子，最终至少一人能到达滑轮。下列说法中正确的是()。



图 3-1-9

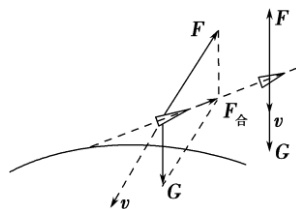
- A. 若甲的质量较大，则乙先到达滑轮
- B. 若甲的质量较大，则甲、乙同时到达滑轮
- C. 若甲、乙质量相同，则乙先到达滑轮
- D. 若甲、乙质量相同，则甲先到达滑轮

解析 由于滑轮光滑，甲拉绳子的力等于绳子拉乙的力，若甲的质量大，则由甲拉绳子的力等于乙受到的绳子拉力，得甲攀爬时乙的加速度大于甲，所以乙会先到达滑轮，选项 A 正确，选项 B 错误；若甲、乙的质量相同，甲用力向上攀爬时，甲拉绳子的力等于绳子拉乙的力，甲、乙具有相同的加速度和速度，所以甲、乙应同时到达滑轮，选项 C、D 错误。

答案 A

15. (单选)航天探测器完成对月球的探测任务离开月球的过程中，由静止开始沿着与月球表面成一倾斜角的直线飞行，先加速运动，再匀速运动，探测器通过喷气而获得推动力。以下关于喷气方向的描述正确的是()。

- A. 探测器加速运动时，沿直线向后喷气
- B. 探测器加速运动时，竖直向下喷气
- C. 探测器匀速运动时，竖直向下喷气
- D. 探测器匀速运动时，不需要喷气



解析 探测器受力分析如图所示，探测器沿直线加速运动时，所受合力 $F_{合}$ 方向与运动方向相同，而重力方向竖直向下，由平行四边形定则知推力方向必须斜向上方，由牛顿第三定律可知，喷气方向斜向下；匀速运动时，所受合力为零，因此推力方向必须竖直向上，喷气方向竖直向下。故答案为 C。

答案 C

第2讲 牛顿第二定律

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点1

牛顿第二定律 (考纲要求 II)

1. 内容：物体加速度的大小跟作用力成正比，跟物体的质量成反比。加速度的方向与作用力方向相同。

2. 表达式： $F=ma$ 。

3. 适用范围

(1) 只适用于惯性参考系(相对地面静止或匀速直线运动的参考系)。

(2) 只适用于宏观物体(相对于分子、原子)、低速运动(远小于光速)的情况。

4. 牛顿第二定律的“五”性



思维深化 判断正误，正确的划“√”，错误的划“×”。

(1) 物体加速度的方向与所受合外力的方向一定相同。()

(2) 物体所受合力大，其加速度就一定大。()

(3) 对静止在光滑水平面上的物体施加一水平力，当力刚开始作用瞬间，物体立即获得加速度。()

(4) 物体由于做加速运动，所以才受合外力作用。()

答案 (1)√ (2)× (3)√ (4)×

考点2

单位制 (考纲要求 I)

1. 力学单位制：单位制由基本单位和导出单位共同组成。

2. 力学中的基本单位：力学单位制中的基本单位有千克(kg)、米(m)和秒(s)。

3. 导出单位：导出单位有 N、m/s、 m/s^2 等。

基础自测

1. (多选)由牛顿第二定律表达式 $F=ma$ 可知()。

A. 质量 m 与合外力 F 成正比，与加速度 a 成反比

B. 合外力 F 与质量 m 和加速度 a 都成正比

C. 物体的加速度的方向总是跟它所受合外力的方向一致

D. 物体的加速度 a 跟其所受的合外力 F 成正比，跟它的质量 m 成反比

解析 对于给定的物体，其质量是不变的，合外力变化时，加速度也变化，合外力与加速度的比值不变，A 错；既然物体的质量不变，故不能说合外力与质量成正比，B 错；加速度的方向总是跟合外力

的方向相同，C 正确；由 $a = \frac{F}{m}$ 可知 D 正确。

答案 CD

2. (多选)关于速度、加速度、合外力之间的关系，正确的是()。

- A. 物体的速度越大，则加速度越大，所受的合外力也越大
- B. 物体的速度为零，则加速度为零，所受的合外力也为零
- C. 物体的速度为零，但加速度可能很大，所受的合外力也可能很大
- D. 物体的速度很大，但加速度可能为零，所受的合外力也可能为零

解析 物体的速度大小和加速度大小没有必然联系，一个很大，另一个可以很小，甚至为零。但物体所受合外力的大小决定加速度的大小，同一物体所受合外力很大，加速度一定很大，故选项 C、D 对。

答案 CD

3. (多选)关于单位制，下列说法中正确的是()。

- A. kg、m/s、N 是导出单位
- B. kg、m、C 是基本单位
- C. 在国际单位制中，时间的基本单位是 s
- D. 在国际单位制中，力的单位是根据牛顿第二定律定义的

解析 在力学中选定 m(长度单位)、kg(质量单位)、s(时间单位)作为基本单位，可以导出其他物理量的单位，力的单位(N)是根据牛顿第二定律 $F = ma$ 导出的，故 C、D 正确。

答案 CD

4. (多选)质量 $m = 1 \text{ kg}$ 的物体在光滑平面上运动，初速度大小为 2 m/s 。在物体运动的直线上施以一个水平恒力，经过 $t = 1 \text{ s}$ ，速度大小变为 4 m/s ，则这个力的大小可能是()。

- A. 2 N
- B. 4 N
- C. 6 N
- D. 8 N

解析 物体的加速度可能是 2 m/s^2 ，也可能是 6 m/s^2 ，根据牛顿第二定律，这个力的大小可能是 2 N，也可能是 6 N，所以答案是 A、C。

答案 AC

5. (单选)如图 3-2-1 所示，质量 $m = 10 \text{ kg}$ 的物体在水平面上向左运动，物体与水平面间的动摩擦因数为 0.2，与此同时物体受到一个水平向右的推力 $F = 20 \text{ N}$ 的作用，则物体产生的加速度是(g 取 10 m/s^2)()。

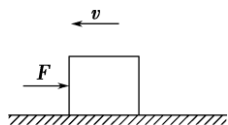


图 3-2-1

- A. 0
- B. 4 m/s^2 ，水平向右
- C. 2 m/s^2 ，水平向左
- D. 2 m/s^2 ，水平向右

解析 对物体受力分析可知 $F_{\text{合}} = F + F_f$ ， $F_f = \mu mg$ ，所以 $F_{\text{合}} = 20 \text{ N} + 0.2 \times 10 \times 10 \text{ N} = 40 \text{ N}$ ，所以

$$a = \frac{F_{\text{合}}}{m} = \frac{40}{10} \text{ m/s}^2 = 4 \text{ m/s}^2，\text{方向水平向右。选项 B 正确。}$$

答案 B

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 力和运动的关系

力是改变物体运动状态的原因，而不是维持运动的原因。由 $F = ma$ 知，加速度与力有直接关系，分析清楚了力，就知道了加速度，而速度与力没有直接关系。

【典例 1】如图 3-2-2 所示，弹簧左端固定，右端自由伸长到 O 点并系住质量为 m 的物体，现将弹簧压缩到 A 点，然后释放，物体可以一直运动到 B 点。如果物体受到的阻力恒定，则()。

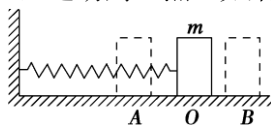


图 3-2-2

- A. 物体从 A 到 O 先加速后减速
- B. 物体从 A 到 O 做加速运动，从 O 到 B 做减速运动
- C. 物体运动到 O 点时，所受合力为零
- D. 物体从 A 到 O 的过程中，加速度逐渐减小

解析 物体从 A 到 O ，初始阶段受到的向右的弹力大于阻力，合力向右。随着物体向右运动，弹力逐渐减小，合力逐渐减小，由牛顿第二定律可知，加速度向右且逐渐减小，由于加速度与速度同向，物体的速度逐渐增大。当物体向右运动至 AO 间某点(设为点 O')时，弹力减小到与阻力相等，物体所受合力为零，加速度为零，速度达到最大。此后，随着物体继续向右运动，弹力继续减小，阻力大于弹力，合力方向变为向左。至 O 点时弹力减为零，此后弹力向左且逐渐增大。所以物体越过 O' 点后，合力(加速度)方向向左且逐渐增大，由于加速度与速度反向，故物体做加速度逐渐增大的减速运动。正确选项为 A。

答案 A

易错警示 解答此题时容易犯的错误是认为弹簧无形变时物体的速度最大，加速度为零，从而错选 B、C、D。这显然是没有对物理过程进行认真分析的结果。分析物理问题时，要在脑海里建立起一幅清晰的动态图景。

【跟踪短训】

1. (2013 海南卷, 2)一质点受多个力的作用，处于静止状态，现使其中一个力的大小逐渐减小到零，再沿原方向逐渐恢复到原来的大小。在此过程中，其它力保持不变，则质点的加速度大小 a 和速度大小 v 的变化情况是()。

- A. a 和 v 都始终增大
- B. a 和 v 都先增大后减小
- C. a 先增大后减小， v 始终增大
- D. a 和 v 都先减小后增大

解析 质点受到的合外力先从 0 逐渐增大，然后又逐渐减小为 0，合力的方向始终未变，故质点的加速度方向不变，先增大后减小，速度始终增大，本题选 C。

答案 C

2. 一皮带传送装置如图 3-2-3 所示，皮带的速度 v 足够大，轻弹簧一端固定，另一端连接一个质量为 m 的滑块，已知滑块与皮带之间存在摩擦，当滑块放在皮带上时，弹簧的轴线恰好水平，若滑块放到皮带的瞬间，滑块的速度为零，且弹簧正好处于自然长度，则当弹簧从自然长度到第一次达最长这一过程中，滑块的速度和加速度变化的情况是()。

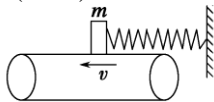


图 3-2-3

- A. 速度增大，加速度增大
- B. 速度增大，加速度减小
- C. 速度先增大后减小，加速度先增大后减小
- D. 速度先增大后减小，加速度先减小后增大

解析 滑块在水平方向受向左的滑动摩擦力 F_f 和弹簧向右的拉力 $F_{拉} = kx$ ，合力 $F_{合} = F_f - F_{拉} = ma$ ，当弹簧从自然长度到第一次达最长这一过程中， x 逐渐增大，拉力 $F_{拉}$ 逐渐增大，因为皮带的速度 v 足够大，所以合力 $F_{合}$ 先减小后反向增大，从而加速度 a 先减小后反向增大；滑动摩擦力与弹簧弹力相等

之前，加速度与速度同向，滑动摩擦力与弹簧拉力相等之后，加速度便与速度方向相反，故滑块的速度先增大，后减小。

答案 D

热点二 对牛顿第二定律的理解及应用(模型演示见 PPT 课件)

1. 瞬时性问题的解题技巧

分析物体在某一时刻的瞬时加速度，关键是明确该时刻物体的受力情况或运动状态，再由牛顿第二定律求出瞬时加速度，此类问题应注意以下几种模型：

模型	特性	受外力时的形变量	力能否突变	产生拉力或压力
轻绳		微小不计	可以	只有拉力没有压力
轻橡皮绳		较大	不能	只有拉力没有压力
轻弹簧		较大	不能	既可有拉力也可有压力
轻杆		微小不计	可以	既可有拉力也可有支持力

2. 在求解瞬时性加速度问题时应注意

(1) 物体的受力情况和运动情况是时刻对应的，当外界因素发生变化时，需要重新进行受力和运动分析。

(2) 加速度可以随着力的突变而突变，而速度的变化需要一个积累的过程，不会发生突变。

【典例 2】 (2013 银川模拟)如图 3-2-4 所示，A、B 球的质量相等，弹簧的质量不计，倾角为 θ 的斜面光滑，系统静止时，弹簧与细线均平行于斜面，在细线被烧断的瞬间，下列说法正确的是()。

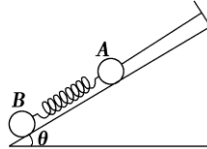
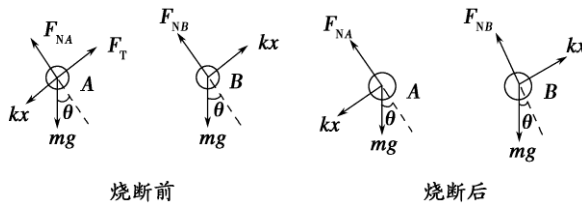


图 3-2-4

- A. 两个小球的瞬时加速度均沿斜面向下，大小均为 $g \sin \theta$
- B. B 球的受力情况未变，瞬时加速度为零
- C. A 球的瞬时加速度沿斜面向下，大小为 $2g \sin \theta$
- D. 弹簧有收缩的趋势，B 球的瞬时加速度向上，A 球的瞬时加速度向下，A、B 两球瞬时加速度都不为零

解析 对 A、B 两球在细线烧断前、后的瞬间分别受力分析如图所示。



细线烧断瞬间，弹簧还未形变，弹簧弹力与原来相等，B 球受力平衡， $m g \sin \theta - k x = 0$ ，即 $a_B = 0$ ，A 球所受合力为 $m g \sin \theta + k x = m a_A$ 即： $2 m g \sin \theta = m a_A$ ，解得 $a_A = 2 g \sin \theta$ ，故 A、D 错误，B、C 正确。

答案 BC

【跟踪短训】

3. 如图 3-2-5 所示，物块 1、2 间用刚性轻质杆连接，物块 3、4 间用轻质弹簧相连，物块 1、3 质量为 m 、2、4 质量为 M ，两个系统均置于水平放置的光滑木板上，并处于静止状态。现将两木板沿水平方向突然抽出，设抽出后的瞬间，物块 1、2、3、4 的加速度大小分别为 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 。重力加速度大小为 g ，则有()。

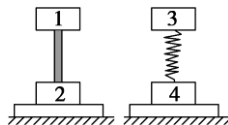


图 3-2-5

- A. $a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = 0$
 B. $a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = g$
 C. $a_1 = a_2 = g, a_3 = 0, a_4 = \frac{m+M}{M}g$
 D. $a_1 = g, a_2 = \frac{m+M}{M}g, a_3 = 0, a_4 = \frac{m+M}{M}g$

解析 在抽出木板的瞬时,物块 1、2 与刚性轻杆接触处的形变立即消失,受到的合力均等于各自重力,所以由牛顿第二定律知 $a_1 = a_2 = g$;而物块 3、4 间的轻弹簧的形变还来不及改变,此时弹簧对 3 向上的弹力大小和对物块 4 向下的弹力大小仍为 mg ,因此物块 3 满足 $mg = F, a_3 = 0$;由牛顿第二定律得物块 4 满足 $a_4 = \frac{F + Mg}{M} = \frac{M + m}{M}g$,所以 C 对.

答案 C

4. (2013 芜湖模拟)如图 3-2-6 所示,光滑水平面上, A、B 两物体用轻弹簧连接在一起, A、B 的质量分别为 m_1 、 m_2 , 在拉力 F 作用下, A、B 共同做匀加速直线运动, 加速度大小为 a , 某时刻突然撤去拉力 F , 此瞬时 A 和 B 的加速度大小为 a_1 和 a_2 , 则().

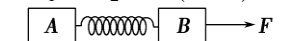


图 3-2-6

- A. $a_1 = 0, a_2 = 0$
 B. $a_1 = a, a_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2}a$
 C. $a_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2}a, a_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2}a$
 D. $a_1 = a, a_2 = \frac{m_1}{m_2}a$

解析 拉力 F 作用时, 设弹簧的弹力为 F_1 .

对 A: $F_1 = m_1 a$, 对 B: $F - F_1 = m_2 a$

撤去拉力 F 瞬时, 弹簧的弹力 F_1 不变

$F_1 = m_1 a_1, F_1 = m_2 a_2$, 所以 $a_1 = a, a_2 = \frac{m_1}{m_2}a$

故选项 D 正确.

答案 D

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

思想方法 6.巧解动力学问题的常用方法

》方法一 用整体法、隔离法巧解动力学问题

1. 整体法、隔离法

当问题涉及几个物体时,我们常常将这几个物体“隔离”开来,对它们分别进行受力分析,根据其运动状态,应用牛顿第二定律或平衡条件列式求解.特别是问题涉及物体间的相互作用时,隔离法是一种有效的解题方法.而将相互作用的两个或两个以上的物体看成一个整体(系统)作为研究对象,去寻找未知量与已知量之间的关系的方法称为整体法.

2. 选用整体法和隔离法的策略

(1)当各物体的运动状态相同时,宜选用整体法;当各物体的运动状态不同时,宜选用隔离法;(2)对较复杂的问题,通常需要多次选取研究对象,交替应用整体法与隔离法才能求解.

【典例 1】(2013 福建卷, 21)质量为 M 、长为 $\sqrt{3}L$ 的杆水平放置, 杆两端 A、B 系着长为 $3L$ 的不可能伸长且光滑的柔软轻绳, 绳上套着一质量为 m 的小铁环. 已知重力加速度为 g , 不计空气影响.

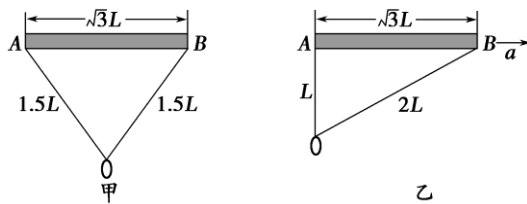


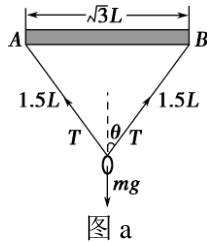
图 3-2-7

(1) 现让杆和环均静止悬挂在空中，如图 3-2-7 甲，求绳中拉力的大小；

(2) 若杆与环保持相对静止，在空中沿 AB 方向水平向右做匀加速直线运动，此时环恰好悬于 A 端的正下方，如图乙所示。

① 求此状态下杆的加速度大小 a ；

② 为保持这种状态需在杆上施加一个多大的外力，方向如何？



解析 (1) 如图 a，设平衡时，绳中拉力为 T ，有 $2T\cos\theta - mg = 0$ ①

由图知 $\cos\theta = \frac{\sqrt{6}}{3}$ ②

由①②式解得 $T = \frac{\sqrt{6}}{4}mg$ ③

(2) ① 此时，对小铁环进行受力分析，如图 b 所示，有 $T' \sin\theta' = ma$ ④

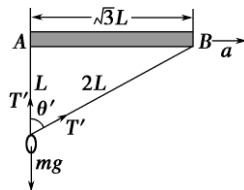


图 b

$T' + T' \cos\theta' - mg = 0$ ⑤

由图知 $\theta' = 60^\circ$ ，代入④⑤式解得

$a = \frac{\sqrt{3}}{3}g$ ⑥

② 如图 c，设外力 F 与水平方向成 α 角，将杆和小铁环当成一个整体，有

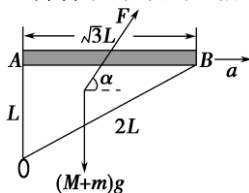


图 c

$F\cos\alpha = (M+m)a$ ⑦

$F\sin\alpha - (M+m)g = 0$ ⑧

由⑥⑦⑧式解得， $F = \frac{2\sqrt{3}}{3}(M+m)g$

$\tan\alpha = \sqrt{3}$ ， $\alpha = 60^\circ$

即外力方向与水平方向的夹角为 60° 斜向右上方

答案 (1) $\frac{\sqrt{6}}{4}mg$ (2) ① $\frac{\sqrt{3}}{3}g$ ② $\frac{2\sqrt{3}}{3}(M+m)g$ ，与水平方向的夹角为 60° 斜向右上方

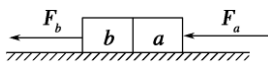


图 3-2-8

即学即练 1 如图 3-2-8 所示, 两块粘连在一起的物块 a 和 b , 质量分别为 m_a 和 m_b , 放在光滑的水平桌面上, 现同时给它们施加方向如图所示的水平推力 F_a 和水平拉力 F_b , 已知 $F_a > F_b$, 则 a 对 b 的作用力()。

- A. 必为推力
- B. 必为拉力
- C. 可能为推力, 也可能为拉力
- D. 不可能为零

解析 将 a 、 b 看作一个整体, 加速度 $a = \frac{F_a + F_b}{m_a + m_b}$, 单独对 a 进行分析, 设 a 、 b 间的作用力为 F_{ab} ,

则 $a = \frac{F_a + F_{ab}}{m_a} = \frac{F_a + F_b}{m_a + m_b}$, 即 $F_{ab} = \frac{F_b m_a - F_a m_b}{m_a + m_b}$, 由于不知道 m_a 与 m_b 的大小关系, 故 F_{ab} 可能为正、可能

为负、也可能等于 0.

答案 C

方法二 用分解加速度法巧解动力学问题

因牛顿第二定律中 $F=ma$ 指出力和加速度永远存在瞬间对应关系, 所以在用牛顿第二定律求解动力学问题时, 有时不去分解力, 而是分解加速度, 尤其是当存在斜面体这一物理模型且斜面体又处于加速状态时, 往往此方法能起到事半功倍的效果.

【典例 2】 (2013 安徽, 14)如图 3-2-9 所示, 细线的一端系一质量为 m 的小球, 另一端固定在倾角为 θ 的光滑斜面体顶端, 细线与斜面平行. 在斜面体以加速度 a 水平向右做匀加速直线运动的过程中, 小球始终静止在斜面上, 小球受到细线的拉力 T 和斜面的支持力 N 分别为(重力加速度为 g)().

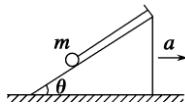
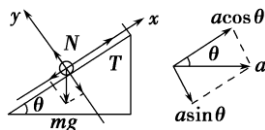


图 3-2-9

- A. $T = m(g \sin \theta + a \cos \theta)$ $N = m(g \cos \theta - a \sin \theta)$
- B. $T = m(g \cos \theta + a \sin \theta)$ $N = m(g \sin \theta - a \cos \theta)$
- C. $T = m(a \cos \theta - g \sin \theta)$ $N = m(g \cos \theta + a \sin \theta)$
- D. $T = m(a \sin \theta - g \cos \theta)$ $N = m(g \sin \theta + a \cos \theta)$

解析 准确分析受力情况, 分解加速度是比较简便的求解方法. 选小球为研究对象, 小球受重力 mg 、拉力 T 和支持力 N 三个力作用, 将加速度 a 沿斜面和垂直于斜面两个方向分解, 如图所示. 由牛顿第二定律得



$$T - mg \sin \theta = ma \cos \theta \quad ①$$

$$mg \cos \theta - N = ma \sin \theta \quad ②$$

由①式得 $T = m(g \sin \theta + a \cos \theta)$.

由②式得 $N = m(g \cos \theta - a \sin \theta)$. 故选项 A 正确.

答案 A

即学即练 2 如图 3-2-10, 电梯与水平地面成 θ 角, 一人静止站在电梯水平梯板上, 电梯以恒定加速度 a 启动过程中, 水平梯板对人的支持力和摩擦力分别为 F_N 和 F_f . 若电梯启动加速度减小为 $\frac{a}{2}$, 则下面结论正确的是().

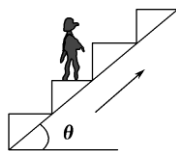


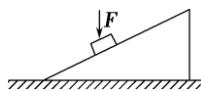
图 3-2-10

- A. 水平梯板对人的支持力变为 $\frac{F_N}{2}$
- B. 水平梯板对人的摩擦力变为 $\frac{F_f}{2}$
- C. 电梯加速启动过程中, 人处于失重状态
- D. 水平梯板对人的摩擦力和支持力之比仍为 $\frac{F_f}{F_N}$

解析 将人的加速度分解, 水平方向 $a_x = a \cos \theta$, 竖直方向 $a_y = a \sin \theta$. 对于人根据牛顿第二定律, 在水平方向有 $F_f = ma_x$, 在竖直方向有 $F_N - mg = ma_y$, 人处于超重状态, C 错误; 当加速度由 a 变为 $\frac{a}{2}$ 时, 摩擦力变为原来的一半, 但支持力不为原来的一半, 则它们的比值也发生变化, 故 A、D 错误, B 正确.

答案 B

附: 对应高考题组(PPT 课件文本, 见教师用书)



1. (2012 安徽卷, 17) 如图所示, 放在固定斜面上的物块以加速度 a 沿斜面匀加速下滑, 若在物块上再施加一个竖直向下的恒力 F , 则().

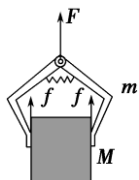
- A. 物块可能匀速下滑
- B. 物块仍以加速度 a 匀加速下滑
- C. 物块将以大于 a 的加速度匀加速下滑
- D. 物块将以小于 a 的加速度匀加速下滑

解析 设斜面的倾角为 θ , 根据牛顿第二定律知, 物块的加速度 $a = \frac{mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta}{m} > 0$, 即 $\mu < \tan$

θ . 对物块施加竖直向下的恒力 F 后, 物块的加速度 $a' = \frac{(mg + F) \sin \theta - \mu(mg + F) \cos \theta}{m} = a + \frac{F \sin \theta - \mu F \cos \theta}{m}$, 且 $F \sin \theta - \mu F \cos \theta > 0$, 故 $a' > a$, 物块将以大于 a 的加速度匀加速下滑. 故选项 C 正

确, 选项 A、B、D 错误.

答案 C



2. (2012 江苏卷, 5) 如图所示, 一夹子夹住木块, 在力 F 作用下向上提升. 夹子和木块的质量分别为 m 、 M , 夹子与木块两侧间的最大静摩擦力均为 f . 若木块不滑动, 力 F 的最大值是().

- A. $\frac{2f(m+M)}{M}$
- B. $\frac{2f(m+M)}{m}$
- C. $\frac{2f(m+M)}{M} - (m+M)g$

D. $\frac{2f(m+M)}{m} + (m+M)g$

解析 对木块 M ，受到两个静摩擦力 f 和重力 Mg 三个力而向上运动，由牛顿第二定律得木块不滑

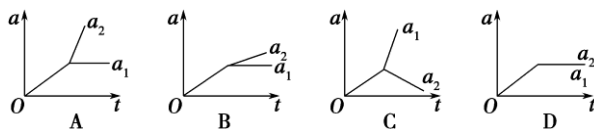
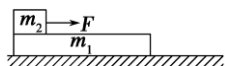
动的最大加速度大小为 $a_m = \frac{2f - Mg}{M}$ ①

对整体，受到两个力，即力 F 和整体重力 $(m+M)g$ ，由牛顿第二定律得 $F - (m+M)g = (m+M)a$ ②

代入最大加速度即得力 F 的最大值 $F_m = \frac{2f(m+M)}{M}$ ，A 项正确。

答案 A

3. (2011 新课标全国卷，21) 如图所示，在光滑水平面上有一质量为 m_1 的足够长的木板，其上叠放一质量为 m_2 的木块。假定木块和木板之间的最大静摩擦力和滑动摩擦力相等。现给木块施加一随时间 t 增大的水平力 $F=kt$ (k 是常数)，木板和木块加速度的大小分别为 a_1 和 a_2 。下列反映 a_1 和 a_2 的变化的图线中正确的是()。



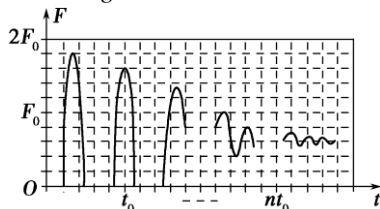
解析 刚开始木块与木板一起在 F 作用下加速，且 $F=kt$ ， $a = \frac{F}{m_1 + m_2} = \frac{kt}{m_1 + m_2}$ ，当两者相对滑动

后，木板只受滑动摩擦力， a_1 不变，木块受 F 及滑动摩擦力， $a_2 = \frac{F - \mu m_2 g}{m_2} = \frac{F}{m_2} - \mu g$ ，故 $a_2 = \frac{kt}{m_2} - \mu g$ ，

$a-t$ 图象中斜率变大，故选项 A 正确，选项 B、C、D 错误。

答案 A

4. (2011 北京卷，18) “蹦极”就是跳跃者把一端固定的长弹性绳绑在踝关节等处，从几十米高处跳下的一种极限运动。某人做蹦极运动，所受绳子拉力 F 的大小随时间 t 变化的情况如图所示，将蹦极过程视为在竖直方向上的运动，重力加速度为 g 。据图可知，此人在蹦极过程中的最大加速度约为()。



- A. g
C. $3g$

- B. $2g$
D. $4g$

解析 在蹦极过程中，经过足够长的时间后，人不再上下振动，而是停在空中，此时绳子拉力 F 等于人的重力 mg ，由 $F-t$ 图线可以看出， $\frac{3}{5}F_0 = mg$ ；在人上下振动的过程中，弹力向上，重力向下，当

人在最低点时，弹力达到一个周期中的最大值，在第一个周期中，弹力最大为 $F_m = \frac{9}{5}F_0 = 3mg$ ，故最大

加速度为 $a_m = \frac{F_m - mg}{m} = 2g$ 。选项 B 正确。

答案 B

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 对牛顿第二定律的理解和简单应用

1. (多选)下列说法正确的是().

- A. 物体所受到的合外力越大, 其速度改变量也越大
- B. 物体所受到的合外力不变($F_{\text{合}} \neq 0$), 其运动状态就不改变
- C. 物体所受到的合外力变化, 其速度的变化率一定变化
- D. 物体所受到的合外力减小时, 物体的速度可能正在增大

解析 物体所受到的合外力越大, 物体的加速度(速度变化率)也越大, 即速度变化得越快, 但速度改变量还与时间有关, 故选项 A 错误, C 正确; 物体所受的合外力不为零, 就会迫使其运动状态(运动的快慢或方向)发生变化, 选项 B 错误; 合外力的大小与速度的大小之间没有直接关系, 选项 D 正确.

答案 CD

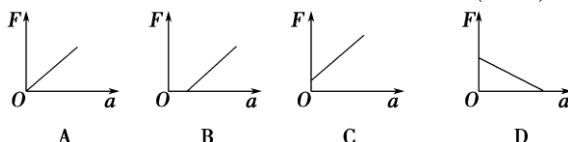
2. (多选)一个质量为 2 kg 的物体, 在 5 个共点力的作用下保持静止. 若同时撤去其中大小分别为 15 N 和 10 N 的两个力, 其余的力保持不变, 此时该物体的加速度大小可能是().

- A. 2 m/s^2
- B. 3 m/s^2
- C. 12 m/s^2
- D. 15 m/s^2

解析 物体所受合力范围为 $5 \text{ N} \leq F_{\text{合}} \leq 25 \text{ N}$, 因 $m = 2 \text{ kg}$, 故 $2.5 \text{ m/s}^2 \leq a \leq 12.5 \text{ m/s}^2$, 故 B、C 正确.

答案 BC

3. (2013 新课标全国卷 II, 14)(单选)一物块静止在粗糙的水平桌面上. 从某时刻开始, 物块受到一方向不变的水平拉力作用. 假设物块与桌面间的最大静摩擦力等于滑动摩擦力. 以 a 表示物块的加速度大小, F 表示水平拉力的大小. 能正确描述 F 与 a 之间关系的图象是().



解析 静摩擦力随外力而改变, 当外力大于最大静摩擦力时, 物体才产生加速度, 可利用牛顿第二定律列方程求解. 物块受到拉力和摩擦力作用, 根据牛顿第二定律 $F - \mu mg = ma$, 当 $F \leq F_{f\text{max}}$ 时, $a = 0$; 当 $F > F_{f\text{max}}$ 时, a 与 F 成一次函数关系, 选项 C 正确.

答案 C

题组二 应用牛顿第二定律分析瞬时问题

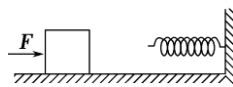


图 3-2-11

4. (多选)如图 3-2-11 所示, 一木块在光滑水平面上受一恒力 F 作用, 前方固定一足够长的弹簧, 则当木块接触弹簧后().

- A. 木块立即做减速运动
- B. 木块在一段时间内速度仍可增大
- C. 当 F 等于弹簧弹力时, 木块速度最大
- D. 弹簧压缩量最大时, 木块加速度为零

解析 木块在光滑水平面上做匀加速运动, 与弹簧接触后, 当 $F > F_{\text{弹}}$ 时, 随弹簧形变量的增大, 向左的弹力 $F_{\text{弹}}$ 逐渐增大, 木块做加速度减小的加速运动; 当弹力和 F 相等时, 木块速度最大, 之后木块做减速运动, 弹簧压缩量最大时, 木块加速度向左不为零, 故选项 B、C 正确.

答案 BC

5. (多选)质量均为 m 的 A、B 两个小球之间系一个质量不计的弹簧, 放在光滑的台面上. A 紧靠墙壁, 如图 3-2-12 所示, 今用恒力 F 将 B 球向左挤压弹簧, 达到平衡时, 突然将力 F 撤去, 此瞬间().

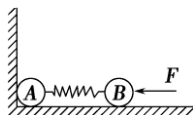


图 3-2-12

- A. A 球的加速度为 $\frac{F}{2m}$ B. A 球的加速度为零
 C. B 球的加速度为 $\frac{F}{2m}$ D. B 球的加速度为 $\frac{F}{m}$

解析 恒力 F 作用时, A 和 B 都平衡, 它们的合力都为零, 且弹簧弹力为 F . 突然将力 F 撤去, 对 A 来说水平方向依然受弹簧弹力和墙壁的弹力, 二力平衡, 所以 A 球的合力为零, 加速度为零, A 项错, B 项对. 而 B 球在水平方向只受水平向右的弹簧的弹力作用, 加速度 $a = \frac{F}{m}$, 故 C 项错, D 项对.

答案 BD

6. (多选) 用细绳拴一个质量为 m 的小球, 小球将一固定在墙上的水平轻质弹簧压缩了 x (小球与弹簧不拴连), 如图 3-2-13 所示. 将细绳剪断后().

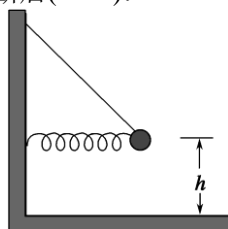


图 3-2-13

- A. 小球立即获得 $\frac{kx}{m}$ 的加速度
 B. 小球在细绳剪断瞬间起开始做平抛运动
 C. 小球落地的时间等于 $\sqrt{\frac{2h}{g}}$
 D. 小球落地的速度大于 $\sqrt{2gh}$

解析 细绳剪断瞬间, 小球受竖直方向的重力和水平方向的弹力作用, 选项 A、B 均错; 水平方向的弹力不影响竖直方向的自由落体运动, 故落地时间由高度决定, 选项 C 正确; 重力和弹力均做正功, 选项 D 正确.

答案 CD

题组三 整体法、隔离法在动力学中的应用

7. (单选) 如图 3-2-14 所示, 质量分别为 m_1 、 m_2 的两个物体通过轻弹簧连接, 在力 F 的作用下一起沿水平方向做匀加速直线运动 (m_1 在光滑地面上, m_2 在空中). 已知力 F 与水平方向的夹角为 θ . 则 m_1 的加速度大小为().

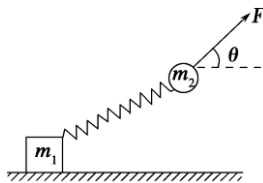


图 3-2-14

- A. $\frac{F \cos \theta}{m_1 + m_2}$ B. $\frac{F \sin \theta}{m_1 + m_2}$
 C. $\frac{F \cos \theta}{m_1}$ D. $\frac{F \sin \theta}{m_2}$

解析 把 m_1 、 m_2 看做一个整体, 在水平方向上加速度相同, 由牛顿第二定律可得: $F \cos \theta = (m_1 + m_2)a$, 所以 $a = \frac{F \cos \theta}{m_1 + m_2}$, 选项 A 正确.

答案 A

8. (多选) 如图 3-2-15 所示, 质量为 m_2 的物体 2 放在正沿平直轨道向右行驶的车厢底板上, 并用竖直细绳通过光滑定滑轮连接质量为 m_1 的物体, 与物体 1 相连接的绳与竖直方向成 θ 角, 则().

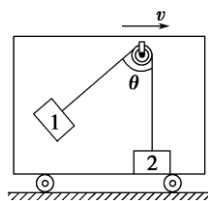


图 3-2-15

- A. 车厢的加速度为 $g \sin \theta$
 - B. 绳对物体 1 的拉力为 $\frac{m_1 g}{\cos \theta}$
 - C. 底板对物体 2 的支持力为 $(m_2 - m_1)g$
 - D. 物体 2 所受底板的摩擦力为 $m_2 g \tan \theta$
- 答案 BD

9. (单选)如图 3-2-16 所示, 50 个大小相同、质量均为 m 的小物块, 在平行于斜面向上的恒力 F 作用下一同沿斜面向上运动. 已知斜面足够长, 倾角为 30° ; 各物块与斜面的动摩擦因数相同, 重力加速度为 g , 则第 3 个小物块对第 2 个小物块的作用力大小为().

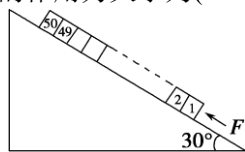


图 3-2-16

- A. $\frac{1}{25}F$
- B. $\frac{24}{25}F$
- C. $24mg + \frac{F}{2}$
- D. 因为动摩擦因数未知, 所以不能确定

解析 设题中 50 个小物块组成的整体沿斜面向上的加速度大小为 a , 由牛顿第二定律可得 $F - 50\mu mg \cos 30^\circ - 50mg \sin 30^\circ = 50ma$; 从整体中将第 3、4、...、50 共 48 个小物块隔离出来进行受力分析, 设第 2 个小物块对第 3 个小物块的作用力大小为 F_N , 由牛顿第二定律得 $F_N - 48\mu mg \cos 30^\circ - 48mg \sin 30^\circ = 48ma$; 联立以上两式解得 $F_N = \frac{24}{25}F$, 由牛顿第三定律可知, 第 3 个小物块对第 2 个小物块作用力大小为 $\frac{24}{25}F$, 故选项 B 正确.

答案 B

B 深化训练——提高能力技巧

10. (多选)如图 3-2-17 所示, 质量不等的两个物体 A、B, 在水平拉力 F 的作用下, 沿光滑水平面一起向右运动, 滑轮及细绳质量不计. 则下列说法中正确的有().

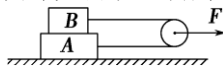


图 3-2-17

- A. 物体 B 所受的摩擦力方向一定向左
- B. 物体 B 所受的摩擦力方向可能向左
- C. 物体 B 所受的摩擦力一定随水平力 F 的增大而减小
- D. 只要水平力 F 足够大, 物体 A、B 间一定会打滑

解析 A、B 都受到绳子向右的拉力 $F_T = \frac{F}{2}$, 设两物体有共同的加速度 a , A、B 的质量分别为 M 、 m , 两物体间摩擦力大小为 F_f , 设 A 对 B 的摩擦力方向向右, B 对 A 的摩擦力方向向左, 则有: $F_T + F_f = ma$, $F_T - F_f = Ma$, 得 $F_f = \frac{1}{2}(m - M)a$, 由于两个物体的质量大小关系不确定, 所以物体 B 所受摩擦力的方向不确定, A 错, B 对; 把两个物体看作一个整体, 若 F 增大, 则两个物体的加速度 a 也增大, F_f

也增大，当 F_f 达到最大静摩擦力后，物体 A、B 间会打滑，C 错，D 对。

答案 BD

11. (2013 重庆卷, 4)(单选)图 3-2-18 甲为伽利略研究自由落体运动实验的示意图，让小球由倾角为 θ 的光滑斜面滑下，然后在不同的 θ 角条件下进行多次实验，最后推理出自由落体运动是一种匀加速直线运动。分析该实验可知，小球对斜面的压力、小球运动的加速度和重力加速度与各自最大值的比值 y 随 θ 变化的图象分别对应图乙中的()。

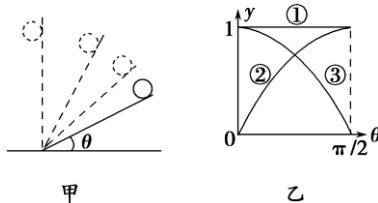


图 3-2-18

- A. ①、②和③
B. ③、②和①
C. ②、③和①
D. ③、①和②

解析 小球对斜面的压力 $F_N = mg \cos \theta$ ，其最大值为 mg ， $y = \frac{F_N}{mg} = \cos \theta$ ，对应于图象③；小球运动的加速度 $a = g \sin \theta$ ，其最大值为 g ，所以 $y = \frac{a}{g} = \sin \theta$ ，对应于图象②；重力加速度不变，故 $y = 1$ ，对应于图象①，选项 B 正确。

答案 B

12. (单选)在建筑工地，民工兄弟用两手对称水平使力将两长方体水泥制品夹紧并以加速度 a 竖直向上匀加速搬起，其中 A 件的质量为 m ，B 件的质量为 $3m$ ，水平作用力为 F ，A、B 之间的动摩擦因数为 μ ，在此过程中，A、B 间的摩擦力为()。

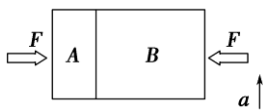


图 3-2-19

- A. μF
B. $2\mu F$
C. $\frac{3}{2}m(g+a)$
D. $m(g+a)$

解析 由于 A、B 件相对静止，故 A、B 件之间的摩擦力为静摩擦力，选项 A、B 错误。设民工兄弟对 A、B 件竖直方向的摩擦力为 F_f ，以 A、B 件整体为研究对象可知在竖直方向有 $2F_f - (m + 3m)g = (m + 3m)a$ ，设 B 对 A 的摩擦力方向向下，大小为 F_f' ，对 A 件由牛顿第二定律有 $F_f - F_f' - mg = ma$ ，解得 $F_f' = m(g + a)$ ，选项 D 正确，选项 C 错误。

答案 D

13. 如图 3-2-20 所示，质量为 1 kg 的环套在倾斜固定的杆上，受到竖直向上的 20 N 的拉力 F_1 的作用，沿杆加速上滑。已知杆与环间的动摩擦因数 $\mu = \frac{\sqrt{3}}{6}$ ，杆与地面的夹角为 30° ，求环的加速度。(取 $g = 10 \text{ m/s}^2$)

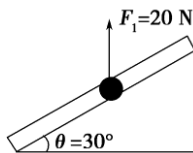
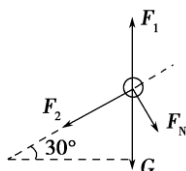


图 3-2-20



解析 以环为研究对象，在竖直方向上受到 F_1 和重力 G 的作用，此二力的合力为 10 N ，方向竖直向上，故杆对环的弹力 F_N 必垂直于杆斜向下，摩擦力 F_2 沿杆斜向下，如图所示。

环的加速度斜向上，且在垂直于杆的方向上受力平衡，根据牛顿第二定律和力的平衡条件列动力学方程

$$F_1 \sin 30^\circ - F_2 - G \sin 30^\circ = ma$$

$$F_1 \cos 30^\circ - G \cos 30^\circ - F_N = 0, F_2 = \mu F_N$$

$$\text{整理可得 } a = \frac{(F_1 - G) \sin 30^\circ - \mu(F_1 - G) \cos 30^\circ}{m}$$

$$\text{代入数据得 } a = 2.5 \text{ m/s}^2$$

即环沿杆向上的加速度大小为 2.5 m/s^2 。

答案 2.5 m/s^2

14. (2013 东莞二模)如图 3-2-21(a)所示，一轻绳上端系在车的左上角的 A 点，另一轻绳一端系在车左端 B 点， B 点在 A 点正下方， A 、 B 距离为 b ，两绳另一端在 C 点相连并系一质量为 m 的小球，绳 AC 长度为 $\sqrt{2}b$ ，绳 BC 长度为 b 。两绳能够承受的最大拉力均为 $2mg$ 。求：

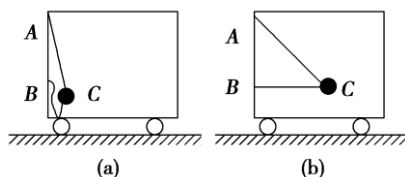
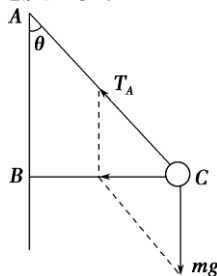


图 3-2-21

(1)绳 BC 刚好被拉直时如图(b)所示，车的加速度是多大？

(2)为不拉断轻绳，车向左运动的最大加速度是多大？



解析 (1)绳 BC 刚好被拉直时，小球受力如图所示，因为 $AB = BC = b$ ， $AC = \sqrt{2}b$ ，故绳 BC 方向与 AB 垂直， $\cos \theta = \frac{\sqrt{2}}{2}$ ， $\theta = 45^\circ$ ，由牛顿第二定律，得 $T_A \sin \theta = ma$ ，且 $T_A \cos \theta = mg$ ，可得 $a = g$ 。

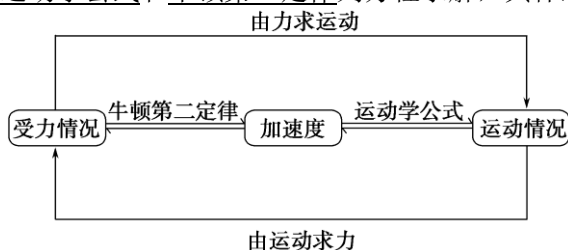
(2)小车向左加速度增大， AC 、 BC 绳方向不变，所以 AC 绳拉力不变， BC 绳拉力变大， BC 绳拉力最大时，小车向左加速度最大，由牛顿第二定律，得 $T_{Bm} + T_A \sin \theta = ma_m$ 因为 $T_{Bm} = 2mg$ ，所以最大加速度为 $a_m = 3g$ 。

答案 (1) g (2) $3g$

考点1**牛顿运动定律的应用 (考纲要求 II)****1. 动力学的两类基本问题**

(1) 已知受力情况求物体的运动情况.

(2) 已知运动情况求物体的受力情况.

2. 解决两类基本问题的方法以加速度为“桥梁”，由运动学公式和牛顿第二定律列方程求解，具体逻辑关系如图：**考点2****超重和失重 (考纲要求 I)****1. 超重**(1) 定义：物体对支持物的压力(或对悬挂物的拉力)大于物体所受重力的现象.(2) 产生条件：物体具有向上的加速度.**2. 失重**(1) 定义：物体对支持物的压力(或对悬挂物的拉力)小于物体所受重力的现象.(2) 产生条件：物体具有向下的加速度.**3. 完全失重**(1) 定义：物体对水平支持物的压力(或对竖直悬挂物的拉力)等于零的现象称为完全失重现象.(2) 产生条件：物体的加速度 $a=g$ ，方向竖直向下.**思维深化** 判断正误，正确的划“√”，错误的划“×”.(1) 超重时物体的重力大于 mg . ()(2) 失重时物体的重力小于 mg . ()(3) 加速度大小等于 g 的物体处于完全失重状态. ()

(4) 物体处于超重或失重状态，由加速度的方向决定，与速度方向无关. ()

答案 (1)× (2)× (3)× (4)√

基础自测

1. (单选)关于超重和失重的下列说法中，正确的是().

- A. 超重就是物体所受的重力增大了，失重就是物体所受的重力减小了
- B. 物体做自由落体运动时处于完全失重状态，所以做自由落体运动的物体不受重力作用
- C. 物体具有向上的速度时处于超重状态，物体具有向下的速度时处于失重状态
- D. 物体处于超重或失重状态时，物体的重力始终存在且不发生变化

解析 物体具有向上的加速度时处于超重状态，具有向下的加速度时处于失重状态，超重和失重并非物体的重力发生变化，而是物体对支持物的压力或对悬挂物的拉力发生了变化，综上所述，A、B、C均错，D正确.

答案 D

2. (单选)下列实例属于超重现象的是().

- A. 汽车驶过拱桥顶端时
- B. 火箭点火后加速升空时
- C. 跳水运动员被跳板弹起，离开跳板向上运动时
- D. 体操运动员双手握住单杠吊在空中不动时

解析 发生超重现象时，物体的加速度方向竖直向上. 汽车驶过拱桥顶端时，其向心加速度竖直向

下指向圆心，汽车处于失重状态，A 错误；火箭点火后加速升空，加速度竖直向上，处于超重状态，B 正确；跳水运动员离开跳板向上运动时，只受重力，运动员处于完全失重状态，C 错误；体操运动员握住单杠在空中不动时，运动员处于平衡状态，D 错误。

答案 B

3. (2013 新课标卷 I, 14)(单选)如图 3-3-1 是伽利略 1604 年做斜面实验时的一页手稿照片，照片左上角的三列数据如下表。表中第二列是时间，第三列是物体沿斜面运动的距离，第一列是伽利略在分析实验数据时添加的。根据表中的数据，伽利略可以得出的结论是()。

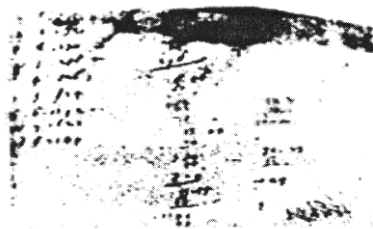


图 3-3-1

1	1	32
4	2	130
9	3	298
16	4	526
25	5	824
36	6	1192
49	7	1600
64	8	2104

- A. 物体具有惯性
- B. 斜面倾角一定时，加速度与质量无关
- C. 物体运动的距离与时间的平方成正比
- D. 物体运动的加速度与重力加速度成正比

解析 本题以伽利略的斜面实验为背景，通过数据反映规律，所以应从数据之间的关系入手。

表中第一列数据明显是第二列数据的平方，而第三列物体沿斜面运动的距离之比非常接近第一列数据，所以可以得出结论，在误差允许的范围内，物体运动的距离与时间的平方成正比，选项 C 正确。

答案 C

4. (单选)质量为 1 kg 的质点，受水平恒力作用，由静止开始做匀加速直线运动，它在 t s 内的位移为 x m，则 F 的大小为(单位为 N)()。

- A. $\frac{2x}{t^2}$
- B. $\frac{2x}{2t-1}$
- C. $\frac{2x}{2t+1}$
- D. $\frac{2x}{t-1}$

解析 由牛顿第二定律 $F = ma$ 与 $x = \frac{1}{2}at^2$ ，得出 $F = \frac{2mx}{t^2} = \frac{2x}{t^2}$ 。

答案 A

5. (单选)一个原来静止的物体，质量是 7 kg，在 14 N 的恒力作用下，则 5 s 末的速度及 5 s 内通过的路程为()。

- A. 8 m/s 25 m
- B. 2 m/s 25 m
- C. 10 m/s 25 m
- D. 10 m/s 12.5 m

解析 物体由静止开始在恒力的作用下做初速度为零的匀加速直线运动。由牛顿第二定律和运动学公式得：

$$a = \frac{F}{m} = \frac{14}{7} \text{ m/s}^2 = 2 \text{ m/s}^2, v = at = 2 \times 5 \text{ m/s} = 10 \text{ m/s},$$

$$x = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 25 \text{ m} = 25 \text{ m}.$$

热点一 动力学的两类基本问题

解决两类动力学基本问题应把握的关键

- (1)做好两个分析——物体的受力和物体的运动过程分析；
根据物体做各种性质运动的条件即可判定物体的运动情况、加速度变化情况及速度变化情况。
- (2)抓住一个“桥梁”——物体运动的加速度是联系运动和力的桥梁。

【典例 1】(2013 江南十校联考, 22)如图 3-3-2 所示, 倾角为 30° 的光滑斜面与粗糙平面的平滑连接. 现将一滑块(可视为质点)从斜面上的 A 点由静止释放, 最终停在水平面上的 C 点. 已知 A 点距水平面的高度 $h=0.8\text{ m}$, B 点距 C 点的距离 $L=2.0\text{ m}$. (滑块经过 B 点时没有能量损失, $g=10\text{ m/s}^2$), 求:

- (1)滑块在运动过程中的最大速度;
- (2)滑块与水平面间的动摩擦因数 μ ;
- (3)滑块从 A 点释放后, 经过时间 $t=1.0\text{ s}$ 时速度的大小.

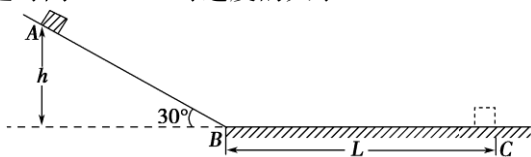


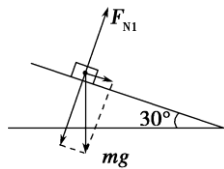
图 3-3-2

教你审题

第一步: 读题→抓关键词→获取信息

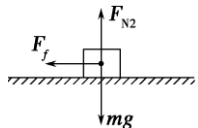
关键词	获取信息
①光滑斜面与粗糙的水平面	隐含→滑块在斜面上不受摩擦力, 水平面受摩擦力
②从斜面上的A点由静止释放	隐含→滑块的初速度 $v_0 = 0$
③最终停在水平面上的C点	隐含→滑块的末速度为零
④滑块经过B点时没有能量损失	隐含→斜面上的末速度和水平面上的初速度大小相等

第二步: 分析理清思路→抓突破口做好两分析→受力分析、运动分析



①滑块在斜面上:

滑块做初速度为零的匀加速直线运动.



②滑块在水平面上:

滑块做匀减速运动.

第三步: 选择合适的方法及公式→利用正交分解法、牛顿运动定律及运动学公式列式求解.

解析 (1)滑块先在斜面上做匀加速运动, 然后在水平面上做匀减速运动, 故滑块运动到 B 点时速度最大为 v_m , 设滑块在斜面上运动的加速度大小为 a_1 , 则有

$$mgsin 30^\circ = ma_1, v_m^2 = 2a_1 \frac{h}{\sin 30^\circ}, \text{解得: } v_m = 4\text{ m/s}$$

(2)滑块在水平面上运动的加速度大小为 a_2 , $\mu mg = ma_2$

$$v_m^2 = 2a_2 L, \text{解得: } \mu = 0.4$$

(3)滑块在斜面上运动的时间为 t_1 , $v_m = a_1 t_1$

得 $t_1 = 0.8 \text{ s}$

由于 $t > t_1$ ，滑块已经经过 B 点，做匀减速运动的时间为

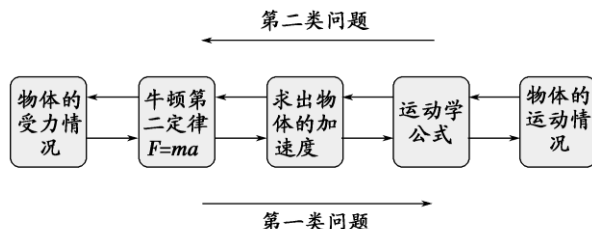
$$t - t_1 = 0.2 \text{ s}$$

设 $t = 1.0 \text{ s}$ 时速度大小为 $v = v_m - a_2(t - t_1)$

解得： $v = 3.2 \text{ m/s}$

答案 (1) 4 m/s (2) 0.4 (3) 3.2 m/s

反思总结 解决动力学两类问题的基本思路



【跟踪短训】

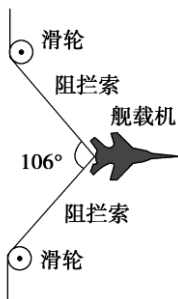


图 3-3-3

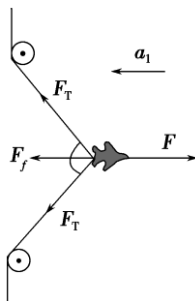
1. 2012 年 11 月，我国舰载机在航母上首降成功。设某一舰载机的质量为 $m = 2.5 \times 10^4 \text{ kg}$ ，速度为 $v_0 = 42 \text{ m/s}$ ，若仅受空气阻力和甲板阻力作用，舰载机将在甲板上以 $a_0 = 0.8 \text{ m/s}^2$ 的加速度做匀减速运动，着舰过程中航母静止不动。

(1) 舰载机着舰后，若仅受空气阻力和甲板阻力作用，航母甲板至少多长才能保证舰载机不滑到海里？

(2) 为了舰载机在有限长度的跑道上停下来，甲板上设置了阻拦索让舰载机减速，同时考虑到舰载机挂索失败需要复飞的情况，舰载机着舰时不关闭发动机。图示 3-3-3 为舰载机勾住阻拦索后某一时刻的情景，此时发动机的推力大小为 $F = 1.2 \times 10^5 \text{ N}$ ，减速的加速度 $a_1 = 20 \text{ m/s}^2$ ，此时阻拦索夹角 $\theta = 106^\circ$ ，空气阻力和甲板阻力保持不变。求此时阻拦索承受的张力大小？(已知： $\sin 53^\circ = 0.8$ ， $\cos 53^\circ = 0.6$)

解析 (1) 设甲板的长度至少为 x_0 ，则由运动学公式得

$$-v_0^2 = -2a_0x_0, \text{ 故 } x_0 = \frac{v_0^2}{2a_0}$$



代入数据可得 $x_0 = 1102.5 \text{ m}$

(2) 舰载机受力分析如图所示，其中 F_T 为阻拦索的张力， F_f 为空气和甲板对舰载机的阻力，由牛顿第二定律得 $2F_T \cos 53^\circ + F_f - F = ma_1$

舰载机仅受空气阻力和甲板阻力时 $F_f = ma_0$

联立可得 $F_T = 5 \times 10^5 \text{ N}$

答案 (1) 102.5 m (2) $5 \times 10^5 \text{ N}$

热点二 对超重、失重的理解

1. 不论是超重、失重、完全失重，物体的重力都不变，只是“视重”改变。
2. 物体处于超重状态还是失重状态取决于加速度的方向，与速度的大小和方向没有关系。下表列出了加速度方向与物体所处状态的关系。

加速度	超重、失重	视重 F
$a=0$	不超重、不失重	$F=mg$
a 的方向竖直向上	超重	$F=m(g+a)$
a 的方向竖直向下	失重	$F=m(g-a)$
$a=g$ ，竖直向下	完全失重	$F=0$

【典例 2】 在升降电梯内的地板上放一体重计，电梯静止时，晓敏同学站在体重计上，体重计示数为 50 kg，电梯运动过程中，某一段时间内晓敏同学发现体重计示数如图 3-3-4 所示，在这段时间内下列说法中正确的是()。

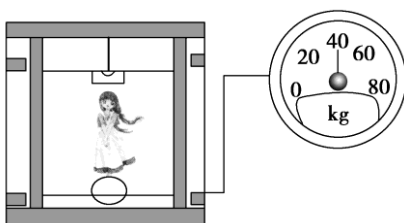


图 3 - 3 - 4

- A. 晓敏同学所受的重力变小了
- B. 晓敏对体重计的压力小于体重计对晓敏的支持力
- C. 电梯一定在竖直向下运动
- D. 电梯的加速度大小为 $\frac{g}{5}$ ，方向一定竖直向下

解析 由题知体重计的示数为 40 kg 时，人对体重计的压力小于人的重力，故处于失重状态，实际人受到的重力并没有变化，A 错；由牛顿第三定律知 B 错；电梯具有向下的加速度，但不一定是向下运动，C 错；由牛顿第二定律 $mg - F_N = ma$ ，可知 $a = \frac{g}{5}$ ，方向竖直向下，D 对。

答案 D

反思总结 判断超重和失重现象的三个技巧

1. 从受力的角度判断

当物体受向上的拉力(或支持力)大于重力时，物体处于超重状态；小于重力时处于失重状态，等于零时处于完全失重状态。

2. 从加速度的角度判断

当物体具有向上的加速度时处于超重状态，具有向下的加速度时处于失重状态，向下的加速度为重力加速度时处于完全失重状态。

3. 从速度变化角度判断

(1) 物体向上加速或向下减速时，超重；

(2) 物体向下加速或向上减速时，失重。

【跟踪短训】

2. 如图 3-3-5 所示，是某同学站在力传感器上，做下蹲—起立的动作时记录的力随时间变化的图线，纵坐标为力(单位为牛顿)，横坐标为时间(单位为秒)。由图可知，该同学的体重约为 650 N，除此以外，还可以得到的信息有()。

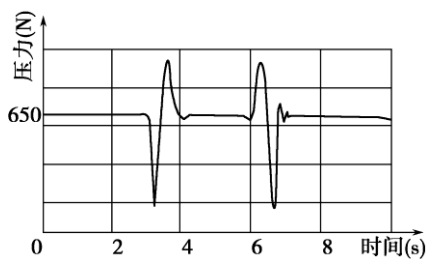


图 3-3-5

- A. 该同学做了两次下蹲——起立的动作
- B. 该同学做了一次下蹲——起立的动作，且下蹲后约 2 s 起立
- C. 下蹲过程中人处于失重状态
- D. 下蹲过程中人先处于超重状态后处于失重状态

解析 在 3~4 s 下蹲过程中，先向下加速再向下减速，故人先处于失重状态后处于超重状态；在 6~7 s 起立过程中，先向上加速再向上减速，故人先处于超重状态后处于失重状态，选项 A、C、D 错误，B 正确。

答案 B

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

物理建模 3. 传送带模型 滑板—滑块模型(模型演示见 PPT 课件)

► 模型一 传送带模型

1. 水平传送带模型

项目	图示	滑块可能的运动情况
情景 1		(1)可能一直加速 (2)可能先加速后匀速
情景 2		(1) $v_0 > v$ 时，可能一直减速，也可能先减速再匀速 (2) $v_0 < v$ 时，可能一直加速，也可能先加速再匀速
情景 3		(1)传送带较短时，滑块一直减速达到左端 (2)传送带较长时，滑块还要被传送带传回右端。其中 $v_0 > v$ 返回时速度为 v ，当 $v_0 < v$ 返回时速度为 v_0

2. 倾斜传送带模型

项目	图示	滑块可能的运动情况
情景 1		(1)可能一直加速 (2)可能先加速后匀速
情景 2		(1)可能一直加速 (2)可能先加速后匀速 (3)可能先以 a_1 加速后以 a_2 加速
情景 3		(1)可能一直加速 (2)可能先加速后匀速 (3)可能一直匀速 (4)可能先以 a_1 加速后以 a_2 加速
情景 4		(1)可能一直加速 (2)可能一直匀速 (3)可能先减速后反向加速

【典例 1】 水平传送带被广泛地应用于机场和火车站，如图 3-3-6 所示为一水平传送带装置示意图。绷紧的传送带 AB 始终保持恒定的速率 $v=1 \text{ m/s}$ 运行，一质量为 $m=4 \text{ kg}$ 的行李无初速度地放在 A 处，传送带对行李的滑动摩擦力使行李开始做匀加速直线运动，随后行李又以与传送带相等的速率做

匀速直线运动. 设行李与传送带之间的动摩擦因数 $\mu=0.1$, A、B 间的距离 $L=2\text{ m}$, g 取 10 m/s^2 .

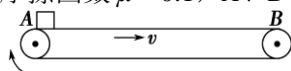


图 3-3-6

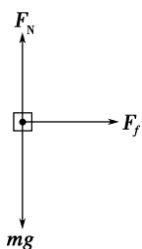
- (1)求行李刚开始运动时所受滑动摩擦力的大小与加速度的大小;
- (2)求行李做匀加速直线运动的时间;
- (3)如果提高传送带的运行速率, 行李就能被较快地传送到 B 处, 求行李从 A 处传送到 B 处的最短时间和传送带对应的最小运行速率.

审题指导 关键词: ①无初速度地放在 A 处.

②行李开始做匀加速直线运动.

③随后行李又以与传送带相等的速率做匀速直线运动.

对行李受力分析 \longrightarrow 行李运动过程先匀加速后匀速直线运动 \longrightarrow 利用牛顿第二定律、运动学公式求解未知量.



解析 (1)行李刚开始运动时, 受力如图所示, 滑动摩擦力: $F_f = \mu mg = 4\text{ N}$

由牛顿第二定律得: $F_f = ma$

解得: $a = 1\text{ m/s}^2$

(2)行李达到与传送带相同速率后不再加速, 则: $v = at$, 解得 $t = \frac{v}{a} = 1\text{ s}$

(3)行李始终匀加速运行时间最短, 且加速度仍为

$a = 1\text{ m/s}^2$, 当行李到达右端时, 有: $v_{\min}^2 = 2aL$

解得: $v_{\min} = \sqrt{2aL} = 2\text{ m/s}$

故传送带的最小运行速率为 2 m/s

行李运行的最短时间: $t_{\min} = \frac{v_{\min}}{a} = 2\text{ s}$

答案 (1)4 N 1 m/s^2 (2)1 s (3)2 s 2 m/s

反思总结 对于传送带问题, 一定要全面掌握上面提到的几类传送带模型, 尤其注意要根据具体情况适时进行讨论, 看一看有没有转折点、突变点, 做好运动阶段的划分及相应动力学分析.

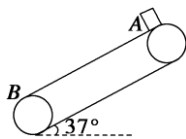


图 3-3-7

即学即练 1 如图 3-3-7 所示, 倾角为 37° , 长为 $l=16\text{ m}$ 的传送带, 转动速度为 $v=10\text{ m/s}$, 动摩擦因数 $\mu=0.5$, 在传送带顶端 A 处无初速度地释放一个质量为 $m=0.5\text{ kg}$ 的物体. 已知 $\sin 37^\circ=0.6$, $\cos 37^\circ=0.8$, $g=10\text{ m/s}^2$. 求:

(1)传送带顺时针转动时, 物体从顶端 A 滑到底端 B 的时间;

(2)传送带逆时针转动时, 物体从顶端 A 滑到底端 B 的时间.

解析 (1)传送带顺时针转动时, 物体相对传送带向下运动, 则物体所受滑动摩擦力沿斜面向上, 相对传送带向下匀加速运动, 根据牛顿第二定律有

$$mg(\sin 37^\circ - \mu \cos 37^\circ) = ma$$

则 $a = g \sin 37^\circ - \mu g \cos 37^\circ = 2 \text{ m/s}^2$,

根据 $l = \frac{1}{2}at^2$ 得 $t = 4 \text{ s}$.

(2) 传送带逆时针转动, 当物体下滑速度小于传送带转动速度时, 物体相对传送带向上运动, 则物体所受滑动摩擦力沿传送带向下, 设物体的加速度大小为 a_1 , 由牛顿第二定律得, $m g \sin 37^\circ + \mu m g \cos 37^\circ = m a_1$

则有 $a_1 = \frac{m g \sin 37^\circ + \mu m g \cos 37^\circ}{m} = 10 \text{ m/s}^2$

设当物体运动速度等于传送带转动速度时经历的时间为 t_1 , 位移为 x_1 , 则有

$$t_1 = \frac{v}{a_1} = \frac{10}{10} \text{ s} = 1 \text{ s}, \quad x_1 = \frac{1}{2} a_1 t_1^2 = 5 \text{ m} < l = 16 \text{ m}$$

当物体运动速度等于传送带速度瞬间, 有 $m g \sin 37^\circ > \mu m g \cos 37^\circ$, 则下一时刻物体相对传送带向下运动, 受到传送带向上的滑动摩擦力——摩擦力发生突变. 设当物体下滑速度大于传送带转动速度时物体的加速度为 a_2 , 则 $a_2 = \frac{m g \sin 37^\circ - \mu m g \cos 37^\circ}{m} = 2 \text{ m/s}^2$

$$x_2 = l - x_1 = 11 \text{ m}$$

$$x_2 = l - x_1 = 11 \text{ m}$$

又因为 $x_2 = v t_2 + \frac{1}{2} a_2 t_2^2$, 则有 $10 t_2 + t_2^2 = 11$,

解得: $t_2 = 1 \text{ s}$ ($t_2 = -11 \text{ s}$ 舍去)

所以 $t_{\text{总}} = t_1 + t_2 = 2 \text{ s}$.

答案 (1) 4 s (2) 2 s

模型二 滑板—滑块模型

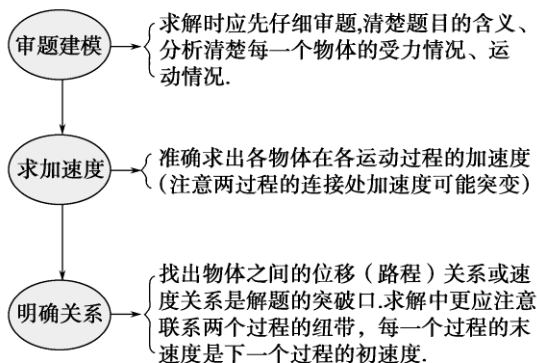
1. 模型特点

涉及两个物体, 并且物体间存在相对滑动.

2. 两种位移关系

滑块由滑板的一端运动到另一端的过程中, 若滑块和滑板同向运动, 位移之差等于板长; 反向运动时, 位移之和等于板长.

3. 解题思路



4. 易失分点

(1) 不清楚滑块、滑板的受力情况, 求不出各自的加速度.

(2) 不清楚物体间发生相对滑动的条件.



图 3-3-8

【典例 2】 如图 3-3-8 所示, 光滑水平面上静止放着长 $L=4 \text{ m}$, 质量为 $M=3 \text{ kg}$ 的木板(厚度不计), 一个质量为 $m=1 \text{ kg}$ 的小物体放在木板的最右端, m 和 M 之间的动摩擦因数 $\mu=0.1$, 今对木板施加一水平向右的拉力 F , (g 取 10 m/s^2)

(1) 为使两者保持相对静止, F 不能超过多少?

(2)如果 $F=10\text{ N}$ ，求小物体离开木板时的速度？

解析 (1)要保持两者相对静止，两者之间的摩擦力不能超过最大静摩擦力，故最大加速度 $a = \mu g = 1\text{ m/s}^2$

由牛顿第二定律对整体有 $F_m = (m + M)a = 4\text{ N}$

(2)当 $F = 10\text{ N} > 4\text{ N}$ 时，两者发生相对滑动

对小物体： $a_1 = \mu g = 1\text{ m/s}^2$

对木板： $F_{\text{合}} = F - \mu mg = Ma_2$

代入数据解得 $a_2 = 3\text{ m/s}^2$

由位移关系有： $L = \frac{1}{2}a_2t^2 - \frac{1}{2}a_1t^2$

代入数据解得 $t = 2\text{ s}$

则小物块的速度 $v_1 = a_1t = 2\text{ m/s}$.

答案 (1)4 N (2)2 m/s

即学即练 2 (2013 江苏卷, 14)如图 3-3-9 所示，将小砝码置于桌面上的薄纸板上，用水平向右的拉力将纸板迅速抽出，砝码的移动很小，几乎观察不到，这就是大家熟悉的惯性演示实验。若砝码和纸板的质量分别为 m_1 和 m_2 ，各接触面间的动摩擦因数均为 μ 。重力加速度为 g 。

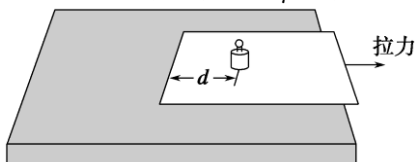


图 3-3-9

(1)当纸板相对砝码运动时，求纸板所受摩擦力的大小；

(2)要使纸板相对砝码运动，求所需拉力的大小；

(3)本实验中， $m_1=0.5\text{ kg}$ ， $m_2=0.1\text{ kg}$ ， $\mu=0.2$ ，砝码与纸板左端的距离 $d=0.1\text{ m}$ ，取 $g=10\text{ m/s}^2$ 。若砝码移动的距离超过 $l=0.002\text{ m}$ ，人眼就能感知。为确保实验成功，纸板所需的拉力至少多大？

解析 (1)砝码对纸板的摩擦力 $f_1 = \mu m_1 g$ ，桌面对纸板的摩擦力 $f_2 = \mu(m_1 + m_2)g$ ， $f = f_1 + f_2$ ，解得 $f = \mu(2m_1 + m_2)g$ 。

(2)设砝码的加速度为 a_1 ，纸板的加速度为 a_2 ，则 $f_1 = m_1 a_1$ ， $F - f_1 - f_2 = m_2 a_2$ ，发生相对运动 $a_2 > a_1$ ，解得 $F > 2\mu(m_1 + m_2)g$

(3)纸板抽出前，砝码运动的距离 $x_1 = \frac{1}{2}a_1 t_1^2$ 。纸板运动的距离 $d + x_1 = \frac{1}{2}a_2 t_1^2$ 。纸板抽出后，砝码在桌面上运动的距离 $x_2 = \frac{1}{2}a_3 t_2^2$ ， $l = x_1 + x_2$

由题意知 $a_1 = a_3$ ， $a_1 t_1 = a_3 t_2$

解得 $F = 2\mu \left[m_1 + \left(1 + \frac{d}{l} \right) m_2 \right] g$

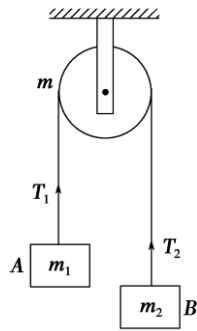
代入数据得 $F = 22.4\text{ N}$ 。

答案 (1) $\mu(2m_1 + m_2)g$ (2) $F > 2\mu(m_1 + m_2)g$

(3) 22.4 N

对应高考题组

1. (2011 福建卷, 18)如图所示，一不可伸长的轻质细绳跨过定滑轮后，两端分别悬挂质量为 m_1 和 m_2 的物体 A 和 B。若滑轮有一定大小，质量为 m 且分布均匀，滑轮转动时与绳之间无相对滑动，不计滑轮与轴之间的摩擦。设细绳对 A 和 B 的拉力大小分别为 T_1 和 T_2 ，已知下列四个关于 T_1 的表达式中有一个是正确的。请你根据所学的物理知识，通过一定的分析，判断正确的表达式是()。



A. $T_1 = \frac{(m+2m_2)m_1g}{m+2(m_1+m_2)}$

B. $T_1 = \frac{(m+2m_1)m_2g}{m+4(m_1+m_2)}$

C. $T_1 = \frac{(m+4m_2)m_1g}{m+2(m_1+m_2)}$

D. $T_1 = \frac{(m+4m_1)m_2g}{m-4(m_1+m_2)}$

解析 若将滑轮视为轻质，即 $m=0$ ，而绳为轻质，故 $T_1=T_2$ ，由牛顿第二定律 $m_2g - T_1 = m_2a$ ， $T_1 - m_1g = m_1a$ ，得 $T_1 = \frac{2m_2m_1g}{m_1+m_2}$ ；当 $m=0$ 时对各选项逐一进行验证，只有 C 正确；当 $m_1=m_2$ 时则 $T_1=T_2 = m_1g$ ，同时对各选项逐一验证，只有 C 正确。

答案 C

2. (2011 四川卷, 19)如图是“神舟”系列航天飞船返回舱返回地面的示意图，假定其过程可简化为：打开降落伞一段时间后，整个装置匀速下降，为确保安全安全着陆。需点燃返回舱的缓冲火箭，在火箭喷气过程中返回舱做减速直线运动，则()。

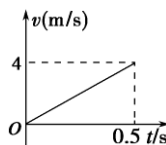


- A. 火箭开始喷气瞬间伞绳对返回舱的拉力变小
- B. 返回舱在喷气过程中减速的主要原因是空气阻力
- C. 返回舱在喷气过程中所受合外力可能做正功
- D. 返回舱在喷气过程中处于失重状态

解析 火箭开始喷气瞬间，返回舱受到向上的反作用力，所受合外力向上，故伞绳的拉力变小，所以选项 A 正确；返回舱与降落伞组成的系统在火箭喷气前受力平衡，喷气后减速的主要原因是受到喷出气体的反作用力，故选项 B 错误；返回舱在喷气过程中做减速直线运动，故合外力一定做负功，选项 C 错误；返回舱喷气过程中产生竖直向上的加速度，故应处于超重状态，选项 D 错误。

答案 A

3. (2012 安徽卷, 22)质量为 0.1 kg 的弹性球从空中某高度由静止开始下落，该下落过程对应的 $v-t$ 图象如图所示。弹性球与水平地面相碰后离开地面时的速度大小为碰撞前的 $\frac{3}{4}$ 。设球受到的空气阻力大小恒为 f ，取 $g=10 \text{ m/s}^2$ ，求：



- (1)弹性球受到的空气阻力 f 的大小；
- (2)弹性球第一次碰撞后反弹的高度 h 。

解析 (1) 设弹性球第一次下落过程中的加速度大小为 a_1 ，由题图知， $a_1 = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{4}{0.5} \text{ m/s}^2 = 8 \text{ m/s}^2$ ①

根据牛顿第二定律得 $mg - f = ma_1$ ②

$$f = m(g - a_1) = 0.2 \text{ N} \text{ ③}$$

(2) 由题图知弹性球第一次到达地面时的速度大小为 $v_1 = 4 \text{ m/s}$ ，设球第一次离开地面时的速度大小为 v_2 ，则

$$v_2 = \frac{3}{4}v_1 = 3 \text{ m/s} \text{ ④}$$

第一次离开地面后，设上升过程中球的加速度大小为 a_2 ，则 $mg + f = ma_2$

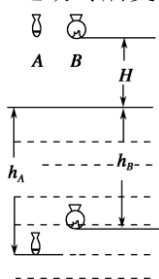
$$a_2 = 12 \text{ m/s}^2 \text{ ⑤}$$

于是，有 $0 - v_2^2 = -2a_2h$ ⑥

$$\text{解得 } h = \frac{3}{8} \text{ m} \text{ ⑦}$$

答案 (1) 0.2 N (2) $\frac{3}{8} \text{ m}$

4. (2012 浙江卷, 23) 为了研究鱼所受水的阻力与其形状的关系. 小明同学用石蜡做成两条质量均为 m 、形状不同的“*A* 鱼”和“*B* 鱼”，如图所示. 在高出水面 H 处分别静止释放“*A* 鱼”和“*B* 鱼”，“*A* 鱼”竖直下潜 h_A 后速度减为零，“*B* 鱼”竖直下潜 h_B 后速度减为零. “鱼”在水中运动时，除受重力外，还受浮力和水的阻力. 已知“鱼”在水中所受浮力是其重力的 $\frac{10}{9}$ 倍，重力加速度为 g ，“鱼”运动的位移值远大于“鱼”的长度. 假设“鱼”运动时所受水的阻力恒定，空气阻力不计. 求：



(1) “*A* 鱼”入水瞬间的速度 v_{A1} ；

(2) “*A* 鱼”在水中运动时所受阻力 f_A ；

(3) “*A* 鱼”与“*B* 鱼”在水中运动时所受阻力之比 $f_A : f_B$.

解析 (1) “*A* 鱼”在入水前做自由落体运动，有

$$v_{A1}^2 - 0 = 2gH \text{ ①}$$

$$\text{得：} v_{A1} = \sqrt{2gH} \text{ ②}$$

(2) “*A* 鱼”在水中运动时受重力、浮力和阻力的作用，做匀减速运动，设加速度为 a_A ，有 $F_{\text{浮}} + f_A$

$$- mg = ma_A \text{ ③}$$

$$0 - v_{A1}^2 = -2a_A h_A \text{ ④}$$

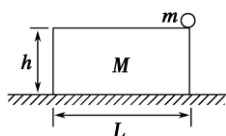
$$\text{由题意：} F_{\text{浮}} = \frac{10}{9}mg. \text{ 由②③④式得 } f_A = mg\left(\frac{H}{h_A} - \frac{1}{9}\right) \text{ ⑤}$$

(3) 考虑到“*B* 鱼”的受力、运动情况与“*A* 鱼”相似，有

$$f_B = mg\left(\frac{H}{h_B} - \frac{1}{9}\right) \text{ ⑥}$$

$$\text{综合⑤、⑥两式，得 } \frac{f_A}{f_B} = \frac{h_B(9H - h_A)}{h_A(9H - h_B)}.$$

答案 (1) $\sqrt{2gH}$ (2) $mg\left(\frac{H}{h_A} - \frac{1}{9}\right)$ (3) $\frac{h_B(9H - h_A)}{h_A(9H - h_B)}$



5. (2013·上海卷, 31)如图所示, 质量为 M 、长为 L 、高为 h 的矩形滑块置于水平地面上, 滑块与地面间的动摩擦因数为 μ ; 滑块上表面光滑, 其右端放置一个质量为 m 的小球. 用水平外力击打滑块左端, 使其在极短时间内获得向右的速度 v_0 , 经过一段时间后小球落地. 求小球落地时距滑块左端的水平距离.

解析 滑块上表面光滑, 小球水平方向不受力的作用, 故当滑块的左端到达小球正下方这段时间内,

小球速度始终为零, 则对于滑块: $a = \frac{\mu(m+M)g}{M}$,

$$v_1 = \sqrt{v_0^2 - 2aL} = \sqrt{v_0^2 - \frac{2\mu(m+M)gL}{M}}$$

当滑块的左端到达小球正下方后, 小球做自由落体运动, 落地时间 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, 滑块的加速度 $a' = \mu g$

①若在 t 时间内滑块的速度没有减小到零, 滑块向右运动的距离为:

$$x = v_1 t - \frac{1}{2} a' t^2 = \sqrt{v_0^2 - \frac{2\mu(m+M)gL}{M}} \sqrt{\frac{2h}{g}} - \frac{1}{2} \mu g \left(\sqrt{\frac{2h}{g}} \right)^2$$

$$= \sqrt{v_0^2 - \frac{2\mu(m+M)gL}{M}} \sqrt{\frac{2h}{g}} - \mu h.$$

②若在 t 时间内滑块已经停下来, 则:

$$x' = \frac{v_1^2}{2a'} = \frac{v_0^2}{2\mu g} - \frac{m+M}{M} L.$$

答案 见解析

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 动力学两类基本问题

1. (2013 江西师大附中、临川一中联考)(多选)如图 3-3-10 所示, 物块的质量 $m=1 \text{ kg}$, 初速度 $v_0=10 \text{ m/s}$, 在一水平向左的恒力 F 作用下从 O 点沿粗糙的水平面向右运动, 某时刻后恒力 F 突然反向, 整个过程中物块速度的平方随位置坐标变化的关系图象如图乙所示, $g=10 \text{ m/s}^2$. 下列说法中正确的是 ().

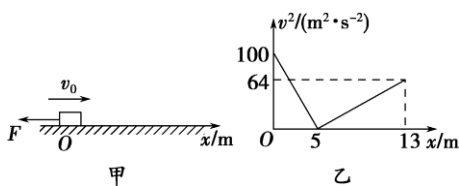


图 3-3-10

- A. 0~5 s 内物块做匀减速运动
- B. 在 $t=1 \text{ s}$ 时刻, 恒力 F 反向
- C. 恒力 F 大小为 10 N
- D. 物块与水平面间的动摩擦因数为 0.3

解析 由图象得物块在前 5 m 位移内做匀减速运动, 在 $5 \sim 13 \text{ m}$ 位移内做匀加速运动, 且由图象斜率得匀减速运动的加速度大小 $a_1 = \frac{100}{2 \times 5} \text{ m/s}^2 = 10 \text{ m/s}^2$, 匀加速运动的加速度大小 $a_2 = \frac{64}{2 \times (13 - 5)} \text{ m/s}^2$

$= 4 \text{ m/s}^2$, 匀减速运动的时间 $t = \frac{v_0}{a_1} = 1 \text{ s}$, 又由牛顿第二定律得, $F + \mu mg = ma_1$ 和 $F - \mu mg = ma_2$, 联立解

得 $F = 7 \text{ N}$ ，动摩擦因数 $\mu = 0.3$ 。选项 B、D 正确。

答案 BD

2. (2013 浙江卷, 19)(多选)如图 3-3-11 所示, 总质量为 460 kg 的热气球, 从地面刚开始竖直上升时的加速度为 0.5 m/s^2 , 当热气球上升到 180 m 时, 以 5 m/s 的速度向上匀速运动. 若离开地面后热气球所受浮力保持不变, 上升过程中热气球总质量不变, 重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$. 关于热气球, 下列说法正确的是()。

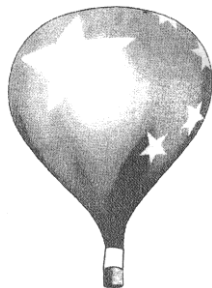


图 3-3-11

- A. 所受浮力大小为 $4\ 830 \text{ N}$
- B. 加速上升过程中所受空气阻力保持不变
- C. 从地面开始上升 10 s 后的速度大小为 5 m/s
- D. 以 5 m/s 匀速上升时所受空气阻力大小为 230 N

解析 热气球刚开始上升时, 速度为零, 不受空气阻力, 只受重力、浮力, 由牛顿第二定律知 $F - mg = ma$, 得 $F = 4\ 830 \text{ N}$, 选项 A 正确; 随着热气球速度逐渐变大, 其所受空气阻力发生变化(变大), 故热气球并非匀加速上升, 其加速度逐渐减小, 故上升 10 s 后速度要小于 5 m/s , 选项 B、C 错误; 最终热气球匀速运动, 此时热气球所受重力、浮力、空气阻力平衡, 由 $F = mg + f$ 得 $f = 230 \text{ N}$, 选项 D 正确。

答案 AD

3. (2013 陕西西工大附中适应性训练, 24)中央电视台推出了一个游戏节目——推矿泉水瓶. 选手们从起点开始用力推瓶一段时间后, 放手让瓶向前滑动, 若瓶最后停在桌上有效区域内, 视为成功; 若瓶最后不能停在桌上有效区域内或在滑行过程中倒下, 均视为失败. 其简化模型如图 3-3-12 所示, AC 是长度为 $L_1 = 5 \text{ m}$ 的水平桌面, 选手们可将瓶子放在 A 点, 从 A 点开始用一恒定不变的水平推力推瓶, BC 为有效区域. 已知 BC 长度为 $L_2 = 1 \text{ m}$, 瓶子质量为 $m = 0.5 \text{ kg}$, 瓶子与桌面间的动摩擦因数 $\mu = 0.4$. 某选手作用在瓶子上的水平推力 $F = 20 \text{ N}$, 瓶子沿 AC 做直线运动(g 取 10 m/s^2), 假设瓶子可视为质点, 那么该选手要想游戏获得成功, 试问:

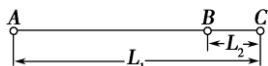


图 3-3-12

- (1) 推力作用在瓶子上的时间最长不得超过多少?
- (2) 推力作用在瓶子上的距离最小为多少?

解析 (1) 要想游戏获得成功, 瓶滑到 C 点速度正好为零时, 推力作用时间最长, 设最长作用时间为 t_1 , 有推力作用时瓶做匀加速运动, 设加速度为 a_1 , t_1 时刻瓶的速度为 v , 推力停止作用后瓶做匀减速运动, 设此时加速度大小为 a_2 , 由牛顿第二定律得: $F - \mu mg = ma_1$, $\mu mg = ma_2$

$$\text{加速运动过程中的位移 } x_1 = \frac{v^2}{2a_1}$$

$$\text{减速运动过程中的位移 } x_2 = \frac{v^2}{2a_2}$$

$$\text{位移关系满足: } x_1 + x_2 = L_1, \text{ 又: } v = a_1 t_1$$

$$\text{由以上各式解得: } t_1 = \frac{1}{6} \text{ s}$$

(2) 要想游戏获得成功, 瓶滑到 B 点速度正好为零时, 推力作用距离最小, 设最小距离为 d , 则: $\frac{v'^2}{2a_1}$

$$+ \frac{v'^2}{2a_2} = L_1 - L_2$$

$v'^2 = 2a_1d$ ，联立解得： $d = 0.4 \text{ m}$ 。

答案 (1) $\frac{1}{6} \text{ s}$ (2)0.4 m

题组二 超重、失重问题

4. (多选)用力传感器悬挂一钩码，一段时间后，钩码在拉力作用下沿竖直方向由静止开始运动。如图 3-3-13 所示，图中实线是传感器记录的拉力大小变化情况，则()。

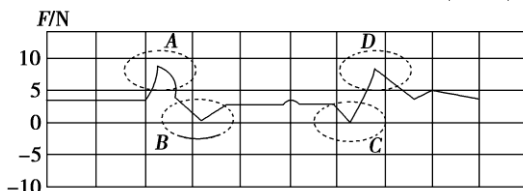


图 3-3-13

- A. 钩码的重力约为 4 N
- B. 钩码的重力约为 3 N
- C. A、B、C、D 四段图线中，钩码处于超重状态的是 A、D，失重状态的是 B、C
- D. A、B、C、D 四段图线中，钩码处于超重状态的是 A、B，失重状态的是 C、D

解析 求解本题的关键是对图象及超重、失重概念的准确理解。由于初始状态物体静止，所以钩码的重力等于拉力，从图上可读出拉力约为 4 N，故 A 正确，B 错误；据“超重时拉力大于重力、失重时拉力小于重力”可知，C 正确，D 错误。

答案 AC

5. (单选)如图 3-3-14 所示，小车上有一个定滑轮，跨过定滑轮的绳一端系一重球，另一端系在弹簧测力计上，弹簧测力计下端固定在小车上，开始时小车处于静止状态。当小车沿水平方向运动时，小球恰能稳定在图中虚线位置，下列说法中正确的是()。

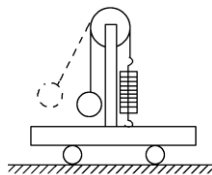


图 3-3-14

- A. 小球处于超重状态，小车对地面压力大于系统总重力
- B. 小球处于失重状态，小车对地面压力小于系统总重力
- C. 弹簧测力计读数大于小球重力，但小球既不超重也不失重
- D. 弹簧测力计读数大于小球重力，小车一定向右匀加速运动

解析 小球稳定在题图中虚线位置，则小球和小车有相同的加速度，且加速度方向水平向右，故小球既不超重也不失重，小车既可以向右匀加速运动也可以向左匀减速运动。

答案 C

6. (单选)如图 3-3-15 所示，一人站在电梯中的体重计上，随电梯一起运动。下列各种情况中，体重计的示数最大的是()。

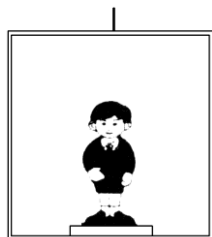


图 3-3-15

- A. 电梯匀减速上升, 加速度的大小为 1.0 m/s^2
 B. 电梯匀加速上升, 加速度的大小为 1.0 m/s^2
 C. 电梯匀减速下降, 加速度的大小为 0.5 m/s^2
 D. 电梯匀加速下降, 加速度的大小为 0.5 m/s^2

解析 当电梯匀减速上升或匀加速下降时, 电梯处于失重状态, 设人受到体重计的支持力为 F_N , 体重计示数大小即为人对体重计的压力 F_N' . 由牛顿运动定律可得 $mg - F_N = ma$, $F_N = F_N' = m(g - a)$; 当电梯匀加速上升或匀减速下降时, 电梯处于超重状态, 设人受到体重计的支持力为 F_{N1} , 人对体重计的压力 F_{N1}' . 由牛顿运动定律可得 $F_{N1} - mg = ma$, $F_{N1} = F_{N1}' = m(g + a)$, 代入具体数据可得 B 正确.

答案 B

7. (2013 安徽三联, 22) 据 2012 年 10 月 12 日新浪网消息, 安徽凤阳县 7 岁“大力士”杨金龙声名鹊起后, 南京、天津等地诸多体育专业学校纷纷向他抛出橄榄枝. 最终在安徽省举重队推荐下, 小金龙选择了铜陵市业余体校举重队. 教练盛红星称在省队测试的时候, 小金龙不仅举起 45 kg 杠铃, 还背起体重高达 120 kg 的王军教练, 简直能“秒杀同龄的施瓦辛格”, $g = 10 \text{ m/s}^2$, 请计算:

- (1) 在以 $a = 2 \text{ m/s}^2$ 匀加速下降的电梯中小金龙能举起杠铃的质量是多少?
 (2) 在以 $a = 2 \text{ m/s}^2$ 匀加速上升的电梯中小金龙能背起的质量又是多少?

解析 (1) 小金龙的举力是一定的, 则有 $F_1 = mg = 450 \text{ N}$

在以 $a = 2 \text{ m/s}^2$ 匀加速下降的电梯中, 设其能举起杠铃的质量为 m_1 , 则有 $m_1 g - F_1 = m_1 a$, 解得 $m_1 = 56.25 \text{ kg}$

(2) 小金龙能背起的重量是一定的, 则有 $F_2 = Mg = 1200 \text{ N}$

在以 $a = 2 \text{ m/s}^2$ 匀加速上升的电梯中, 设其能背起的质量为 m_2 , 则有 $F_2 - m_2 g = m_2 a$, 解得 $m_2 = 100 \text{ kg}$

答案 (1) 56.25 kg (2) 100 kg

B 深化训练——提高能力技巧

8. (2013 福建省四地六校联考) 一水平传送带以 2.0 m/s 的速度顺时针转动, 水平部分长为 2.0 m , 其右端与一倾角为 $\theta = 37^\circ$ 的光滑斜面平滑相连, 斜面长为 0.4 m , 一个可视为质点的物块无初速度地放在传送带最左端, 已知物块与传送带间动摩擦因数 $\mu = 0.2$, 试问:

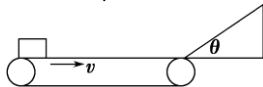


图 3-3-16

- (1) 物块到达传送带右端的速度;
 (2) 物块能否到达斜面顶端? 若能则说明理由, 若不能则求出物块上升的最大高度. ($\sin 37^\circ = 0.6$, g 取 10 m/s^2)

解析 (1) 物块在传送带上先做匀加速直线运动.

由 $\mu mg = ma_1$, $x_1 = \frac{v_0^2}{2a_1}$, 可得 $x_1 = 1 \text{ m} < L$

故物块到达传送带右端前已匀速运动, 速度为 2 m/s .

(2) 物块以速度 v_0 冲上斜面, 之后做匀减速直线运动,

由 $mg \sin \theta = ma_2$, $x_2 = \frac{v_0^2}{2a_2}$ 可得 $x_2 = \frac{1}{3} \text{ m} < 0.4 \text{ m}$.

故物块没有到达斜面的最高点,

物块上升的最大高度 $h_m = x_2 \sin \theta = 0.2 \text{ m}$

答案 (1) 2 m/s (2) 不能 0.2 m

9. (2013 山东卷, 22) 如图 3-3-17 所示, 一质量 $m = 0.4 \text{ kg}$ 的小物块, 以 $v_0 = 2 \text{ m/s}$ 的初速度, 在与斜面成某一夹角的拉力 F 作用下, 沿斜面向上做匀加速运动, 经 $t = 2 \text{ s}$ 的时间物块由 A 点运动到 B 点, A 、 B 之间的距离 $L = 10 \text{ m}$. 已知斜面倾角 $\theta = 30^\circ$, 物块与斜面之间的动摩擦因数 $\mu = \frac{\sqrt{3}}{3}$. 重力加速度 g

取 10 m/s^2 .

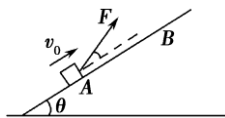


图 3-3-17

(1)求物块加速度的大小及到达 B 点时速度的大小.

(2)拉力 F 与斜面夹角多大时, 拉力 F 最小? 拉力 F 的最小值是多少?

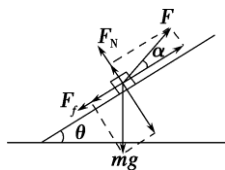
解析 (1)设物块加速度的大小为 a , 到达 B 点时速度的大小为 v , 由运动学公式得 $L = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ ①

$$v = v_0 + a t \text{ ②}$$

联立①②式, 代入数据得 $a = 3 \text{ m/s}^2$ ③

$$v = 8 \text{ m/s} \text{ ④}$$

(2)



设物块所受支持力为 F_N , 所受摩擦力为 F_f , 拉力与斜面间的夹角为 α , 受力分析如图所示, 由牛顿第二定律得

$$F \cos \alpha - mg \sin \theta - F_f = ma \text{ ⑤}$$

$$F \sin \alpha + F_N - mg \cos \theta = 0 \text{ ⑥}$$

$$\text{又 } F_f = \mu F_N \text{ ⑦}$$

$$\text{联立⑤⑥⑦式得 } F = \frac{mg(\sin \theta + \mu \cos \theta) + ma}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha} \text{ ⑧}$$

$$\text{由数学知识得 } \cos \alpha + \frac{\sqrt{3}}{3} \sin \alpha = \frac{2\sqrt{3}}{3} \sin(60^\circ + \alpha) \text{ ⑨}$$

由⑧⑨式可知对应 F 最小的夹角 $\alpha = 30^\circ$ ⑩

联立③⑧⑩式, 代入数据得 F 的最小值为

$$F_{\min} = \frac{13\sqrt{3}}{5} \text{ N} \text{ ⑪}$$

答案 (1) 3 m/s^2 8 m/s (2) 30° $\frac{13\sqrt{3}}{5} \text{ N}$

10. 如图 3-3-18 所示, 一长木板质量为 $M=4 \text{ kg}$, 木板与地面间的动摩擦因数 $\mu_1=0.2$, 质量为 $m=2 \text{ kg}$ 的小滑块放在木板的右端, 小滑块与木板间的动摩擦因数 $\mu_2=0.4$. 开始时木板与滑块都处于静止状态, 木板的右端与右侧竖直墙壁的距离 $L=2.7 \text{ m}$. 现给木板以水平向右的初速度 $v_0=6 \text{ m/s}$ 使木板向右运动, 设木板与墙壁碰撞时间极短, 且碰后以原速率弹回, 取 $g=10 \text{ m/s}^2$, 求:

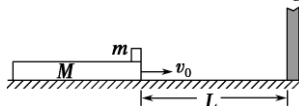


图 3-3-18

(1)木板与墙壁碰撞时, 木板和滑块的瞬时速度各是多大?

(2)木板与墙壁碰撞后, 经过多长时间小滑块停在木板上?

解析 (1)木板获得初速度后, 与小滑块发生相对滑动, 木板向右做匀减速运动, 小滑块向右做匀加

速运动, 加速度大小分别为: $a_m = \frac{F_{fm}}{m} = \mu_2 g = 4 \text{ m/s}^2$ ①

$$a_M = \frac{F_{fm} + F_{f地}}{M} = 5 \text{ m/s}^2 \text{ ②}$$

设木板与墙碰撞时，木板的速度为 v_M ，小滑块的速度为 v_m ，根据运动学公式有： $v_M^2 - v_0^2 = -2a_M L$

③

解得 $v_M = 3 \text{ m/s}$ ④

$$t_1 = \frac{v_M - v_0}{-a_M} = 0.6 \text{ s} \text{⑤}$$

$$v_m = a_m t_1 = 2.4 \text{ m/s} \text{⑥}$$

(2) 设木板反弹后，小滑块与木板达到共同速度所需时间为 t_2 ，共同速度为 v ，以水平向左为正方向，

$$\text{对木板有 } v = v_M - a_M t_2 \text{⑦}$$

$$\text{对滑块有 } v = -v_m + a_m t_2 \text{⑧}$$

代入公式有 $3 - 5t_2 = -2.4 + 4t_2$ ，解得 $t_2 = 0.6 \text{ s}$

答案 (1) 3 m/s 2.4 m/s (2) 0.6 s

专题三 动力学中的图象问题

物理公式与物理图象的结合是一种重要题型，也是高考的重点及热点。

1. 常见的图象有： $v-t$ 图象， $a-t$ 图象， $F-t$ 图象， $F-a$ 图象等。

2. 图象间的联系：加速度是联系 $v-t$ 图象与 $F-t$ 图象的桥梁。

3. 图象的应用

(1) 已知物体在一过程中所受的某个力随时间变化的图线，要求分析物体的运动情况。

(2) 已知物体在一运动过程中速度、加速度随时间变化的图线，要求分析物体的受力情况。

(3) 通过图象对物体的受力与运动情况进行分析。

4. 解题策略

(1) 弄清图象斜率、截距、交点、拐点的物理意义。

(2) 应用物理规律列出与图象对应的函数方程式，进而明确“图象与公式”、“图象与物体”间的关系，以便对有关物理问题作出准确判断。

5. 分析图象问题时常见的误区

(1) 没有看清纵、横坐标所表示的物理量及单位。

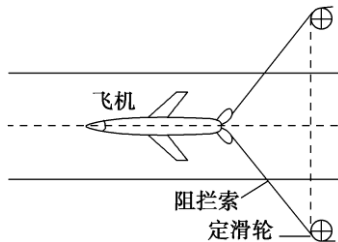
(2) 不注意坐标原点是否从零开始。

(3) 不清楚图线的点、斜率、面积等的物理意义。

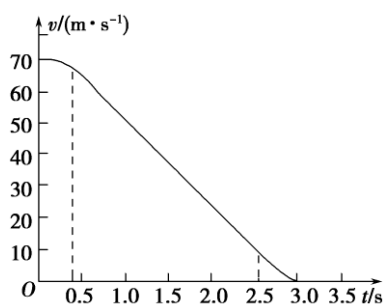
(4) 忽视对物体的受力情况和运动情况的分析。

类型一 $v-t$ 图象的应用

【典例 1】(2013 新课标全国卷 I, 21) 2012 年 11 月，“歼 15” 舰载机在“辽宁号” 航空母舰上着舰成功。图 1 甲为利用阻拦系统让舰载机在飞行甲板上快速停止的原理示意图。飞机着舰并成功钩住阻拦索后，飞机的动力系统立即关闭，阻拦系统通过阻拦索对飞机施加一作用力，使飞机在甲板上短距离滑行后停止。某次降落，以飞机着舰为计时零点，飞机在 $t=0.4 \text{ s}$ 时恰好钩住阻拦索中间位置，其着舰到停止的速度—时间图线如图乙所示。假如无阻拦索，飞机从着舰到停止需要的滑行距离约为 $1\ 000 \text{ m}$ 。已知航母始终静止，重力加速度的大小为 g 。则()。



甲



乙

图 1

- A. 从着舰到停止，飞机在甲板上滑行的距离约为无阻拦索时的 $1/10$
- B. 在 $0.4\text{ s} \sim 2.5\text{ s}$ 时间内，阻拦索的张力几乎不随时间变化
- C. 在滑行过程中，飞行员所承受的加速度大小会超过 $2.5g$
- D. 在 $0.4\text{ s} \sim 2.5\text{ s}$ 时间内，阻拦系统对飞机做功的功率几乎不变

解析 由 $v-t$ 图象面积可知，飞机从着舰到停止发生的位移约为 $x = \frac{1}{2} \times 3 \times 70\text{ m} = 105\text{ m}$ ，即约为无阻拦索时的 $\frac{1}{10}$ ，选项 A 正确；由 $v-t$ 图象斜率知，飞机与阻拦索作用过程中 ($0.4\text{ s} \sim 2.5\text{ s}$ 时)，其 $F_{\text{合}}$ 恒定，在此过程中阻拦索两段间的夹角变小，而合力恒定，则阻拦索张力必减小，选项 B 错误；在 $0.4\text{ s} \sim 2.5\text{ s}$ 时间内，加速度 $a = \frac{67 - 10}{2.1}\text{ m/s}^2 \approx 27.1\text{ m/s}^2 > 2.5g$ ，选项 C 正确；在 $0.4\text{ s} \sim 2.5\text{ s}$ 时间内，阻拦系统对飞机的作用力 $F_{\text{合}}$ 不变，但 v 减小，所以功率减小，选项 D 错误。

答案 AC

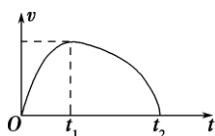


图 2

即学即练 1 (上海卷)受水平外力 F 作用的物体，在粗糙水平面上做直线运动，其 $v-t$ 图线如图 2 所示，则下列说法正确的是()。

- A. 在 $0 \sim t_1$ 时间内，外力 F 大小不断增大
- B. 在 t_1 时刻，外力 F 为零
- C. 在 $t_1 \sim t_2$ 时间内，外力 F 大小可能不断减小
- D. 在 $t_1 \sim t_2$ 时间内，外力 F 大小可能先减小后增大

解析 $0 \sim t_1$ 时间内，物体先做匀加速直线运动，然后做加速度减小的加速运动，由 $F_1 - F_f = ma_1$ ， a_1 先恒定不变后减小，可知外力先恒定不变后不断减小，A 错；由图线斜率可知 t_1 时刻的加速度为零，故外力大小等于摩擦力大小，B 错； $t_1 \sim t_2$ 时间内，物体做加速度增大的减速运动，若外力方向与物体运动方向相同，由 $F_f - F_2 = ma_2$ ， a_2 增大，可知外力逐渐减小，若外力方向与物体运动方向相反，由 $F_f + F_3 = ma_2$ ， a_2 增大，可知外力逐渐增大，又由于在 t_1 时刻，外力 F 大小等于摩擦力 F_f 的大小，所以 F 可能先与物体运动方向相同，大小逐渐减小，减小到 0 后再反向逐渐增大，故 C、D 对。

答案 CD

类型二 $F-t$ 或 $a-t$ 和 $v-t$ 图象的综合应用

【典例 2】一个物块置于粗糙的水平地面上，受到的水平拉力 F 随时间 t 变化的关系如图 3(a) 所示，速度 v 随时间 t 变化的关系如图(b)所示。取 $g = 10\text{ m/s}^2$ ，求：

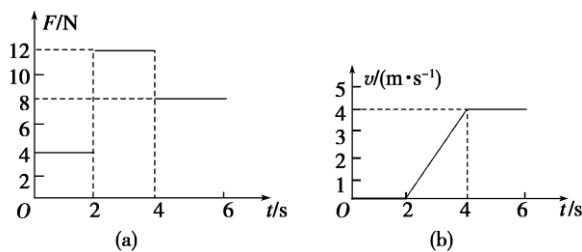


图 3

- (1) 1 s 末物块所受摩擦力的大小 F_{f1} ;
 (2) 物块在前 6 s 内的位移大小 x ;
 (3) 物块与水平地面间的动摩擦因数 μ .

解析 (1) 从题图(a)中可以读出, 当 $t=1$ s 时, $F_{f1} = F_1 = 4$ N

(2) 由题图(b)知物块在前 6 s 内的位移大小 $x = \frac{(2+4) \times 4}{2}$ m = 12 m

(3) 从题图(b)中可以看出, 在 $t=2$ s 至 $t=4$ s 的过程中, 物块做匀加速运动, 加速度大小为 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{4}{2}$ $\text{m/s}^2 = 2$ m/s^2

由牛顿第二定律得 $F_2 - \mu mg = ma$, $F_3 = F_{f3} = \mu mg$

所以 $m = \frac{F_2 - F_3}{a} = \frac{12 - 8}{2}$ kg = 2 kg, $\mu = \frac{F_3}{mg} = \frac{8}{2 \times 10} = 0.4$

答案 (1) 4 N (2) 12 m (3) 0.4

即学即练 2 用一水平力 F 拉静止在水平面上的物体, 在 F 从 0 开始逐渐增大的过程中, 加速度 a 随外力 F 变化的图象如图 4 所示, $g=10$ m/s^2 , 则可以计算出().

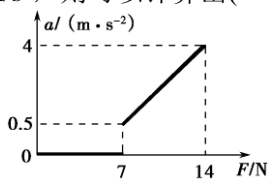


图 4

- A. 物体与水平面间的最大静摩擦力
 B. F 为 14 N 时物体的速度
 C. 物体与水平面间的动摩擦因数
 D. 物体的质量

解析 由 $a - F$ 图象可知, 拉力在 7 N 之前加速度都是 0, 因此可知最大静摩擦力为 7 N, 选项 A 正确; 再由图象可知, 当 $F=7$ N 时, 加速度为 0.5 m/s^2 , 当 $F=14$ N 时, 加速度为 4 m/s^2 , 即 $F_1 - \mu mg = ma_1$, $F_2 - \mu mg = ma_2$, 可求得动摩擦因数及物体的质量, 选项 C、D 正确; 物体运动为变加速运动, 且不知随时间如何变化, 则不能算出拉力为 14 N 时物体的速度, 选项 B 错误.

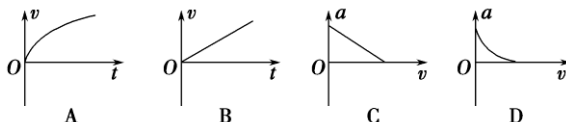
答案 ACD

专题强化练三

A 对点训练——练熟基础知识

题型一 $x-t$ 、 $v-t$ 、 $a-t$ 图象问题

1. (多选) 在一次救灾行动中, 直升机悬停在空中向地面无初速投放救灾物品, 物品所受的空气阻力与其下落的速率成正比. 若用 v 、 a 、 t 分别表示物品的速率、加速度的大小和运动的时间, 则在物品下落过程中, 下图中表示其 $v-t$ 和 $a-v$ 关系的图象可能正确的是().



解析 由牛顿第二定律可得： $mg - F_f = ma$ ，又 $F_f = kv$ ，故得： $a = g - \frac{k}{m}v$ ，可见 C 正确，D 错误，

又由于 a 逐渐减小，故 A 正确，B 错误。

答案 AC

2. (多选)某同学站在电梯地板上，利用速度传感器和计算机研究一观光电梯升降过程中的情况，如图 5 所示的 $v-t$ 图象是计算机显示的观光电梯在某一段时间内的速度变化情况(向上为正方向)。根据图象提供的信息，可以判断下列说法中正确的是()。

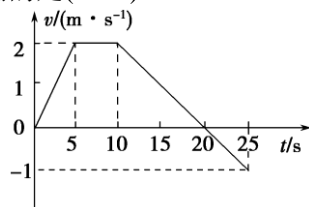


图 5

- A. 0~5 s 内，观光电梯在加速上升，该同学处于失重状态
- B. 5~10 s 内，该同学对电梯地板的压力等于他所受的重力
- C. 10~20 s 内，观光电梯在加速下降，该同学处于失重状态
- D. 20~25 s 内，观光电梯在加速下降，该同学处于失重状态

解析 0~5 s 内，观光电梯在加速上升，加速度方向向上，该同学处于超重状态，选项 A 错误；5~10 s 内，观光电梯匀速上升，该同学对电梯地板的压力等于他所受的重力，选项 B 正确；10~20 s 内，观光电梯在减速上升，加速度方向向下，该同学处于失重状态，选项 C 错误；20~25 s 内，观光电梯在加速下降，加速度方向向下，该同学处于失重状态，选项 D 正确。

答案 BD

3. (2013 江西联考)(多选)如图 6 所示，质量为 m_1 的足够长的木板静止在光滑水平面上，其上放一质量为 m_2 的木块。 $t=0$ 时刻起，给木块施加一水平恒力 F 。分别用 a_1 、 a_2 和 v_1 、 v_2 表示木板、木块的加速度和速度大小，图中可能符合运动情况的是()。

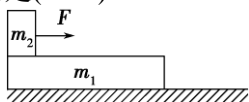
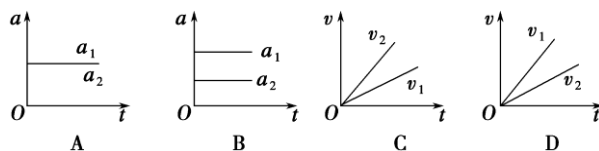


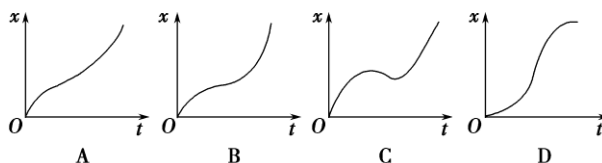
图 6



解析 $t=0$ 时刻起，给木块施加一水平恒力 F ，两者可能一起加速运动，选项 A 正确；可能木块的加速度大于木板的加速度，选项 C 正确。

答案 AC

4. (2013 上海卷, 16)(单选)汽车以恒定功率沿公路做直线运动，途中通过一块沙地。汽车在公路及沙地上所受阻力均为恒力，且在沙地上受到的阻力大于在公路上受到的阻力。汽车在驶入沙地前已做匀速直线运动，它在驶入沙地到驶出沙地后的一段时间内，位移 x 随时间 t 的变化关系可能是()。

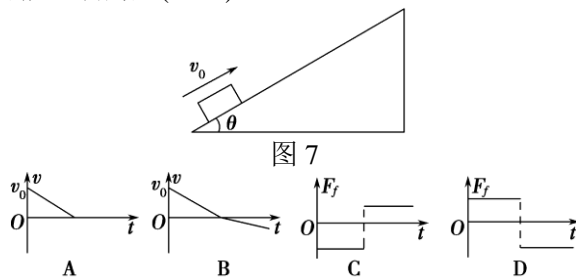


解析 在驶入沙地后，由于阻力增大，速度减小，驶出沙地后阻力减小，速度增大，在驶入沙地到驶出沙地后的一段时间内，位移 x 随时间 t 的变化关系可能是 B。

答案 B

题组二 $F-t$ 及其他图象问题

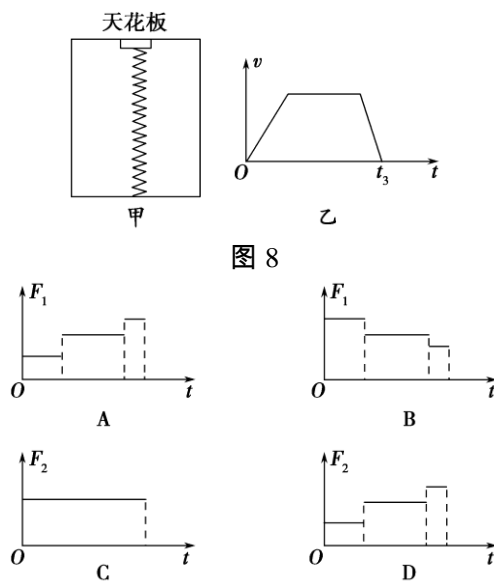
5. (多选)如图 7 所示, 质量为 m 的小物块以初速度 v_0 沿足够长的固定斜面上滑, 斜面倾角为 θ , 物块与该斜面间的动摩擦因数 $\mu > \tan \theta$, 图中表示该物块的速度 v 和所受摩擦力 F_f 随时间 t 变化的图线(以初速度 v_0 的方向为正方向), 可能正确的是().



解析 物块的运动情况是先向上做减速运动, 所受滑动摩擦力为 $\mu mg \cos \theta$, 方向沿斜面向下, 达到最高点后由于 $\mu > \tan \theta$ 即 $mg \sin \theta < \mu mg \cos \theta$, 滑块不会向下滑动, 而是保持静止, 静摩擦力的大小等于重力的下滑分力 $mg \sin \theta$, 小于上滑时的摩擦力 $\mu mg \cos \theta$, 所以 A、C 正确.

答案 AC

6. (多选)如图 8 甲所示, 在一升降机内, 一物块被一轻质弹簧紧压在天花板上, 弹簧的下端固定在升降机的地板上, 弹簧保持竖直. 在升降机运行过程中, 物块未曾离开升降机的天花板. 当升降机按如图乙所示的 $v-t$ 图象上行时, 可知升降机天花板所受压力 F_1 和地板所受压力 F_2 随时间变化的定性图象可能正确的是().



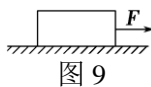
解析 由题意知, 弹簧长度不变, 且对物块向上的弹力不变, 设为 kx , 则 F_2 不变, C 项对, D 项错. 对物块受力分析有: $kx - mg - F_N = ma$ ($F_1 = F_N$, 作用力与反作用力)

由 $v-t$ 图知, 加速时, $F_1 = F_N = kx - mg - ma$

匀速时, $F_1 = F_N = kx - mg$

减速时: $F_1 = F_N = kx - mg + ma$, 故 A 项对, B 项错. 正确选项为 A、C.

答案 AC



7. (2013 浙江卷, 17)(单选)如图 9 所示, 水平木板上有质量 $m=1.0 \text{ kg}$ 的物块, 受到随时间 t 变化的水平拉力 F 作用, 用力传感器测出相应时刻物块所受摩擦力 F_f 的大小如图 10 所示. 取重力加速度 $g=10 \text{ m/s}^2$, 下列判断正确的是().

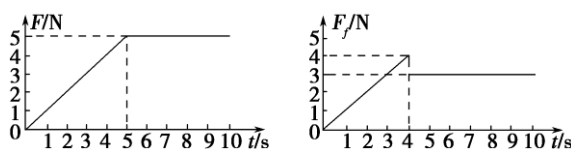


图 10

- A. 5 s 内拉力对物块做功为零
- B. 4 s 末物块所受合力大小为 4.0 N
- C. 物块与木板之间的动摩擦因数为 0.4
- D. 6 s~9 s 内物块的加速度大小为 2.0 m/s²

解析 由图象知物块前 4 s 静止, 4 s~5 s 内物块做加速运动, 前 5 s 内拉力对物块做功不为零, 故 A 选项错误; 4 s 末物块静止, 所受合力为零, B 选项错误; 由 4 s 之后的运动情况判断其受滑动摩擦力

$F_f = \mu mg = 3 \text{ N}$, 得 $\mu = 0.3$, C 选项错误; 由牛顿第二定律可知 4 s 后物块的加速度 $a = \frac{F - F_f}{m} = 2 \text{ m/s}^2$, D 选项正确.

答案 D

8. (单选)如图 11 甲所示, 静止在光滑水平面上的长木板 B(长木板足够长)的右端放着小物块 A, 某时刻 B 受到水平向右的外力 F 作用, F 随时间 t 的变化规律如图乙所示, 即 $F = kt$, 其中 k 为已知常数. 若物体之间的滑动摩擦力 F_f 的大小等于最大静摩擦力, 且 A、B 的质量相等, 则下列图中可以定性描述物块 A 的 $v-t$ 图象的是().

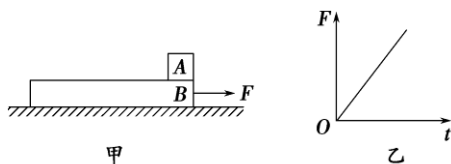
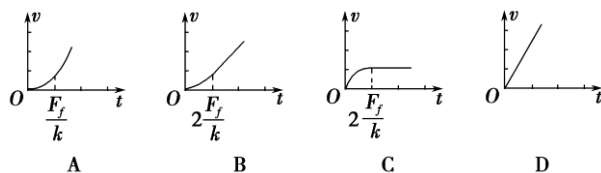


图 11



解析 刚开始, 外力 F 较小, 两物体保持相对静止, 加速度大小为 $a = \frac{F}{2m} = \frac{kt}{2m}$, 可见, 加速度 a 的大小随着时间 t 逐渐增大, 对应的 $v-t$ 图线的斜率逐渐增大, C、D 错误; 随着时间 t 的增大, 外力 F 增大, 当物块和木板之间的摩擦力大小达到最大静摩擦力时, 物块 A 与木板 B 发生相对运动, 此时有 $F_f = ma$, $F - F_f = ma$, 解得 $F = 2F_f$, 即 $kt = 2F_f$, 可见 $t > \frac{2F_f}{k}$ 后物块将在大小恒定的摩擦力的作用下做匀加速直线运动, 其对应的 $v-t$ 图线是倾斜的直线, A 错误、B 正确.

答案 B

B 深化训练——提高能力技巧

9. (单选)物体的运动情况或所受合外力的情况如图 12 所示, 四幅图的图线都是直线, 从图中可以判断这四个质量一定的物体的某些运动特征. 下列说法正确的是().

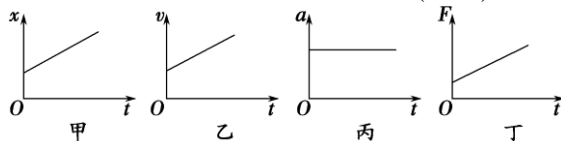


图 12

- A. 甲物体受到不为零、且恒定的合外力
- B. 乙物体受到的合外力越来越大

- C. 丙物体受到的合外力为零
D. 丁物体的加速度越来越大

解析 甲物体做匀速直线运动，合外力为零，选项 A 错误。乙物体做匀加速运动，合外力恒定，且不为零，选项 B 错误。丙物体做匀加速运动，合外力恒定且不为零，选项 C 错误。丁物体所受合外力越来越大，加速度越来越大，选项 D 正确。

答案 D

10. 如图 13 甲所示，固定光滑细杆与水平地面成一定倾角，在杆上套有一个光滑小环，小环在沿杆方向向上的推力 F 作用下向上运动。0~2 s 内推力的大小为 5.0 N，2~4 s 内推力的大小变为 5.5 N，小环运动的速度随时间变化的规律如图 13 乙所示，重力加速度 g 取 10 m/s^2 。求：

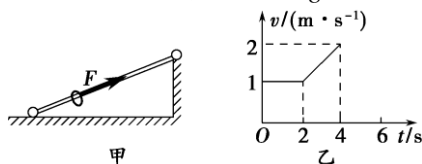


图 13

- (1) 小环在加速运动时的加速度 a 的大小；
(2) 小环的质量 m ；
(3) 细杆与水平地面之间的夹角 α 。

解析 (1) 由速度图象可以求出小环在加速运动时的加速度大小为 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2 - 1}{4 - 2} \text{ m/s}^2 = 0.5 \text{ m/s}^2$ 。

(2) 设细杆与水平地面的夹角为 α ，0~2 s 内，小环速度不变，处于平衡状态，所受的合力为零，沿杆方向由平衡条件可得 $F_1 - mg \sin \alpha = 0$ ，在 2~4 s 内，对小环应用牛顿第二定律可得 $F_2 - mg \sin \alpha = ma$ ，代入数据联立解得小环的质量为 $m = 1 \text{ kg}$ 。

(3) 因为 $\sin \alpha = \frac{F_1}{mg} = \frac{5.0}{1 \times 10} = 0.5$ ，所以 $\alpha = 30^\circ$ 。

答案 (1) 0.5 m/s^2 (2) 1 kg (3) 30°

11. (2013 黄冈联考) 如图 14 甲所示，质量 $m = 2 \text{ kg}$ 的物体在水平面上向右做直线运动。过 a 点时给物体一个水平向左的恒力 F 并开始计时，选水平向右为速度的正方向，通过速度传感器测出物体的瞬时速度，所得 $v-t$ 图象如图乙所示。取重力加速度为 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求：

- (1) 力 F 的大小和物体与水平面间的动摩擦因数 μ ；
(2) 10 s 末物体离 a 点的距离。

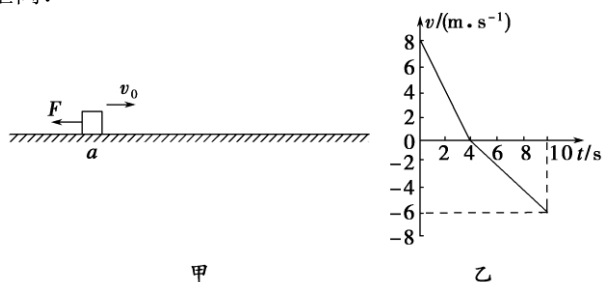


图 14

解析 (1) 设物体向右做匀减速直线运动的加速度为 a_1 ，则由 $v-t$ 图象得 $a_1 = 2 \text{ m/s}^2$ ①

根据牛顿第二定律，有 $F + \mu mg = ma_1$ ②

设物体向左做匀加速直线运动的加速度为 a_2 ，则由 $v-t$ 图象得 $a_2 = 1 \text{ m/s}^2$ ③

根据牛顿第二定律，有 $F - \mu mg = ma_2$ ④

联立①②③④式得 $F = 3 \text{ N}$ ， $\mu = 0.05$

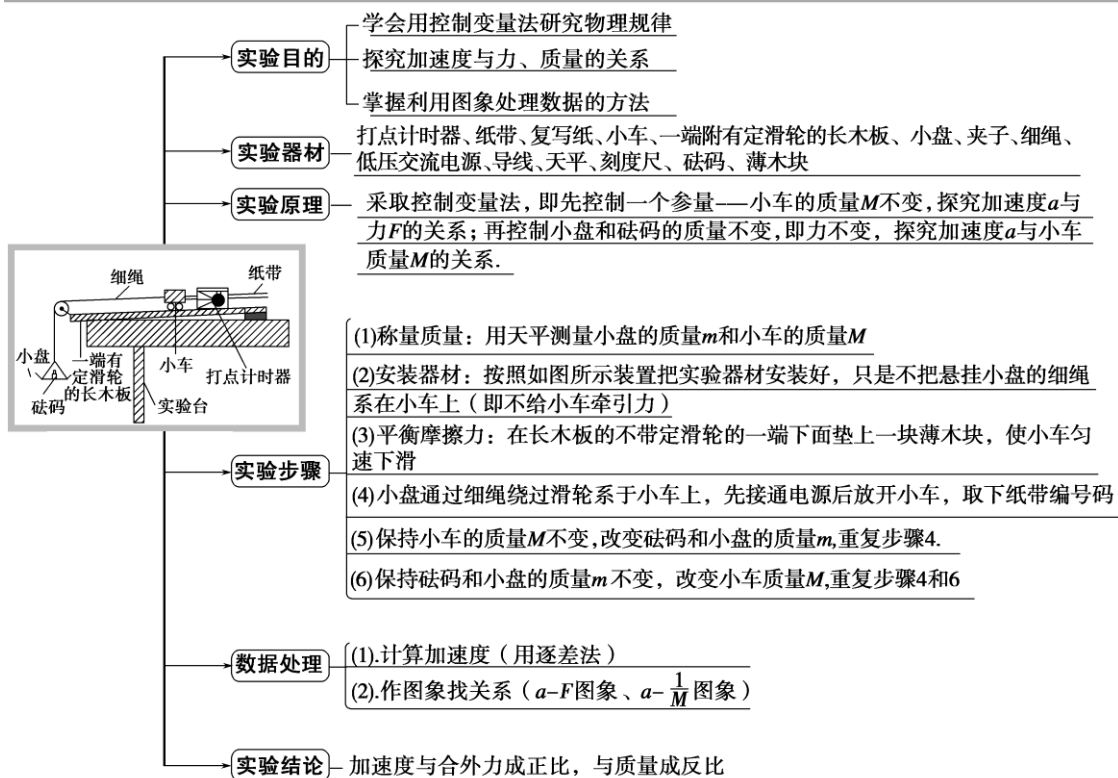
(2) 设 10 s 末物体离 a 点的距离为 d ， d 应为 $v-t$ 图象与横轴所围的面积，则 $d = -2 \text{ m}$ 负号表示物体在 a 点左侧。

答案 (1)3 N 0.05 (2)2 m, a 点左侧

实验四 验证牛顿运动定律

基本实验要求

必考必会 必记必做



注意事项

1. 实验方法:控制变量法.
2. 平衡摩擦力:在平衡摩擦力时,不要悬挂小盘,但小车应连着纸带且接通电源.用手给小车一个初速度,如果在纸带上打出的点的间隔是均匀的,表明小车受到的阻力跟它的重力沿斜面向下的分力平衡.
3. 不重复平衡摩擦力:平衡了摩擦力后,不管以后是改变小盘和砝码的总质量还是改变小车和砝码的总质量,都不需要重新平衡摩擦力.
4. 实验条件: $M \gg m$ 只有如此,小盘和砝码的总重力才视为小车受到的拉力.
5. 一先一后一按住:改变拉力和小车质量后,每次开始时小车应尽量靠近打点计时器,并应先接通电源,后放开小车,且应在小车到达滑轮前按住小车.
6. 作图:作图时两轴标度比例要适当.各量须采用国际单位.这样作图线时,坐标点间距不至于过密,误差会小些.

误差分析

1. 因实验原理不完善引起误差.以小车、小盘和砝码整体为研究对象得 $mg = (M+m)a$; 以小车为研究对象得 $F = Ma$; 求得

$$F = \frac{M}{M+m} mg = \frac{1}{1+\frac{m}{M}} mg < mg$$

本实验用小盘和砝码的总重力 mg 代替小车的拉力,而实际上小车所受的拉力要小于小盘和砝码的总重力.小盘和砝码的总质量越小于小车的质量,由此引起的误差就越小.因此,满足小盘和砝码的总质量远小于小车的质量的目的是减小因实验原理不完善而引起的误差.

2. 摩擦力平衡不准确、质量测量不准确、计数点间距测量不准确、纸带和细绳不严格与木板平行都会引起误差.

实验热点聚焦

考向预测 热点聚焦

热点一 实验原理与操作

【典例 1】(2012 安徽高考 21·1)图 1 为“验证牛顿第二定律”的实验装置示意图. 砂和砂桶的总质量为 m , 小车和砝码的总质量为 M . 实验中用砂和砂桶总重力的大小作为细线对小车拉力的大小.

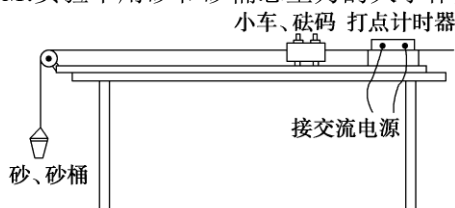


图 1

(1) 实验中, 为了使细线对小车的拉力等于小车所受的合外力, 先调节长木板一端滑轮的高度, 使细线与长木板平行. 接下来还需要进行的一项操作是().

A. 将长木板水平放置, 让小车连着已经穿过打点计时器的纸带, 给打点计时器通电, 调节 m 的大小, 使小车在砂和砂桶的牵引下运动, 从打出的纸带判断小车是否做匀速运动

B. 将长木板的一端垫起适当的高度, 让小车连着已经穿过打点计时器的纸带, 撤去砂和砂桶, 给打点计时器通电, 轻推小车, 从打出的纸带判断小车是否做匀速运动

C. 将长木板的一端垫起适当的高度, 撤去纸带以及砂和砂桶, 轻推小车, 观察判断小车是否做匀速运动

(2) 实验中要进行质量 m 和 M 的选取, 以下最合理的一组是().

A. $M=200\text{ g}$, $m=10\text{ g}$ 、 15 g 、 20 g 、 25 g 、 30 g 、 40 g

B. $M=200\text{ g}$, $m=20\text{ g}$ 、 40 g 、 60 g 、 80 g 、 100 g 、 120 g

C. $M=400\text{ g}$, $m=10\text{ g}$ 、 15 g 、 20 g 、 25 g 、 30 g 、 40 g

D. $M=400\text{ g}$, $m=20\text{ g}$ 、 40 g 、 60 g 、 80 g 、 100 g 、 120 g

(3) 图 2 是实验中得到的一条纸带, A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 、 G 为 7 个相邻的计数点, 相邻的两个计数点之间还有四个点未画出. 量出相邻的计数点之间的距离分别为: $x_{AB}=4.22\text{ cm}$ 、 $x_{BC}=4.65\text{ cm}$ 、 $x_{CD}=5.08\text{ cm}$ 、 $x_{DE}=5.49\text{ cm}$ 、 $x_{EF}=5.91\text{ cm}$ 、 $x_{FG}=6.34\text{ cm}$. 已知打点计时器的工作频率为 50 Hz , 则小车的加速度 $a=$ _____ m/s^2 . (结果保留二位有效数字).

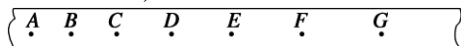


图 2

解析 (1) 小车在运动过程中受到重力、支持力、纸带的拉力、木板对小车的摩擦力和细线拉力的作用. 为了使细线对小车的拉力等于小车所受的合力, 因此应把木板的一端垫起适当的高度, 以使重力、支持力、纸带的拉力和摩擦力的合力为零, 即小车做匀速运动, 因此在进行这一操作时, 不应挂砂桶, 小车应连接纸带, A、C 项错误; B 项正确.

(2) 由于绳子的拉力不易测量, 本实验中用砂和砂桶的总重力来代替绳的拉力, 而砂桶做加速运动, 设加速度大小为 a , 则 $F_T = m(g - a)$, 当砂桶的加速度很小时, F_T 近似等于 mg , 因此实验中应控制实验条件, 使砂桶的加速度很小. 只有当小车的质量远大于砂和砂桶的总质量时, 小车和砂桶的加速度才很小, 绳的拉力才近似等于砂和砂桶的总重力. C 项正确.

(3) 相邻两计数点间的时间 $T=0.1\text{ s}$, 由 $\Delta x = aT^2$ 可得 $a = \frac{(x_{FG} + x_{EF} + x_{DE}) - (x_{CD} + x_{BC} + x_{AB})}{(3T)^2}$, 代入数

据解得 $a = 0.42\text{ m/s}^2$.

答案 (1)B (2)C (3)0.42

【跟踪短训】

1. 如图 3 所示, 为某同学安装的“验证牛顿第二定律”的实验装置, 在小车的前端固定一个传感器, 和砂桶连接的细线接在传感器上, 通过传感器可显示出细线的拉力. 在图示状态下开始做实验.

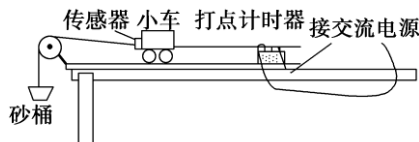


图 3

(1)从图上可以看出,该同学在装置和操作中的主要错误是_____

(2)若砂和砂桶的质量为 m , 小车和传感器的总重量为 M , 做好此实验_____ (填“需要”或“不需要”) $M \gg m$ 的条件.

解析 (2)不加传感器时将砂和砂桶的重力作为细线的拉力,而接了传感器后细线的拉力可以直接读出.

答案 (1)未平衡摩擦力;细线与木板不平行;开始实验时,小车离打点计时器太远 (2)不需要

热点二 实验数据处理与误差分析

【典例 2】某实验小组在实验室探究加速度和力、质量的关系.

(1)甲同学在小车所受合外力不变时,改变小车的质量,得到数据如下表所示:

实验次数	小车质量 m/kg	小车加速度 $a/(\text{m/s}^2)$	小车质量的倒数 $\frac{1}{m}/\text{kg}^{-1}$
1	0.20	0.78	5.00
2	0.40	0.38	2.50
3	0.60	0.25	1.67
4	0.80	0.20	1.25
5	1.00	0.16	1.00

a.根据表中数据,在图 4 甲的坐标系中描出相应的实验数据点,并作出 $a-\frac{1}{m}$ 图象.

b. 由 $a-\frac{1}{m}$ 图象,可得出的结论为_____.

c. 小车受到的合力大约为_____. (结果保留两位有效数字)

(2)乙同学在保持小车质量不变的情况下,通过多次改变对小车的拉力,由实验数据作出的 $a-F$ 图象如图乙所示,图线不过原点的原因是_____, 小车的质量为_____ kg.(保留两位有效数字)

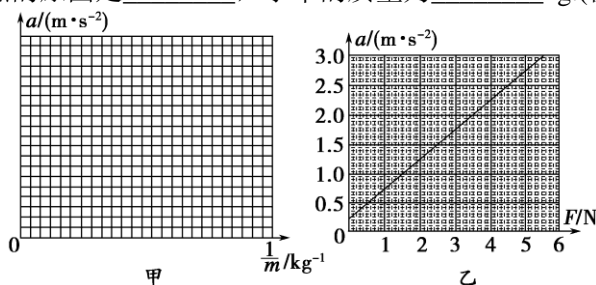


图 4

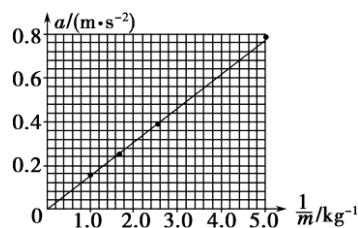
解析 (1)c.由牛顿第二定律 $F = ma$ 得 $a = \frac{F}{m}$,即图线的斜率等于小车所受的合力,大小为 $F = \frac{0.76}{4.88}$

$\text{N} = 0.16 \text{ N}$.

(2)由图象可知拉力等于零时,小车加速度不等于零,故木板倾角过大;由牛顿第二定律 $F = ma$ 得 $a = F \frac{1}{m}$,即图线的斜率等于小车质量的倒数,小车质量大小为 $m = \frac{4}{2.25 - 0.25} \text{ kg} = 2.0 \text{ kg}$.

答案 (1)a. $a-\frac{1}{m}$ 图象如图所示 b. 在物体受外力不变时,物体的加速度与质量成反比

C. 0.16 N



(2)木板倾角过大 2.0

【跟踪短训】

2. 某组同学设计了“探究加速度 a 与物体所受合力 F 及质量 m 的关系”实验. 图 5 甲为实验装置简图, A 为小车, B 为电火花计时器, C 为装有细砂的小桶, D 为一端带有定滑轮的长方形木板, 实验中认为细绳对小车拉力 F 等于细砂和小桶的总重量, 小车运动的加速度 a 可用纸带上打出的点求得.

(1)图 5 乙为某次实验得到的纸带, 已知实验所用电源的频率为 50 Hz. 根据纸带可求出电火花计时器打 B 点时的速度为_____m/s, 小车的加速度大小为_____m/s². (结果均保留两位有效数字)

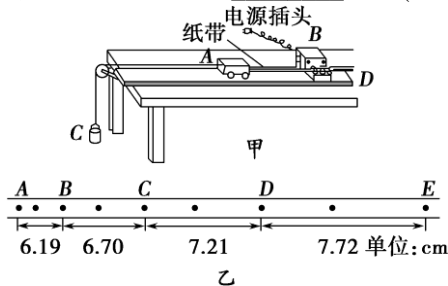


图 5

(2)在“探究加速度 a 与质量 m 的关系”时, 某同学按照自己的方案将实验数据都在坐标系中进行了标注, 但尚未完成图象(如图 6 甲所示). 请继续帮助该同学作出坐标系中的图象.

(3)在“探究加速度 a 与合力 F 的关系”时, 该同学根据实验数据作出了加速度 a 与合力 F 的图线如图 6 乙所示, 该图线不通过坐标原点, 试分析图线不通过坐标原点的原因.

答: _____.

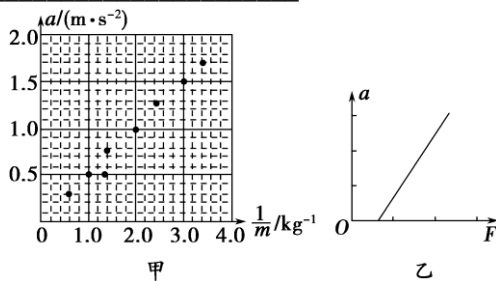


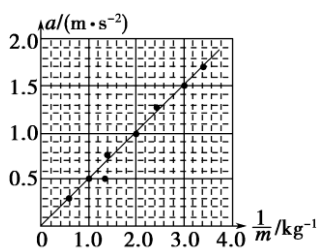
图 6

解析 (1)AC 这段位移的平均速度等于 AC 这段时间中间时刻的瞬时速度, 即 B 点的瞬时速度, 故

$$v_B = \frac{AB + BC}{4T} = \frac{(6.19 + 6.70) \times 10^{-2}}{4 \times 0.02} \text{ m/s} = 1.6 \text{ m/s}.$$

由逐差法求解小车的加速度,

$$\begin{aligned} a &= \frac{(CD + DE) - (AB + BC)}{4(2T)^2} \\ &= \frac{(7.21 + 7.72 - 6.19 - 6.70) \times 10^{-2}}{4 \times (2 \times 0.02)^2} \text{ m/s}^2 = 3.2 \text{ m/s}^2. \end{aligned}$$



(2)将坐标系中各点连成一条直线,连线时应使直线过尽可能多的点,不在直线上的点应大致对称分布在直线的两侧,离直线较远的点应视为错误数据,不予考虑,连线如图所示:

(3)图线与横轴有截距,说明实验前没有平衡摩擦力或平衡摩擦力不够.

答案 (1)1.6 3.2 (2)见解析 (3)实验前没有平衡摩擦力或平衡摩擦力不够

拓展创新实验

创新拓展 自主探究

探究高考命题视角

以本实验为背景,通过改变实验条件、实验仪器设置题目,不脱离教材而又不拘泥教材,体现开放性、探究性、设计性等特点.

视角1 实验器材的改进

用气垫导轨 $\xrightarrow{\text{替代}}$ 长木板

视角2 数据处理方法的改进

小车的加速度可以利用传感器,借助于计算机来处理

视角3 实验方案的改进

用气垫导轨和两个光电门来完成此实验

视角4 以本实验为背景,结合牛顿第二定律,测量两接触面间的动摩擦因数

【典例3】(2013新课标全国卷I,22)图7为测量物块与水平桌面之间动摩擦因数的实验装置示意图.实验步骤如下:

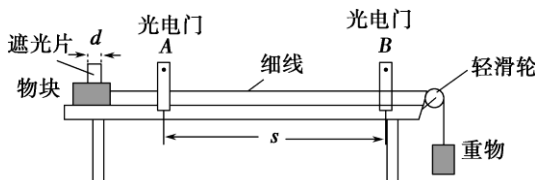


图7

①用天平测量物块和遮光片的总质量 M 、重物的质量 m ,用游标卡尺测量遮光片的宽度 d ;用米尺测量两光电门之间的距离 s ;

②调整轻滑轮,使细线水平;

③让物块从光电门A的左侧由静止释放,用数字毫秒计分别测出遮光片经过光电门A和光电门B所用的时间 Δt_A 和 Δt_B ,求出加速度 a ;

④多次重复步骤③,求 a 的平均值 \bar{a} ;

⑤根据上述实验数据求出动摩擦因数 μ .

回答下列问题:

(1)测量 d 时,某次游标卡尺(主尺的最小分度为 1 mm)的示数如图8所示,其读数为_____ cm.

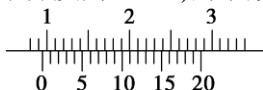


图8

(2)物块的加速度 a 可用 d 、 s 、 Δt_A 和 Δt_B 表示为 $a = \underline{\hspace{2cm}}$.

(3)动摩擦因数 μ 可用 M 、 m 、 \bar{a} 和重力加速度 g 表示为 $\mu = \underline{\hspace{2cm}}$.

(4)如果细线没有调整到水平,由此引起的误差属于_____ (选填“偶然误差”或“系统误差”).

解析 (1) $d = 0.9 \text{ cm} + 12 \times 0.05 \text{ mm} = 0.9 \text{ cm} + 0.060 \text{ cm} = 0.960 \text{ cm}$.

(2) 由 $v = \frac{\Delta x}{t}$ 得, $v_A = \frac{d}{\Delta t_A}$, $v_B = \frac{d}{\Delta t_B}$, 物块做匀加速直线运动, 则 $v_B^2 - v_A^2 = 2ax$, 即 $\left(\frac{d}{\Delta t_B}\right)^2 - \left(\frac{d}{\Delta t_A}\right)^2 = 2as$, 得 $a = \frac{1}{2s} \left[\left(\frac{d}{\Delta t_B}\right)^2 - \left(\frac{d}{\Delta t_A}\right)^2 \right]$.

(3) 整体运用牛顿第二定律得: $mg - \mu Mg = (M + m) \overline{a}$, 则 $\mu = \frac{mg - (M + m) \overline{a}}{Mg}$.

(4) 由实验装置引起的误差为系统误差.

答案 (1) 0.960 (2) $\frac{1}{2s} \left[\left(\frac{d}{\Delta t_B}\right)^2 - \left(\frac{d}{\Delta t_A}\right)^2 \right]$

(3) $\frac{mg - (M + m) \overline{a}}{Mg}$ (4) 系统误差

【探究跟踪】

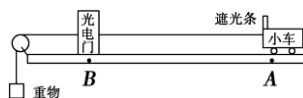


图 9

如图 9 所示是某同学探究小车加速度与力的关系的实验装置, 他将光电门固定在水平轨道上的 B 点, 用不同重物通过细线拉同一小车, 每次小车都从同一位置 A 由静止释放.

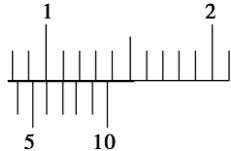


图 10

(1) 若用 10 分度的游标卡尺测出遮光条的宽度 d , 如图 10 所示, 则宽度为 _____ mm, 实验时将小车从图示位置由静止释放, 由数字计时器读出遮光条通过光电门的时间 Δt , 则小车经过光电门时的速度为 $v = \underline{\hspace{2cm}}$ (用字母表示).

(2) 测出多组重物的质量 m 和对应遮光条通过光电门的时间 Δt , 通过描点作出线性图象, 研究小车加速度与力的关系. 处理数据时应作出 _____ 图象.

A. $\Delta t - m$

B. $\Delta t^2 - m$

C. $\frac{1}{\Delta t} - m$

D. $\frac{1}{\Delta t^2} - m$

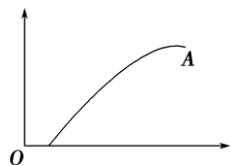


图 11

(3) 有一位同学通过实验测量作出的图线如图 11 所示, 试分析

① 图线不通过坐标原点的原因是 _____;

② 图线上部弯曲的原因是 _____.

解析 (1) 由题图可知第 7 条刻度线与主尺刻度线对齐, 游标卡尺读数为 $1.1 \text{ cm} - 7 \times 0.9 \text{ mm} = 4.7 \text{ mm}$, 由于遮光条的宽度较小, 所以遮光条通过光电门的平均速度等于物体的瞬时速度, 即 $v = \frac{d}{\Delta t}$.

(2) 由 $2as = v^2$, 得 $2as = \left(\frac{d}{\Delta t}\right)^2$, 即 $a \propto \frac{1}{\Delta t^2}$, 又因为 $F = mg$, 所以研究小车加速度与力的关系处理数据时应作出 $\frac{1}{\Delta t^2} - m$ 图象.

(3) 见答案.

答案 (1) $4.7 \frac{d}{\Delta t}$ (2) D

(3) ① 图象与横轴有交点, 说明在外力比较小时小车没有加速度, 因此说明实验前没有平衡摩擦力或

平衡摩擦力不足

②由实验原理知： $mg=(M+m)a$ ， $a=\frac{mg}{M+m}$ ，由 $v^2=2as$ 得 $a=\frac{d^2}{2s\Delta t^2}$ ，所以 $\frac{1}{\Delta t^2}=\frac{2s}{d^2(M+m)}mg$ ，可见当 m 较大而不满足 $M \gg m$ 时图象斜率会明显减小

随堂达标演练

通关达标 技能提升

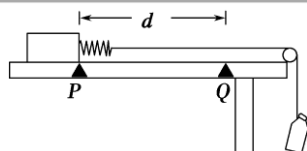
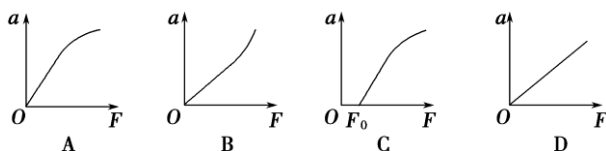


图 12

1. 某同学设计了如图 12 所示的装置来探究加速度与力的关系. 弹簧秤固定在一合适的木块上, 桌面的右边缘固定一个光滑的定滑轮, 细绳的两端分别与弹簧秤的挂钩和矿泉水瓶连接. 在桌面上画出两条平行线 P 、 Q , 并测出间距 d . 开始时将木块置于 P 处, 现缓慢向瓶中加水, 直到木块刚刚开始运动为止, 记下弹簧秤的示数 F_0 , 以此表示滑动摩擦力的大小. 再将木块放回原处并按住, 继续向瓶中加水后, 记下弹簧秤的示数 F , 然后释放木块, 并用秒表记下木块从 P 运动到 Q 处的时间 t .

(1)木块的加速度可以用 d 和 t 表示为 $a=$ _____.

(2)改变瓶中水的质量重复实验, 确定加速度 a 与弹簧秤示数 F 的关系. 下图中能表示该同学实验结果的是_____.



(3)用加水的方法改变拉力的大小与挂钩码的方法相比, 它的优点是_____.

- A. 可以改变滑动摩擦力的大小
- B. 可以更方便地获取更多组实验数据
- C. 可以更精确地测出摩擦力的大小
- D. 可以获得更大的加速度以提高实验精度

解析 (1)由 $d=\frac{1}{2}at^2$ 可得： $a=\frac{2d}{t^2}$.

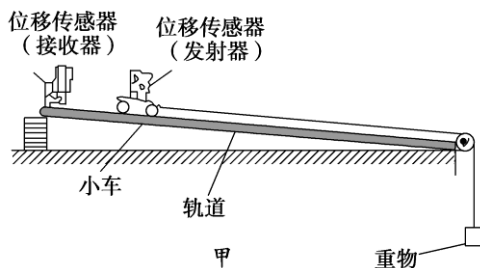
(2)由牛顿第二定律可知， $F - F_0 = ma$ ，

由 $a=\frac{1}{m}F - \frac{F_0}{m}$ ，C 选项正确.

(3)挂钩码的方法不能连续改变细绳拉力大小, 因此不能准确测出摩擦力的大小, 也不利于获得多组测量数据, 故 B、C 正确.

答案 (1) $\frac{2d}{t^2}$ (2)C (3)BC

2. 在用 DIS 研究小车加速度与外力的关系时, 某实验小组采用如图 13 甲所示的实验装置. 重物通过滑轮用细线拉小车, 位移传感器(发射器)随小车一起沿倾斜轨道运动, 位移传感器(接收器)固定在轨道一端. 实验中把重物的重力作为拉力 F , 改变重物重力重复实验四次, 列表记录四组数据.



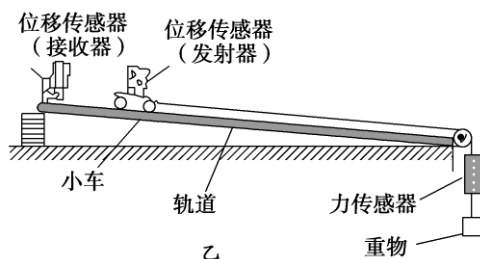


图 13

$a/(m\ s^{-2})$	2.01	2.98	4.02	6.00
F/N	1.00	2.00	3.00	5.00

- (1) 实验中使用位移传感器和计算机，可以便捷地获取信息和处理信息，所获取的信息是_____。
 (2) 在如图 14 坐标纸上作出小车加速度 a 和拉力 F 的关系图线。

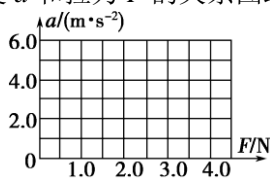


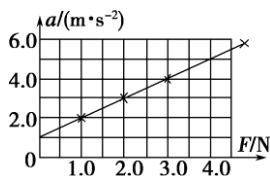
图 14

- (3) 从所得图线分析该实验小组在操作过程中的不当之处是：

(4) 如果实验时，在小车和重物之间接一个不计质量的微型力传感器，如图 13 乙所示。并以力传感器示数表示拉力 F ，从理论上分析，该实验图线的斜率将_____。(填“变大”“变小”或“不变”)

解析 作出图线是一条直线，但没有通过坐标原点，有纵截距，说明不挂重物时就有加速度，这说明轨道倾角过大，小车的重力沿轨道的分力大于小车受到的摩擦力，平衡摩擦力时，木板的倾角过大，如果接上力传感器，其示数将小于重物的重力，同样的加速度，对应的横坐标变小，从而图线斜率要变大。

- 答案 (1) 在连续相等时间内的小车位移
 (2) 如图所示



- (3) 截距过大，平衡摩擦力时，木板的倾角过大
 (4) 变大

3. [2013 天津卷, 9(2)] 某实验小组利用图 15 所示的装置探究加速度与力、质量的关系。

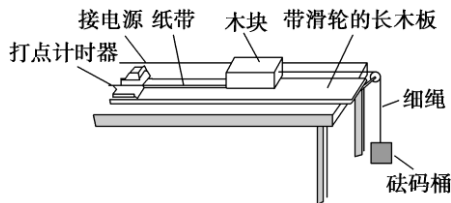


图 15

- (1) 下列做法正确的是_____ (填字母代号)。
 A. 调节滑轮的高度，使牵引木块的细绳与长木板保持平行
 B. 在调节木板倾斜度平衡木块受到的滑动摩擦力时，将装有砝码的砝码桶通过定滑轮拴在木块上
 C. 实验时，先放开木块再接通打点计时器的电源
 D. 通过增减木块上的砝码改变质量时，不需要重新调节木板倾斜度

(2) 为使砝码桶及桶内砝码的总重力在数值上近似等于木块运动时受到的拉力，应满足的条件是砝码桶及桶内砝码的总质量_____木块和木块上砝码的总质量。(选填“远大于”、“远小于”或“近似等于”)

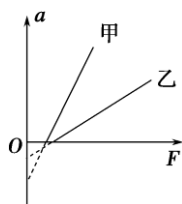


图 16

(3)甲、乙两同学在同一实验室,各取一套图示的装置放在水平桌面上,木块上均不放砝码、在没有平衡摩擦力的情况下,研究加速度 a 与拉力 F 的关系,分别得到图 16 中甲、乙两条直线.设甲、乙用的木块质量分别为 $m_{甲}$ 、 $m_{乙}$,甲、乙用的木块与木板间的动摩擦因数分别为 $\mu_{甲}$ 、 $\mu_{乙}$,由图可知, $m_{甲}$ _____ $m_{乙}$, $\mu_{甲}$ _____ $\mu_{乙}$.(选填“大于”、“小于”或“等于”)

解析 (1)探究加速度与力、质量的关系时,牵引木块的细绳应与长木板平行;平衡摩擦力时应不挂砝码桶;对于打点计时器,应先接通电源,再放开木块;平衡摩擦力后,改变木块上砝码的质量,不需要重新平衡摩擦力.选项 A、D 正确,选项 B、C 错误.

(2)对于系统,根据牛顿第二定律,有 $a = \frac{mg}{M+m}$,牵引小车的拉力 $F = Ma = \frac{Mmg}{M+m}$.要使 $F = mg$,则

$M \approx M+m$,即要求 $m \ll M$.

(3)对于木块,根据牛顿第二定律,得 $a = \frac{F - \mu Mg}{M} = \frac{F}{M} - \mu g$,故 $a - F$ 图象的斜率反映了木块质量的倒数.有 $\frac{1}{m_{甲}} > \frac{1}{m_{乙}}$,所以 $m_{甲} < m_{乙}$.当 $F = 0$ 时, $a = -\mu g$,即 $a - F$ 图在 a 轴上的截距为 $-\mu g$,所以 $-\mu_{甲} g < -\mu_{乙} g$,即 $\mu_{甲} > \mu_{乙}$.

答案 (1)AD (2)远小于 (3)小于 大于

4.(2013 潍坊月考)在探究加速度与力、质量的关系活动中,某小组设计了如图 17 所示的实验装置.图中上下两层水平轨道表面光滑,两小车前端系上细线,细线跨过滑轮并挂上砝码盘,两小车尾部细线连到控制装置上,实验时通过控制装置使两小车同时开始运动,然后同时停止.

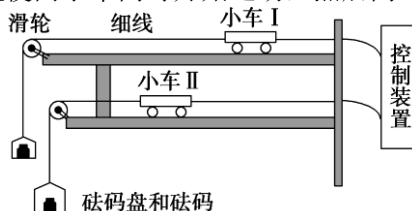


图 17

(1)在安装实验装置时,应调整滑轮的高度,使_____;在实验时,为减小系统误差,应使砝码盘和砝码的总质量_____小车的质量(选填“远大于”“远小于”“等于”).

(2)本实验通过比较两小车的位移来比较小车加速度的大小,能这样比较,是因为_____.

(3)实验中获得数据如下表所示:

小车 I、II 的质量约为 200 g.

实验次数	小车	拉力 F/N	位移 x/cm
1	I	0.1	
	II	0.2	46.51
2	I	0.2	29.04
	II	0.3	43.63
3	I	0.3	41.16
	II	0.4	44.80
4	I	0.4	36.43
	II	0.5	45.56

在第 1 次实验中小车 I 从 A 点运动到 B 点的位移如图 18 所示,请将测量结果填到表中空格处.通

过分析，可知表中第_____次实验数据存在明显错误，应舍弃。

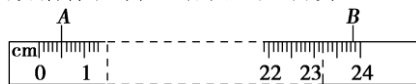


图 18

解析 (1)拉小车的水平细线要与轨道平行.只有在砝码盘和砝码的总质量远小于小车质量时,才能认为砝码盘和砝码的总重力等于细线拉小车的力.

(2)对初速度为零的匀加速直线运动,时间相同时,根据

$$x = \frac{1}{2}at^2, \text{ 得 } \frac{a_1}{a_2} = \frac{x_1}{x_2}.$$

(3)刻度尺的最小刻度是 1 mm,要估读到毫米的下一位,读数为 23.86 cm - 0.50 cm = 23.36 cm.

答案 (1)细线与轨道平行(或水平) 远小于 (2)两小车从静止开始做匀加速直线运动,且两小车的运动时间相等 (3)23.36(23.34~23.38 均对) 3

章末定时练三

(时间:60 分钟)

一、选择题(在每小题给出的四个选项中,第 1~5 题只有一项符合题目要求,第 6~8 题有多项符合题目要求.)

1. 引体向上是同学们经常做的一项健身运动.该运动的规范动作是:两手正握单杠,由悬垂开始,上拉时,下颏须超过单杠面.下放时,两臂放直,不能曲臂(如图 1 所示),这样上拉下放,重复动作,达到锻炼臂力和腹肌的目的.关于做引体向上动作时人的受力,以下判断正确的是().

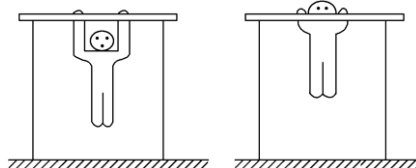


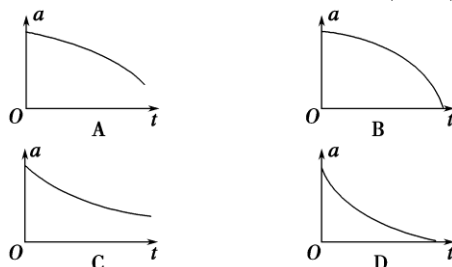
图 1

- A. 上拉过程中,人受到三个力的作用
- B. 上拉过程中,单杠对人的作用力大于人对单杠的作用力
- C. 下放过程中,单杠对人的作用力小于人对单杠的作用力
- D. 下放过程中,在某瞬间人可能只受到一个力的作用

解析 上拉过程中,人受到两个力的作用,一个是重力,一个是单杠给人的作用力,A 错.不论是上拉过程还是下放过程,单杠对人的作用力总等于人对单杠的作用力,与人的运动状态无关,B、C 均错.在下放过程中,若在某瞬间人向下的加速度为重力加速度 g ,则人只受到一个重力的作用,D 对.

答案 D

2. 将一只皮球竖直向上抛出,皮球运动时受到空气阻力的大小与速度的大小成正比.下列描绘皮球在上升过程中加速度大小 a 与时间 t 关系的图象,可能正确的是().



解析 皮球上升过程中受重力和空气阻力作用,由于空气阻力大小与速度成正比,速度 v 减小,空气阻力 $F_f = kv$ 也减小,根据牛顿第二定律 $mg + F_f = ma$,知 $a = \frac{kv}{m} + g$,可知, a 随 v 的减小而减小,且 v 变化得越来越慢,所以 a 随时间 t 减小且变化率减小,选项 C 正确.

答案 C

3. (2013 宁夏银川一中模拟, 15) a 、 b 两物体的质量分别为 m_1 、 m_2 , 由轻质弹簧相连. 当用恒力 F 竖直向上拉着 a , 使 a 、 b 一起向上做匀加速直线运动时, 弹簧伸长量为 x_1 ; 当用大小仍为 F 的恒力沿水平方向拉着 a , 使 a 、 b 一起沿光滑水平桌面做匀加速直线运动时, 弹簧伸长量为 x_2 , 如图 2 所示, 则 ().

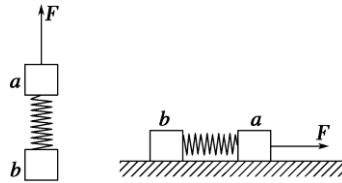


图 2

- A. x_1 一定等于 x_2
- B. x_1 一定大于 x_2
- C. 若 $m_1 > m_2$, 则 $x_1 > x_2$
- D. 若 $m_1 < m_2$, 则 $x_1 < x_2$

解析 当用恒力 F 竖直向上拉着 a 时, 先用整体法有: $F - (m_1 + m_2)g = (m_1 + m_2)a$, 再隔离 b 有: $kx_1 - m_2g = m_2a$, 联立得: $x_1 = \frac{m_2 F}{k(m_1 + m_2)}$. 当沿水平方向拉着 a 时, 先用整体法有: $F = (m_1 + m_2)a$, 再隔离 b 有: $kx_2 = m_2a$, 联立得: $x_2 = \frac{m_2 F}{k(m_1 + m_2)}$, 故 $x_1 = x_2$, 所以只有 A 项正确.

答案 A

4. 如图 3 所示, 粗糙水平面上放置 B 、 C 两物体, A 叠放在 C 上, A 、 B 、 C 的质量分别为 m 、 $2m$ 和 $3m$, 物体 B 、 C 与水平面间的动摩擦因数相同, 其间用一不可伸长的轻绳相连, 轻绳能承受的最大拉力为 F_T . 现用水平拉力 F 拉物体 B , 使三个物体以同一加速度向右运动, 则 ().

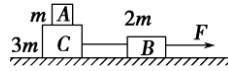


图 3

- A. 此过程中物体 C 受重力等五个力作用
- B. 当 F 逐渐增大到 F_T 时, 轻绳刚好被拉断
- C. 当 F 逐渐增大到 $1.5F_T$ 时, 轻绳刚好被拉断
- D. 若水平面光滑, 则绳刚断时, A 、 C 间的摩擦力为 $\frac{F_T}{6}$

解析 三物体一起向右加速运动时, C 受重力、水平面的支持力和摩擦力、物体 A 的压力和摩擦力及绳的拉力共六个力作用, A 错; 取三物体为整体则有 $F - 6\mu mg = 6ma$, 取 A 、 C 为整体则有 $F_T - 4\mu mg = 4ma$, 所以当绳要断时, 联立以上两式可得 $F = 1.5F_T$, B 错、C 对; 若水平面光滑, 则 $a = \frac{F}{6m}$, 隔离 A 则有 $F_{f_{CA}} = ma = \frac{F}{6} = \frac{F_T}{4}$, D 错.

答案 C

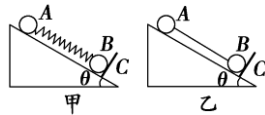


图 4

5. 如图 4 所示, A 、 B 两球质量相等, 光滑斜面的倾角为 θ , 图甲中, A 、 B 两球用轻弹簧相连, 图乙中 A 、 B 两球用轻质杆相连, 系统静止时, 挡板 C 与斜面垂直, 弹簧、轻杆均与斜面平行, 则在突然撤去挡板的瞬间有 ().

- A. 两图中两球加速度均为 $g \sin \theta$
- B. 两图中 A 球的加速度均为零
- C. 图乙中轻杆的作用力一定不为零
- D. 图甲中 B 球的加速度是图乙中 B 球加速度的 2 倍

解析 撤去挡板前, 挡板对 B 球的弹力大小为 $2mg \sin \theta$, 因弹簧弹力不能突变, 而杆的弹力会突变, 所以撤去挡板瞬间, 图甲中 A 球所受合力为零, 加速度为零, B 球所受合力为 $2mg \sin \theta$, 加速度为 $2g \sin \theta$; 图乙中杆的弹力突变为零, A 、 B 球所受合力均为 $mg \sin \theta$, 加速度均为 $g \sin \theta$, 可知只有 D 对.

D. $0 \sim t_3$ 时间内, 小物块始终受到大小不变的摩擦力作用

解析 相对地面而言, 小物块在 $0 \sim t_1$ 时间内, 向左做匀减速运动, $t_1 \sim t_2$ 时间内, 又反向向右做匀加速运动, 当其速度与传送带速度相同时(即 t_2 时刻), 小物块向右做匀速运动. 故小物块在 t_1 时刻离 A 处距离最大, A 错误. 相对传送带而言, 在 $0 \sim t_2$ 时间内, 小物块一直相对传送带向左运动, 故一直受向右的滑动摩擦力, 在 $t_2 \sim t_3$ 时间内, 小物块相对于传送带静止, 小物块不受摩擦力作用, 因此 t_2 时刻小物块相对传送带滑动的距离达到最大值, B、C 正确, D 错误.

答案 BC

二、非选择题

9. 如图 8 所示为“用 DIS(位移传感器、数据采集器、计算机)研究加速度和力的关系”的实验装置.

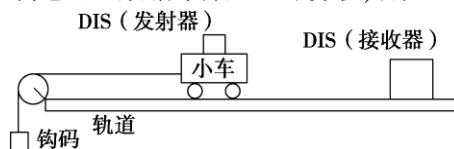


图 8

(1) 在该实验中必须采用控制变量法, 应保持_____不变, 用钩码所受的重力作为_____, 用 DIS 测小车的加速度.

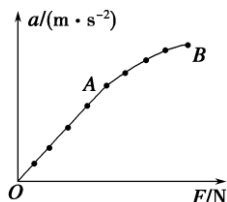


图 9

(2) 改变所挂钩码的数量, 多次重复测量. 某次实验中根据测得的多组数据可画出 $a-F$ 关系图线(如图 9 所示).

① 分析此图线的 OA 段可得出的实验结论是_____.

② 此图线的 AB 段明显偏离直线, 造成此误差的主要原因是().

- A. 小车与轨道之间存在摩擦
- B. 导轨保持了水平状态
- C. 所挂钩码的总质量太大
- D. 所用小车的质量太大

解析 (1) 在实验探究加速度与力、质量的关系时应采取控制变量法, 即研究加速度和力的关系时保持质量一定, 因本实验中研究对象是小车, 故应保持小车的总质量不变. 运动过程中小车受重力、支持力、摩擦力、细线的拉力作用, 因实验前应已平衡摩擦力, 故小车所受合外力等于细线的拉力. 对小车有 $F = Ma$, 对钩码有 $mg - F = ma$, 联立解得 $F = \frac{Mm}{M+m}g$, 当钩码的质量远小于小车的质量时, $F \approx mg$, 所以可用钩码的重力作为小车所受的合外力.

(2) ① 当钩码重力较小时, 细线的拉力 F 近似等于钩码的重力, 起初图线为过原点的一条直线, a 与 F 成正比, 故分析此图线的 OA 段可得出的实验结论是“在质量不变的条件下, 加速度与合外力成正比”; ② 当钩码重力较大不再满足“小车的质量远大于钩码的质量”时, 图线的 AB 段明显偏离直线而向下弯曲, 小车的加速度与钩码的重力不再成正比, 不能认为此时细线的拉力近似等于钩码的重力, C 正确.

答案 (1) 小车的总质量 小车所受的合外力 (2) ① 在质量不变的条件下, 加速度与合外力成正比 ② C

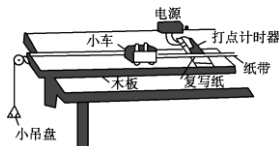


图 10

10. 如图 10 所示, 为验证牛顿第二定律的实验装置示意图. 图中打点计时器的电源为 50 Hz 的交流电源, 打点的时间间隔用 Δt 表示. 在小车质量未知的情况下, 某同学设计了一种方法用来探究“在外力一定的条件下, 物体的加速度与其质量间的关系”.

(1)完成下列实验步骤中的填空:

①平衡小车所受的阻力: 小吊盘中不放物块, 调整木板右端的高度, 用手轻拨小车, 直到打点计时器打出一系列_____的点.

②按住小车, 在小吊盘中放入适当质量的物块, 在小车中放入砝码.

③打开打点计时器电源, 释放小车, 获得带有点列的纸带, 在纸带上标出小车中砝码的质量 m .

④按住小车, 改变小车中砝码的质量, 重复步骤③.

⑤在每条纸带上清晰的部分, 每 5 个间隔标注一个计数点. 测量相邻计数点的间距 x_1, x_2, \dots . 求出与不同 m 相对应的加速度 a .

⑥以砝码的质量 m 为横坐标, $\frac{1}{a}$ 为纵坐标, 在坐标纸上作出 $\frac{1}{a}-m$ 关系图线. 若加速度与小车和砝码的总质量成反比, 则 $\frac{1}{a}$ 与 m 应成_____关系(填“线性”或“非线性”).

(2)完成下列填空:

①本实验中, 为了保证在改变小车中砝码的质量时, 小车所受的拉力近似不变, 小吊盘和盘中物块的质量之和应满足的条件是_____.

②设纸带上三个相邻计数点的间距分别为 x_1, x_2 和 x_3 . a 可用 x_1, x_3 和 Δt 表示为 $a = \frac{x_3 - x_1}{2(5\Delta t)^2}$. 图 11 为用米尺测量某一纸带上的 x_1, x_3 的情况, 由图可读出 $x_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ mm, $x_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ mm, 由此求得加速度的大小 $a = \underline{\hspace{2cm}}$ m/s².



图 11

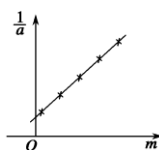


图 12

③图 12 为所得实验图线的示意图. 设图中直线的斜率为 k , 在纵轴上的截距为 b , 若牛顿定律成立, 则小车受到的拉力为_____, 小车的质量为_____.

解析 (1)①平衡好小车所受的阻力, 小车做匀速运动, 打点计时器打出的点间隔基本相等. ⑥根据牛顿第二定律可知: $F = (M + m)a \Rightarrow \frac{1}{a} = \frac{M}{F} + \frac{m}{F}$, $\frac{1}{a}$ 与 m 为一次函数关系, 是线性关系. (2)①为保证小车所受

拉力近似不变, 应满足小吊盘和盘中物块的质量之和远小于小车的质量. ②由 $\Delta x = aT^2$ 可知 $a = \frac{x_3 - x_1}{2(5\Delta t)^2}$

$= \frac{x_3 - x_1}{50\Delta t^2}$, 由图可读出 $x_1 = 36.7 \text{ mm} - 12.5 \text{ mm} = 24.2 \text{ mm}$, $x_3 = 120.0 \text{ mm} - 72.8 \text{ mm} = 47.2 \text{ mm}$, 换算后代

入上式中, 得 $a = 1.15 \text{ m/s}^2$. ③设小车质量为 M , 由牛顿第二定律可得: $F = (M + m)a \Rightarrow \frac{1}{a} = \frac{M}{F} + \frac{m}{F}$, 结合图

象可知: $\frac{1}{F} = k \Rightarrow F = \frac{1}{k}$, $\frac{M}{F} = b \Rightarrow M = bF = \frac{b}{k}$.

答案 (1)①等间距 ⑥线性 (2)①远小于小车和砝码的总质量(填“远小于小车的质量”同样正确)

② $\frac{x_3 - x_1}{2(5\Delta t)^2}$ 24.2(答案范围在 23.9~24.5 之间均可) 47.2(答案范围在 47.0~47.6 之间均可) 1.15(答

案范围在 1.13~1.19 之间均可) ③ $\frac{1}{k}$ $\frac{b}{k}$

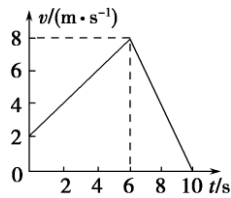


图 13

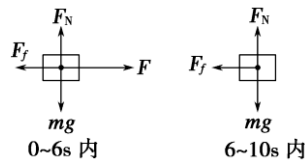
11. (2013 梅州模拟)质量为 2 kg 的物体在水平推力 F 的作用下沿水平面做直线运动, 一段时间后撤去 F , 其运动的 $v-t$ 图象如图 13 所示. g 取 10 m/s^2 , 求:

- (1)物体与水平面间的动摩擦因数 μ ;
- (2)水平推力 F 的大小;
- (3)0~10 s 内物体运动位移的大小.

解析 (1)设物体做匀减速直线运动的时间为 Δt_2 , 初速度为 v_{20} , 末速度为 v_{2t} , 加速度为 a_2 , 则

$$a_2 = \frac{v_{2t} - v_{20}}{\Delta t_2} = -2 \text{ m/s}^2 \text{ ①}$$

设物体所受的摩擦力为 F_f , 受力分析如下图所示.



由牛顿第二定律得: $F_f = ma_2$ ②

$$F_f = -\mu mg \text{ ③}$$

联立②③式, 代入数据得 $\mu = 0.2$ ④

(2)设物体做匀加速直线运动的时间为 Δt_1 , 初速度为 v_{10} , 末速度为 v_{1t} , 加速度为 a_1 , 则 $a_1 = \frac{v_{1t} - v_{10}}{\Delta t_1} = 1 \text{ m/s}^2$ ⑤

根据牛顿第二定律, 有 $F + F_f = ma_1$ ⑥

联立各式, 代入数据得 $F = 6 \text{ N}$

(3) $v-t$ 图象与时间轴围成的“面积”等于位移的大小,

$$\text{则: } x = \frac{1}{2} \times (2 + 8) \times 6 \text{ m} + \frac{1}{2} \times 8 \times 4 \text{ m} = 46 \text{ m}.$$

答案 (1)0.2 (2)6 N (3)46 m



图 14

12. (2013 银川模拟)如图 14 所示, 质量为 $M=8 \text{ kg}$ 的小车放在光滑的水平面上, 在小车左端加一水平推力 $F=8 \text{ N}$, 当小车向右运动的速度达到 $v_0=1.5 \text{ m/s}$ 时, 小车前端轻轻放上一个大小不计、质量为 $m=2 \text{ kg}$ 的小物块, 小物块与小车间的动摩擦因数 $\mu=0.2$. 已知在运动过程中, 小物块没有从小车上掉下来, 取 $g=10 \text{ m/s}^2$. 求:

- (1)经过多长时间两者达到相同的速度;
- (2)小车至少多长才能保证小物块不从小车上掉下来?
- (3)从小物块放上小车开始, 经过 $t=1.5 \text{ s}$ 小物块通过的位移大小为多少?

解析 (1)设小物块和小车的加速度分别为 a_m 、 a_M , 由牛顿第二定律得 $\mu mg = ma_m$, $F - \mu mg = Ma_M$. 代入数据解得 $a_m = 2 \text{ m/s}^2$, $a_M = 0.5 \text{ m/s}^2$.

设经过时间 t_1 两者达到相同的速度, 由 $a_m t_1 = v_0 + a_M t_1$ 得 $t_1 = 1 \text{ s}$

(2)当两者达到相同的速度后, 假设两者保持相对静止, 以共同的加速度 a 做匀加速运动. 对小物块

和小车构成的整体，由牛顿第二定律得 $F = (M + m)a$

得 $a = 0.8 \text{ m/s}^2$

此时小物块和小车之间的摩擦力 $F_f = ma = 1.6 \text{ N}$

而小物块和小车之间的最大静摩擦力 $F_{fm} = \mu mg = 4 \text{ N}$

$F_f < F_{fm}$ ，所以两者达到相同的速度后，保持相对静止。

从小物块放上小车开始，小物块的位移 $x_m = \frac{1}{2}a_mt_1^2$

小车的位移 $x_M = v_0t_1 + \frac{1}{2}aMt_1^2$

小车的长度至少为 $L = x_M - x_m = 0.75 \text{ m}$

(3)在开始的 $t_1 = 1 \text{ s}$ 内，小物块的位移为

$x_m = \frac{1}{2}a_mt_1^2 = 1 \text{ m}$ ，末速度 $v = a_mt_1 = 2 \text{ m/s}$

在接下来的 0.5 s 内，小物块与小车相对静止，以共同的加速度 $a = 0.8 \text{ m/s}^2$ 做匀加速运动。这 0.5 s 内通过的位移 $x = v(t - t_1) + \frac{1}{2}a(t - t_1)^2$

代入数据得 $x = 1.1 \text{ m}$ ，从小物块放上小车开始，经过 $t = 1.5 \text{ s}$ 小物块通过的位移大小为 $x_{\text{总}} = x_m + x = 2.1 \text{ m}$

答案 (1)1 s (2)0.75 (3)2.1 m

必修二 第四章

曲线运动 万有引力与航天

第1讲 曲线运动 运动的合成与分解

梳理深化·强基固本

必考必会 牢记必做

考点

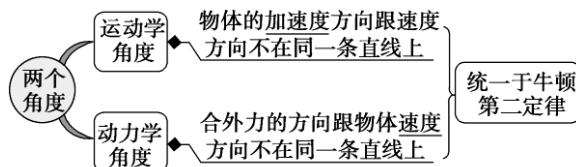
运动的合成与分解 (考纲要求 II)

1. 曲线运动

(1)速度的方向：质点在某一点的速度方向，沿曲线在这一点的切线方向。

(2)运动的性质：做曲线运动的物体，速度的方向时刻在改变，所以曲线运动一定是变速运动。

(3)曲线运动的条件：



2. 运动的合成与分解

(1)基本概念

①运动的合成：已知分运动求合运动.

②运动的分解：已知合运动求分运动.

(2)分解原则：根据运动的实际效果分解，也可采用正交分解.

(3)遵循的规律：位移、速度、加速度都是矢量，故它们的合成与分解都遵循平行四边形定则.

思维深化 判断正误，正确的划“√”，错误的划“×”.

(1)速度发生变化的运动，一定是曲线运动.()

(2)曲线运动的物体加速度一定是变化的.()

(3)两个分运动的时间一定与它们合运动的时间相等.()

(4)只要两个分运动是直线运动，合运动一定是直线运动.()

答案 (1)× (2)× (3)√ (4)×

基础自测

1. (单选)一质点在某段时间内做曲线运动，则在这段时间内().

A. 速度一定不断改变，加速度也一定不断改变

B. 速度一定不断改变，加速度可以不变

C. 速度可以不变，加速度一定不断地改变

D. 速度可以不变，加速度也可以不变

解析 做曲线运动的物体速度方向不断改变，加速度一定不为零，但加速度可能改变也可能不变，所以做曲线运动的物体可以是匀变速运动也可以是非匀变速运动.

答案 B

2. (单选)关于运动的合成，下列说法中正确的是().

A. 合运动的速度一定比每一个分运动的速度大

B. 两个分运动的时间一定与它们合运动的时间相等

C. 只要两个分运动是直线运动，合运动就一定是直线运动

D. 两个匀变速直线运动的合运动一定是匀变速直线运动

答案 B

3. (多选)关于曲线运动的性质，以下说法正确的是().

A. 曲线运动一定是变速运动

B. 曲线运动一定是变加速运动

C. 变速运动不一定是曲线运动

D. 运动物体的速度大小、加速度大小都不变的运动一定是直线运动

解析 曲线运动的速度方向是时刻发生变化的，因此是变速运动，A 正确；加速度是否发生变化要看合外力是否发生变化，斜向上抛到空中的物体做曲线运动，但加速度大小不变，B 错误；变速运动也可能是只有速度的大小发生变化，它就不是曲线运动，C 正确；由匀速圆周运动知，D 错误.

答案 AC

4. (单选)如图 4-1-1 所示的曲线为运动员抛出的铅球运动轨迹(铅球视为质点)，A、B、C 为曲线上的三点，关于铅球在 B 点的速度方向，下列说法正确的是().

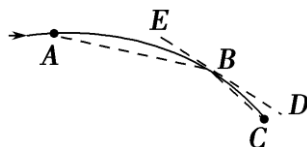


图 4-1-1

A. 沿 AB 的方向

B. 沿 BC 的方向

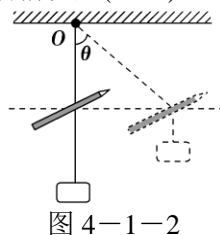
C. 沿 BD 的方向

D. 沿 BE 的方向

解析 由于做曲线运动的物体在某点的速度方向沿曲线在该点的切线方向，因此，铅球在 B 点的速度方向沿 BD 方向，C 正确.

答案 C

5. (2016·上海宝山区期末)(多选)如图 4-1-2 所示, 一块橡皮用细线悬挂于 O 点, 现用一支铅笔贴着细线的左侧水平向右以速度 v 匀速移动, 运动过程中保持铅笔的高度不变, 悬挂橡皮的那段细线保持竖直, 则在铅笔未碰到橡皮前, 橡皮的运动情况是().



- A. 橡皮在水平方向上做匀速运动
- B. 橡皮在竖直方向上做加速运动
- C. 橡皮的运动轨迹是一条直线
- D. 橡皮在图示虚线位置时的速度大小为 $v\sqrt{\cos^2\theta+1}$

解析 悬挂橡皮的细线一直保持竖直, 说明橡皮水平方向具有和铅笔一样的速度, A 正确; 在竖直方向上, 橡皮的速度等于细线收缩的速度, 把铅笔与细线接触的地方的速度沿细线方向和垂直细线方向分解, 沿细线方向的分速度 $v_1 = v\sin\theta$, θ 增大, 沿细线方向的分速度增大, B 正确; 橡皮的加速度向上, 与初速度不共线, 所以做曲线运动, C 错误; 橡皮在题图虚线位置时的速度 $v_t = \sqrt{v_1^2 + v^2} = v\sqrt{\sin^2\theta + 1}$, D 错误.

答案 AB

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 合运动的性质与轨迹判断

1. 合力方向与轨迹的关系

无力不拐弯, 拐弯必有力. 曲线运动轨迹始终夹在合力方向与速度方向之间, 而且向合力的方向弯曲, 或者说合力的方向总是指向曲线的“凹”侧.

2. 合力方向与速率变化的关系

- (1) 当合力方向与速度方向的夹角为锐角时, 物体的速率增大.
- (2) 当合力方向与速度方向的夹角为钝角时, 物体的速率减小.
- (3) 当合力方向与速度方向垂直时, 物体的速率不变.

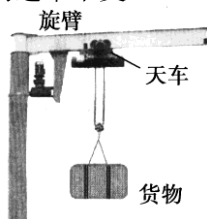
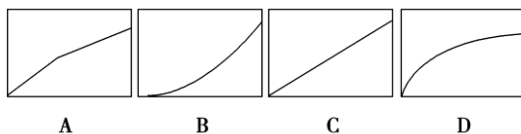


图 4-1-3

【典例 1】各种大型的货运站中少不了旋臂式起重机, 如图 4-1-3 所示, 该起重机的旋臂保持不动, 可沿旋臂“行走”的天车有两个功能, 一是吊着货物沿竖直方向运动, 二是吊着货物沿旋臂水平运动. 现天车吊着货物正在沿水平方向向右匀速行驶, 同时又启动天车上的起吊电动机, 使货物沿竖直方向做匀减速运动. 此时, 我们站在地面上观察到货物运动的轨迹可能是下图中的().



解析 由于货物在水平方向做匀速运动, 在竖直方向做匀减速运动, 故货物所受的合外力竖直向下, 由曲线运动的特点: 所受的合外力要指向圆弧内侧可知, 对应的运动轨迹可能为 D.

答案 D

【跟踪短训】

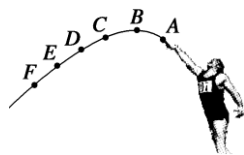


图 4-1-4

1. 某学生在体育场上抛出铅球，其运动轨迹如图 4-1-4 所示。已知在 B 点时的速度方向与加速度方向相互垂直，则下列说法中正确的是()。

- A. D 点的速率比 C 点的速率大
- B. D 点的加速度比 C 点的加速度大
- C. 从 B 到 D 加速度与速度始终垂直
- D. 从 B 到 D 加速度与速度的夹角先增大后减小

解析 铅球做斜抛运动，根据曲线运动的条件和题设中在 B 点的速度方向与加速度方向相互垂直，即竖直方向上的分速度为零，可判断 B 点是轨迹的最高点，根据加速度和速度方向间的关系可知 A 项正确；D 点和 C 点的加速度一样大，都等于重力加速度，B 错；过了 B 点后，在 D 点加速度与速度不可能再垂直，C 错；根据曲线运动的特点，可判断从 B 点到 D 点加速度与速度的夹角一直减小，D 错。

答案 A

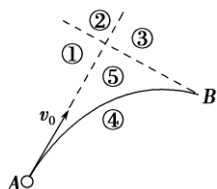


图 4-1-5

2. 一个物体以初速度 v_0 从 A 点开始在光滑水平面上运动。一个水平力作用在物体上，物体的运动轨迹如图中实线所示，图 4-1-5 中 B 为轨迹上一点，虚线是过 A、B 两点并与运动轨迹相切的直线，虚线和实线将水平面划分为图示的 5 个区域。则关于该施力物体位置的判断，下列说法中正确的是()。

- A. 如果这个力是引力，则施力物体一定在④区域
- B. 如果这个力是引力，则施力物体一定在②区域
- C. 如果这个力是斥力，则施力物体一定在②区域
- D. 如果这个力是斥力，则施力物体可能在①或③区域

解析 如果这个力是引力，则施力物体一定在④区域，这是因为曲线运动的轨迹应介于合外力的方向与速度的方向之间，且弯向合外力的一侧，选项 A 正确；如果这个力是斥力，在①②③⑤区域内任取一点分别与 A、B 两点相连并延长，可发现①③⑤区域的各点，对应轨迹不在合外力方向和速度方向之间，而②区域的点，对应轨迹在合外力方向和速度方向之间，因此选项 C 正确。

答案 AC

热点二 运动的合成与分解及应用

1. 合运动与分运动的关系

(1)运动的独立性

一个物体同时参与两个(或多个)运动，其中的任何一个运动并不会受其他分运动的干扰，而保持其运动性质不变，这就是运动的独立性原理。虽然各分运动互不干扰，但是它们共同决定合运动的性质和轨迹。

(2)运动的等时性

各个分运动与合运动总是同时开始，同时结束，经历时间相等(不同时的运动不能合成)。

(3)运动的等效性

各分运动叠加起来与合运动有相同的效果。

2. 运动的合成与分解的运算法则

运动的合成与分解是指描述运动的各物理量即位移、速度、加速度的合成与分解，由于它们均是矢量，故合成与分解都遵守平行四边形定则。

【典例 2】 质量为 $m=2\text{ kg}$ 的物体在光滑的水平面上运动，在水平面上建立 xOy 坐标系， $t=0$ 时

物体位于坐标系的原点 O . 物体在 x 轴和 y 轴方向的分速度 v_x 、 v_y 随时间 t 变化的图线如图 4-1-6 甲、乙所示. 则().

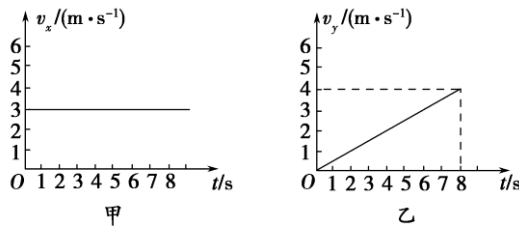


图 4-1-6

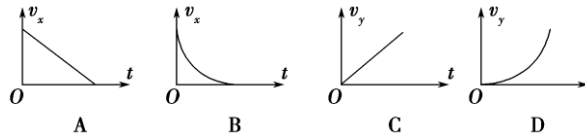
- A. $t=0$ 时, 物体速度的大小为 3 m/s
- B. $t=8$ s 时, 物体速度的大小为 4 m/s
- C. $t=8$ s 时, 物体速度的方向与 x 轴正向夹角为 37°
- D. $t=8$ s 时, 物体的位置坐标为(24 m,16 m)

解析 由题图可知, $t=0$ 时刻, $v_x=3$ m/s, $v_y=0$, 所以 $t=0$ 时刻, 物体的速度大小 $v_0=3$ m/s, A 正确; $t=8$ s 时, $v_x=3$ m/s, $v_y=4$ m/s, 物体的速度大小 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=5$ m/s, B 错误; 速度方向与 x 轴正向夹角设为 α , 则 $\tan \alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{4}{3}$, $\alpha = 53^\circ$, C 错误; $t=8$ s 时, 物体的位置坐标 $x=v_x t=24$ m, $y=\frac{1}{2}a_y t^2=16$ m, 所以 $t=8$ s 时, 物体的位置坐标为(24 m,16 m), D 正确.

答案 AD

【跟踪短训】

3. (2013 庆阳模拟) 在无风的情况下, 跳伞运动员从水平飞行的飞机上跳伞, 下落过程中受到空气阻力, 已知物体速度越大受到的空气阻力越大, 下列描述下落速度的水平分量大小 v_x 、竖直分量大小 v_y 与时间 t 的图象, 可能正确的是().



解析 跳伞运动员下落过程中受到的空气阻力并非为恒力与速度有关. 且速度越大受到的阻力越大, 水平方向只受阻力, 速度减小, 阻力减小, 加速度减小, 在 v_x-t 图象中图线的斜率表示加速度, 故 A 错误、B 正确; 竖直方向运动员受重力和空气阻力, 速度逐渐增大, 阻力增大, 合力减小, 加速度减小, 故 C、D 均错.

答案 B



图 4-1-7

4. 如图 4-1-7 所示, 从广州飞往上海的波音 737 航班上午 10 点到达上海浦东机场, 若飞机在降落过程中的水平分速度为 60 m/s, 竖直分速度为 6 m/s, 已知飞机在水平方向做加速度大小等于 2 m/s² 的匀减速直线运动, 在竖直方向做加速度大小等于 0.2 m/s² 的匀减速直线运动, 则飞机落地之前().

- A. 飞机的运动轨迹为曲线
- B. 经 20 s 飞机水平方向的分速度与竖直方向的分速度大小相等
- C. 在第 20 s 内, 飞机在水平方向的分位移与竖直方向的分位移大小相等
- D. 飞机在第 20 s 内, 水平方向的平均速度为 21 m/s

解析 由于初速度的方向与合加速度的方向相反, 故飞机的运动轨迹为直线, A 错误; 由匀减速运动规律可知, 飞机在第 20 s 末的水平分速度为 20 m/s, 竖直方向的分速度为 2 m/s, B 错误; 飞机在第 20 s 内, 水平位移 $x = (v_{0x}t_{20} + \frac{1}{2}a_x t_{20}^2) - (v_{0x}t_{19} + \frac{1}{2}a_x t_{19}^2) = 21$ m, 竖直位移 $y = (v_{0y}t_{20} + \frac{1}{2}a_y t_{20}^2) - (v_{0y}t_{19} + \frac{1}{2}a_y t_{19}^2)$

= 2.1 m, C 错误. 飞机在第 20 s 内, 水平方向的平均速度为 21 m/s, D 正确.

答案 D

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

物理建模 4.小船渡河模型

1. 模型构建

在运动的合成与分解问题中, 两个匀速直线运动的合运动仍是匀速直线运动, 其中一个速度大小和方向都不变, 另一个速度大小不变, 方向在 180° 范围内(在速度不变的分运动所在直线的一侧)变化. 我们对合运动或分运动的速度、时间、位移等问题进行研究. 这样的运动系统可看作“小船渡河模型”.

2. 模型特点

(1) 船的实际运动是水流的运动和船相对静水的运动的合运动.

(2) 三种速度: $v_{\text{船}}$ (船在静水中的速度)、 $v_{\text{水}}$ (水的流速)、 $v_{\text{合}}$ (船的实际速度).

(3) 两个极值

① 过河时间最短: $v_{\text{船}} \perp v_{\text{水}}$, $t_{\min} = \frac{d}{v_{\text{船}}}$ (d 为河宽).

② 过河位移最小: $v_{\text{合}} \perp v_{\text{水}}$ (前提 $v_{\text{船}} > v_{\text{水}}$), 如图 4-1-8 甲所示, 此时 $x_{\min} = d$ 船头指向上游与河岸夹角为 α . $\cos \alpha = \frac{v_{\text{水}}}{v_{\text{船}}}$; $v_{\text{船}} \perp v_{\text{合}}$ (前提 $v_{\text{船}} < v_{\text{水}}$), 如图乙所示. 过河最小位移为 $x_{\min} = \frac{d}{\sin \alpha} = \frac{v_{\text{水}}}{v_{\text{船}}} d$.

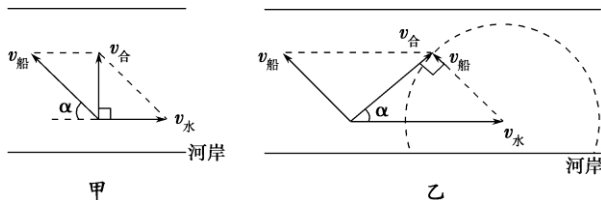


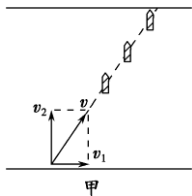
图 4-1-8

【典例】 一小船渡河, 河宽 $d = 180 \text{ m}$, 水流速度 $v_1 = 2.5 \text{ m/s}$. 若船在静水中的速度为 $v_2 = 5 \text{ m/s}$, 求:

(1) 欲使船在最短的时间内渡河, 船头应朝什么方向? 用多长时间? 位移是多少?

(2) 欲使船渡河的航程最短, 船头应朝什么方向? 用多长时间? 位移是多少?

解析 (1) 欲使船在最短时间内渡河, 船头应朝垂直河岸方向.

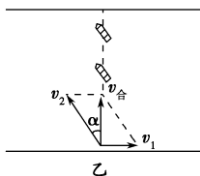


当船头垂直河岸时, 如图甲所示.

合速度为倾斜方向, 垂直分速度为 $v_2 = 5 \text{ m/s}$.

$$t = \frac{d}{v_2} = \frac{180}{5} \text{ s} = 36 \text{ s}, v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = \frac{5}{2} \sqrt{5} \text{ m/s}$$

$$x = vt = 90\sqrt{5} \text{ m}$$



(2) 欲使船渡河航程最短, 应垂直河岸渡河, 船头应朝上游与垂直河岸方向成某一夹角 α

如图乙所示,

有 $v_2 \sin \alpha = v_1$, 得 $\alpha = 30^\circ$

所以当船头向上游偏 30° 时航程最短.

$$x' = d = 180 \text{ m.}$$

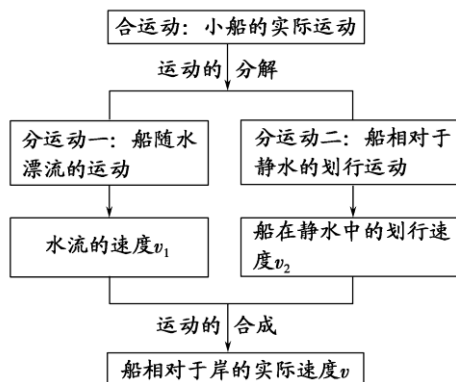
$$t' = \frac{d}{v_2 \cos 30^\circ} = \frac{180}{\frac{5}{2}\sqrt{3}} \text{ s} = 24\sqrt{3} \text{ s}$$

答案 (1)船头垂直于河岸 36 s $90\sqrt{5}$ m

(2)船头向上游偏 30° $24\sqrt{3}$ s 180 m

反思总结

1. 小船过河问题分析思路



2. 解决这类问题的关键

(1)正确区分分运动和合运动，船的航行方向也就是船头指向，是分运动。船的运动方向也就是船的实际运动方向，是合运动，一般情况下与船头指向不一致。

(2)运动分解的基本方法，按实际效果分解，一般用平行四边形定则按水流方向和船头指向分解。

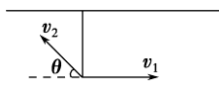
(3)渡河时间只与垂直河岸的船的分速度有关，与水流速度无关。

(4)求最短渡河位移时，根据船速 $v_{船}$ 与水流速度 $v_{水}$ 的大小情况用三角形法则求极值的方法处理。

即学即练 河宽 60 m，水流速度 $v_1=6$ m/s，小船在静水中的速度 $v_2=3$ m/s，则：

(1)它渡河的最短时间是多少？

(2)最短航程是多少？

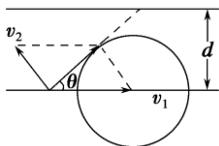


解析 (1)设船与岸成 θ 角开出，

如图所示。

$$\text{渡河时间为: } t = \frac{d}{v_2 \sin \theta}$$

$$\text{当 } \theta = 90^\circ \text{ 时渡河时间最短, } t_{\min} = \frac{d}{v_2} = \frac{60}{3} \text{ s} = 20 \text{ s.}$$



(2)因为船速小于水速，所以小船一定向下游漂移。如图所示，以 v_1 矢量末端为圆心，以 v_2 矢量的大小为半径画弧，从 v_1 矢量的始端向圆弧作切线，则合速度沿此切线方向航程最短。由图可知 $\sin \theta = \frac{v_2}{v_1}$ ，

$$\text{最短航程为: } x_{\text{短}} = \frac{d}{\sin \theta} = \frac{v_1}{v_2} d = \frac{6}{3} \times 60 \text{ m} = 120 \text{ m.}$$

答案 (1)20 s (2)120 m

对应高考题组

因为竖直方向匀速，由 $y = 6 \text{ cm} = v_0 t$ 知 $t = 2 \text{ s}$ ，水平方向 $x = \frac{v_x}{2} t = 4 \text{ cm}$ ，所以 $v_x = 4 \text{ cm/s}$ ，因此此时 R 的速度大小 $v = \sqrt{v_x^2 + v_0^2} = 5 \text{ cm/s}$ 。

答案 5 D

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

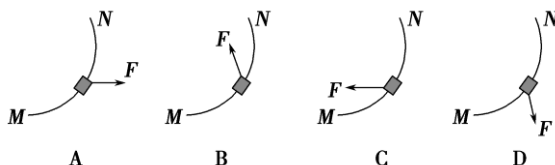
题组一 物体做曲线运动的条件及轨迹分析

1. (2013 广州模拟)(多选)关于做曲线运动的物体，下列说法中正确的是()。

- A. 它所受的合外力一定不为零
- B. 它所受的合外力一定是变力
- C. 其速度可以保持不变
- D. 其动能可以保持不变

答案 AD

2. (单选)“神舟”十号飞船于 2013 年 6 月 11 日发射升空，如图所示，在“神舟”十号靠近轨道沿曲线从 M 点到 N 点的飞行过程中，速度逐渐减小。在此过程中“神舟”十号所受合力的方向可能是()。



解析 做曲线运动的物体所受合力的方向总是指向曲线凹侧，A、D 错误；由于速度逐渐减小，故力 F 的方向与速度方向的夹角应大于 90° ，C 正确。

答案 C

3. (单选)如图 4-1-9 所示，在一次消防演习中，消防队员要借助消防车上的梯子爬到高处进行救人。为了节省救援时间，当消防车匀速前进的同时，人沿倾斜的梯子匀加速向上运动，则关于消防队员的运动，下列说法中正确的是()。



图 4-1-9

- A. 消防队员做匀加速直线运动
- B. 消防队员做匀变速曲线运动
- C. 消防队员做变加速曲线运动
- D. 消防队员水平方向的速度保持不变

解析 由于消防队员同时参与两个分运动，由两分运动的特点可知，其合运动为匀变速运动，但轨迹为曲线，故 B 正确；消防队员在水平方向的速度增大，D 错误。

答案 B

题组二 运动的合成与分解



图 4-1-10

4. (2013 吉林重点中学模拟)(多选)跳伞表演是人们普遍喜欢的观赏性体育项目,如图 4-1-10 所示,当运动员从直升飞机上由静止跳下后,在下落过程中将会受到水平风力的影响,下列说法中正确的是()。

- A. 风力越大,运动员下落时间越长,运动员可完成更多的动作
- B. 风力越大,运动员着地速度越大,有可能对运动员造成伤害
- C. 运动员下落时间与风力无关
- D. 运动员着地速度与风力无关

解析 水平风力不会影响竖直方向的运动,所以运动员下落时间与风力无关,A 错误,C 正确.运动员落地时竖直方向的速度是确定的,水平风力越大,落地时水平分速度越大,运动员着地时的合速度越大,有可能对运动员造成伤害,B 正确,D 错误.

答案 BC

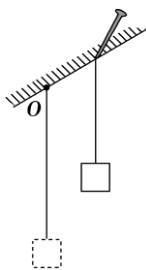


图 4-1-11

5. (2013 济南模拟)(多选)如图 4-1-11 所示,一块橡皮用细线悬挂于 O 点,用钉子靠着线的左侧,沿与水平方向成 30° 角的斜面向右以速度 v 匀速运动,运动中始终保持悬线竖直,下列说法正确的是()。

- A. 橡皮的速度大小为 $\sqrt{2}v$
- B. 橡皮的速度大小为 $\sqrt{3}v$
- C. 橡皮的速度与水平方向成 60° 角
- D. 橡皮的速度与水平方向成 45° 角

解析 钉子沿斜面匀速运动,橡皮具有向上的分速度 v ,同时具有沿斜面方向的分速度 v ,根据运动的合成可知,橡皮的速度大小为 $\sqrt{3}v$,速度与水平方向成 60° 角,选项 B、C 正确.

答案 BC

6. (多选)一质量为 2 kg 的物体在 5 个共点力作用下做匀速直线运动.现同时撤去其中大小分别为 10 N 和 15 N 的两个力,其余的力保持不变.下列关于此后该物体运动的说法中,正确的是()。

- A. 可能做匀减速直线运动,加速度大小为 10 m/s^2
- B. 可能做匀速圆周运动,向心加速度大小为 5 m/s^2
- C. 可能做匀变速曲线运动,加速度大小可能为 5 m/s^2
- D. 一定做匀变速直线运动,加速度大小可能为 10 m/s^2

解析 物体在 5 个共点力作用下处于平衡状态,合力为零,当撤去 10 N 和 15 N 的两个力时,剩余 3 个力的合力与这两个力的合力等大反向,即撤去力后 $5 \text{ N} \leq F_{\text{合}} \leq 25 \text{ N}$, $2.5 \text{ m/s}^2 \leq a_{\text{合}} \leq 12.5 \text{ m/s}^2$,由于剩余 3 个力的合力方向与原速度方向不一定在一条直线上,所以可能做匀变速曲线运动,也可能做匀变速直线运动,故 A、C 正确.

答案 AC

7. (多选)在一光滑水平面内建立平面直角坐标系,一物体从 $t=0$ 时刻起,由坐标原点 $O(0,0)$ 开始运动,其沿 x 轴和 y 轴方向运动的速度—时间图象如图 4-1-12 甲、乙所示,下列说法中正确的是()。

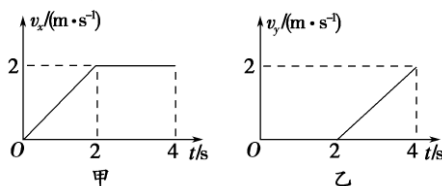


图 4 - 1 - 12

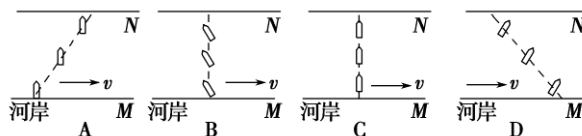
- A. 前 2 s 内物体沿 x 轴做匀加速直线运动
- B. 后 2 s 内物体继续做匀加速直线运动, 但加速度沿 y 轴方向
- C. 4 s 末物体坐标为(4 m,4 m)
- D. 4 s 末物体坐标为(6 m,2 m)

解析 前 2 s 内物体在 y 轴方向速度为 0, 由题图甲知只沿 x 轴方向做匀加速直线运动, A 正确; 后 2 s 内物体在 x 轴方向做匀速运动, 在 y 轴方向做初速度为 0 的匀加速运动, 加速度沿 y 轴方向, 合运动是曲线运动, B 错误; 4 s 内物体在 x 轴方向上的位移是 $x = \left(\frac{1}{2} \times 2 \times 2 + 2 \times 2\right) \text{m} = 6 \text{m}$, 在 y 轴方向上的位移为 $y = \frac{1}{2} \times 2 \times 2 \text{m} = 2 \text{m}$, 所以 4 s 末物体坐标为(6 m,2 m), D 正确, C 错误.

答案 AD

题组三 “小船渡河” 问题

8. (2013 黄冈期末)(多选)下列图中实线为河岸, 河水的流动方向如图 v 的箭头所示, 虚线为小船从河岸 M 驶向对岸 N 的实际航线. 则其中可能正确的是().



解析 船头垂直于河岸时, 船的实际航向应斜向右上方, A 正确, C 错误; 船头斜向上游时, 船的实际航向可能垂直于河岸, B 正确; 船头斜向下游时, 船的实际航向一定斜向下游, D 错误.

答案 AB

9. (单选)唐僧、悟空、沙僧和八戒师徒四人想划船渡过一条宽 150 m 的河, 他们在静水中划船的速度为 5 m/s, 现在他们观察到河水的流速为 4 m/s, 对于这次划船过河, 他们有各自的看法, 其中正确的是().

- A. 唐僧说: 我们要想到达正对岸就得朝着正对岸划船
- B. 悟空说: 我们要想节省时间就得朝着正对岸划船
- C. 沙僧说: 我们要想少走点路就得朝着正对岸划船
- D. 八戒说: 今天这种情况我们是不可能到达正对岸的

解析 当船朝正对岸运动时, 渡河所用时间最短, B 正确; 由于船在静水中的速度大于水流速度, 故船可以到达正对岸, 但此时船头应斜向上游, A、C、D 错误.

答案 B

10. (单选)一小船在静水中的速度为 3 m/s, 它在一条河宽为 150 m, 水流速度为 4 m/s 的河流中渡河, 则该小船().

- A. 能到达正对岸
- B. 渡河的时间可能少于 50 s
- C. 以最短时间渡河时, 它沿水流方向的位移大小为 200 m
- D. 以最短位移渡河时, 位移大小为 150 m

解析 因为小船在静水中的速度小于水流速度, 所以小船不能到达正对岸, 故 A 错误; 当船头与河岸垂直时渡河时间最短, 最短时间 $t = \frac{d}{v_{\text{船}}} = 50 \text{ s}$, 故渡河时间不能少于 50 s, 故 B 错误; 以最短时间渡河时, 沿水流方向位移 $x = v_{\text{水}} t = 200 \text{ m}$, 故 C 正确; 当 $v_{\text{船}}$ 与实际运动方向垂直时渡河位移最短, 设此时船头与河岸的夹角为 θ , 则 $\cos \theta = \frac{3}{4}$, 故渡河位移 $s = \frac{d}{\cos \theta} = 200 \text{ m}$, 故 D 错误.

答案 C

B 深化训练——提高能力技巧

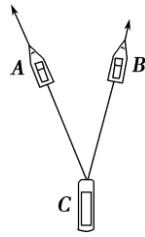


图 4-1-13

11. (2013 上海卷, 20)(多选)如图 4-1-13 所示, 为在平静海面上, 两艘拖船 A、B 拖着驳船 C 运动的示意图. A、B 的速度分别沿着缆绳 CA、CB 方向, A、B、C 不在一条直线上. 由于缆绳不可伸长, 因此 C 的速度在 CA、CB 方向的投影分别与 A、B 的速度相等, 由此可知 C 的().

- A. 速度大小可以介于 A、B 的速度大小之间
- B. 速度大小一定不小于 A、B 的速度大小
- C. 速度方向可能在 CA 和 CB 的夹角范围外
- D. 速度方向一定在 CA 和 CB 的夹角范围内

解析 根据题述, C 的速度大小一定不小于 A、B 的速度大小, 选项 A 错误、B 正确. C 的速度方向一定在 CA 和 CB 的夹角范围内, 选项 C 错误、D 正确.

答案 BD

12. 如图 4-1-14 所示, 为一次洪灾中, 德国联邦国防军的直升机在小城洛伊宝根运送砂袋. 该直升机 A 用长度足够长的悬索(重力可忽略不计)系住一质量 $m=50 \text{ kg}$ 的砂袋 B, 直升机 A 和砂袋 B 以 $v_0=10 \text{ m/s}$ 的速度一起沿水平方向匀速运动, 某时刻开始将砂袋放下, 在 5 s 时间内, B 在竖直方向上移动的距离以 $y=t^2$ (单位: m)的规律变化, 取 $g=10 \text{ m/s}^2$. 求在 5 s 末砂袋 B 的速度大小及位移大小.



图 4-1-14

解析 砂袋在水平方向上做匀速直线运动, $v_0=10 \text{ m/s}$

在竖直方向上砂袋的位移: $y=t^2$, 即砂袋在竖直方向上做初速度为零的匀加速直线运动, 加速度 $a=2 \text{ m/s}^2$

砂袋 5 s 末在竖直方向上的速度为 $v_y=at=10 \text{ m/s}$

合速度 $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=10\sqrt{2} \text{ m/s}$

竖直方向上的位移 $y=\frac{1}{2}at^2=25 \text{ m}$

水平方向上的位移 $x=v_0t=50 \text{ m}$

合位移 $s=\sqrt{x^2+y^2}=25\sqrt{5} \text{ m}$.

答案 $10\sqrt{2} \text{ m/s}$ $25\sqrt{5} \text{ m}$

13. 一物体在光滑水平面上运动, 它在 x 方向和 y 方向上的两个分运动的速度—时间图象如图 4-1-15 所示.

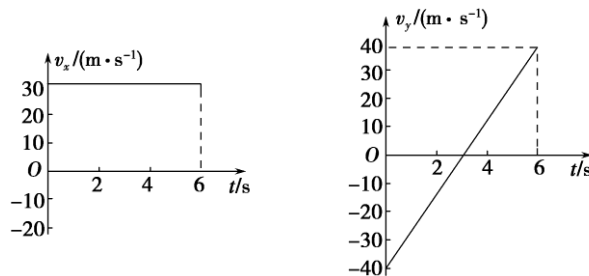


图 4-1-15

(1)判断物体的运动性质;

- (2)计算物体的初速度大小;
 (3)计算物体在前3 s内和前6 s内的位移大小.

解析 (1)由题图可知,物体在 x 轴方向做匀速直线运动,在 y 轴方向做匀变速运动,先减速再反向加速,所以物体做匀变速曲线运动.

(2) $v_{x0} = 30 \text{ m/s}$, $v_{y0} = -40 \text{ m/s}$

$v_0 = \sqrt{v_{x0}^2 + v_{y0}^2} = 50 \text{ m/s}$

(3) $x_3 = v_x t = 90 \text{ m}$, $|y_3| = \left| \frac{v_{y0}}{2} \right| t = 60 \text{ m}$

则 $s_1 = \sqrt{x_3^2 + y_3^2} = 30\sqrt{13} \text{ m}$,

$x_6 = v_x t' = 180 \text{ m}$

$y_6 = v_y t' = \frac{40 - 40}{2} \times 6 \text{ m} = 0$, 则 $s_2 = x_6 = 180 \text{ m}$.

答案 (1)匀变速曲线运动 (2)50 m/s (3) $30\sqrt{13} \text{ m}$ 180 m

第2讲 平抛运动

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点

抛体运动 (考纲要求 II)

1.平抛运动的特点和性质

- (1)定义:以一定的初速度沿水平方向抛出的物体只在重力作用下的运动.
 (2)性质:平抛运动是加速度为 g 的匀加速曲线运动,其运动轨迹是抛物线.
 (3)平抛运动的条件:① $v_0 \neq 0$, 沿水平方向;② 只受重力作用.
 (4)研究方法:平抛运动可以分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动.
 (5)基本规律(如图 4-2-1 所示).

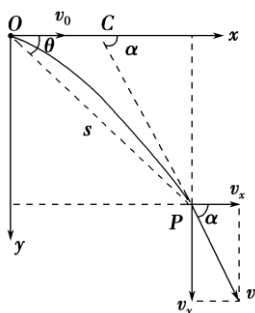
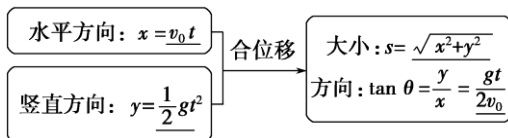
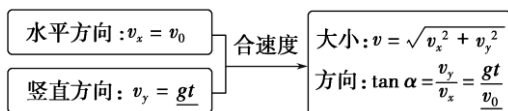


图 4-2-1

位移关系



速度关系



2.斜抛运动(说明:斜抛运动只作定性要求)

- (1)定义:将物体以初速度 v_0 沿斜向上方或斜向下方抛出,物体只在重力作用下的运动.
 (2)性质:加速度为重力加速度 g 的匀变速曲线运动,轨迹是抛物线.
 (3)研究方法:斜抛运动可以看做水平方向的匀速直线运动和竖直方向的匀变速直线运动的合运动.

思维深化 判断正误,正确的划“√”,错误的划“×”.

- (1)以一定的初速度水平抛出的物体的运动是平抛运动. ()

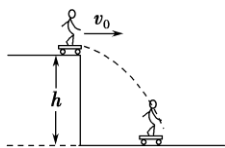


图 4-2-2

5. (2013 广东汕头测评)(多选)如图 4-2-2, 滑板运动员以速度 v_0 从离地高度为 h 的平台末端水平飞出, 落在水平地面上. 忽略空气阻力, 运动员和滑板可视为质点, 下列表述正确的是().

- A. v_0 越大, 运动员在空中运动时间越长
- B. v_0 越大, 运动员落地瞬间速度越大
- C. 运动员落地瞬间速度与高度 h 有关
- D. 运动员落地位置与 v_0 大小无关

解析 在平抛运动中, 飞行时间仅由高度决定, 所以 A 错误; 水平位移、落地速度(末速度)由高度和初速度共同决定, 所以 B、C 对, D 错误.

答案 BC

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 平抛运动基本规律的应用

1. 飞行时间: 由 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ 知, 时间取决于下落高度 h , 与初速度 v_0 无关.

2. 水平射程: $x = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$, 即水平射程由初速度 v_0 和下落高度 h 共同决定, 与其他因素无关.

3. 落地速度: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$, 以 θ 表示落地速度与 x 轴正方向间的夹角, 有 $\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{\sqrt{2gh}}{v_0}$,

所以落地速度只与初速度 v_0 和下落高度 h 有关.

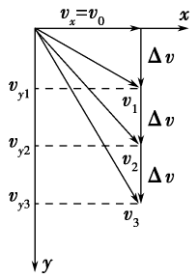


图 4-2-3

4. 速度变化量: 做平抛运动的物体在任意相等时间间隔 Δt 内的速度改变量 $\Delta v = g\Delta t$ 相同, 方向恒为竖直向下, 如图 4-2-3 所示.

5. 两个重要推论:

(1) 做平抛(或类平抛)运动的物体任一时刻的瞬时速度的反向延长线一定通过此时水平位移的中点, 如图 4-2-4 所示.

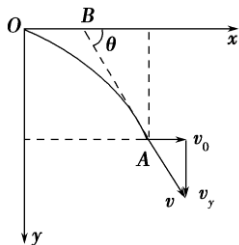


图 4-2-4

(2) 做平抛(或类平抛)运动的物体在任一时刻任一位置处, 设其速度方向与水平方向的夹角为 θ , 位移与水平方向的夹角为 α , 则 $\tan \theta = 2 \tan \alpha$.

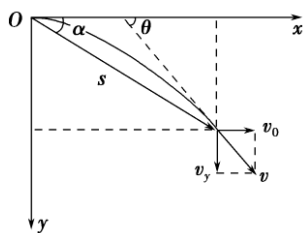


图 4-2-5

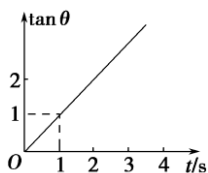


图 4-2-6

【典例 1】某物体做平抛运动时，它的速度方向与水平方向的夹角为 θ ，其正切值 $\tan \theta$ 随时间 t 变化的图象如图 4-2-6 所示，(g 取 10 m/s^2) 则()。

- A. 第 1 s 物体下落的高度为 5 m
- B. 第 1 s 物体下落的高度为 10 m
- C. 物体的初速度为 5 m/s
- D. 物体的初速度是 10 m/s

解析 因 $\tan \theta = \frac{gt}{v_0} = \frac{g}{v_0}t$ ，对应图象可得 $\frac{g}{v_0} = 1$ ， $v_0 = 10 \text{ m/s}$ ，D 正确，C 错误；第 1 s 内物体下落的高度 $h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 1^2 \text{ m} = 5 \text{ m}$ ，A 正确，B 错误。

答案 AD

反思总结 “化曲为直”思想在平抛运动中的应用

在研究平抛运动问题时，根据运动效果的等效性，利用运动分解的方法，将其转化为我们所熟悉的两个方向上的直线运动，即水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动。再运用运动合成的方法求出平抛运动的规律。这种处理问题的方法可以变曲线运动为直线运动，变复杂运动为简单运动，是处理曲线运动问题的一种重要的思想方法。

【跟踪短训】

1. 从高度为 h 处以水平速度 v_0 抛出一个物体，要使该物体的落地速度与水平地面的夹角较大，则 h 与 v_0 的取值应为下列四组中的哪一组()。

- A. $h=30 \text{ m}$ ， $v_0=10 \text{ m/s}$
- B. $h=30 \text{ m}$ ， $v_0=30 \text{ m/s}$
- C. $h=50 \text{ m}$ ， $v_0=30 \text{ m/s}$
- D. $h=50 \text{ m}$ ， $v_0=10 \text{ m/s}$

解析 要使落地速度与水平方向夹角较大，应使 $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{\sqrt{2gh}}{v_0}$ 中 θ 较大，应使自由下落的高度 h 较大，同时使水平速度 v_0 较小，故选项 D 正确。

答案 D

2. 初速度为 v_0 的平抛物体，某时刻物体的水平分位移与竖直分位移大小相等，下列说法错误的是()。

- A. 该时刻物体的水平分速度与竖直分速度相等
- B. 该时刻物体的速率等于 $\sqrt{5}v_0$
- C. 物体运动的时间为 $\frac{2v_0}{g}$
- D. 该时刻物体位移大小等于 $\frac{2\sqrt{2}v_0^2}{g}$

解析 设物体的运动时间为 t ，根据题意可列方程 $v_0t = \frac{1}{2}gt^2$ ，解得 $t = \frac{2v_0}{g}$ ，可知 C 项正确； $t = \frac{2v_0}{g}$ 时，竖直分速度 $v_y = gt = 2v_0 \neq v_0$ ，由于 $v_x = v_0$ ，该时刻物体瞬时速度为 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{5}v_0$ ，可见选项 A 错

误, B 正确; $t = \frac{2v_0}{g}$ 时, 物体的水平位移与竖直位移相等, $x = v_0 t = \frac{2v_0^2}{g} = y$. 则该时刻物体位移大小为 $s = \sqrt{x^2 + y^2} = \frac{2\sqrt{2}v_0^2}{g}$, 选项 D 也正确.

答案 A

热点二 多体的平抛问题

求解多体平抛问题的三点注意

(1) 若两物体同时从同一高度(或同一点)抛出, 则两物体始终在同一高度, 二者间距只取决于两物体的水平分运动.

(2) 若两物体同时从不同高度抛出, 则两物体高度差始终与抛出点高度差相同, 二者间距由两物体的水平分运动和竖直高度差决定.

(3) 若两物体从同一点先后抛出, 两物体竖直高度差随时间均匀增大, 二者间距取决于两物体的水平分运动和竖直分运动.

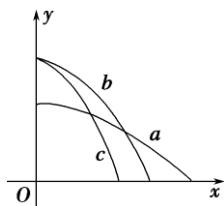


图 4-2-7

【典例 2】 (2012 课标全国卷, 15) 如图 4-2-7 所示, x 轴在水平地面内, y 轴沿竖直方向. 图中画出了从 y 轴上沿 x 轴正向抛出的三个小球 a 、 b 和 c 的运动轨迹, 其中 b 和 c 是从同一点抛出的. 不计空气阻力, 则().

- A. a 的飞行时间比 b 的长
- B. b 和 c 的飞行时间相同
- C. a 的水平速度比 b 的小
- D. b 的初速度比 c 的大

审题指导 关键点: 看图获信息

(1) 小球 b 、 c 的高度相同 $\rightarrow t_b = t_c$

(2) 小球 a 的高度比 b 的低 $\rightarrow t_a < t_b$

(3) 由图可知 $x_a > x_b > x_c$

解析 根据平抛运动的规律 $h = \frac{1}{2}gt^2$, 得 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, 因此平抛运动的时间只由高度决定, 因为 $h_b = h_c > h_a$, 所以 b 与 c 的飞行时间相同, 大于 a 的飞行时间, 因此选项 A 错误、选项 B 正确; 又因为 $x_a > x_b$, 而 $t_a < t_b$, 所以 a 的水平初速度比 b 的大, 选项 C 错误; 做平抛运动的物体在水平方向上做匀速直线运动, b 的水平位移大于 c , 而 $t_b = t_c$, 所以 $v_b > v_c$, 即 b 的水平初速度比 c 的大, 选项 D 正确.

答案 BD

【跟踪短训】

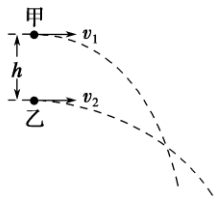


图 4-2-8

3. 甲、乙两球位于同一竖直线上的不同位置, 甲比乙高 h , 如图 4-2-8 所示, 将甲、乙两球分别以 v_1 、 v_2 的初速度沿同一水平方向抛出, 不计空气阻力, 下列条件中有可能使乙球击中甲球的是().

- A. 同时抛出: 且 $v_1 < v_2$
- B. 甲比乙后抛出, 且 $v_1 > v_2$
- C. 甲比乙早抛出, 且 $v_1 > v_2$
- D. 甲比乙早抛出, 且 $v_1 < v_2$

解析 两球竖直方向均做自由落体运动, 要相遇, 甲竖直位移比乙大, 甲应早抛; 甲早抛乙晚抛, 要使两球水平位移相等, 乙速度必须比甲大.

答案 D

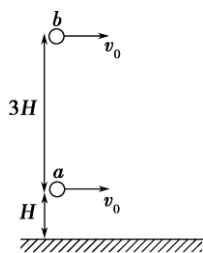


图 4-2-9

4. (2013 深圳模拟)如图 4-2-9 所示, 在距水平地面 H 和 $4H$ 高度处, 同时将质量相同的 a 、 b 两小球以相同的初速度 v_0 水平抛出, 则以下判断正确的是()。

- A. a 、 b 两小球同时落地
- B. 两小球落地速度方向相同
- C. a 、 b 两小球水平位移之比为 $1:2$
- D. a 、 b 两小球水平位移之比为 $1:4$

解析 a 、 b 两小球均做平抛运动, 由于下落时间 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, 水平位移 $x = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$, 将 $h_a = H$, $h_b = 4H$ 代入上述关系式可得 A、D 错误, C 正确; 两小球落地时速度方向均与落地点沿轨迹的切线方向一致, 所以 B 错误。

答案 C

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

物理建模 5. “平抛+斜面”模型(模型演示见 PPT 课件)

模型阐述: 平抛运动与斜面相结合, 其特点是做平抛运动的物体落在斜面上, 包括两种情况:

- (1) 物体从空中抛出落在斜面上;
- (2) 从斜面上抛出落在斜面上。

在解答该类问题时, 除要运用平抛运动的位移和速度规律外, 还要充分利用斜面倾角, 找出斜面倾角同位移和速度的关系, 从而使问题得到顺利解决。

方法	内容	实例		总结
		斜面	求小球平抛时间	
分解速度	水平 $v_x = v_0$ 竖直 $v_y = gt$ 合速度 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$		如图, $v_y = gt$, $\tan \theta = \frac{v_0}{v_y} = \frac{v_0}{gt}$, 故 $t = \frac{v_0}{g \tan \theta}$	分解速度, 构建速度三角形
分解位移	水平 $x = v_0 t$ 竖直 $y = \frac{1}{2} g t^2$ 合位移 $x_{\text{合}} = \sqrt{x^2 + y^2}$		如图, $x = v_0 t$, $y = \frac{1}{2} g t^2$, 而 $\tan \theta = \frac{y}{x}$, 联立得 $t = \frac{2v_0 \tan \theta}{g}$	分解位移, 构建位移三角形

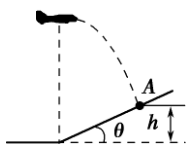


图 4-2-10

【典例】(2013 上海卷, 19)如图 4-2-10 所示, 轰炸机沿水平方向匀速飞行, 到达山坡底端正上方时释放一颗炸弹, 并垂直击中山坡上的目标 A. 已知 A 点高度为 h , 山坡倾角为 θ , 由此可算出()。

- A. 轰炸机的飞行高度
- B. 轰炸机的飞行速度
- C. 炸弹的飞行时间
- D. 炸弹投出时的动能

解析 设轰炸机投弹位置高度为 H , 炸弹水平位移为 s , 则 $H - h = \frac{1}{2}v_y t$, $x = v_0 t$, 二式相除 $\frac{H - h}{x} = \frac{1}{2} \frac{v_y}{v_0}$, 因为 $\frac{v_y}{v_0} = \frac{1}{\tan \theta}$, $x = \frac{h}{\tan \theta}$, 所以 $H = h + \frac{h}{2 \tan^2 \theta}$, A 正确; 根据 $H - h = \frac{1}{2} g t^2$ 可求出飞行时间, 再由 $x = v_0 t$ 可求出飞行速度, 故 B、C 正确; 不知道炸弹质量, 不能求出炸弹的动能, D 错误.

答案 ABC

即学即练 如图 4-2-11 所示, 在足够长的斜面上的 A 点, 以水平速度 v_0 抛出一个小球, 不计空气阻力, 它落到斜面上所用的时间为 t_1 ; 若将此球改用 $2v_0$ 抛出, 落到斜面上所用时间为 t_2 , 则 t_1 与 t_2 之比为().

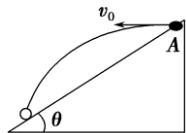


图 4-2-11

- A. 1 : 1
C. 1 : 3

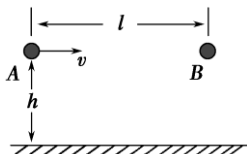
- B. 1 : 2
D. 1 : 4

解析 因小球落在斜面上, 所以两次位移与水平方向的夹角相等, 由平抛运动规律知 $\tan \theta = \frac{\frac{1}{2} g t_1^2}{v_0 t_1} =$

$\frac{\frac{1}{2} g t_2^2}{2 v_0 t_2}$, 所以 $\frac{t_1}{t_2} = \frac{1}{2}$.

答案 B

对应高考题组

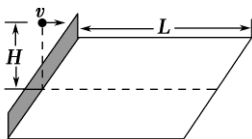


1. (2012 江苏卷, 6) 如图所示, 相距 l 的两小球 A、B 位于同一高度 h (l 、 h 均为定值). 将 A 向 B 水平抛出的同时, B 自由下落. A、B 与地面碰撞前后, 水平分速度不变, 竖直分速度大小不变、方向相反. 不计空气阻力及小球与地面碰撞的时间, 则().

- A. A、B 在第一次落地前能否相碰, 取决于 A 的初速度
B. A、B 在第一次落地前若不碰, 此后就不会相碰
C. A、B 不可能运动到最高处相碰
D. A、B 一定能相碰

解析 由题意知 A 做平抛运动, 即水平方向做匀速直线运动, 竖直方向为自由落体运动; B 为自由落体运动, A、B 竖直方向的运动相同, 二者与地面碰撞前运动时间 t_1 相同, 且 $t_1 = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, 若第一次落地前相碰, 只要满足 A 运动时间 $t = \frac{l}{v} < t_1$, 即 $v > \frac{l}{t_1}$, 所以选项 A 正确; 因为 A、B 在竖直方向的运动同步, 始终处于同一高度, 且 A 与地面相碰后水平速度不变, 所以 A 一定会经过 B 所在的竖直线与 B 相碰. 碰撞位置由 A 球的初速度决定, 故选项 B、C 错误, 选项 D 正确.

答案 AD



2. (2011 广东卷, 17) 如图所示, 在网球的网前截击练习中, 若练习者在球网正上方距地面 H 处, 将球以速度 v 沿垂直球网的方向击出, 球刚好落在底线上. 已知底线到网的距离为 L , 重力加速度取 g , 将球的运动视作平抛运动, 下列表述正确的是().

A. 球的速度 v 等于 $L\sqrt{\frac{g}{2H}}$

B. 球从击出至落地所用时间为 $\sqrt{\frac{2H}{g}}$

C. 球从击球点至落地点的位移等于 L

D. 球从击球点至落地点的位移与球的质量有关

解析 球做平抛运动，则其在竖直方向做自由落体运动，由 $H = \frac{1}{2}gt^2$ 得 $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$ ，故 B 正确，水平方向做匀速运动，由 $L = vt$ 得 $v = \frac{L}{t} = L\sqrt{\frac{g}{2H}}$ ，可知 A 正确。球从击球点到落地点的位移 $s = \sqrt{H^2 + L^2}$ 与 m 无关，可知 C、D 错误。

答案 AB

3. (2011 海南卷, 15) 如图所示，水平地面上有一个坑，其竖直截面为半圆， ab 为沿水平方向的直径。若在 a 点以初速度 v_0 沿 ab 方向抛出一小球，小球会击中坑壁上的 c 点。已知 c 点与水平地面的距离为圆半径的一半，求圆的半径。



解析 小球做平抛运动

落到 c 点时的竖直位移为 $y = \frac{R}{2} = R\sin 30^\circ$

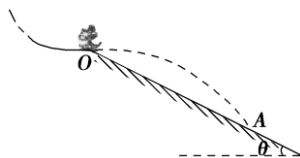
而 $y = \frac{1}{2}gt^2$ 即 $\frac{R}{2} = \frac{1}{2}gt^2$

水平位移 $x = R + R\cos 30^\circ$ ，而 $x = v_0t$

联立得 $R = \frac{4v_0^2}{(7 + 4\sqrt{3})g} = (28 - 16\sqrt{3})\frac{v_0^2}{g}$

答案 $(28 - 16\sqrt{3})\frac{v_0^2}{g}$

4. (2010 北京卷, 22) 如图所示，跳台滑雪运动员经过一段加速滑行后从 O 点水平飞出，经 3.0 s 落到斜坡上的 A 点。已知 O 点是斜坡的起点，斜坡与水平面的夹角 $\theta = 37^\circ$ ，运动员的质量 $m = 50$ kg。不计空气阻力。(取 $\sin 37^\circ = 0.60$ ， $\cos 37^\circ = 0.80$ ； g 取 10 m/s²) 求



(1) A 点与 O 点的距离 L ；

(2) 运动员离开 O 点时的速度大小；

(3) 运动员落到 A 点时的动能。

解析 (1) 运动员在竖直方向做自由落体运动，有

$$L\sin 37^\circ = \frac{1}{2}gt^2$$

$$A \text{ 点与 } O \text{ 点的距离 } L = \frac{gt^2}{2\sin 37^\circ} = 75 \text{ m}$$

(2) 设运动员离开 O 点的速度为 v_0 ，运动员在水平方向做匀速直线运动，即 $L\cos 37^\circ = v_0t$ ，解得 $v_0 = \frac{L\cos 37^\circ}{t} = 20$ m/s

(3) 由机械能守恒，取 A 点为重力势能零点，运动员落到 A 点时的动能为 $E_{kA} = mgL\sin 37^\circ + \frac{1}{2}mv_0^2 = 32\,500$ J

答案 (1) 75 m (2) 20 m/s (3) 32 500 J

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 对抛体运动规律的理解及应用

1. (多选)物体在平抛运动过程中,在相等的时间内,下列哪个量是相等的().

- A. 速度的增量
B. 加速度
C. 位移
D. 平均速率

解析 物体在平抛运动过程中,只受重力作用,据牛顿第二定律可知,物体的加速度为 g 保持不变,另外在相等的时间 t 内可知 $\Delta v = gt$ 也是恒量,故 A、B 正确;位移 $s = \sqrt{(v_0 t)^2 + \left(\frac{1}{2}gt^2\right)^2}$ 在相等的时间 t 内 s 大小不等,方向不同,故 C 错;其 $\bar{v} = \frac{s}{t}$,由于 s 不同,则 \bar{v} 不同,故 D 错.

答案 AB

2. (单选)一架飞机以 200 m/s 的速度在高空中某一水平面上做匀速直线运动,前、后相隔 1 s 从飞机上落下 A、B 两个物体,不计空气阻力,落下时 A、B 两个物体相对飞机的速度均为零,在 A、B 以后的运动过程中,它们所处的位置关系是().

- A. A 在 B 的前方,沿水平方向两者相距 200 m
B. A 在 B 的后方,沿水平方向两者相距 200 m
C. A 在 B 的正下方,两者间的距离始终保持不变
D. A 在 B 的正下方,两者间的距离逐渐增大

答案 D

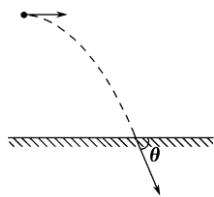


图 4-2-12

3. (2013 济南模拟)(多选)如图 4-2-12 所示,从某高度水平抛出一小球,经过时间 t 到达地面时,速度与水平方向的夹角为 θ ,不计空气阻力,重力加速度为 g .下列说法正确的是().

- A. 小球水平抛出时的初速度大小为 $\frac{gt}{\tan \theta}$
B. 小球在 t 时间内的位移方向与水平方向的夹角为 $\frac{\theta}{2}$
C. 若小球初速度增大,则平抛运动的时间变长
D. 若小球初速度增大,则 θ 减小

解析 落地时竖直方向上的速度 $v_y = gt$.因为速度方向与水平方向的夹角为 θ ,所以落地的速度大小 $v = \frac{v_y}{\sin \theta} = \frac{gt}{\sin \theta}$,小球的初速度 $v_0 = \frac{v_y}{\tan \theta} = \frac{gt}{\tan \theta}$, A 正确.速度与水平方向夹角的正切值 $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{gt}{v_0}$,位移与水平方向夹角的正切值 $\tan \alpha = \frac{y}{x} = \frac{gt}{2v_0}$, $\tan \theta = 2 \tan \alpha$,但 $\alpha \neq \frac{\theta}{2}$,故 B 错误.平抛运动的时间由高度决定,与初速度无关,故 C 错误.由于 $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{gt}{v_0}$,若小球初速度增大,则 θ 减小, D 正确.

答案 AD

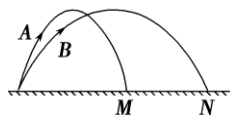


图 4-2-13

4. (2013 江苏卷, 7)(多选)如图 4-2-13 所示,从地面上同一位置抛出两小球 A、B,分别落在地面上的 M、N 点,两球运动的最大高度相同.空气阻力不计,则().

- A. B 的加速度比 A 的大

- B. B 的飞行时间比 A 的长
- C. B 在最高点的速度比 A 在最高点的速度大
- D. B 在落地时的速度比 A 在落地时的速度大

解析 在同一位置抛出的两小球，不计空气阻力，在运动过程中的加速度等于重力加速度，故 A 、 B 的加速度相等，选项 A 错误；根据 $h = \frac{1}{2}gt^2$ ，两球运动的最大高度相同，故两球飞行的时间相等，选项 B 错误；由于 B 的射程大，根据水平方向匀速运动的规律 $x = vt$ ，故 B 在最高点的速度比 A 的大，选项 C 正确；根据竖直方向自由落体运动， A 、 B 落地时在竖直方向的速度相等， B 的水平速度大，速度合成后 B 在落地时的速度比 A 的大，选项 D 正确。

答案 CD

5. 在一足够长的倾角为 $\theta = 37^\circ$ 的光滑斜面顶端，由静止释放小球 A ，经过时间 t 后，仍在斜面顶端水平抛出另一小球 B ，为使抛出的小球 B 能够刚好击中小球 A ，小球 B 应以多大速度抛出？(已知重力加速度为 g ， $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8$)

解析 设 B 球平抛后经时间 t_1 落到斜面上

$$\text{其水平位移为 } x = vt_1 \quad \text{①}$$

$$\text{其竖直位移为 } y = \frac{1}{2}gt_1^2 \quad \text{②}$$

$$\text{考虑到斜面倾角有 } y = x \tan \theta \quad \text{③}$$

$$\text{根据①②③式可得 } t_1 = \frac{2v \tan \theta}{g} = \frac{3v}{2g} \quad \text{④}$$

$$B \text{ 球位移为 } s = \frac{x}{\cos \theta} = \frac{vt_1}{\cos \theta} = \frac{15v^2}{8g} \quad \text{⑤}$$

$$\text{而在这段时间内 } A \text{ 球总位移为 } l = \frac{1}{2}g \sin \theta (t_1 + t)^2 \quad \text{⑥}$$

$$\text{因为两球相碰，则 } s = l \quad \text{⑦}$$

$$\text{由⑤⑥⑦可得 } v = gt$$

答案 gt

题组二 多体的平抛问题

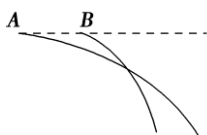


图 4-2-14

6. (多选)在一次体育活动中，两个同学一前一后在同一水平直线上，分别抛出两个小球 A 和 B ，两个小球的运动轨迹如图 4-2-14 所示，不计空气阻力。要使两个小球在空中发生碰撞，必须()。

- A. 先抛出 A 球，后抛出 B 球
- B. 同时抛出两球
- C. A 球抛出速度大于 B 球抛出速度
- D. 使两球质量相等

解析 要使两个小球在空中发生碰撞，如题图所示，可知 A 、 B 两球下落高度一样，因此 A 、 B 两球下落时间应相同，所以 A 错误，B 正确；还知 A 球的水平位移大于 B 球的水平位移，因此 A 球抛出速度应大于 B 球抛出速度，C 正确；而整个过程与质量无关，因此 D 错误。

答案 BC

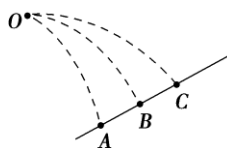
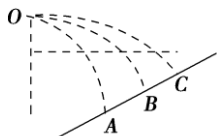


图 4-2-15

7. (单选)在同一点 O 水平抛出的三个物体, 做平抛运动的轨迹如图 4-2-15 所示, 则三个物体做平抛运动的初速度 v_A 、 v_B 、 v_C 的关系和三个物体做平抛运动的时间 t_A 、 t_B 、 t_C 的关系分别是()。

- A. $v_A > v_B > v_C$, $t_A > t_B > t_C$
- B. $v_A = v_B = v_C$, $t_A = t_B = t_C$
- C. $v_A < v_B < v_C$, $t_A > t_B > t_C$
- D. $v_A > v_B > v_C$, $t_A < t_B < t_C$

解析 从题图中可以看出 $h_A > h_B > h_C$, 由 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ 得 $t_A > t_B > t_C$. 判断三个物体做平抛运动的初速度的大小, 可以补画一个水平面, 如图所示, 三个物体从 O 点抛出运动到这一水平面时所用的时间相等, 由图可知水平位移 $x_A < x_B < x_C$, 由 $v = \frac{x}{t}$ 可得 $v_A < v_B < v_C$, 所以选项 C 正确.



答案 C

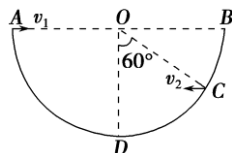


图 4-2-16

8. (单选)如图 4-2-16 所示, 水平地面上有一个坑, 其竖直截面为半圆, O 为圆心, AB 为沿水平方向的直径. 若在 A 点以初速度 v_1 沿 AB 方向平抛一小球, 小球将击中坑壁上的最低点 D 点; 而在 C 点以初速度 v_2 沿 BA 方向平抛的小球也能击中 D 点. 已知 $\angle COD = 60^\circ$, 则两小球初速度大小之比 $v_1 : v_2$ (小球视为质点)()。

- A. 1 : 2
- B. 1 : 3
- C. $\sqrt{3} : 2$
- D. $\sqrt{6} : 3$

解析 小球从 A 点平抛: $R = v_1 t_1$, $R = \frac{1}{2} g t_1^2$, 小球从 C 点平抛: $R \sin 60^\circ = v_2 t_2$, $R(1 - \cos 60^\circ) = \frac{1}{2} g t_2^2$,

联立解得 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{6}}{3}$, 故选项 D 正确.

答案 D

题组三 “平抛+斜面”问题

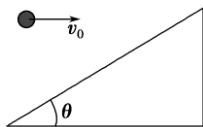
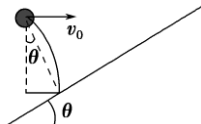


图 4-2-17

9. (单选)如图 4-2-17 所示, 小球以 v_0 正对倾角为 θ 的斜面水平抛出, 若小球到达斜面的位移最小, 则飞行时间 t 为(重力加速度为 g)()。

- A. $t = v_0 \tan \theta$
- B. $t = \frac{2v_0 \tan \theta}{g}$
- C. $t = \frac{v_0 \cot \theta}{g}$
- D. $t = \frac{2v_0 \cot \theta}{g}$



解析 如图所示, 要使小球到达斜面的位移最小, 则要求落点与抛出点的连线与斜面垂直, 所以有

$$\tan \theta = \frac{x}{y}, \text{ 而 } x = v_0 t, y = \frac{1}{2} g t^2, \text{ 解得 } t = \frac{2v_0 \cot \theta}{g}.$$

答案 D

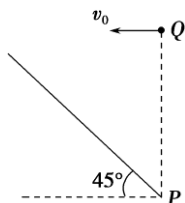


图 4-2-18

10. (2013 晋中市四校联考)(单选)如图 4-2-18 所示是倾角为 45° 的斜坡, 在斜坡底端 P 点正上方某位置 Q 处以速度 v_0 水平向左抛出一个小球 A, 小球恰好能垂直落在斜坡上, 运动时间为 t_1 , 小球 B 从同一点 Q 处自由下落, 下落至 P 点的时间为 t_2 , 不计空气阻力, 则 $t_1 : t_2$ 为().

- A. 1 : 2 B. 1 : $\sqrt{2}$
 C. 1 : 3 D. 1 : $\sqrt{3}$

解析 对小球 A, 设垂直落在斜坡上对应的竖直高度为 h , 则有 $h = \frac{g t_1^2}{2}$, $\frac{h}{v_0 t_1} = \frac{v_y}{2v_0} = \frac{1}{2}$, 解得小球 A 的水平位移为 $2h$, 所以小球 B 运动时间 t_2 对应的竖直高度为 $3h$, 即 $3h = \frac{g t_2^2}{2}$, $t_1 : t_2 = 1 : \sqrt{3}$.

答案 D

11. (2013 云南部分名校统考, 20)(单选)如图 4-2-19 所示, 为湖边一倾角为 30° 的大坝横截面示意图, 水面与大坝的交点为 O. 一人站在 A 点以速度 v_0 沿水平方向扔一小石子, 已知 $AO = 40 \text{ m}$, 不计空气阻力, g 取 10 m/s^2 . 下列说法正确的是().

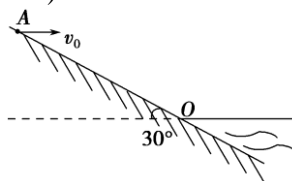


图 4 - 2 - 19

- A. 若 $v_0 > 18 \text{ m/s}$, 则石块可以落入水中
 B. 若 $v_0 < 20 \text{ m/s}$, 则石块不能落入水中
 C. 若石子能落入水中, 则 v_0 越大, 落水时速度方向与水平面的夹角越大
 D. 若石子不能落入水中, 则 v_0 越大, 落到斜面上时速度方向与斜面的夹角越大

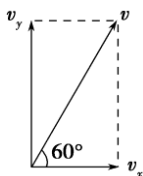
解析 石子从 A 到 O 过程中, 由平抛运动规律有 $AO \sin 30^\circ = \frac{1}{2} g t^2$, $AO \cos 30^\circ = v_0 t$, 联立得 $v_0 = 17.3 \text{ m/s}$, 所以只要 $v_0 > 17.3 \text{ m/s}$ 的石子均能落入水中, A 项正确 B 项错误; 若石子落入水中, 由平抛运动规律有 $AO \sin 30^\circ = \frac{1}{2} g t^2$, $v_y = g t = 20 \text{ m/s}$, 设其落入水中时的速度与水平面夹角为 θ , 则 $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0}$, v_y 一定, v_0 增大, θ 减小, C 项错; 不落入水中时, 根据中点定理得石子落到斜面上时的速度方向与斜面夹角都相等, 与 v_0 大小无关, D 项错误.

答案 A

B 深化训练——提高能力技巧

12. (2013 安徽卷, 18)(单选)由消防水龙带的喷嘴喷出水的流量是 $0.28 \text{ m}^3/\text{min}$, 水离开喷口时的速度大小为 $16\sqrt{3} \text{ m/s}$, 方向与水平面夹角为 60° ; 在最高处正好到达着火位置, 忽略空气阻力, 则空中水柱的高度和水量分别是(重力加速度 g 取 10 m/s^2)().

- A. 28.8 m $1.12 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ B. 28.8 m 0.672 m^3
 C. 38.4 m $1.29 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ D. 38.4 m 0.776 m^3



解析 将速度分解为水平方向和竖直方向两个分量, $v_x = v \cos 60^\circ$, $v_y = v \sin 60^\circ$, 水的运动可看成竖直方向的竖直上抛运动和水平方向的匀速直线运动的合运动, 水柱的高度 $h = \frac{v_y^2}{2g} = 28.8 \text{ m}$, 上升时间 $t = \frac{v_y}{g} = \frac{v \sin 60^\circ}{g} = 2.4 \text{ s}$

空中水量可用流量乘以时间来计算,

$$Q = \frac{0.28}{60} \text{ m}^3/\text{s} \times 2.4 \text{ s} = 1.12 \times 10^{-2} \text{ m}^3.$$

故选项 A 正确.

答案 A

13. 《愤怒的小鸟》是一款时下非常流行的游戏, 游戏中的故事也相当有趣, 如图 4-2-20 甲所示, 为了报复偷走鸟蛋的肥猪们, 鸟儿以自己的身体为武器, 如炮弹般弹射出去攻击肥猪们的堡垒. 某班的同学们根据自己所学的物理知识进行假设: 小鸟被弹弓沿水平方向弹出, 如图乙所示, 若 $h_1 = 0.8 \text{ m}$, $l_1 = 2 \text{ m}$, $h_2 = 2.4 \text{ m}$, $l_2 = 1 \text{ m}$, 小鸟弹出能否直接打中肥猪的堡垒? 请用计算结果进行说明. (取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$)

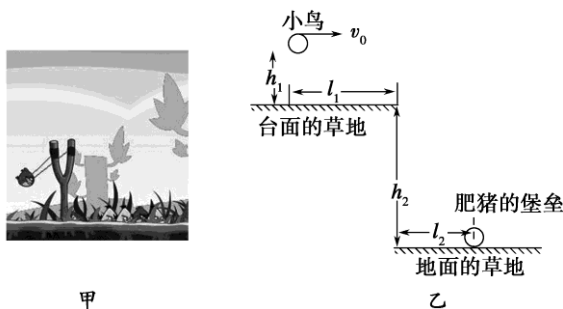


图 4-2-20

解析 设小鸟以 v_0 弹出能直接击中堡垒, 则

$$h_1 + h_2 = \frac{1}{2} g t^2 \quad ①$$

$$l_1 + l_2 = v_0 t \quad ②$$

解①②联立的方程组得

$$t = \sqrt{\frac{2(h_1 + h_2)}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times (0.8 + 2.4)}{10}} \text{ s} = 0.8 \text{ s}$$

$$v_0 = \frac{l_1 + l_2}{t} = \frac{2 + 1}{0.8} \text{ m/s} = 3.75 \text{ m/s}$$

设在台面的草地上的水平射程为 x , 则

$$x = v_0 t_1 \quad ③$$

$$h_1 = \frac{1}{2} g t_1^2 \quad ④$$

$$\text{解③④联立的方程组得 } x = v_0 \times \sqrt{\frac{2h_1}{g}} = 1.5 \text{ m} < l_1$$

可见小鸟不能直接击中堡垒.

答案 不能 见解析

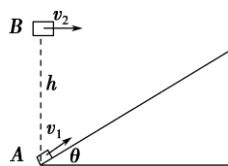


图 4-2-21

14. (2013 江西八校 4 月联考)如图 4-2-21 所示, 在水平地面上固定一倾角 $\theta=37^\circ$ 表面光滑的斜面体, 物体 A 以 $v_1=6 \text{ m/s}$ 的初速度沿斜面上滑, 同时在物体 A 的正上方, 有一物体 B 以某一初速度水平抛出. 如果当 A 上滑到最高点时恰好被 B 物体击中. (A、B 均可看做质点, $\sin 37^\circ=0.6$, $\cos 37^\circ=0.8$) 求:

- (1) 物体 A 上滑到最高点所用的时间 t ;
 (2) 物体 B 抛出时的初速度 v_2 .

解析 (1) 物体 A 上滑过程中, 由牛顿第二定律得:

$$mg \sin \theta = ma, \text{ 解得: } a = 6 \text{ m/s}^2$$

设经过时间 t 物体 A 上滑到最高点, 由运动学公式:

$$0 = v_1 - at, \text{ 解得: } t = 1 \text{ s.}$$

(2) 平抛物体 B 的水平位移: $x = \frac{1}{2} v_1 t \cos 37^\circ = 2.4 \text{ m}$

平抛速度: $v_2 = \frac{x}{t} = 2.4 \text{ m/s}$

答案 (1) 1 s (2) 2.4 m/s

第 3 讲 圆周运动的规律及其应用

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点 1

匀速圆周运动、角速度、线速度、向心

加速度 (考纲要求 I)

1. 匀速圆周运动

- (1) 定义: 做圆周运动的物体, 若在相等的时间内通过的圆弧长相等, 就是匀速圆周运动.
 (2) 特点: 加速度大小不变, 方向始终指向圆心, 是变加速运动.
 (3) 条件: 合外力大小不变、方向始终与速度方向垂直且指向圆心.

2. 描述圆周运动的物理量

描述圆周运动的物理量主要有线速度、角速度、周期、频率、转速、向心加速度、向心力等, 现比较如下表:

	定义、意义	公式、单位
线速度	①描述圆周运动的物体运动快慢的物理量(v) ②是矢量, 方向和半径垂直, 和圆周相切	① $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{T}$ ② 单位: m/s
角速度	①描述物体绕圆心转动快慢的物理量(ω) ②中学不研究其方向	① $\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T}$ ② 单位: rad/s
周期和转速	①周期是物体沿圆周运动一周的时间(T) ②转速是物体单位时间转过的圈数(n), 也叫频率(f)	① $T = \frac{2\pi r}{v}$ 单位: s ② n 的单位: r/s、r/min, f 的单位: Hz
向心加速度	①描述速度方向变化快慢的物理量(a) ②方向指向圆心	① $a = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$ ② 单位: m/s^2



判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

- A. 当物体所受的离心力大于向心力时产生离心现象
- B. 做匀速圆周运动的物体，当它所受的一切力都突然消失后，物体将做背离圆心的圆周运动
- C. 做匀速圆周运动的物体，当它所受的一切力都突然消失后，物体将沿切线做直线运动
- D. 做匀速圆周运动的物体，当它所受的一切力都突然消失后，物体将做曲线运动

解析 物体只要受到力，必有施力物体，但“离心力”是没有施力物体的，故所谓的离心力是不存在的，只要向心力不足，物体就做离心运动，故 A 选项错；做匀速圆周运动的物体，当所受的一切力突然消失后，物体做匀速直线运动，故 B、D 选项错，C 选项对。

答案 C

4. (单选)汽车在公路上行驶一般不打滑，轮子转一周，汽车向前行驶的距离等于车轮的周长，某国产轿车的车轮半径约为 30 cm，当该型号轿车在高速公路上行驶时，驾驶员面前的速率计的指针指在“120 km/h”上，可估算出该车车轮的转速约为()。

- A. 1 000 r/s
- B. 1 000 r/min
- C. 1 000 r/h
- D. 2 000 r/s

解析 车速 $v = 120 \text{ km/h} = 2 \text{ km/min}$ ，由 $v = 2\pi nr$ 可得 $n = 1\,000 \text{ r/min}$ 。

答案 B

5. (单选)甲、乙两质点均做匀速圆周运动，甲的质量与运动半径分别是乙的一半，当甲转动 80 转时，乙正好转过 60 转，则甲与乙所受的向心力大小之比为()。

- A. 1 : 4
- B. 4 : 1
- C. 4 : 9
- D. 9 : 4

解析 由题意知 $m_{\text{甲}}:m_{\text{乙}} = 1:2$ ， $r_{\text{甲}}:r_{\text{乙}} = 1:2$ ， $\omega_{\text{甲}}:\omega_{\text{乙}} = 4:3$ ，则由 $F_n = m\omega^2 r$ 知： $F_{n\text{甲}}:F_{n\text{乙}} = 4:9$ 。

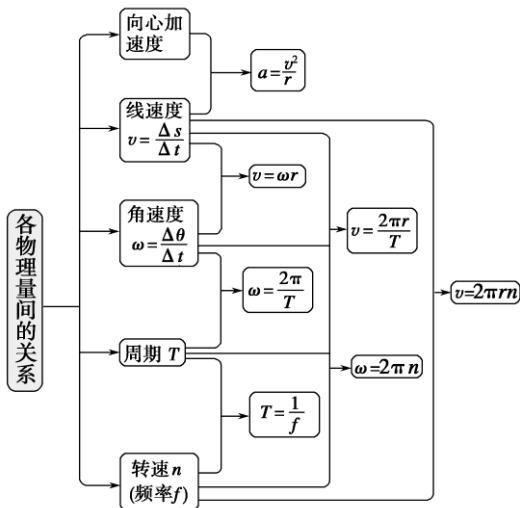
答案 C

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 描述圆周运动的各物理量间的关系

1. 圆周运动各物理量间的关系



2. 对公式 $v = \omega r$ 的理解

当 r 一定时， v 与 ω 成正比。

当 ω 一定时， v 与 r 成正比。

当 v 一定时， ω 与 r 成反比。

3. 对 $a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = \omega v$ 的理解

在 v 一定时， a 与 r 成反比；在 ω 一定时， a 与 r 成正比。

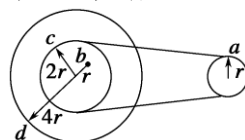


图 4-3-2

【典例 1】如图 4-3-2 所示为皮带传动装置，右轮的半径为 r ， a 是它边缘上的一点，左侧是一轮轴，大轮的半径是 $4r$ ，小轮的半径是 $2r$ ， b 点在小轮上，到小轮中心的距离为 r ， c 点和 d 点分别位于小轮和大轮的边缘上，若在传动过程中皮带不打滑，则()。

- A. a 点和 b 点的线速度大小相等
- B. a 点和 b 点的角速度大小相等
- C. a 点和 c 点的线速度大小相等
- D. a 点和 d 点的向心加速度大小相等

解析 皮带不打滑表示轮子边缘在某段时间内转过的弧长总是跟皮带移动的距离相等，即 a 、 c 两点的线速度大小相等，选项 A 错、C 对； b 、 c 、 d 三点同轴转动，角速度大小相等，故 $\omega_c = \omega_b$ ，又 $v_a = v_c$ ， $r_c = 2r_a$ ，且 $v = r\omega$ ，故 $\omega_a = 2\omega_c$ ， $\omega_a = 2\omega_b$ ，选项 B 错；设 a 点线速度大小为 v ， c 点线速度也为 v ，而 d 点线速度则为 $2v$ ，所以 $a_a = \frac{v^2}{r}$ ， $a_d = \frac{(2v)^2}{4r} = \frac{v^2}{r}$ ，选项 D 对。

答案 CD

反思总结 常见的三种传动方式及特点

1. 皮带传动：如图 4-3-3 甲、乙所示，皮带与两轮之间无相对滑动时，两轮边缘线速度大小相等，即 $v_A = v_B$ 。

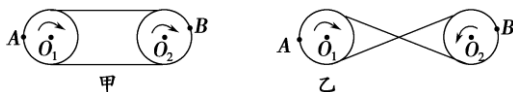


图 4-3-3

2. 摩擦传动：如图 4-3-4 甲所示，两轮边缘接触，接触点无打滑现象时，两轮边缘线速度大小相等，即 $v_A = v_B$ 。

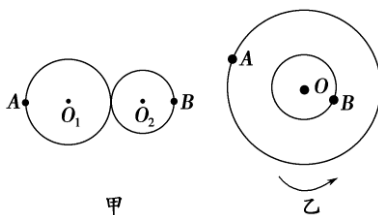


图 4-3-4

3. 同轴传动：如图 4-3-4 乙所示，两轮固定在一起绕同一转轴转动，两轮转动的角速度大小相等，即 $\omega_A = \omega_B$ 。

【跟踪短训】

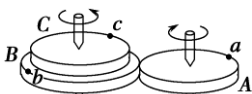


图 4-3-5

1. (2013 桂林模拟)如图 4-3-5 所示， B 和 C 是一组塔轮，即 B 和 C 半径不同，但固定在同一转动轴上，其半径之比为 $R_B : R_C = 3 : 2$ ， A 轮的半径大小与 C 轮相同，它与 B 轮紧靠在一起，当 A 轮绕过其中心的竖直轴转

动时，由于摩擦作用， B 轮也随之无滑动地转动起来。 a 、 b 、 c 分别为三轮边缘的三个点，则 a 、 b 、 c 三点在运动过程中的()。

- A. 线速度大小之比为 $3 : 2 : 2$
- B. 角速度之比为 $3 : 3 : 2$
- C. 转速之比为 $2 : 3 : 2$
- D. 向心加速度大小之比为 $9 : 6 : 4$

答案 D

热点二 匀速圆周运动中的动力学问题

1. 向心力的来源

向心力是按力的作用效果命名的，可以是重力、弹力、摩擦力等各种力，也可以是几个力的合力或某个力的分力，因此在受力分析中要避免再另外添加一个向心力。

2. 向心力的确定

(1) 确定圆周运动的轨道所在的平面，确定圆心的位置。

(2) 分析物体的受力情况，找出所有的力沿半径方向指向圆心的合力就是向心力。

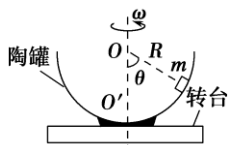
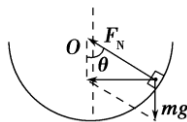


图 4-3-6

【典例 2】 (2013 重庆卷, 8) 如图 4-3-6 所示, 半径为 R 的半球形陶罐, 固定在可以绕竖直轴旋转的水平转台上, 转台转轴与过陶罐球心 O 的对称轴 OO' 重合. 转台以一定角速度 ω 匀速旋转, 一质量为 m 的小物块落入陶罐内, 经过一段时间后, 小物块随陶罐一起转动且相对罐壁静止, 它和 O 点的连线与 OO' 之间的夹角 θ 为 60° ; 重力加速度大小为 g .

(1) 若 $\omega = \omega_0$, 小物块受到的摩擦力恰好为零, 求 ω_0 ;

(2) 若 $\omega = (1 \pm k)\omega_0$, 且 $0 < k \ll 1$, 求小物块受到的摩擦力大小和方向.



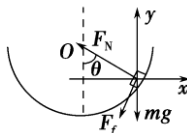
图甲

解析 (1) 当 $\omega = \omega_0$ 时, 小物块只受重力和支持力作用, 如图甲所示, 其合力提供向心力, $F_{\text{合}} = mg \tan \theta$ ①

$$F_{\text{向}} = m\omega_0^2 r$$
 ②

$$\text{而 } r = R \sin \theta, F_{\text{合}} = F_{\text{向}}$$
 ③

$$\text{由①②③得 } \omega_0 = \sqrt{\frac{2g}{R}}$$
 ④



图乙

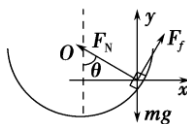
(2) 当 $\omega = (1+k)\omega_0$, 且 $0 < k \ll 1$ 时, 所需要的向心力大于 $\omega = \omega_0$ 时的向心力, 故摩擦力方向沿罐壁的切线方向向下. 建立如图乙所示坐标系.

$$\text{在水平方向上: } F_N \sin \theta + F_f \cos \theta = m\omega^2 r$$
 ⑤

$$\text{在竖直方向上: } F_N \cos \theta - F_f \sin \theta - mg = 0$$
 ⑥

$$\text{由几何关系知 } r = R \sin \theta$$
 ⑦

$$\text{联立⑤⑥⑦式, 解得 } F_f = \frac{\sqrt{3}k(2+k)}{2} mg$$
 ⑧



图丙

当 $\omega = (1-k)\omega_0$ 时, 摩擦力的方向沿罐壁的切线方向向上. 建立如图丙所示的坐标.

在水平方向上:

$$F_N \sin \theta - F_f \cos \theta = m\omega^2 r$$
 ⑨

$$\text{在竖直方向上: } F_N \cos \theta + F_f \sin \theta - mg = 0$$
 ⑩

$$\text{由几何关系知 } r = R \sin \theta$$
 ⑪

$$\text{联立⑨⑩⑪式, 解得 } F_f = \frac{\sqrt{3}k(2-k)}{2} mg.$$

答案 (1) $\omega_0 = \sqrt{\frac{2g}{R}}$

(2) 当 $\omega = (1+k)\omega_0$ 时, 摩擦力方向沿罐壁切线向下, 大小为 $F_f = \frac{\sqrt{3k(2+k)}}{2}mg$

当 $\omega = (1-k)\omega_0$ 时, 摩擦力方向沿罐壁切线向上, 大小为 $F_f = \frac{\sqrt{3k(2-k)}}{2}mg$

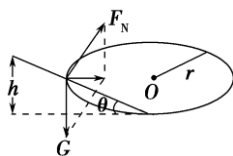
反思总结 圆周运动问题的解题步骤:



【跟踪短训】

2. 铁路转弯处的弯道半径 r 是根据地形决定的. 弯道处要求外轨比内轨高, 其内、外轨高度差 h 的设计不仅与 r 有关, 还与火车在弯道上的行驶速度 v 有关. 下列说法正确的是().

- A. 速率 v 一定时, r 越小, 要求 h 越大
 - B. 速率 v 一定时, r 越大, 要求 h 越大
 - C. 半径 r 一定时, v 越小, 要求 h 越大
 - D. 半径 r 一定时, v 越大, 要求 h 越大
- 解析



火车转弯时, 圆周平面在水平面内, 火车以设计速率行驶时, 向心力刚好由重力 G 与轨道支持力 F_N 的合力来提供, 如图所示, 则有 $mg \tan \theta = \frac{mv^2}{r}$, 且 $\tan \theta \approx \sin \theta = \frac{h}{L}$, 其中 L 为轨间距, 是定值, 有

$$mg \frac{h}{L} = \frac{mv^2}{r},$$

通过分析可知 A、D 正确.

答案 AD

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

物理建模 6. 竖直平面内圆周运动的“轻绳、轻杆”模型

1. 模型条件

- (1) 物体在竖直平面内做变速圆周运动.
- (2) “轻绳模型”在轨道最高点无支撑, “轻杆模型”在轨道最高点有支撑.

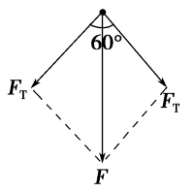
2. 模型特点

该类问题常有临界问题, 并伴有“最大”“最小”“刚好”等词语, 现对两种模型分析比较如下:

	轻绳模型	轻杆模型
常见类型	<p>均是没有支撑的小球</p>	<p>均是有支撑的小球</p>
过最高点的临界条件	<p>由 $mg = m \frac{v^2}{r}$ 得 $v_{\text{临}} = \sqrt{gr}$</p>	<p>由小球恰能做圆周运动即得 $v_{\text{临}} = 0$</p>
讨论分析	<p>(1) 过最高点时, $v \geq \sqrt{gr}$,</p>	<p>(1) 当 $v = 0$ 时, $F_N = mg$, F_N 为支持力, 沿半径背离圆</p>

即学即练 如图 4-3-8 所示, 两段长均为 L 的轻质线共同系住一个质量为 m 的小球, 另一端分别固定在等高的 A 、 B 两点, A 、 B 两点间距也为 L , 今使小球在竖直平面内做圆周运动, 当小球到达最高点时速率为 v , 两段线中张力恰好均为零, 若小球到达最高点时速率为 $2v$, 则此时每段线中张力大小为 ().

- A. $\sqrt{3}mg$ B. $2\sqrt{3}mg$ C. $3mg$ D. $4mg$

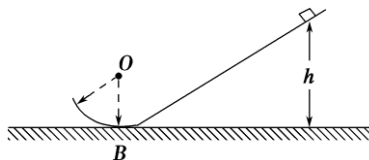


解析 当小球到达最高点时速率为 v , 有 $mg = m\frac{v^2}{r}$, 当小球到达最高点速率为 $2v$ 时, 应有 $F + mg = m\frac{(2v)^2}{r}$, 所以 $F = 3mg$, 此时最高点各力如图所示, 所以 $F_T = \sqrt{3}mg$, A 正确.

答案 A

对应高考题组

1. (2012 广东卷, 17)如图是滑道压力测试的示意图, 光滑圆弧轨道与光滑斜面相切, 滑道底部 B 处安装一个压力传感器, 其示数 N 表示该处所受压力的大小. 某滑块从斜面上不同高度 h 处由静止下滑, 通过 B 时, 下列表述正确的有 ().

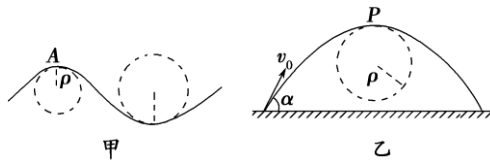


- A. N 小于滑块重力 B. N 大于滑块重力
C. N 越大表明 h 越大 D. N 越大表明 h 越小

解析 设滑块质量为 m , 在 B 点所受支持力为 F_N , 圆弧半径为 R , 所需向心力为 F . 滑块从高度 h 处由静止下滑至 B 点过程中, 由机械能守恒定律有 $\frac{1}{2}mv_B^2 = mgh$, 在 B 点滑块所需向心力由合外力提供, 得 $F_N - mg = m\frac{v_B^2}{R}$, 由牛顿第三定律知, 传感器示数 N 等于 F_N , 解得 $N = mg + \frac{2mgh}{R}$, 由此式知 $N > mg$, 且 h 越大, N 越大. 选项 B、C 正确.

答案 BC

2. (2011 安徽卷, 17)一般的曲线运动可以分成很多小段, 每小段都可以看成圆周运动的一部分, 即把整条曲线用一系列不同半径的小圆弧来代替. 如图甲所示, 曲线上的 A 点的曲率圆定义为: 通过 A 点和曲线上紧邻 A 点两侧的两点作一圆, 在极限情况下, 这个圆就叫做 A 点的曲率圆, 其半径 ρ 叫做 A 点的曲率半径. 现将一物体沿与水平面成 α 角的方向以速度 v_0 抛出, 如图乙所示. 则在其轨迹最高点 P 处的曲率半径是 ().



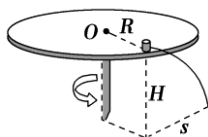
- A. $\frac{v_0^2}{g}$ B. $\frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g}$
C. $\frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g}$ D. $\frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g \sin \alpha}$

解析 物体在最高点时速度沿水平方向, 曲率圆的 P 点可看做该点对应的竖直平面内圆周运动的最高点, 由牛顿第二定律及圆周运动规律知: $mg = \frac{mv^2}{\rho}$, 解得 $\rho = \frac{v^2}{g} = \frac{(v_0 \cos \alpha)^2}{g} = \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g}$.

答案 C

3. (2012 福建卷, 20)如图所示, 置于圆形水平转台边缘的小物块随转台加速转动, 当转速达到某一数值时, 物块恰好滑离转台开始做平抛运动. 现测得转台半径 $R = 0.5 \text{ m}$, 离水平地面的高度 $H = 0.8 \text{ m}$,

物块平抛落地过程水平位移的大小 $s=0.4\text{ m}$. 设物块所受的最大静摩擦力等于滑动摩擦力, 取重力加速度 $g=10\text{ m/s}^2$. 求:



(1)物块做平抛运动的初速度大小 v_0 ;

(2)物块与转台间的动摩擦因数 μ .

解析 (1)物块做平抛运动, 在竖直方向上有

$$H = \frac{1}{2}gt^2 \quad ①$$

在水平方向上有 $s = v_0t$, ②

由①②式解得 $v_0 = s \sqrt{\frac{g}{2H}}$

代入数据得 $v_0 = 1\text{ m/s}$.

(2)物块离开转台时, 由最大静摩擦力提供向心力, 有

$$F_{fm} = m\frac{v_0^2}{R} \quad ③$$

$$F_{fm} = \mu N = \mu mg \quad ④$$

由③④式得 $\mu = \frac{v_0^2}{gR}$, 代入数据得 $\mu = 0.2$.

答案 (1)1 m/s (2)0.2

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 匀速圆周运动的运动学问题

1. (多选)在“天宫一号”的太空授课中, 航天员王亚平做了一个有趣实验. 在 T 形支架上, 用细绳拴着一颗明黄色的小钢球. 设小球质量为 m , 细绳长度为 L . 王亚平用手指沿切线方向轻推小球, 小球在拉力作用下做匀速圆周运动. 测得小球运动的周期为 T , 由此可知().

- A. 小球运动的角速度 $\omega = T/(2\pi)$
- B. 小球运动的线速度 $v = 2\pi L/T$
- C. 小球运动的加速度 $a = 2\pi^2 L/T^2$
- D. 细绳中的拉力为 $F = 4m\pi^2 L/T^2$

解析 小球运动的角速度 $\omega = 2\pi/T$, 选项 A 错误; 线速度 $v = \omega L = 2\pi L/T$, 选项 B 正确; 加速度 $a = \omega^2 L = 4\pi^2 L/T^2$, 选项 C 错误; 细绳中的拉力为 $F = ma = 4m\pi^2 L/T^2$, 选项 D 正确.

答案 BD

2. (单选)2013 年 6 月 20 日上午 10 时, 中国载人航天史上的首堂太空授课开讲. 航天员做了一个有趣实验: T 形支架上, 用细绳拴着一颗明黄色的小钢球. 航天员王亚平用手指沿切线方向轻推小球, 可以看到小球在拉力作用下在某一平面内做圆周运动. 从电视画面上可估算出细绳长度大约为 32 cm, 小球 2 s 转动一圈. 由此可知王亚平使小球沿垂直细绳方向获得的速度为().

- A. 0.1 m/s
- B. 0.5 m/s
- C. 1 m/s
- D. 2 m/s

解析 在太空完全失重的环境下, 小球在细绳的拉力作用下在某一平面内做匀速圆周运动. 小球做匀速圆周运动的周长为 $s = 2\pi R = 2\pi \times 0.32\text{ m} = 2\text{ m}$, 由 $s = vt$ 可得小球做匀速圆周运动的速度为 $v = s/T = 1\text{ m/s}$, 选项 C 正确.

答案 C

题组二 匀速圆周运动的动力学问题

3. (单选)如图 4-3-9 所示, 是某课外研究小组设计的可以用来测量转盘转速的装置. 该装置上方

是一与转盘固定在一起有横向均匀刻度的标尺，带孔的小球穿在光滑细杆与一轻弹簧相连，弹簧的另一端固定在转动轴上，小球可沿杆自由滑动并随转盘在水平面内转动。当转盘不转动时，指针指在 O 处，当转盘转动的角速度为 ω_1 时，指针指在 A 处，当转盘转动的角速度为 ω_2 时，指针指在 B 处，设弹簧均没有超过弹性限度。则 ω_1 与 ω_2 的比值为()。

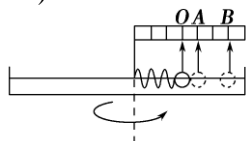


图 4-3-9

A. $\frac{1}{2}$

B. $\frac{1}{\sqrt{2}}$

C. $\frac{1}{4}$

D. $\frac{1}{\sqrt{3}}$

解析 小球随转盘转动时由弹簧的弹力提供向心力。设标尺的最小分度的长度为 x ，弹簧的劲度系数为 k ，则有 $kx = m 4x \omega_1^2$ ， $k 3x = m 6x \omega_2^2$ ，故有 $\omega_1:\omega_2 = 1:\sqrt{2}$ ，B 正确。

答案 B

4. (单选)如图 4-3-10 所示，倾角为 30° 的斜面连接水平面，在水平面上安装半径为 R 的半圆竖直挡板，质量为 m 的小球从斜面上高为 $\frac{R}{2}$ 处静止释放，到达水平面时恰能贴着挡板内侧运动。不计小球体积，不计摩擦和机械能损失。则小球沿挡板运动时对挡板的压力是()。

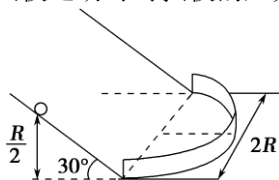


图 4-3-10

A. $0.5mg$

B. mg

C. $1.5mg$

D. $2mg$

解析 设小球运动至斜面最低点(即进入水平面上的半圆形挡板)时的速度为 v ，由机械能守恒定律得 $mg\frac{R}{2} = \frac{1}{2}mv^2$ ，解得 $v = \sqrt{gR}$ ；依题意可知，小球贴着挡板内侧做匀速圆周运动，所需要的向心力由挡板对它的弹力提供，设该弹力为 F_N ，则 $F_N = m\frac{v^2}{R}$ ，将 $v = \sqrt{gR}$ 代入解得 $F_N = mg$ ；由牛顿第三定律可知，小球沿挡板运动时对挡板的压力大小等于 F_N ，即 mg ，故选项 B 正确。

答案 B

5. (2013 江苏卷, 2)(单选)如图 4-3-11 所示，“旋转秋千”中的两个座椅 A、B 质量相等，通过相同长度的缆绳悬挂在旋转圆盘上。不考虑空气阻力的影响，当旋转圆盘绕竖直的中心轴匀速转动时，下列说法正确的是()。

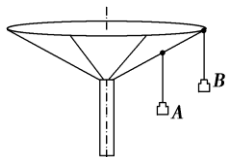


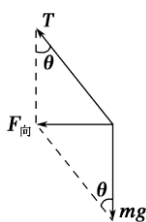
图 4-3-11

A. A 的速度比 B 的大

B. A 与 B 的向心加速度大小相等

C. 悬挂 A、B 的缆绳与竖直方向的夹角相等

D. 悬挂 A 的缆绳所受的拉力比悬挂 B 的小



解析 A、B 绕竖直轴匀速转动的角速度相等，即 $\omega_A = \omega_B$ ，但 $r_A < r_B$ ，根据 $v = \omega r$ 得，A 的速度比 B 的小，选项 A 错误；根据 $a = \omega^2 r$ 得，A 的向心加速度比 B 的小，选项 B 错误；A、B 做圆周运动时的受力情况如图所示，根据 $F_{\text{向}} = m\omega^2 r$ 及 $\tan \theta = \frac{F_{\text{向}}}{mg} = \frac{\omega^2 r}{g}$ 知，悬挂 A 的缆绳与竖直方向的夹角小，选项 C 错误；由图知 $\frac{mg}{T} = \cos \theta$ ，即 $T = \frac{mg}{\cos \theta}$ ，所以悬挂 A 的缆绳受到的拉力小，选项 D 正确。

答案 D

题组三 离心现象

6. (单选)世界一级方程式锦标赛新加坡大奖赛赛道单圈长 5.067 公里，共有 23 个弯道，如图 4-3-12 所示，赛车在水平路面上转弯时，常常在弯道上冲出跑道，则以下说法正确的是()。



图 4-3-12

- A. 是由于赛车行驶到弯道时，运动员未能及时转动方向盘才造成赛车冲出跑道的
- B. 是由于赛车行驶到弯道时，运动员没有及时加速才造成赛车冲出跑道的
- C. 是由于赛车行驶到弯道时，运动员没有及时减速才造成赛车冲出跑道的
- D. 由公式 $F = m\omega^2 r$ 可知，弯道半径越大，越容易冲出跑道

解析 赛车在水平面上转弯时，它需要的向心力是由赛车与地面间的摩擦力提供的。由 $F = m\frac{v^2}{r}$ 知，当 v 较大时，赛车需要的向心力也较大，当摩擦力不足以提供其所需的向心力时，赛车将冲出跑道。

答案 C

7. (2013 新课标全国卷 II, 21)(多选)公路急转弯处通常是交通事故多发地带。如图 4-3-13，某公路急转弯处是一圆弧，当汽车行驶的速率为 v_c 时，汽车恰好没有向公路内外两侧滑动的趋势，则在该弯道处()。

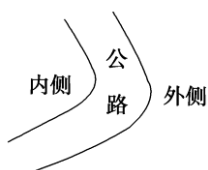


图 4-3-13

- A. 路面外侧高内侧低
- B. 车速只要低于 v_c ，车辆便会向内侧滑动
- C. 车速虽然高于 v_c ，但只要不超出某一最高限度，车辆便不会向外侧滑动
- D. 当路面结冰时，与未结冰时相比， v_c 的值变小

解析 汽车转弯时，恰好没有向公路内外两侧滑动的趋势，说明公路外侧高一些，支持力的水平分力刚好提供向心力，此时汽车不受静摩擦力的作用，与路面是否结冰无关，故选项 A 正确；选项 D 错误。当 $v < v_c$ 时，支持力的水平分力大于所需向心力，汽车有向内侧滑动的趋势，摩擦力向外侧；当 $v > v_c$ 时，支持力的水平分力小于所需向心力，汽车有向外侧滑动的趋势，在摩擦力大于最大静摩擦力前不会侧滑，故选项 B 错误，选项 C 正确。

答案 AC

题组四 圆周运动的临界问题

联立①②得 $n_m = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{h}}$ 选项 A 正确.

答案 A

11. (多选)如图 4-3-16 所示, 长为 L 的轻杆一端固定质量为 m 的小球, 另一端固定转轴 O , 现使小球在竖直平面内做圆周运动. P 为圆周轨道的最高点. 若小球通过圆周轨道最低点时的速度大小为 $\sqrt{\frac{9}{2}gL}$, 则以下判断正确的是().

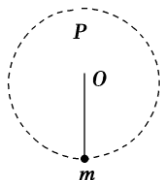


图 4-3-16

- A. 小球不能到达 P 点
- B. 小球到达 P 点时的速度小于 \sqrt{gL}
- C. 小球能到达 P 点, 但在 P 点不会受到轻杆的弹力
- D. 小球能到达 P 点, 且在 P 点受到轻杆向上的弹力

解析 根据机械能守恒定律 $2mgL = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_P^2$, 可求出小球在 P 点的速度为 $\sqrt{\frac{1}{2}gL} < \sqrt{gL}$, 故 B 正确, A 错误. 计算出向心力 $F = \frac{1}{2}mg$, 故小球在 P 点受到轻杆向上的弹力, 故 C 错误、D 正确.

答案 BD

B 深化训练——提高能力技巧

12. (单选)如图 4-3-17 所示, 两个用相同材料制成的靠摩擦转动的轮 A 和 B 水平放置, 两轮半径 $R_A = 2R_B$. 当主动轮 A 匀速转动时, 在 A 轮边缘放置的小木块恰能相对静止在 A 轮边缘上. 若将小木块放在 B 轮上, 欲使木块相对 B 轮也静止, 则木块距 B 轮转动轴的最大距离为().

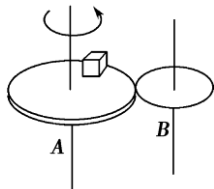


图 4-3-17

- A. $\frac{R_B}{4}$
- B. $\frac{R_B}{3}$
- C. $\frac{R_B}{2}$
- D. R_B

解析 由题图可知, 当主动轮 A 匀速转动时, A 、 B 两轮边缘上的线速度相同, 由 $\omega = \frac{v}{R}$, 得 $\frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{v/R_A}{v/R_B} = \frac{R_B}{R_A} = \frac{1}{2}$. 由于小木块恰能在 A 轮边缘静止, 则由静摩擦力提供的向心力达最大值 μmg , 故 $\mu mg = m\omega_A^2 R_A$

①

设放在 B 轮上能使木块相对静止的距 B 轮转动轴的最大距离为 r , 则向心力由最大静摩擦力提供, 故

$$\mu mg = m\omega_B^2 r \quad ②$$

因 A 、 B 材料相同, 故木块与 A 、 B 间的动摩擦因数相同, ①②式左边相等, 故 $m\omega_A^2 R_A = m\omega_B^2 r$, 得 $r = \left(\frac{\omega_A}{\omega_B}\right)^2 R_A = \left(\frac{1}{2}\right)^2 R_A = \frac{R_A}{4} = \frac{R_B}{2}$. 所以选项 C 正确.

答案 C

13. (单选)雨天的野外骑车时, 在自行车的后轮轮胎上常会粘附一些泥巴, 行驶时感觉很“沉重”. 如果将自行车后轮撑起, 使后轮离开地面而悬空, 然后用手匀速摇脚踏板, 使后轮飞速转动, 泥巴就被甩下来. 如图 4-3-18 所示, 图中 a 、 b 、 c 、 d 为后轮轮胎边缘上的四个特殊位置, 则().

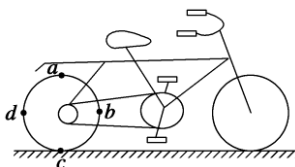


图 4-3-18

- A. 泥巴在图中 a 、 c 位置的向心加速度大于 b 、 d 位置的向心加速度
 B. 泥巴在图中的 b 、 d 位置时最容易被甩下来
 C. 泥巴在图中的 c 位置时最容易被甩下来
 D. 泥巴在图中的 a 位置时最容易被甩下来

解析 当后轮匀速转动时, 由 $a = R\omega^2$ 知 a 、 b 、 c 、 d 四个位置的向心加速度大小相等, A 错误. 在角速度 ω 相同的情况下, 泥巴在 a 点有 $F_a + mg = m\omega^2 R$, 在 b 、 d 两点有 $F_{bd} = m\omega^2 R$, 在 c 点有 $F_c - mg = m\omega^2 R$. 所以泥巴与轮胎在 c 位置的相互作用力最大, 容易被甩下, 故 B、D 错误, C 正确.

答案 C

14. (2013 福建卷, 20) 如图 4-3-19 所示, 一不可伸长的轻绳上端悬挂于 O 点, 下端系一质量 $m = 1.0 \text{ kg}$ 的小球. 现将小球拉到 A 点(保持绳绷直)由静止释放, 当它经过 B 点时绳恰好被拉断, 小球平抛后落在水平地面上的 C 点. 地面上的 D 点与 OB 在同一竖直线上, 已知绳长 $L = 1.0 \text{ m}$, B 点离地高度 $H = 1.0 \text{ m}$, A 、 B 两点的高度差 $h = 0.5 \text{ m}$, 重力加速度 g 取 10 m/s^2 , 不计空气影响, 求:

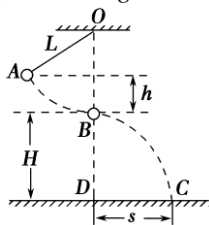


图 4-3-19

- (1) 地面上 DC 两点间的距离 s ;
 (2) 轻绳所受的最大拉力大小.

解析 (1) 小球从 A 到 B 过程机械能守恒, 有

$$mgh = \frac{1}{2}mv_B^2 \quad ①$$

小球从 B 到 C 做平抛运动, 在竖直方向上有

$$H = \frac{1}{2}gt^2 \quad ②$$

在水平方向上有, $s = v_B t$ ③

由①②③式解得 $s \approx 1.41 \text{ m}$

(2) 小球下摆到达 B 点时, 绳的拉力和重力的合力提供向心力, 有 $F - mg = m\frac{v_B^2}{L}$ ④

由①④式解得 $F = 20 \text{ N}$

根据牛顿第三定律 $F' = -F$

轻绳所受的最大拉力为 20 N .

答案 (1) 1.41 m (2) 20 N

第 4 讲 万有引力与航天

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点 1

万有引力定律及其应用 (考纲要求 II)

1. 内容: 自然界中任何两个物体都相互吸引, 引力的方向在它们的连线上, 引力的大小与物体的质量 m_1 和 m_2 的乘积成正比, 与它们之间距离 r 的平方成反比.

2. 表达式: $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$

G 为引力常量: $G=6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$.

3. 适用条件

(1)公式适用于质点间的相互作用. 当两个物体间的距离远远大于物体本身的大小时, 物体可视为质点.

(2)质量分布均匀的球体可视为质点, r 是两球心间的距离.

判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1)地面上的物体所受地球引力的大小均由 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ 决定, 其方向总是指向地心. ()

(2)只有天体之间才存在万有引力. ()

(3)只要已知两个物体的质量和两个物体之间的距离, 就可以由 $F = G \frac{Mm}{R^2}$ 计算物体间的万有引力. ()

(4)当两物体间的距离趋近于 0 时, 万有引力趋近于无穷大. ()

答案 (1)√ (2)× (3)× (4)×

考点 2

环绕速度 (考纲要求 II)

1. 第一宇宙速度又叫环绕速度.

2. 第一宇宙速度是人造地球卫星在地面附近环绕地球做匀速圆周运动时具有的速度.

3. 第一宇宙速度是人造卫星的最大环绕速度, 也是人造地球卫星的最小发射速度.

4. 第一宇宙速度的计算方法.

(1)由 $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$ 得 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$.

(2)由 $mg = m \frac{v^2}{R}$ 得 $v = \sqrt{gR}$.

考点 3

第二宇宙速度和第三宇宙速度 (考纲要求 I)

1. 第二宇宙速度(脱离速度): $v_2 = 11.2 \text{ km/s}$, 使物体挣脱地球引力束缚的最小发射速度.

2. 第三宇宙速度(逃逸速度): $v_3 = 16.7 \text{ km/s}$, 使物体挣脱太阳引力束缚的最小发射速度.

思维深化 2 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1)第一宇宙速度是人造地球卫星的最小发射速度, 也是贴近地面运行的卫星的运行速度, 即人造地球卫星的最大运行速度. ()

(2)第一宇宙速度与地球的质量有关. ()

(3)地球同步卫星的运行速度大于第一宇宙速度. ()

(4)若物体的发射速度大于第二宇宙速度, 小于第三宇宙速度, 则物体可以绕太阳运行. ()

答案 (1)√ (2)√ (3)× (4)√

考点 4

经典时空观和相对论时空观 (考纲要求 I)

1. 经典时空观

(1)在经典力学中, 物体的质量是不随运动状态而改变的.

(2)在经典力学中, 同一物理过程发生的位移和对应时间的测量结果在不同的参考系中是相同的.

2. 相对论时空观

(1)在狭义相对论中, 物体的质量是随物体运动速度的增大而增大的, 用公式表示为 $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$.

(2)在狭义相对论中, 同一物理过程发生的位移和对应时间的测量结果在不同的参考系中是不同的.

3. 狭义相对论的两条基本假设

(1)**相对性原理**: 在不同的惯性参考系中, 一切物理规律都是不同的.

(2)**光速不变原理**: 不管在哪个惯性系中, 测得的真空中的光速都是不变的.

基础自测

1. (单选)关于地球的第一宇宙速度, 下列表述正确的是().

- A. 第一宇宙速度又叫环绕速度
- B. 第一宇宙速度又叫脱离速度
- C. 第一宇宙速度跟地球的质量无关
- D. 第一宇宙速度跟地球的半径无关

解析 第一宇宙速度又叫环绕速度 A 对, B 错. 根据定义有 $G\frac{mM}{R^2} = m\frac{v^2}{R}$ 得 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ 可知与地球的质量和半径都有关. C、D 错.

答案 A

2. (单选)关于万有引力公式 $F = G\frac{m_1m_2}{r^2}$, 以下说法中正确的是().

- A. 公式只适用于星球之间的引力计算, 不适用于质量较小的物体
- B. 当两物体间的距离趋近于 0 时, 万有引力趋近于无穷大
- C. 两物体间的万有引力也符合牛顿第三定律
- D. 公式中引力常量 G 的值是牛顿规定的

解析 万有引力公式 $F = G\frac{m_1m_2}{r^2}$, 虽然是牛顿由天体的运动规律得出的, 但牛顿又将它推广到了宇宙中的任何物体, 适用于计算任何两个质点间的引力. 当两个物体的距离趋近于 0 时, 两个物体就不能视为质点了, 万有引力公式不再适用. 两物体间的万有引力也符合牛顿第三定律. 公式中引力常量 G 的值, 是卡文迪许在实验室里实验测定的, 而不是人为规定的. 故正确答案为 C.

答案 C

3. (多选)关于公式 $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$, 下列说法中正确的是().

- A. 公式中的 m_0 是物体以速度 v 运动时的质量
- B. 当物体的运动速度 $v > 0$ 时, 物体的质量 $m > m_0$, 即物体的质量改变了, 故经典力学不适用, 是不正确的
- C. 当物体以较小速度运动时, 质量变化十分微弱, 经典力学理论仍然适用, 只有当物体以接近光速运动时, 质量变化才明显, 故经典力学适用于低速运动, 而不适用于高速运动
- D. 通常由于物体的运动速度太小, 故质量的变化引不起我们的感觉. 在分析地球上物体的运动时, 不必考虑质量的变化

解析 公式中的 m_0 是物体静止时的质量, m 是物体以速度 v 运动时的质量, 故 A 错误; 由公式可知, 只有当 v 接近光速时, 物体的质量变化才明显, 一般情况下物体的质量变化十分微小, 故经典力学仍然适用, B 错误, C、D 正确.

答案 CD

4. (2013 深圳第一次调研)(多选)在地球的圆形同步轨道上有某一卫星正在运行, 则下列正确的是().

- A. 卫星的重力小于在地球表面时受到的重力
- B. 卫星处于完全失重状态, 所受重力为零
- C. 卫星离地面的高度是一个定值
- D. 卫星相对地面静止, 处于平衡状态

解析 在地球的圆形同步轨道上的卫星处于完全失重状态但所受重力不为零, 且小于在地面时受到的重力, A 正确, B 错误; 同步卫星离地面的高度是一个定值, 相对于地面静止, 做匀速圆周运动, 这不是平衡状态, C 正确, D 错误.

答案 AC

5. (单选)随着“神舟十号”与“天宫一号”成功“牵手”及“嫦娥”系列月球卫星技术的成熟, 我国将于 2020 年前发射月球登陆器, 采集月球表面的一些样本后返回地球, 为中国人登陆月球积累实验数据. 月球登陆器返回时, 先由月球表面发射后绕月球在近月圆轨道上飞行, 经轨道调整后与停留在较高轨道的轨道舱对接, 对接完成后再经加速脱离月球飞回地球, 下列关于此过程的描述中正确的是

().

- A. 登陆器在近月圆轨道上运行的速度必须大于月球第一宇宙速度
- B. 登陆器与轨道舱对接后的运行周期小于对接前登陆器的运行周期
- C. 登陆器与轨道舱对接后必须加速到等于或大于月球第二宇宙速度才可以返回地球
- D. 登陆器与轨道舱对接时登陆器的速度大于其在近月轨道上的运行速度

解析 由万有引力定律和牛顿第二定律可得卫星的运行速度 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 当 $r = R$ (R 为月球半径) 时其值等于月球的第一宇宙速度, 近月轨道半径稍大于月球半径 R , 因此登陆器的速度稍小于月球的第一宇宙速度, A 错; 登陆器与轨道舱对接后仍在较高轨道上运行, 由 $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ 可知周期大于对接前登陆器的周期, B 项错; 对登陆器来说, 月球是它的中心天体, 因此登陆器脱离月球的最小速度为月球的第二宇宙速度, C 正确; 对接时登陆器上升到较高轨道, 速度小于在近月轨道上的速度, D 错.

答案 C

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 星体表面上的重力加速度问题

计算重力加速度的方法

(1) 在地球表面附近的重力加速度 g

(不考虑地球自转):

$$mg = G\frac{mM}{R^2}, \text{ 得 } g = \frac{GM}{R^2}$$

(2) 在地球上空距离地心 $r = R + h$ 处的重力加速度为 g' ,

$$mg' = \frac{GmM}{(R+h)^2}, \text{ 得 } g' = \frac{GM}{(R+h)^2}$$

$$\text{所以 } \frac{g}{g'} = \frac{(R+h)^2}{R^2}$$

(3) 其他星球上的物体, 可参考地球上的情况做相应分析.

【典例 1】为了实现人类登陆火星的梦想, 近期我国宇航员王跃与俄罗斯宇航员一起进行“模拟登陆火星”实验活动. 已知火星半径是地球半径的 $\frac{1}{2}$, 质量是地球质量的 $\frac{1}{9}$, 自转周期也基本相同. 地球表面重力加速度是 g , 若王跃在地面上能向上跳起的最大高度是 h , 在忽略自转影响的条件下, 下述分析正确的是().

A. 王跃在火星表面受的万有引力是在地球表面受万有引力的 $\frac{4}{9}$

B. 火星表面的重力加速度是 $\frac{2}{3}g$

C. 火星第一宇宙速度是地球第一宇宙速度的 $\frac{\sqrt{2}}{3}$

D. 王跃以相同的初速度在火星上起跳时, 可跳的最大高度是 $\frac{3}{2}h$

解析 当我国宇航员王跃在地球表面时, 根据万有引力定律及牛顿第二定律可得 $\frac{GMm}{r^2} = mg = ma = \frac{mv^2}{r}$, 同理可得王跃在火星表面时 $F_{万}' = \frac{GM'm}{r'^2} = mg' = ma' = \frac{mv'^2}{r'}$, 可得王跃在火星表面受的万有引力是在地球表面受万有引力的 $\frac{4}{9}$, A 项对; 火星表面的重力加速度是 $g' = \frac{4}{9}g$, B 项错; 火星的第一宇宙速度 $v' = \sqrt{\frac{M'r}{Mr'}}v = \frac{\sqrt{2}}{3}v$, 故 C 项对; 由 $0 - v^2 = -2gh$ 可得王跃以相同的初速度在火星上起跳时, 可跳的最大高度 $h' = \frac{g}{g'}h = \frac{9}{4}h$, D 项错.

答案 AC

【跟踪短训】

1. 有一星球的密度跟地球密度相同, 但它表面处的重力加速度是地球表面处重力加速度的 4 倍, 则该星球的质量将是地球质量的(忽略其自转影响)().

- A. $\frac{1}{4}$ 倍 B. 4 倍 C. 16 倍 D. 64 倍

解析 天体表面的重力加速度: $g = \frac{GM}{R^2}$, 又知 $\rho = \frac{3M}{4\pi R^3}$, 所以 $M = \frac{9g^3}{16\pi\rho^2 G^3}$, 故 $\frac{M_{星}}{M_{地}} = \left(\frac{g_{星}}{g_{地}}\right)^3 = 64$.

答案 D

热点二 天体质量和密度的估算

1. 天体质量及密度的估算

(1) 天体质量的估算:

① 已知天体做匀速圆周运动的轨道半径和周期, 由 $G\frac{Mm}{r^2} = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$ 得 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$, 只能用来求中心天体的质量.

② 已知天体表面重力加速度、天体半径和引力常量, 由 $mg = G\frac{Mm}{R^2}$ 得 $M = \frac{R^2 g}{G}$.

(2) 天体密度估算一般在质量估算的基础上, 利用

$M = \rho \times \frac{4}{3}\pi R^3$ 进行.

2. 估算天体问题应注意三点

(1) 天体质量估算中常有隐含条件, 如地球的自转周期为 24 h, 公转周期为 365 天等.

(2) 注意黄金代换式 $GM = gR^2$ 的应用.

(3) 注意密度公式 $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$ 的理解和应用.

【典例 2】(2013 大纲, 18) “嫦娥一号”是我国首次发射的探月卫星, 它在距月球表面高度为 200 km 的圆形轨道上运行, 运行周期为 127 分钟. 已知引力常量 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$, 月球半径约为 $1.74 \times 10^3 \text{ km}$. 利用以上数据估算月球的质量约为().

- A. $8.1 \times 10^{10} \text{ kg}$ B. $7.4 \times 10^{13} \text{ kg}$
C. $5.4 \times 10^{19} \text{ kg}$ D. $7.4 \times 10^{22} \text{ kg}$

解析 天体做圆周运动时都是万有引力提供向心力. “嫦娥一号”绕月球做匀速圆周运动, 由牛顿第二定律知: $\frac{GMm}{r^2} = \frac{4\pi^2 mr}{T^2}$, 得 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$, 其中 $r = R + h$, 代入数据解得 $M = 7.4 \times 10^{22} \text{ kg}$, 选项 D 正确.

答案 D

【跟踪短训】

2. 一卫星绕某一行星表面附近做匀速圆周运动, 其线速度大小为 v . 假设宇航员在该行星表面上用弹簧测力计测量一质量为 m 的物体重力, 物体静止时, 弹簧测力计的示数为 N . 已知引力常量为 G , 则这颗行星的质量为().

- A. $\frac{mv^2}{GN}$ B. $\frac{mv^4}{GN}$ C. $\frac{Nv^2}{Gm}$ D. $\frac{Nv^4}{Gm}$

解析 设卫星的质量为 m' ,

由万有引力提供向心力, 得 $G\frac{Mm'}{R^2} = m' \frac{v^2}{R}$, ①

$m' \frac{v^2}{R} = m' g$, ②

由已知条件: m 的重力为 N 得 $N = mg$, ③

由③得 $g = \frac{N}{m}$, 代入②得: $R = \frac{mv^2}{N}$,

代入①得 $M = \frac{mv^4}{GN}$, 故 A、C、D 三项均错误, B 项正确.

答案 B

3. 已知引力常量为 G , 那么在下列给出的各种情境中, 能根据测量的数据估算出火星的平均密度的是().

- A. 在火星表面使一个小球做自由落体运动, 测出下落的高度 H 和时间 t

- B. 发射一颗贴近火星表面绕火星做圆周运动的飞船，测出飞船的周期 T
 C. 观察火星绕太阳的圆周运动，测出火星的直径 D 和火星绕太阳运行的周期 T
 D. 发射一颗绕火星做圆周运动的卫星，测出卫星绕火星运行的轨道半径 r 和卫星的周期 T

解析 根据 $H = \frac{1}{2}g't^2$ 可得, $g' = \frac{2H}{t^2}$, 根据 $GM = g'R^2$, $M = \frac{4}{3}\pi R^3\rho$ 可得 $\rho = \frac{3H}{2\pi GRt^2}$, 因为火星半径未知, 所以测不出火星的平均密度, 选项 A 错误; 根据 $G\frac{Mm}{R^2} = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2R$ 和 $M = \rho V = \rho\frac{4}{3}\pi R^3$, 解得 $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$, 选项 B 正确; 已知火星的直径 D 和火星绕太阳运行的周期 T , 测不出火星的质量, 也就测不出火星的平均密度, 选项 C 错误; 已知卫星绕火星运行的轨道半径 r 和卫星的周期 T , 根据 $G\frac{Mm}{r^2} = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r$, 可得火星的质量为 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$, 但火星的半径未知, 测不出火星的平均密度, 选项 D 错误.

答案 B

热点三 卫星运行参量的分析与计算

1. 利用万有引力定律解决卫星运动的一般思路

(1) 一个模型

天体(包括卫星)的运动可简化为质点的匀速圆周运动模型.

(2) 两组公式

$$G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m\frac{4\pi^2}{T^2}r = ma$$

$$mg = \frac{GMm}{R^2} \text{ (} g \text{ 为星体表面处的重力加速度)}$$

2. 卫星的线速度、角速度、周期与轨道半径的关系

$$\left. \begin{array}{l} v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \\ \omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}} \\ T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}} \\ a_n = G\frac{M}{r^2} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{当 } r \text{ 增大时} \left\{ \begin{array}{l} v \text{ 减小} \\ \omega \text{ 减小} \\ T \text{ 增大} \\ a_n \text{ 减小} \end{array} \right.$$

3. 地球同步卫星的特点

轨道平面一定	轨道平面与赤道平面重合
高度一定	距离地心的距离一定, $h = 4.225 \times 10^4 \text{ km}$; 距离地面的高度为 $3.6 \times 10^4 \text{ km}$
环绕速度一定	$v = 3.08 \text{ km/s}$, 环绕方向与地球自转方向相同
角速度一定	$\omega = 7.3 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$
周期一定	与地球自转周期相同, 常取 $T = 24 \text{ h}$
向心加速度大小一定	$a = 0.23 \text{ m/s}^2$

4. 卫星的可能轨道(如图 4-4-1 所示)

卫星的轨道平面一定过地球的地心

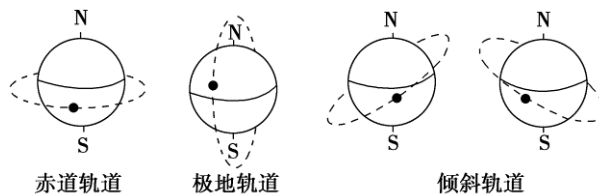


图 4-4-1

【典例 3】 (2013 海南卷, 5) “北斗” 卫星导航定位系统由地球静止轨道卫星(同步卫星)、中轨道

卫星和倾斜同步卫星组成. 地球静止轨道卫星和中轨道卫星都在圆轨道上运行, 它们距地面的高度分别约为地球半径的 6 倍和 3.4 倍, 下列说法中正确的是().

- A. 静止轨道卫星的周期约为中轨道卫星的 2 倍
- B. 静止轨道卫星的线速度大小约为中轨道卫星的 2 倍
- C. 静止轨道卫星的角速度大小约为中轨道卫星的 $\frac{1}{7}$
- D. 静止轨道卫星的向心加速度大小约为中轨道卫星的 $\frac{1}{7}$

解析 由万有引力提供向心力可知 $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r} = mr\omega^2 = mr\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = ma$, 整理可得周期 $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$, 线速度 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 角速度 $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$, 向心加速度 $a = \frac{GM}{r^2}$, 设地球的半径为 R , 由题意知静止轨道卫星的运行半径是 $r_1 = 7R$, 中轨道卫星的运行半径是 $r_2 = 4.4R$, 由比例关系可得静止轨道卫星的周期约为中轨道卫星的 $\sqrt{\frac{7^3}{4.4^3}} \approx 2$ 倍, 故 A 正确; 同理可判断出选项 B、C、D 均错误.

答案 A

反思总结 人造卫星问题的解题技巧

(1)利用万有引力提供向心力的不同表述形式:

$$\textcircled{1} G\frac{Mm}{r^2} = ma_n; \textcircled{2} a_n = \frac{v^2}{r} = r\omega^2 = \frac{4\pi^2}{T^2}r$$

(2)解决力与运动关系的思想还是动力学思想, 解决力与运动的关系的桥梁还是牛顿第二定律.

$\textcircled{1}$ 卫星的 a_n 、 v 、 ω 、 T 是相互联系的, 其中一个量发生变化, 其他各量也随之发生变化.

$\textcircled{2}$ a_n 、 v 、 ω 、 T 均与卫星的质量无关, 只由轨道半径 r 和中心天体质量共同决定.

【跟踪短训】

4. (2013 广东卷, 14)如图 4-4-2 所示, 甲、乙两颗卫星以相同的轨道半径分别绕质量为 M 和 $2M$ 的行星做匀速圆周运动. 下列说法正确的是().

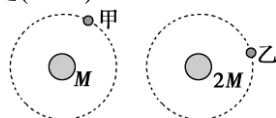


图 4-4-2

- A. 甲的向心加速度比乙的小
- B. 甲的运行周期比乙的小
- C. 甲的角速度比乙的大
- D. 甲的线速度比乙的大

解析 根据 $G\frac{Mm}{r^2} = ma$ 得 $a = \frac{GM}{r^2}$, 故甲卫星的向心加速度小, 选项 A 正确; 根据 $G\frac{Mm}{r^2} = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$, 得 $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$, 故甲的运行周期大, 选项 B 错误; 根据 $G\frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r$, 得 $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$, 故甲运行的角速度小, 选项 C 错误;

根据 $G\frac{Mm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$, 得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 故甲运行的线速度小, 选项 D 错误.

答案 A

5. 我国于 2013 年 6 月 11 日 17 时 38 分发射“神舟十号”载人飞船, 并与“天宫一号”目标飞行器对接. 如图 4-4-3 所示, 开始对接前, “天宫一号”在高轨道, “神舟十号”飞船在低轨道, 各自绕地球做匀速圆周运动, 距离地面的高度分别为 h_1 和 h_2 (设地球半径为 R), “天宫一号”的运行周期约为 90 分钟. 则以下说法正确的是().

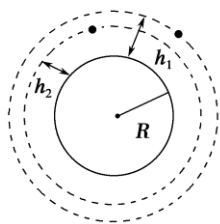


图 4-4-3

- A. “天宫一号”跟“神舟十号”的线速度大小之比为 $\sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$
 B. “天宫一号”跟“神舟十号”的向心加速度大小之比为 $\frac{(R+h_2)^2}{(R+h_1)^2}$
 C. “天宫一号”的角速度比地球同步卫星的角速度大
 D. “天宫一号”的线速度大于 7.9 km/s

解析 由 $G\frac{Mm}{(R+h)^2} = m\frac{v^2}{R+h}$ 可得, “天宫一号”与“神舟十号”的线速度大小之比为 $\sqrt{\frac{R+h_2}{R+h_1}}$, A

项错误; 由 $G\frac{Mm}{(R+h)^2} = ma$ 可得“天宫一号”与“神舟十号”的向心加速度大小之比为 $\frac{(R+h_2)^2}{(R+h_1)^2}$, B 项正

确; 地球同步卫星的运行周期为 24 小时, 因此“天宫一号”的周期小于地球同步卫星的周期, 由 $\omega = \frac{2\pi}{T}$

可知, 周期小则角速度大, C 项正确; “天宫一号”的线速度小于地球的第一宇宙速度, D 错.

答案 BC

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

物理建模 7.宇宙双星模型

1. 模型条件

- (1) 两颗星彼此相距较近.
- (2) 两颗星靠相互之间的万有引力做匀速圆周运动.
- (3) 两颗星绕同一圆心做圆周运动.

2. 模型特点

(1) “向心力等大反向”——两颗星做匀速圆周运动的向心力由它们之间的万有引力提供, 故 $F_1 = F_2$, 且方向相反, 分别作用在两颗行星上, 是一对作用力和反作用力.

(2) “周期、角速度相同”——两颗行星做匀速圆周运动的周期、角速度相等.

(3) “半径反比”——圆心在两颗行星的连线上, 且 $r_1 + r_2 = L$, 两颗行星做匀速圆周运动的半径与行星的质量成反比.

3. 解答双星问题应注意“两等”“两不等”

(1) 双星问题的“两等”:

① 它们的角速度相等.

② 双星做匀速圆周运动的向心力由它们之间的万有引力提供, 即它们受到的向心力大小总是相等的.

(2) “两不等”:

① 双星做匀速圆周运动的圆心是它们连线上的一点, 所以双星做匀速圆周运动的半径与双星间的距离是不相等的, 它们的轨道半径之和才等于它们间的距离.

② 由 $m_1\omega^2 r_1 = m_2\omega^2 r_2$ 知由于 m_1 与 m_2 一般不相等, 故 r_1 与 r_2 一般也不相等.

【典例】(2013 山东卷, 20) 双星系统由两颗恒星组成, 两恒星在相互引力的作用下, 分别围绕其连线上的某一点做周期相同的匀速圆周运动. 研究发现, 双星系统演化过程中, 两星的总质量、距离和周期均可能发生变化. 若某双星系统中两星做圆周运动的周期为 T , 经过一段时间演化后, 两星总质量变为原来的 k 倍, 两星之间的距离变为原来的 n 倍, 则此时圆周运动的周期为().

A. $\sqrt{\frac{n^3}{k^2}}T$

B. $\sqrt{\frac{n^3}{k}}T$

C. $\sqrt{\frac{n^2}{k}}T$

D. $\sqrt{\frac{n}{k}}T$

解析 双星间的万有引力提供向心力 .

设原来双星间的距离为 L , 质量分别为 M 、 m , 圆周运动的圆心距质量为 m 的恒星距离为 r .

对质量为 m 的恒星 : $G\frac{Mm}{L^2} = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$

对质量为 M 的恒星 : $G\frac{Mm}{L^2} = M\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 (L - r)$

得 $G\frac{M+m}{L^2} = \frac{4\pi^2}{T^2}L$, 即 $T^2 = \frac{4\pi^2 L^3}{G(M+m)}$

则当总质量为 $k(M+m)$, 间距为 $L' = nL$ 时 , $T' = \sqrt{\frac{n^3}{k}}T$, 选项 B 正确 .

答案 B

反思总结 双星系统问题的误区

(1)不能区分星体间距与轨道半径 : 万有引力定律中的 r 为两星体间距离 , 向心力公式中的 r 为所研究星球做圆周运动的轨道半径 .

(2)找不准物理现象的对应规律 .

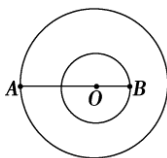


图 4-4-4

即学即练 如图 4-4-4 所示 , 双星系统中的星球 A、B 都可视为质点 , A、B 绕两者连线上的 O 点做匀速圆周运动 , A、B 之间距离不变 , 引力常量为 G , 观测到 A 的速率为 v 、运行周期为 T , A、B 的质量分别为 m_1 、 m_2 .

(1)求 B 的周期和速率 .

(2)A 受 B 的引力 F_A 可等效为位于 O 点处质量为 m' 的星体对它的引力 , 试求 m' .(用 m_1 、 m_2 表示)

解析 (1)设 A、B 的轨道半径分别为 r_1 、 r_2 , 它们做圆周运动的周期 T 、角速度 ω 都相同 , 根据牛顿第二定律有 $F_A = m_1\omega^2 r_1$, $F_B = m_2\omega^2 r_2$, 即 $\frac{r_1}{r_2} = \frac{m_2}{m_1}$. 故 B 的周期和速率分别为 : $T_B = T_A = T$, $v_B = \omega r_2 = \omega \frac{m_1 r_1}{m_2} = \frac{m_1 v}{m_2}$.

(2)A、B 之间的距离 $r = r_1 + r_2 = \frac{m_1 + m_2}{m_2} r_1$, 根据万有引力定律有 $F_A = G\frac{m_1 m_2}{r^2} = G\frac{m_1 m'}{r_1^2}$,

所以 $m' = \frac{m_2^3}{(m_1 + m_2)^2}$.

答案 (1) T $\frac{m_1 v}{m_2}$ (2) $\frac{m_2^3}{(m_1 + m_2)^2}$

附：对应高考题组(PPT 课件文本，见教师用书)

1. (2012 全国课标卷，21)假设地球是一半径为 R 、质量分布均匀的球体 . 一矿井深度为 d . 已知质量分布均匀的球壳对壳内物体的引力为零 . 矿井底部和地面处的重力加速度大小之比为() .

A. $1 - \frac{d}{R}$

B. $1 + \frac{d}{R}$

C. $\left(\frac{R-d}{R}\right)^2$

D. $\left(\frac{R}{R-d}\right)^2$

解析 设地球的密度为 ρ , 地球的质量为 M , 根据万有引力定律可知 , 地球表面的重力加速度 $g = \frac{GM}{R^2}$.

地球质量可表示为 $M = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$. 因质量分布均匀的球壳对球壳内物体的引力为零, 所以矿井下以 $(R - d)$ 为半径的地球的质量为 $M' = \frac{4}{3}\pi (R - d)^3 \rho$, 解得 $M' = \left(\frac{R - d}{R}\right)^3 M$, 则矿井底部处的重力加速度 $g' = \frac{GM'}{(R - d)^2}$, 则矿井底部处的重力加速度和地球表面的重力加速度之比为 $\frac{g'}{g} = 1 - \frac{d}{R}$, 选项 A 正确, 选项 B、

C、D 错误.

答案 A

2. (2012 四川卷, 15) 今年 4 月 30 日, 西昌卫星发射中心发射的中圆轨道卫星, 其轨道半径为 2.8×10^7 m. 它与另一颗同质量的同步轨道卫星(轨道半径为 4.2×10^7 m) 相比().

- A. 向心力较小
- B. 动能较大
- C. 发射速度都是第一宇宙速度
- D. 角速度较小

解析 由 $F_{向} = F_{万} = G\frac{Mm}{R^2}$ 知, 中圆轨道卫星向心力大于同步轨道卫星(G 、 M 、 m 相同), 故 A 错误. 由 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$, 得 $E_k = \frac{GMm}{2R}$, 且由 $R_{中} < R_{同}$ 知, 中圆轨道卫星动能较大, 故 B 正确. 第一宇宙速度是最小的卫星发射速度, 故 C 错误. 由 $\omega = \sqrt{\frac{GM}{R^3}}$ 可知, 中圆轨道卫星角速度较大, 故 D 错误.

答案 B

3. (2012 重庆卷, 18) 冥王星与其附近的另一星体卡戎可视为双星系统, 质量比约为 7:1, 同时绕它们连线上某点 O 做匀速圆周运动. 由此可知, 冥王星绕 O 点运动的().

- A. 轨道半径约为卡戎的 $\frac{1}{7}$
- B. 角速度大小约为卡戎的 $\frac{1}{7}$
- C. 线速度大小约为卡戎的 7 倍
- D. 向心力大小约为卡戎的 7 倍

解析 设冥王星的质量、轨道半径、线速度大小分别为 m_1 、 r_1 、 v_1 , 卡戎的质量、轨道半径、线速度大小分别为 m_2 、 r_2 、 v_2 , 由双星问题的规律可得, 两星间的万有引力分别给两星提供做圆周运动的向心力, 且两星的角速度相等, 故 B、D 均错; 由 $G\frac{m_1 m_2}{L^2} = m_1 \omega^2 r_1 = m_2 \omega^2 r_2$ (L 为两星间的距离), 因此 $\frac{r_1}{r_2} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{7}$, $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\omega r_1}{\omega r_2} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{7}$, 故 A 对、C 错.

答案 A

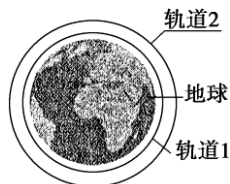
4. (2011 山东卷, 17) 甲、乙为两颗地球卫星, 其中甲为地球同步卫星, 乙的运行高度低于甲的运行高度, 两卫星轨道均可视为圆轨道. 以下判断正确的是().

- A. 甲的周期大于乙的周期
- B. 乙的速度大于第一宇宙速度
- C. 甲的向心加速度小于乙的向心加速度
- D. 甲在运行时能经过北级的正上方

解析 两卫星运行时万有引力提供向心力, 所以 $\frac{GMm}{r^2} = ma_{向}$, 由此知 r 大, 则 $a_{向}$ 小, C 项正确; $a_{向} = \frac{4\pi^2}{T^2} r = \frac{v^2}{r}$, 联立知, A 项正确, B 项错误; 地球同步卫星轨道平面与赤道平面平行, 所以 D 项错误.

答案 AC

5. (2012 广东卷, 21) 如图所示, 飞船从轨道 1 变轨至轨道 2. 若飞船在两轨道上都做匀速圆周运动, 不考虑质量变化, 相对于在轨道 1 上, 飞船在轨道 2 上的().



- A. 动能大
B. 向心加速度大
C. 运行周期长
D. 角速度小

解析 飞船绕中心天体做匀速圆周运动，万有引力提供向心力，即 $F_{引} = F_{向}$ ，所以 $G\frac{Mm}{r^2} = ma_{向} = \frac{mv^2}{r} = \frac{4\pi^2mr}{T^2} = mr\omega^2$ ，即 $a_{向} = \frac{GM}{r^2}$ ， $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{2r}$ ， $T = \sqrt{\frac{4\pi^2r^3}{GM}}$ ， $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ (或用公式 $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 求解)。

因为 $r_1 < r_2$ ，所以 $E_{k1} > E_{k2}$ ， $a_{向1} > a_{向2}$ ， $T_1 < T_2$ ， $\omega_1 > \omega_2$ ，选项 C、D 正确。

答案 CD

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 天体质量的估算

1. (2013 宁夏模拟)(多选)1798 年，英国物理学家卡文迪许测出万有引力常量 G ，因此卡文迪许被人们称为能称出地球质量的人。若已知万有引力常量 G ，地球表面处的重力加速度 g ，地球半径 R ，地球上一个昼夜的时间 T_1 (地球自转周期)，一年的时间 T_2 (地球公转的周期)，地球中心到月球中心的距离 L_1 ，地球中心到太阳中心的距离 L_2 。你能计算出()。

- A. 地球的质量 $m_{地} = \frac{gR^2}{G}$
B. 太阳的质量 $m_{太} = \frac{4\pi^2L_2^3}{GT_2^2}$
C. 月球的质量 $m_{月} = \frac{4\pi^2L_1^3}{GT_1^2}$
D. 可求月球、地球及太阳的密度

答案 AB

2. (2013 唐山模拟)(单选)为研究太阳系内行星的运动，需要知道太阳的质量，已知地球半径为 R ，地球质量为 m ，太阳与地球中心间距为 r ，地球表面的重力加速度为 g ，地球绕太阳公转的周期为 T 。则太阳的质量为()。

- A. $\frac{4\pi^2r^3}{T^2R^2g}$
B. $\frac{T^2R^2g}{4\pi^2mr^3}$
C. $\frac{4\pi^2mgr^3}{R^3T^2}$
D. $\frac{4\pi^2mr^3}{T^2R^2g}$

解析 在地球表面： $G\frac{mm'}{R^2} = m'g$ ①

地球绕太阳公转： $G\frac{Mm}{r^2} = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r$ ②

由①②得： $M = \frac{4\pi^2mr^3}{T^2R^2g}$ 。故 D 项正确。

答案 D

题组二 卫星运行参量的分析与计算

3. (多选)人造地球卫星可以绕地球做匀速圆周运动，也可以沿椭圆轨道绕地球运动。对于沿椭圆轨道绕地球运动的卫星，以下说法正确的是()。

- A. 近地点速度一定等于 7.9 km/s
B. 近地点速度一定大于 7.9 km/s，小于 11.2 km/s
C. 近地点速度可以小于 7.9 km/s
D. 远地点速度一定小于在同高度圆轨道上的运行速度

解析 第一宇宙速度是卫星在星球表面附近做匀速圆周运动时必须具有的线速度，而对于绕地球沿椭圆轨道运动的卫星，在近地点时的线速度与第一宇宙速度无关，可以大于第一宇宙速度，也可以小于第一宇宙速度(此时的“近地点”离地面的距离较大，不能看成是地面附近)，故 A、B 错误，C 正确；卫星在远地点的速度一定小于在同高度圆轨道上的运行速度，否则不可能被“拉向”地面，D 正确。

答案 CD

4. (2013 西安二模)(多选)2013 年 2 月 16 日凌晨，2012DA14 小行星与地球“擦肩而过”，距离地球最近约 2.77 万公里。据观测，它绕太阳公转的周期约为 366 天，比地球的公转周期多 1 天。假设小行星和地球绕太阳运行的轨道均为圆轨道，对应的轨道半径分别为 R_1 、 R_2 ，线速度大小分别为 v_1 、 v_2 ，以下关系式正确的是()。

A. $\frac{R_1}{R_2} = \frac{366}{365}$

B. $\frac{R_1^3}{R_2^3} = \frac{366^2}{365^2}$

C. $\frac{v_1}{v_2} = \frac{365}{366}$

D. $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt[3]{\frac{365}{366}}$

解析 设太阳、行星的质量分别为 M 和 m ，行星的公转周期为 T ，线速度为 v ，则 $G\frac{mM}{R^2} = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R = m\frac{v^2}{R}$ ，有 $T = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$ ， $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ ，对小行星和地球，可得 $\frac{R_1^3}{R_2^3} = \frac{366^2}{365^2}$ ， $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt[3]{\frac{365}{366}}$ ，所以选项 B、D 正确。

答案 BD

5. (多选)2013 年 2 月，一块陨石坠落在俄罗斯乌拉尔山脉地区。假设该陨石在落地前在大气层内绕地球做圆周运动，由于空气阻力的作用，半径会逐渐减小。关于该陨石的运动，以下说法正确的是()。

- A. 陨石的动能逐渐增大
- B. 陨石的周期逐渐减小
- C. 陨石的向心加速度逐渐减小
- D. 陨石的机械能逐渐增大

解析 陨石的运动和卫星一样，视为圆周运动，由 $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$ 得： $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ，半径减小时，速度增大，动能也增大，A 正确；由 $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{4\pi^2}{T^2}r$ 得： $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$ ，半径减小时，周期减小，B 正确；由 $G\frac{Mm}{r^2} = ma$ 得： $a = G\frac{M}{r^2}$ ，半径减小时，向心加速度增大，C 错误；空气阻力做负功，机械能减小，D 错误。

答案 AB

题组三 星体表面的重力加速度

6. (多选)美国航空航天局发射的“月球勘测轨道器”LRO，每天在 50 km 的高度穿越月球两极上空 10 次。若以 T 表示 LRO 在离月球表面高度 h 处的轨道上做匀速圆周运动的周期，以 R 表示月球的半径，则()。

A. LRO 运行时的向心加速度为 $\frac{4\pi^2 R}{T^2}$

B. LRO 运行时的向心加速度为 $\frac{4\pi^2 (R+h)}{T^2}$

C. 月球表面的重力加速度为 $\frac{4\pi^2 R}{T^2}$

D. 月球表面的重力加速度为 $\frac{4\pi^2 (R+h)^3}{T^2 R^2}$

- C. 双星间距离一定, 双星的质量越大, 其转动周期越大
 D. 双星的质量一定, 双星之间的距离越大, 其转动周期越大

解析 设双星质量分别为 m_A 、 m_B , 轨道半径为 R_A 、 R_B , 两者间距为 L , 周期为 T , 角速度为 ω ,

由万有引力定律可知: $\frac{Gm_A m_B}{L^2} = m_A \omega^2 R_A$ ①

$$\frac{Gm_A m_B}{L^2} = m_B \omega^2 R_B$$
 ②

$$R_A + R_B = L$$
 ③

由①②式可得 $\frac{m_A}{m_B} = \frac{R_B}{R_A}$, 而 $AO > OB$, 故 A 错误. $v_A = \omega R_A$, $v_B = \omega R_B$, B 正确. 联立①②③得 $G(m_A + m_B) = \omega^2 L^3$, 又因为 $T = \frac{2\pi}{\omega}$, 可知 D 正确, C 错误.

答案 BD

10. (2013 浙江卷, 18)(多选)如图 4-4-6 所示, 三颗质量均为 m 的地球同步卫星等间隔分布在半径为 r 的圆轨道上, 设地球质量为 M , 半径为 R . 下列说法正确的是().

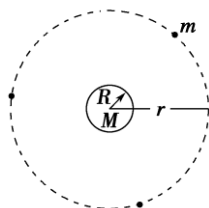


图 4-4-6

- A. 地球对一颗卫星的引力大小为 $\frac{GMm}{(r-R)^2}$
 B. 一颗卫星对地球的引力大小为 $\frac{GMm}{r^2}$
 C. 两颗卫星之间的引力大小为 $\frac{Gm^2}{3r^2}$
 D. 三颗卫星对地球引力的合力大小为 $\frac{3GMm}{r^2}$

解析 地球与卫星之间的距离应为地心与卫星之间的距离, 选项 A 错误, B 正确; 两颗相邻卫星与地球球心的连线互成 120° 角, 间距为 $\sqrt{3}r$, 代入数据得, 两颗卫星之间引力大小为 $\frac{Gm^2}{3r^2}$, 选项 C 正确; 三颗卫星对地球引力的合力为零, 选项 D 错误.

答案 BC

11. (多选)宇宙中有这样一种三星系统, 系统由两个质量为 m 的小星体和一个质量为 M 的大星体组成, 两个小星体围绕大星体在同一圆形轨道上运行, 轨道半径为 r . 关于该三星系统的说法中正确的是().

- A. 在稳定运行情况下, 大星体提供两个小星体做圆周运动的向心力
 B. 在稳定运行情况下, 大星体应在小星体轨道中心, 两小星体在大星体相对的两侧

C. 小星体运行的周期为 $T = \frac{4\pi r^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{G(4M+m)}}$

D. 大星体运行的周期为 $T = \frac{4\pi r^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{G(4M+m)}}$

解析 三星系统稳定运行时, 两个小星体应在大星体的两侧, 且在同一直径上, 小星体的向心力是由大星体的万有引力和另一小星体的万有引力共同提供的, A 错误, B 正确; 由 $\frac{GMm}{r^2} + \frac{Gmm}{(2r)^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$,

可得出： $T = \frac{4\pi r^3}{\sqrt{G(4M+m)}}$ ，故 C 正确；大星体为中心天体，D 错误。

答案 BC

B 深化训练——提高能力技巧

12. (单选)2012年6月，“神九”飞天，“蛟龙”探海，实现了“可上九天揽月，可下五洋捉鳖”这个充满浪漫主义气概的梦想。处于340 km高空的“神九”和处于7 000 m深海的“蛟龙”的向心加速度分别为 a_1 和 a_2 ，转动的角速度分别为 ω_1 和 ω_2 ，下列说法中正确的是()。

A. 因为“神九”离地心的距离较大，根据 $\omega = \frac{v}{r}$ 得 $\omega_1 < \omega_2$

B. 根据 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 可知， ω 与圆周运动的半径 r 无关，所以 $\omega_1 = \omega_2$

C. 因为“神九”离地心的距离较大，根据 $a = \frac{GM}{r^2}$ 得 $a_1 < a_2$

D. 因为“神九”离地心距离较大且角速度也较“蛟龙”大，根据 $a = \omega^2 r$ 得 $a_1 > a_2$

解析 根据 $\omega = \frac{v}{r}$ 可知，做圆周运动的角速度不仅与 r 有关，还与线速度 v 有关，所以A、B均错；因为“蛟龙”属于天体自转问题，它转动的角速度与地球同步卫星相同，“神九”与同步卫星相比，根据 $G\frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r$ 得“神九”的角速度较大，即“神九”的角速度大于“蛟龙”随地球自转的角速度，根据 $a = \omega^2 r$ 得C错，D正确。

答案 D

13. (多选)对宇宙的思考一直伴随着人类的成长，人们采用各种方式对宇宙进行着探索，搜寻着外星智慧生命，试图去证明人类并不孤单。其中最有效也是最难的方法就是身临其境。设想某载人飞船绕一类行星做匀速圆周运动，其轨道半径可视为该行星半径 R ，载人飞船运动周期为 T ，该行星表面的重力加速度为 g ，引力常量为 G ，则()。

A. 飞船的速度是绕行星做圆周运动的最大速度

B. 该行星的平均密度可表示为 $\frac{3\pi}{4GT^2}$

C. 飞船做圆周运动的半径增大，其运动周期将减小

D. 该行星的平均密度可表示为 $\frac{3g}{4\pi GR}$

解析 对飞船，万有引力等于向心力，由 $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$ 得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ，即轨道半径越大，飞船速度越小，A项正确；由 $G\frac{Mm}{R^2} = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R$ ，得行星质量 $M = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$ ，又行星密度 $\rho = \frac{M}{V} = \frac{3M}{4\pi R^3}$ ，因此得 $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$ ，B项错；由 $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ 可知，当轨道半径增大时，飞船的周期增大，C项错；由 $G\frac{Mm}{R^2} = mg$ 得 $M = \frac{gR^2}{G}$ ，代入密度表达式即得 $\rho = \frac{3g}{4\pi GR}$ ，D项正确。

答案 AD

14. (2013·四川卷，4)(单选)迄今发现的二百余颗太阳系外行星大多不适宜人类居住，绕恒星“Gliese581”运行的行星“G1-581c”却很值得我们期待。该行星的温度在 0°C 到 40°C 之间、质量是地球的6倍、直径是地球的1.5倍、公转周期为13个地球日。“Gliese581”的质量是太阳质量的0.31倍。设该行星与地球均视为质量分布均匀的球体，绕其中心天体做匀速圆周运动，则()。

A. 在该行星和地球上发射卫星的第一宇宙速度相同

B. 如果人到了该行星，其体重是地球上的 $2\frac{2}{3}$ 倍

C. 该行星与“Gliese581”的距离是日地距离的 $\sqrt{\frac{13}{365}}$ 倍

D. 由于该行星公转速率比地球大，地球上的米尺如果被带上该行星，其长度一定会变短

解析 由题意知,行星、地球的质量之比 $\frac{m_1}{m_2}=6$,半径之比 $\frac{R_1}{R_2}=1.5$,公转周期之比 $\frac{T_1}{T_2}=\frac{13}{365}$,中心天体质量之比 $\frac{M_1}{M_2}=0.31$.根据 $G\frac{mm'}{R^2}=m'\frac{v^2}{R}$,得第一宇宙速度之比 $\frac{v_1}{v_2}=\sqrt{\frac{Gm_1}{R_1}\frac{R_2}{Gm_2}}=\sqrt{\frac{m_1}{m_2}\frac{R_2}{R_1}}=2$,选项 A 错误;根据 $m'g=G\frac{mm'}{R^2}$,得到人的体重之比 $\frac{m'g_1}{m'g_2}=\frac{m_1}{R_1^2}\frac{R_2^2}{m_2}=\frac{m_1}{m_2}\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2=\frac{8}{3}$,选项 B 正确;根据 $G\frac{Mm}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r$,得与中心天体的距离之比 $\frac{r_1}{r_2}=\sqrt[3]{\frac{M_1(T_1)^2}{M_2(T_2)^2}}=\sqrt[3]{0.31\times\left(\frac{13}{365}\right)^2}$,选项 C 错误;米尺在该行星上长度不一定会变短,选项 D 错误.

答案 B

专题四 剖析卫星运动问题中的“两大难点”

难点一 近地卫星、赤道上物体及同步卫星的运行问题

近地卫星、同步卫星和赤道上随地球自转的物体的三种匀速圆周运动的比较

(1)轨道半径:近地卫星与赤道上物体的轨道半径相同,同步卫星的轨道半径较大,即 $r_{\text{同}}>r_{\text{近}}=r_{\text{物}}$.

(2)运行周期:同步卫星与赤道上物体的运行周期相同.由 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ 可知,近地卫星的周期要小于同步卫星的周期,即 $T_{\text{近}}<T_{\text{同}}=T_{\text{物}}$.

(3)向心加速度:由 $G\frac{Mm}{r^2}=ma$ 知,同步卫星的加速度小于近地卫星的加速度.由 $a=r\omega^2=r\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$ 知,同步卫星的加速度大于赤道上物体的加速度,即 $a_{\text{近}}>a_{\text{同}}>a_{\text{物}}$.

(4)动力学规律:近地卫星和同步卫星都只受万有引力作用,由万有引力充当向心力,满足万有引力充当向心力所决定的天体运行规律.赤道上的物体由万有引力和地面支持力的合力充当向心力(或者说由万有引力的分力充当向心力),它的运动规律不同于卫星的运动规律.

【典例 1】地球赤道上有一物体随地球的自转,所受的向心力为 F_1 ,向心加速度为 a_1 ,线速度为 v_1 ,角速度为 ω_1 ;绕地球表面附近做圆周运动的人造卫星(高度忽略),所受的向心力为 F_2 ,向心加速度为 a_2 ,线速度为 v_2 ,角速度为 ω_2 ;地球同步卫星所受的向心力为 F_3 ,向心加速度为 a_3 ,线速度为 v_3 ,角速度为 ω_3 ;地球表面的重力加速度为 g ,第一宇宙速度为 v ,假设三者质量相等,则().

- A. $F_1=F_2>F_3$ B. $a_1=a_2=g>a_3$
C. $v_1=v_2=v>v_3$ D. $\omega_1=\omega_3<\omega_2$

解析 地球同步卫星的运动周期与地球自转周期相同,角速度相同,即 $\omega_1=\omega_3$,根据关系式 $v=\omega r$ 和 $a=\omega^2 r$ 可知, $v_1<v_3$, $a_1<a_3$;人造卫星和地球同步卫星都围绕地球转动,它们受到的地球的引力提供向心力,即 $G\frac{Mm}{r^2}=m\omega^2 r=\frac{mv^2}{r}=ma$ 可得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$, $a=G\frac{M}{r^2}$, $\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$,可见,轨道半径大的线速度、向心加速度和角速度均小,即 $v_2>v_3$, $a_2>a_3$, $\omega_2>\omega_3$;绕地球表面附近做圆周运动的人造卫星(高度忽略)的线速度就是第一宇宙速度,即 $v_2=v$,其向心加速度等于重力加速度,即 $a_2=g$;所以 $v=v_2>v_3>v_1$, $g=a_2>a_3>a_1$, $\omega_2>\omega_3=\omega_1$,又因为 $F=ma$,所以 $F_2>F_3>F_1$.由以上分析可见,选项 A、B、C 错误, D 正确.

答案 D

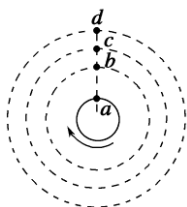
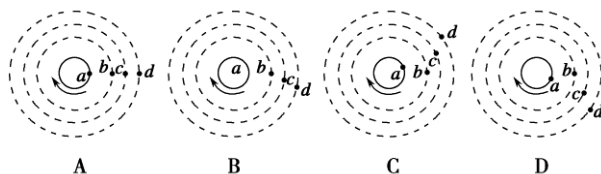


图 1

即学即练 1 如图 1 所示, a 是地球赤道上的一点, $t=0$ 时刻在 a 的正上空有 b 、 c 、 d 三颗轨道均位于赤道平面的地球卫星, 这些卫星绕地球做匀速圆周运动的运行方向均与地球自转方向(顺时针转动)相同, 其中 c 是地球同步卫星. 设卫星 b 绕地球运行的周期为 T , 则在 $t=\frac{1}{4}T$ 时刻这些卫星相对 a 的位置最接近实际的是().



解析 a 是地球赤道上的一点, c 是地球同步卫星, 则 c 始终在 a 的正上方; 由 $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{4\pi^2}{T^2}r$, 得 $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$, 故 r 越大, T 越大, 则 b 比 d 超前, 选项 C 正确.

答案 C

难点二 卫星的变轨问题

1. 卫星变轨的原因

- (1) 由于对接引起的变轨
- (2) 由于空气阻力引起的变轨

2. 卫星变轨的实质

(1) 当卫星的速度突然增加时, $G\frac{Mm}{r^2} < m\frac{v^2}{r}$, 即万有引力不足以提供向心力, 卫星将做离心运动, 脱离原来的圆轨道, 轨道半径变大, 当卫星进入新的轨道稳定运行时由 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 可知其运行速度比原轨道时减小.

(2) 当卫星的速度突然减小时, $G\frac{Mm}{r^2} > m\frac{v^2}{r}$, 即万有引力大于所需要的向心力, 卫星将做近心运动, 脱离原来的圆轨道, 轨道半径变小, 当卫星进入新的轨道稳定运行时由 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 可知其运行速度比原轨道时增大. 卫星的发射和回收就是利用这一原理.

【典例 2】(2013 新课标全国卷 I, 20)2012 年 6 月 18 日, 神舟九号飞船与天宫一号目标飞行器在离地面 343 km 的近圆形轨道上成功进行了我国首次载人空间交会对接. 对接轨道所处的空间存在极其稀薄的大气, 下面说法正确的是().

- A. 为实现对接, 两者运行速度的大小都应介于第一宇宙速度和第二宇宙速度之间
- B. 如不加干预, 在运行一段时间后, 天宫一号的动能可能会增加
- C. 如不加干预, 天宫一号的轨道高度将缓慢降低
- D. 航天员在天宫一号中处于失重状态, 说明航天员不受地球引力作用

解析 本题虽为天体运动问题, 但题中特别指出存在稀薄大气, 所以应从变轨角度入手.

第一宇宙速度和第二宇宙速度为发射速度, 天体运动的速度为环绕速度, 均小于第一宇宙速度, 选项 A 错误; 天体运动过程中由于大气阻力, 速度减小, 导致需要的向心力 $F_n = \frac{mv^2}{r}$ 减小, 做向心运动, 向心运动过程中, 轨道高度降低, 且万有引力做正功, 势能减小, 动能增加, 选项 B、C 正确; 航天员在太空中受地球引力, 地球引力全部提供航天员做圆周运动的向心力, 选项 D 错误.

答案 BC

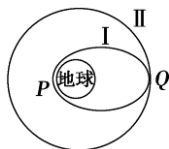


图 2

即学即练 2 如图 2 所示, 在发射地球同步卫星的过程中, 卫星首先进入椭圆轨道 I, 然后在 Q 点通过改变卫星速度, 让卫星进入地球同步轨道 II, 则().

- A. 该卫星在 P 点的速度大于 7.9 km/s, 小于 11.2 km/s
- B. 卫星在同步轨道 II 上的运行速度大于 7.9 km/s
- C. 在轨道 I 上, 卫星在 P 点的速度大于在 Q 点的速度
- D. 卫星在 Q 点通过加速实现由轨道 I 进入轨道 II

解析 由于 P 点在椭圆轨道的近地点, 故 A 正确; 环绕地球做圆周运动的人造卫星, 最大的运行

速度是 7.9 km/s，故 B 错误；P 点比 Q 点离地球近些，故在轨道 I 上，卫星在 P 点的速度大于在 Q 点的速度，C 正确；卫星在 Q 点通过加速实现由轨道 I 进入轨道 II，故 D 正确。

答案 ACD

即学即练 3 (2013 新课标全国卷 II, 20) 目前，在地球周围有许多人造地球卫星绕着它运转，其中一些卫星的轨道可近似为圆，且轨道半径逐渐变小。若卫星在轨道半径逐渐变小的过程中，只受到地球引力和稀薄气体阻力的作用，则下列判断正确的是()。

- A. 卫星的动能逐渐减小
- B. 由于地球引力做正功，引力势能一定减小
- C. 由于气体阻力做负功，地球引力做正功，机械能保持不变
- D. 卫星克服气体阻力做的功小于引力势能的减小

解析 卫星运转过程中，地球的引力提供向心力， $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$ ，受稀薄气体阻力的作用时，轨道半径逐渐变小，地球的引力对卫星做正功，势能逐渐减小，动能逐渐变大，由于气体阻力做负功，卫星的机械能减小，选项 B、D 正确。

答案 BD

专题强化练四

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 近地卫星、赤道上物体及同步卫星的运动问题

1. (多选)将月球、地球同步卫星和静止在地球赤道上的物体三者进行比较，下列说法正确的是()。

- A. 三者都只受万有引力的作用，万有引力都提供向心力
- B. 月球的向心加速度小于地球同步卫星的向心加速度
- C. 地球同步卫星的角速度与静止在地球赤道上的物体的角速度相同
- D. 地球同步卫星相对地心的线速度与静止在地球赤道上的物体相对地心的线速度大小相等

解析 静止在地球赤道上的物体不仅受万有引力作用，还受地面的支持力作用，A 错误；由 $\frac{GMm}{R^2} = ma$ 可得 $a = \frac{GM}{R^2}$ ，因月球绕地球运转的轨道半径大于地球同步卫星的轨道半径，故月球的向心加速度小于地球同步卫星的向心加速度，B 正确；地球同步卫星绕地球运转的周期与静止在地球赤道上物体的周期相同，所以角速度相同，C 正确；由 $v = \omega R$ 可知，D 错误。

答案 BC

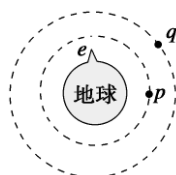


图 3

2. (多选)如图 3 所示，地球赤道上的山丘 e、近地资源卫星 p 和同步通信卫星 q 均在赤道平面上绕地心做匀速圆周运动。设 e、p、q 的圆周运动速率分别为 v_1 、 v_2 、 v_3 ，向心加速度分别为 a_1 、 a_2 、 a_3 ，则()。

- A. $v_1 > v_2 > v_3$
- B. $v_1 < v_3 < v_2$
- C. $a_1 > a_2 > a_3$
- D. $a_1 < a_3 < a_2$

解析 由题意可知：山丘与同步卫星角速度、周期相同，由 $v = \omega r$ ， $a = \omega^2 r$ 可知 $v_1 < v_3$ 、 $a_1 < a_3$ ；对同步卫星和近地资源卫星来说，满足 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 、 $a = \frac{GM}{r^2}$ ，可知 $v_3 < v_2$ 、 $a_3 < a_2$ ，对比各选项可知 B、D 正确。

答案 BD

3. (多选)某空间站正在地球赤道平面内的圆周轨道上运行，其离地高度为同步卫星离地高度的十分之一，且运行方向与地球自转方向一致。关于该空间站说法正确的有()。

- A. 其运行的加速度一定等于其所在高度处的重力加速度
- B. 其运行的速度等于同步卫星运行速度的 $\sqrt{10}$ 倍
- C. 站在地球赤道上的人观察到它向东运动
- D. 在空间站工作的宇航员因受力平衡而在空间站内悬浮或静止

解析 空间站运行的加速度和其所在位置的重力加速度均由其所受万有引力提供, 故 A 正确; 由 $G\frac{Mm}{R^2} = m\frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$, 运行速度与轨道半径的平方根成反比, 并非与离地高度的平方根成反比, 故 B 错误; 由 $G\frac{Mm}{R^2} = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R \Rightarrow T = 2\pi R\sqrt{\frac{R}{GM}}$, 所以空间站运行周期小于地球自转的周期, 故 C 正确; 空间站内的宇航员所受万有引力完全提供向心力, 处于完全失重状态, D 错误.

答案 AC

4. (多选) 同步卫星离地心距离为 r , 运行速度为 v_1 , 加速度为 a_1 , 地球赤道上的物体随地球自转的加速度为 a_2 , 第一宇宙速度为 v_2 , 地球半径为 R , 则以下正确的是().

- A. $\frac{a_1}{a_2} = \frac{r}{R}$
- B. $\frac{a_1}{a_2} = \left(\frac{r}{R}\right)^2$
- C. $\frac{v_1}{v_2} = \frac{r}{R}$
- D. $\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{r}{R}\right) - \frac{1}{2}$

解析 设地球质量为 M , 同步卫星的质量为 m_1 , 地球赤道上的物体质量为 m_2 , 在地球表面附近飞行的物体的质量为 m_2' , 根据向心加速度和角速度的关系有 $a_1 = \omega_1^2 r$, $a_2 = \omega_2^2 R$, $\omega_1 = \omega_2$, 故 $\frac{a_1}{a_2} = \frac{r}{R}$, 可知选项 A 正确.

由万有引力定律有 $G\frac{Mm_1}{r^2} = m_1\frac{v_1^2}{r}$, $G\frac{Mm_2'}{R^2} = m_2'\frac{v_2^2}{R}$, 由以上两式解得 $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{R}{r}}$, 可知选项 D 正确.

答案 AD

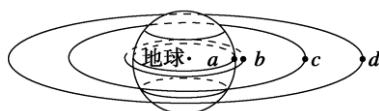


图 4

5. (单选) 有 a 、 b 、 c 、 d 四颗地球卫星, a 还未发射, 在地球赤道上随地球表面一起转动, b 处于地面附近的近地轨道上正常运动, c 是地球同步卫星, d 是高空探测卫星, 各卫星排列位置如图 4 所示, 则有().

- A. a 的向心加速度等于重力加速度 g
- B. b 在相同时间内转过的弧长最长
- C. c 在 4 h 内转过的圆心角是 $\frac{\pi}{6}$
- D. d 的运动周期有可能是 20 小时

解析 对 a : $\frac{GMm}{R^2} - F_N = ma$, 又 $\frac{GMm}{R^2} = mg$, 故 $a < g$, A 错误; 由 $\frac{GMm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$ 得: $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, b 的速度最大, 相同时间内转过的弧长最长, B 正确; c 为同步卫星, 周期为 24 小时, 故 4 小时转过的圆心角为 $\frac{2\pi}{24} \times 4 = \frac{\pi}{3}$, C 错误; 因 d 的运动周期一定大于 c 的周期, 故周期一定大于 24 小时, D 错误.

答案 B

题组二 卫星的变轨问题

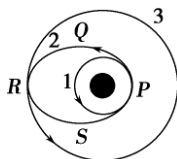


图 5

6. (多选) 要使卫星从如图 5 所示的圆形轨道 1 通过椭圆轨道 2 转移到同步轨道 3, 需要两次短时间

开动火箭对卫星加速，加速的位置应是图中的()。

- A. P 点
- B. Q 点
- C. R 点
- D. S 点

解析 卫星在圆轨道 1 上运动到 P 点时的速度小于在椭圆轨道 2 上运动到 P 点时的速度，故在 P 点开动火箭向前加速，此后卫星受到的万有引力不足以提供其做圆周运动的向心力，可在轨道 2 上运动，A 正确；卫星在椭圆轨道 2 上运动到 R 点时的速度小于在圆轨道 3 上时的速度，故应在 R 点加速，C 正确。

答案 AC

7. (2013·上海卷，9)(单选)小行星绕恒星运动，恒星均匀地向四周辐射能量，质量缓慢减小，可认为小行星在绕恒星运动一周的过程中近似做圆周运动。则经过足够长的时间后，小行星运动的()。

- A. 半径变大
- B. 速率变大
- C. 角速度变大
- D. 加速度变大

解析 恒星均匀地向四周辐射能量，质量缓慢减小，二者之间万有引力减小，小行星运动的半径增大，速率减小，角速度减小，加速度减小，选项 A 正确，B、C、D 错误。

答案 A

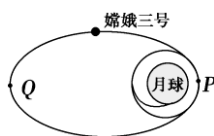


图 6

8. (单选)2013 年发射的“嫦娥三号”卫星，实现我国首次对地外天体的直接探测，如图 6 为“嫦娥三号”卫星在月球引力作用下，先沿椭圆轨道向月球靠近，并在 P 处“刹车制动”后绕月球做匀速圆周运动，并再次变轨最后实现软着陆，已知“嫦娥三号”绕月球做匀速圆周运动的半径为 r ，周期为 T ，引力常量为 G ，则()。

- A. “嫦娥三号”卫星的发射速度必须大于 11.2 km/s
- B. “嫦娥三号”卫星在椭圆轨道与圆轨道上经过 P 点的速度相等
- C. “嫦娥三号”卫星由远月点 Q 点向 P 点运动过程中速度逐渐减小
- D. 由题给条件可求出月球质量

解析 由卫星发射条件知，地球卫星发射速度应大于第一宇宙速度而小于第二宇宙速度，A 错；卫星在 P 点由椭圆轨道到圆轨道要适当减速，因此在椭圆轨道与圆轨道上经过 P 点的速度不相等，B 错；“嫦娥三号”卫星由远月点 Q 点向 P 点运动过程中，月球引力对其做正功，速度逐渐增大，C 错；由 $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{4\pi^2}{T^2}r$ 可得月球质量为 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$ ，D 对。

答案 D

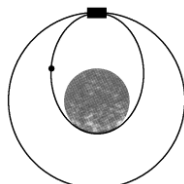


图 7

9. (单选)小型登月器连接在航天站上，一起绕月球做圆周运动，其轨道半径为月球半径的 3 倍，某时刻，航天站使登月器减速分离，登月器沿如图 7 所示的椭圆轨道登月，在月球表面逗留一段时间完成科考工作后，经快速启动仍沿原椭圆轨道返回，当第一次回到分离点时恰与航天站对接，登月器快速启动时间可以忽略不计，整个过程中航天站保持原轨道绕月运行。已知月球表面的重力加速度为 g ，月球半径为 R ，不考虑月球自转的影响，则登月器可以在月球上停留的最短时间约为()。

- A. $4.7\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$
- B. $3.6\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$

C. $1.7\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$

D. $1.4\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$

解析 对圆轨道上质量为 m 、运动周期为 T_1 的物体，满足： $G\frac{Mm}{9R^2} = m\frac{4\pi^2}{T_1^2} \frac{3R}{1}$ ，近月轨道上质量为 m 的物体做圆周运动时满足： $G\frac{Mm}{R^2} = mg$ ，可求得两周期 T_1 的值。设椭圆轨道上的物体运行周期为 T_2 ，由开普勒第三定律可得 $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{(3R)^3}{(2R)^3}$ ，可求得 T_2 的值。依题意登月器可以在月球上停留的最短时间为 $T_1 - T_2 \approx 4.7\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$ ，A 对。

答案 A

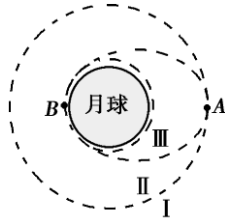


图 8

10. (多选)如图 8 所示，在“嫦娥”探月工程中，设月球半径为 R ，月球表面的重力加速度为 g_0 。飞船在半径为 $4R$ 的圆形轨道 I 上运动，到达轨道的 A 点时点火变轨进入椭圆轨道 II，到达轨道的近月点 B 时，再次点火进入近月轨道 III 绕月做圆周运动，则()。

- A. 飞船在轨道 III 的运行速率大于 $\sqrt{g_0 R}$
- B. 飞船在轨道 I 上运行速率小于在轨道 II 上 B 处的速率
- C. 飞船在轨道 I 上的重力加速度小于在轨道 II 上 B 处重力加速度
- D. 飞船在轨道 I、轨道 III 上运行的周期之比为 4:1

解析 飞船在轨道 III 上运行时的速率设为 v ，由 $mg_0 = m\frac{v^2}{R}$ ，得 $v = \sqrt{g_0 R}$ ，选项 A 错误；飞船在轨道 I、III 上运行速率分别为 v_1 、 v_3 ，由 $G\frac{mM}{(4R)^2} = m\frac{v_1^2}{4R}$ 和 $G\frac{mM}{R^2} = m\frac{v_3^2}{R}$ ，解得 $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{4R}}$ 和 $v_3 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ ，可见 $v_3 > v_1$ ，设轨道 II 上的 B 点速度为 v_B ，飞船在 B 点由轨道 III 变轨到轨道 II 为离心运动，则 $G\frac{mM}{R^2} < m\frac{v_B^2}{R}$ ，即 $v_B > \sqrt{\frac{GM}{R}}$ ，则 $v_B > v_3 > v_1$ ，选项 B 正确；由 $mg = G\frac{mM}{r^2}$ ，得 $g = \frac{GM}{r^2}$ ，由 $r_A > r_B$ ，则 $g_A < g_B$ ，选项 C 正确；由 $G\frac{mM}{(4R)^2} = m(\frac{2\pi}{T_1})^2 \times 4R$ 和 $G\frac{mM}{R^2} = m(\frac{2\pi}{T_3})^2 R$ ，解得 $T_1:T_3 = 8:1$ ，选项 D 错误。

答案 BC

11. (2013 安徽卷, 17)(单选)质量为 m 的人造地球卫星与地心的距离为 r 时，引力势能可表示为 $E_p = -\frac{GMm}{r}$ ，其中 G 为引力常量， M 为地球质量、该卫星原来在半径为 R_1 的轨道上绕地球做匀速圆周运动，由于受到极稀薄空气的摩擦作用，飞行一段时间后其圆周运动的半径变为 R_2 ，此过程中因摩擦而产生的热量为()。

- A. $GMm\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right)$
- B. $GMm\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$
- C. $\frac{GMm}{2}\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right)$
- D. $\frac{GMm}{2}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$

解析 人造卫星绕地球做圆周运动的向心力由万有引力提供。

根据万有引力提供向心力得 $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$ ①

而动能 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ ②

由①②式得 $E_k = \frac{GMm}{2r}$ ③

由题意知，引力势能 $E_p = -\frac{GMm}{r}$ ④

由③④式得卫星的机械能 $E = E_k + E_p = -\frac{GMm}{2r}$

由功能关系知，因摩擦而产生的热量 $Q = \Delta E_{\text{减}} = E_1 - E_2 = \frac{GMm}{2} \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right)$ ，故选项 C 正确。

答案 C

B 深化训练——提高能力技巧

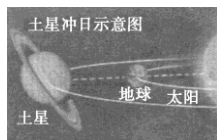


图 9

12. (单选)北京时间 2012 年 4 月 16 日天文爱好者迎来了土星冲日的美丽天象，观赏到了美丽的“指环王”。土星是夜空最美丽的星球之一，它是肉眼可见的大行星中离地球最远的，在望远镜中，其外形像一顶草帽，被誉为“指环王”。土星冲日是指土星和太阳正好分处地球两侧，三者几乎成一条直线，此时土星与地球距离最近，亮度也最高，是观测的最佳时机。冲日前后，太阳刚从西方落下，土星便由东方升起，直到天亮由西方落下，整夜可见，是一年中观测土星最好的时机。该天象大约每 378 天发生一次，基本上是一年一度。已知土星和地球绕太阳公转的方向相同，则()。

- A. 土星公转的速率比地球大
- B. 土星公转的向心加速度比地球大
- C. 土星公转的周期约为 1.1×10^4 天
- D. 假如土星适度加速，有可能与地球实现对接

解析 根据 $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$ 可得，半径 r 越大，线速度越小，A 错误；由 $ma = G\frac{Mm}{r^2}$ 可得，半径 r 越大，向心加速度越小，B 错误；若土星加速，则半径变大，不可能与地球实现对接，D 错误；由 $\left(\frac{2\pi}{T_1} - \frac{2\pi}{T_2}\right)t = 2\pi$ ，其中 $T_1 = 365$ 天， $t = 378$ 天，分析可知只有 C 正确。

答案 C

13. (多选)同重力场作用下的物体具有重力势能一样，万有引力场作用下的物体同样具有引力势能。若取无穷远处引力势能为零，物体距星球球心距离为 r 时的引力势能为 $E_p = -G\frac{m_0m}{r}$ (G 为引力常量)，设宇宙中有一个半径为 R 的星球，宇航员在该星球上以初速度 v_0 竖直向上抛出一个质量为 m 的物体，不计空气阻力，经 t 秒后物体落回手中，则()。

- A. 在该星球表面上以 $\sqrt{\frac{2v_0R}{t}}$ 的初速度水平抛出一个物体，物体将不再落回星球表面
- B. 在该星球表面上以 $2\sqrt{\frac{v_0R}{t}}$ 的初速度水平抛出一个物体，物体将不再落回星球表面
- C. 在该星球表面上以 $\sqrt{\frac{2v_0R}{t}}$ 的初速度竖直抛出一个物体，物体将不再落回星球表面
- D. 在该星球表面上以 $2\sqrt{\frac{v_0R}{t}}$ 的初速度竖直抛出一个物体，物体将不再落回星球表面

解析 设该星球表面附近的重力加速度为 g' ，物体竖直上抛运动有： $v_0 = \frac{g't}{2}$ ，在星球表面有： $mg' = G\frac{m_0m}{R^2}$ ，设绕星球表面做圆周运动的卫星的速度为 v_1 ，则 $m\frac{v_1^2}{R} = G\frac{m_0m}{R^2}$ ，联立解得 $v_1 = \sqrt{\frac{2v_0R}{t}}$ ，A 正确； $2\sqrt{\frac{v_0R}{t}} > \sqrt{\frac{2v_0R}{t}}$ ，B 正确；从星球表面竖直抛出物体至无穷远速度为零的过程，有 $\frac{1}{2}mv_2^2 + E_p = 0$ ，即 $\frac{1}{2}mv_2^2 = G\frac{m_0m}{R}$ ，解得 $v_2 = 2\sqrt{\frac{v_0R}{t}}$ ，C 错误，D 正确。

答案 ABD

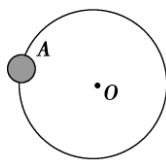


图 10

14. (2013 湖北联考)(单选)经长期观测发现, A 行星运行的轨道半径为 R_0 , 周期为 T_0 , 但其实际运行的轨道与圆轨道总存在一些偏离, 且周期性地每隔 t_0 时间发生一次最大的偏离. 如图 10 所示, 天文学家认为形成这种现象的原因可能是 A 行星外侧还存在着一颗未知行星 B, 则行星 B 运动轨道半径为 ().

A. $R = R_0 \sqrt[3]{\frac{t_0^2}{(t_0 - T_0)^2}}$

B. $R = R_0 \frac{t_0}{t_0 - T_0}$

C. $R = R_0 \sqrt[3]{\frac{t_0}{(t_0 - T_0)^2}}$

D. $R = R_0 \sqrt[3]{\frac{t_0^2}{t_0 - T_0}}$

解析 A 行星发生最大偏离时, A、B 行星与恒星在同一直线上, 且位于恒星同一侧, 设行星 B 的运行周期为 T 、半径为 R , 则有: $\frac{2\pi}{T_0}t_0 - \frac{2\pi}{T}t_0 = 2\pi$, 所以 $T = \frac{t_0 T_0}{t_0 - T_0}$, 由开普勒第三定律得: $\frac{R_0^3}{T_0^2} = \frac{R^3}{T^2}$, 解得:

$$R = R_0 \sqrt[3]{\frac{t_0^2}{(t_0 - T_0)^2}}, \text{ A 正确.}$$

答案 A

章末定时练四

(时间: 60 分钟)

一、选择题(本题共 9 小题, 在每小题给出的四个选项中, 第 1~5 题只有一项符合题目要求, 第 6~9 题有多项符合题目要求.)

1. (2013 黄山七校联考)如图 1 所示, P 是水平地面上的一点, A、B、C、D 在同一条竖直线上, 且 $AB=BC=CD$. 从 A、B、C 三点分别水平抛出一个物体, 这三个物体都落在水平地面上的 P 点. 则三个物体抛出时的速度大小之比 $v_A : v_B : v_C$ 为 ().

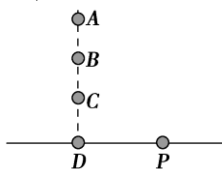


图 1

A. $\sqrt{2} : \sqrt{3} : \sqrt{6}$

B. $1 : \sqrt{2} : \sqrt{3}$

C. $1 : 2 : 3$

D. $1 : 1 : 1$

解析 由平抛运动的规律可知竖直方向上: $h = \frac{1}{2}gt^2$, 水平方向上: $x = v_0 t$, 两式联立解得 $v_0 = x\sqrt{\frac{g}{2h}}$,

由于 $h_A = 3h$, $h_B = 2h$, $h_C = h$, 代入上式可知选项 A 正确.

答案 A

2. 在光滑水平面上, 一根原长为 l 的轻质弹簧的一端与竖直轴 O 连接, 另一端与质量为 m 的小球连接, 如图 2 所示. 当小球以 O 为圆心做匀速圆周运动的速率为 v_1 时, 弹簧的长度为 $1.5l$; 当它以 O 为圆心做匀速圆周运动的速率为 v_2 时, 弹簧的长度为 $2.0l$, 则 v_1 与 v_2 的比值为 ().

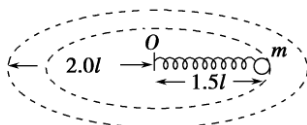


图 2

A. $\sqrt{3} : \sqrt{2}$

B. $\sqrt{2} : \sqrt{3}$

C. $\sqrt{3} : 2\sqrt{2}$

D. $2\sqrt{2} : \sqrt{3}$

解析 设弹簧的劲度系数为 k ，当小球以 v_1 做匀速圆周运动时有： $k(1.5l - l) = m\frac{v_1^2}{1.5l}$

当小球以 v_2 做匀速圆周运动时有： $k(2.0l - l) = m\frac{v_2^2}{2.0l}$

两式之比得： $v_1:v_2 = \sqrt{3}:2\sqrt{2}$.

故只有选项 C 正确.

答案 C

3. (2013·日照模拟)如图 3 所示，半径为 R 的光滑圆环轨道竖直放置，一质量为 m 的小球恰能在此圆轨道内做圆周运动，则小球在轨道最低点处对轨道的压力大小为().

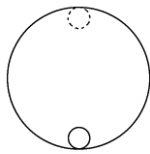


图 3

A. $3mg$

B. $4mg$

C. $5mg$

D. $6mg$

解析 设小球的质量为 m ，经过最低点时速度大小为 v_1 ，小球恰好能通过圆环的最高点，则在最高点时，小球对圆环的压力为零，由重力提供向心力，即 $mg = m\frac{v^2}{R}$ ，由最高点运动到最低点，根据机械能守恒定律得 $mg \cdot 2R + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_1^2$ ，在最低点，根据牛顿第二定律得 $F_N - mg = m\frac{v_1^2}{R}$ ，联立以上各式解得 $F_N = 6mg$ ，根据牛顿第三定律可知，小球在轨道最低点处对轨道的压力大小为 $6mg$ ，选项 D 正确.

答案 D

4. (2013 安徽合肥联考, 4)如图 4 所示，一物体自 P 点以初速度 10 m/s 做平抛运动，恰好垂直打到倾角为 45° 的斜面上的 Q 点($g = 10 \text{ m/s}^2$)，则 P 、 Q 两点间的距离为().

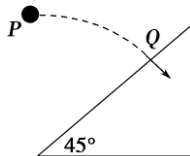


图 4

A. 5 m

B. 10 m

C. $5\sqrt{5} \text{ m}$

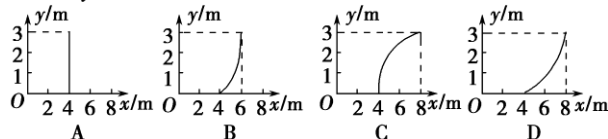
D. 条件不足，无法求解

解析 垂直打到斜面上，则速度的偏向角为 45° ，由 $\tan 45^\circ = \frac{gt}{v_0}$ 得 $t = 1 \text{ s}$ ，所以 $x = v_0 t = 10 \text{ m}$ ， $y = \frac{1}{2}$

$gt^2 = 5 \text{ m}$ ， P 、 Q 两点间的距离为 $\sqrt{x^2 + y^2} = 5\sqrt{5} \text{ m}$ ，选项 C 正确.

答案 C

5. 质量 $m = 4 \text{ kg}$ 的质点静止在光滑水平面上的直角坐标系的原点 O ，先用沿 $+x$ 轴方向的力 $F_1 = 8 \text{ N}$ 作用了 2 s ，然后撤去 F_1 ；再用沿 $+y$ 轴方向的力 $F_2 = 24 \text{ N}$ 作用了 1 s ，则质点在这 3 s 内的轨迹为().



解析 质点在 F_1 的作用下由静止开始从坐标系的原点 O 沿 $+x$ 轴方向加速运动，加速度 $a_1 = \frac{F_1}{m} = 2 \text{ m/s}^2$ ，速度为 $v_1 = a_1 t_1 = 4 \text{ m/s}$ ，对应位移 $x_1 = \frac{1}{2} a_1 t_1^2 = 4 \text{ m}$ ，到 2 s 末撤去 F_1 再受到沿 $+y$ 轴方向的力 F_2 的作用，质点在 $+x$ 轴方向做匀速运动， $x_2 = v_1 t_2 = 4 \text{ m}$ ，在 $+y$ 轴方向做加速运动， $+y$ 轴方向的加速度 $a_2 = \frac{F_2}{m} = 6 \text{ m/s}^2$ ，对应的位移 $y = \frac{1}{2} a_2 t_2^2 = 3 \text{ m}$ ，物体做曲线运动，且合外力指向运动轨迹凹侧，A、B、C 项错误，D 项正确.

答案 D

6. 地球同步卫星轨道必须在赤道平面上空, 和地球有相同的角速度, 才能和地球保持相对静止. 关于各国发射的地球同步卫星, 下列表述正确的是().

- A. 所受的万有引力大小一定相等
- B. 离地面的高度一定相同
- C. 运行的速度都小于 7.9 km/s
- D. 都位于赤道上空的同一个点

解析 由于各国卫星的质量不同, 所以卫星受到的万有引力不同, A 错误; 所有同步卫星均做匀速圆周运动, 则有 $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r} = m\omega^2 r$, 因为所有同步卫星的角速度相同, 所以 r 相同, 即离地面高度相同, B 对; 由于半径越大, 速度越小, 同步卫星运行的速度均小于 $\sqrt{\frac{GM}{R}} = 7.9 \text{ km/s}$, C 对; 地球同步卫星是在赤道上空同一个轨道上, 而不是同一个点, 所以 D 错误.

答案 BC

7. (2013 海南卷, 8)关于物体所受合外力的方向, 下列说法正确的是().

- A. 物体做速率逐渐增加的直线运动时, 其所受合外力的方向一定与速度方向相同
- B. 物体做变速率曲线运动时, 其所受合外力的方向一定改变
- C. 物体做变速率圆周运动时, 其所受合外力的方向一定指向圆心
- D. 物体做匀速率曲线运动时, 其所受合外力的方向总是与速度方向垂直

解析 物体做速率逐渐增加的直线运动时, 其加速度跟速度方向一致, 故其所受合外力的方向一定与速度方向相同, A 正确; 物体做变速率曲线运动时, 其所受合外力的方向不一定改变, 如做平抛运动的物体, B 错误; 物体只有在做匀速圆周运动时, 合外力才全部充当向心力, 物体做变速圆周运动时, 只是合外力有指向圆心的分量, 但其所受合外力的方向不指向圆心, 故 C 错误; 物体做匀速率曲线运动时, 据动能定理可知合外力不做功, 故物体所受合外力的方向总是与速度方向垂直, D 正确.

答案 AD

8. 如图 5 所示, a 为赤道上的物体, 随地球自转做匀速圆周运动, b 为沿地球表面附近做匀速圆周运动的人造卫星, c 为地球同步卫星, 以下关于 a 、 b 、 c 的说法中正确的是().

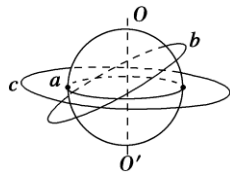


图 5

- A. 它们的向心加速度都与轨道半径成正比
- B. b 和 c 的向心加速度都与轨道半径的二次方成反比
- C. a 和 c 的运转周期相同
- D. a 和 b 的运转周期相同

解析 同步卫星 c 与赤道上物体 a 的周期相等, 均为地球自转周期, 即 24 h, 而其他卫星的周期 $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$, 故选项 C 正确, D 错误; a 和 c 的角速度 ω 相等, 向心加速度 $a = r\omega^2$, $a \propto r$; b 和 c 都是由万有引力提供向心力, $a = \frac{GM}{r^2}$, $a \propto \frac{1}{r^2}$, 故选项 A 错误、B 正确.

答案 BC

9. 如图 6 所示是牛顿研究抛体运动时绘制的一幅草图, 以不同速度抛出的物体分别沿 a 、 b 、 c 、 d 轨迹运动, 其中 a 是一段曲线, b 是贴近地球表面的圆, c 是椭圆, d 是双曲线的一部分. 已知引力常量为 G 、地球质量为 M 、半径为 R 、地球附近的重力加速度为 g . 以下说法中正确的是().

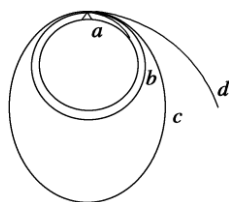


图 6

- A. 沿 a 运动的物体初速度一定小于 \sqrt{gR}
- B. 沿 b 运动的物体速度等于 $\sqrt{\frac{GM}{R}}$
- C. 沿 c 运动的物体初速度一定大于第二宇宙速度
- D. 沿 d 运动的物体初速度一定大于第三宇宙速度

解析 b 是贴近地球表面的圆，沿此轨迹运动的物体满足 $G\frac{Mm}{R^2} = m\frac{v^2}{R}$ ，解得 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ ，或满足 $mg = m\frac{v^2}{R}$ ，解得 $v = \sqrt{gR}$ ，以上得到的两个速度均为第一宇宙速度，发射速度小于第一宇宙速度则不能成为人造卫星，如 a ，故 A、B 正确；发射速度大于第一宇宙速度而小于第二宇宙速度，卫星的轨道为椭圆，如 c ，故 C 错误；发射速度大于第二宇宙速度，轨迹将不闭合，发射速度大于第三宇宙速度，轨迹也不闭合，故 d 轨迹不能确定其发射速度是否大于第三宇宙速度，D 错误。

答案 AB

二、非选择题

10. (2013 郑州模拟)如图 7 所示，斜面体 ABC 固定在地面上，小球 p 从 A 点由静止下滑，当小球 p 开始下滑时，另一小球 q 从 A 点正上方的 D 点水平抛出，两球同时到达斜面底端的 B 处。已知斜面 AB 光滑，长度 $l = 2.5$ m，斜面倾角 $\theta = 30^\circ$ ，不计空气阻力， g 取 10 m/s^2 。求：

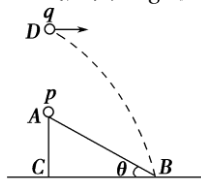


图 7

- (1) 小球 p 从 A 点滑到 B 点的时间；
- (2) 小球 q 抛出时初速度的大小。

解析 (1) 小球 p 从斜面上下滑的加速度为 a ，由牛顿第二定律得： $a = \frac{mg\sin\theta}{m} = g\sin\theta$ ①

下滑所需时间为 t_1 ，根据运动学公式得： $l = \frac{1}{2}at_1^2$ ②

由①②得： $t_1 = \sqrt{\frac{2l}{g\sin\theta}}$ ③

解得： $t_1 = 1 \text{ s}$

(2) 小球 q 做平抛运动，设抛出速度为 v_0 ，则：

$$x = v_0 t_2 \quad ④$$

$$x = l \cos 30^\circ \quad ⑤$$

依题意得： $t_2 = t_1$ ⑥

由④⑤⑥得： $v_0 = \frac{l \cos 30^\circ}{t_1} = \frac{5\sqrt{3}}{4} \text{ m/s}$

答案 (1) 1 s (2) $\frac{5\sqrt{3}}{4} \text{ m/s}$

11. 天文学家观测河外星系大麦哲伦云时，发现了 LMCX-3 双星系统，它由可见星 A 和不可见的暗星 B 构成。两星视为质点，不考虑其他天体的影响， A 、 B 围绕两者连线上的 O 点做匀速圆周运动，它们之间的距离保持不变，如图 8 所示。引力常量为 G ，由观测能够得到可见星 A 的速率 v 和运行周期

T.

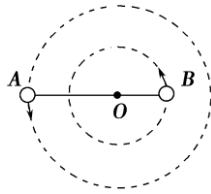


图 8

(1) 可见星 A 所受暗星 B 的引力 F_A 可等效为位于 O 点处质量为 m' 的星体(视为质点)对它的引力, 设 A 和 B 的质量分别为 m_1 、 m_2 , 试求 m' (用 m_1 、 m_2 表示);

(2) 求暗星 B 的质量 m_2 与可见星 A 的速率 v 、运行周期 T 和质量 m_1 之间的关系式.

解析 (1) 设 A、B 的圆轨道半径分别为 r_1 、 r_2 , 角速度均为 ω

由双星所受向心力大小相等, 可得 $m_1\omega^2 r_1 = m_2\omega^2 r_2$

设 A、B 之间的距离为 L , 又 $L = r_1 + r_2$

$$\text{由上述各式得 } L = \frac{m_1 + m_2}{m_2} r_1 \quad \text{①}$$

由万有引力定律得

$$\text{双星间的引力 } F = G \frac{m_1 m_2}{L^2}$$

$$\text{将①式代入上式得 } F = G \frac{m_1 m_2^3}{(m_1 + m_2)^2 r_1^2} \quad \text{②}$$

由题意, 将此引力视为 O 点处质量为 m' 的星体对可见星 A 的引力, 则有 $F = G \frac{m_1 m'}{r_1^2}$ ③

$$\text{比较②③可得 } m' = \frac{m_2^3}{(m_1 + m_2)^2} \quad \text{④}$$

$$\text{(2) 对可见星 A, 有 } G \frac{m_1 m'}{r_1^2} = m_1 \frac{v^2}{r_1} \quad \text{⑤}$$

$$\text{可见星 A 的轨道半径 } r_1 = \frac{vT}{2\pi} \quad \text{⑥}$$

$$\text{由④⑤⑥式解得 } \frac{m_2^3}{(m_1 + m_2)^2} = \frac{v^3 T}{2\pi G}$$

$$\text{答案 (1) } m' = \frac{m_2^3}{(m_1 + m_2)^2}$$

$$\text{(2) } \frac{m_2^3}{(m_1 + m_2)^2} = \frac{v^3 T}{2\pi G}$$

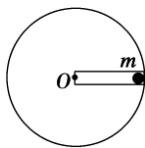


图 9

12. 如图 9 所示, 有一内壁光滑的试管装有质量为 1 g 的小球, 试管的开口端封闭后安装在水平轴 O 上, 转动轴到管底小球的距离为 5 cm, 让试管在竖直平面内做匀速转动. 问:

(1) 转动轴达某一转速时, 试管底部受到小球的压力的最大值为最小值的 3 倍, 此时角速度多大?

(2) 当转动的角速度 $\omega = 10 \text{ rad/s}$ 时, 管底对小球的作用力的最大值和最小值各是多少? (g 取 10 m/s^2)

解析 (1) 转至最低点时, 小球对管底压力最大; 转至最高点时, 小球对管底压力最小, 最低点时管底对小球的支持力 F_1 应是最高点时管底对小球支持力 F_2 的 3 倍, 即

$$F_1 = 3F_2 \quad \text{①}$$

$$\text{根据牛顿第二定律有最低点: } F_1 - mg = mr\omega^2 \quad \text{②}$$

$$\text{最高点: } F_2 + mg = mr\omega^2 \quad \text{③}$$

由①②③得 $\omega = \sqrt{\frac{4g}{2r}} = \sqrt{\frac{4 \times 10}{2 \times 0.05}} \text{ rad/s} = 20 \text{ rad/s}$ ④

(2)在最高点时，设小球不掉下来的最小角速度为 ω_0 ，

则 $mg = mr\omega_0^2$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{r}} = \sqrt{\frac{10}{0.05}} \text{ rad/s} = 14.1 \text{ rad/s}$$

因为 $\omega = 10 \text{ rad/s} < \omega_0 = 14.1 \text{ rad/s}$ ，故管底转到最高点时，小球已离开管底，因此管底对小球作用力的最小值为 $F' = 0$

当转到最低点时，管底对小球的作用力最大为 F_1' ，

根据牛顿第二定律知

$$F_1' - mg = mr\omega^2, \text{ 则 } F_1' = mg + mr\omega^2 = 1.5 \times 10^{-2} \text{ N}.$$

答案 (1)20 rad/s (2) 1.5×10^{-2} N 0

📖 教学心得

必修二 第五章

机械能及其守恒定律

第1讲 功和功率

考点1

功 (考纲要求 II)

1. 做功的两个要素

- (1)作用在物体上的力.
 (2)物体在力的方向上发生的位移.

2. 公式: $W = Fl \cos \alpha$

- (1) α 是力与位移方向之间的夹角, l 为物体对地的位移.
 (2)该公式只适用于恒力做功.

3. 功的正负

夹角	功的正负
$\alpha < 90^\circ$	力对物体做 <u>正功</u>
$\alpha = 90^\circ$	力对物体 <u>不做功</u>
$\alpha > 90^\circ$	力对物体做 <u>负功</u> 或说成物体克服这个力做了功

判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

- (1)只要物体受力的同时又有位移发生, 则一定有力对物体做功. ()
 (2)一个力对物体做了负功, 则说明这个力一定阻碍物体的运动. ()
 (3)滑动摩擦力可能做负功, 也可能做正功; 静摩擦力对物体一定不做功. ()
 (4)作用力做正功时, 反作用力一定做负功. ()

答案 (1)× (2)√ (3)× (4)×

考点2

功率 (考纲要求 II)

1. 定义: 功与完成这些功所用时间的比值.

2. 物理意义: 描述力对物体做功的快慢.

3. 公式

(1) $P = \frac{W}{t}$, P 为时间 t 内的平均功率.

(2) $P = Fv \cos \alpha$ (α 为 F 与 v 的夹角)

① v 为平均速度, 则 P 为平均功率.

② v 为瞬时速度, 则 P 为瞬时功率.

4. 额定功率: 机械正常工作时输出的最大功率.

5. 实际功率: 机械实际工作时输出的功率. 要求小于或等于额定功率.

思维深化 2 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

- (1)以恒定牵引力启动的机车, 在加速过程中发动机做的功可用公式 $W = Pt$ 计算. ()
 (2)据 $P = Fv$ 可知, 发动机功率一定时, 交通工具的牵引力与运动速度成反比. ()
 (3)汽车上坡的时候, 司机必须换挡, 其目的是减小速度, 得到较小的牵引力. ()

答案 (1)× (2)√ (3)×

基础自测

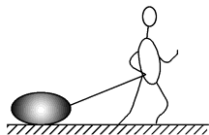


图 5-1-1

1. (单选)如图 5-1-1 所示, 拖着旧橡胶轮胎跑是身体耐力训练的一种有效方法. 如果某受训者拖着轮胎在水平直道上跑了 100 m, 那么下列说法正确的是().

- A. 轮胎受到地面的摩擦力对轮胎做了负功
 B. 轮胎受到的重力对轮胎做了正功

- C. 轮胎受到的拉力对轮胎不做功
- D. 轮胎受到的地面的支持力对轮胎做了正功

解析 根据力做功的条件, 轮胎受到的重力和地面的支持力都与位移垂直, 这两个力均不做功, B、D 错误; 轮胎受到地面的摩擦力与位移反向, 做负功, A 正确; 轮胎受到的拉力与位移夹角小于 90° , 做正功, C 错误.

答案 A

2. (2014 遵义四中测试)(多选)关于功率公式 $P=W/t$ 和 $P=Fv$ 的说法正确的是().

- A. 由 $P=W/t$ 知, 只要知道 W 和 t 就可求出任意时刻的功率
- B. 由 $P=Fv$ 既能求某一时刻的瞬时功率, 也可以求平均功率
- C. 由 $P=Fv$ 知, 随着汽车速度增大, 它的功率也可以无限制增大
- D. 由 $P=Fv$ 知, 当汽车发动机功率一定时, 牵引力与速度成反比

解析 利用公式 $P=W/t$ 只能计算平均功率, 选项 A 错误; 当公式 $P=Fv$ 中的 v 为瞬时速度时, 求的是瞬时功率, 当 v 为平均速度时, 求的是平均功率, 选项 B 正确; 因为汽车的速度不能无限制增大, 汽车的功率也不能无限制增大, 选项 C 错误; 由 $P=Fv$ 知, 当汽车发动机功率一定时, 牵引力与速度成反比, 选项 D 正确.

答案 BD

3. (2015 深圳二调)(多选)汽车从静止开始沿平直轨道做匀加速运动, 所受阻力始终不变, 在此过程中, 下列说法正确的是().

- A. 汽车牵引力保持不变
- B. 汽车牵引力逐渐增大
- C. 发动机输出功率不变
- D. 发动机输出功率逐渐增大

解析 由于阻力恒定, 汽车做匀加速运动, 根据 $F_{牵} - f = ma$, 知合力恒定, 牵引力也恒定, A 正确; B 错误; 由瞬时功率公式可知, 要使牵引力恒定, 就要随着速度增大, 同步增大发动机的输出功率, 使 $F_{牵} = \frac{P}{v}$ 保持不变, C 错误, D 正确.

答案 AD

4. (单选)起重机以 1 m/s^2 的加速度将质量为 $1\ 000 \text{ kg}$ 的货物由静止开始匀加速向上提升, g 取 10 m/s^2 , 则在 1 s 内起重机对货物做的功是().

- A. 500 J
- B. $4\ 500 \text{ J}$
- C. $5\ 000 \text{ J}$
- D. $5\ 500 \text{ J}$

解析 货物的加速度向上,

由牛顿第二定律有: $F - mg = ma$,

起重机的拉力 $F = mg + ma = 11\ 000 \text{ N}$.

货物的位移是 $l = \frac{1}{2}at^2 = 0.5 \text{ m}$,

做功为 $W = Fl = 5\ 500 \text{ J}$. 故 D 正确.

答案 D

5. (单选)一质量为 m 的木块静止在光滑的水平面上, 从 $t=0$ 开始, 将一个大小为 F 的水平恒力作用在该木块上, 在 $t=t_1$ 时刻力 F 的瞬时功率是().

- A. $\frac{F^2}{2m}t_1$
- B. $\frac{F^2}{2m}t_1^2$
- C. $\frac{F^2}{m}t_1$
- D. $\frac{F^2}{m}t_1^2$

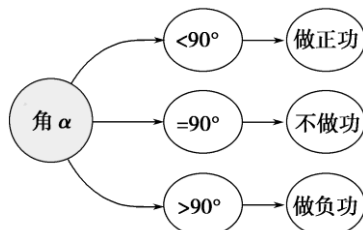
解析 在 $t=t_1$ 时刻木块的速度为 $v = at_1 = \frac{F}{m}t_1$, 此时刻力 F 的瞬时功率 $P = Fv = \frac{F^2}{m}t_1$, 选 C.

答案 C

热点一 正、负功的判断及计算

1. 判断力是否做功及做功正负的方法

- (1) 看力 F 的方向与位移 l 的方向间的夹角 α ——常用于恒力做功的情形。
 (2) 看力 F 的方向与速度 v 的方向间的夹角 α ——常用于曲线运动的情形。



(3) 根据动能的变化: 动能定理描述了合外力做功与动能变化的关系, 即 $W_{\text{合}} = E_{\text{k末}} - E_{\text{k初}}$, 当动能增加时合外力做正功; 当动能减少时, 合外力做负功。

2. 计算功的方法

(1) 恒力做的功

直接用 $W = Fl \cos \alpha$ 计算。

(2) 合外力做的功

方法一: 先求合外力 $F_{\text{合}}$, 再用 $W_{\text{合}} = F_{\text{合}} l \cos \alpha$ 求功。

方法二: 先求各个力做的功 W_1 、 W_2 、 $W_3 \dots$, 再应用 $W_{\text{合}} = W_1 + W_2 + W_3 + \dots$ 求合外力做的功。

(3) 变力做的功

① 应用动能定理求解。

② 用 $W = Pt$ 求解, 其中变力的功率 P 不变。

③ 常用方法还有转换法、微元法、图象法、平均力法等, 求解时根据条件灵活选择。

【典例 1】 在水平面上运动的物体, 从 $t=0$ 时刻起受到一个水平力 F 的作用, 力 F 和此后物体的速度 v 随时间 t 的变化图象如图 5-1-2 所示, 则()。

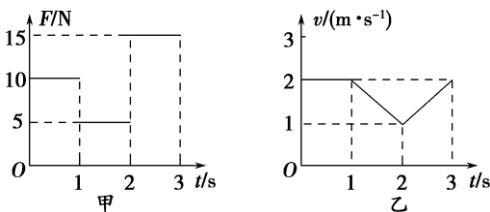


图 5-1-2

- A. 在 $t=0$ 时刻之前物体所受的合外力一定做负功
 B. 从 $t=0$ 时刻开始的前 3 s 内, 力 F 做的功为零
 C. 除力 F 外, 其他外力在第 1 s 内做正功
 D. 力 F 在第 3 s 内做的功是第 2 s 内做功的 3 倍

审题指导 (1) 物体在 $0 \sim 1$ s、 $1 \sim 2$ s、 $2 \sim 3$ s 内受到的水平力 F 分别为多少? 物体分别做什么运动?

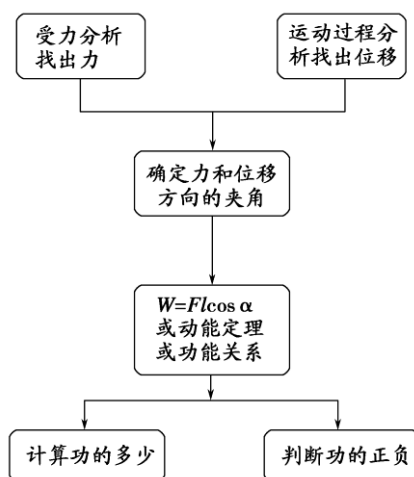
(2) 恒力做功的表达式为_____。

(3) 在 $v-t$ 图象中, 怎样求某一段时间内的位移?

解析 由 $v-t$ 图象知, 物体在受到力 F 的第 1 s 内做匀速运动, 且力 F 与 v 同向, 说明之前物体受到的合外力与速度反向, 物体所受的合外力一定做负功, A 对; 力 F 在前 3 s 内一直与速度同向, 力 F 一直做正功, B 错; 在第 1 s 内, 除力 F 外, 其他力的合力大小为 10 N, 方向与速度方向相反, 其他外力在第 1 s 内做负功, C 错; 力 F 在第 2 s 内和第 3 s 内做功分别为 $W_2 = 5 \times \frac{1}{2} \times (1+2) \times 1 \text{ J} = 7.5 \text{ J}$ 、 $W_3 = 15 \times \frac{1}{2} \times (1+2) \times 1 \text{ J} = 22.5 \text{ J}$, D 对。

答案 AD

反思总结 计算做功的一般思路



【跟踪短训】

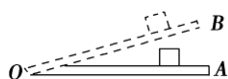


图 5-1-3

1. 如图 5-1-3 所示, 木板可绕固定水平轴 O 转动. 木板从水平位置 OA 缓慢转到 OB 位置, 木板上的物块始终相对于木板静止. 在这一过程中, 物块的重力势能增加了 2 J . 用 F_N 表示物块受到的支持力, 用 F_f 表示物块受到的摩擦力. 在此过程中, 以下判断正确的是().

- A. F_N 和 F_f 对物块都不做功
- B. F_N 对物块做功为 2 J , F_f 对物块不做功
- C. F_N 对物块不做功, F_f 对物块做功为 2 J
- D. F_N 和 F_f 对物块所做功的代数和为 0

解析 由做功的条件可知: 只要有力, 并且物块沿力的方向有位移, 那么该力就对物块做功. 由受力分析知, 支持力 F_N 做正功, 但摩擦力 F_f 方向始终和速度方向垂直, 所以摩擦力不做功. 由动能定理知 $WF_N - mgh = 0$, 故支持力 F_N 做功为 mgh .

答案 B

热点二 功率及有关计算

计算功率的方法

1. 平均功率的计算

(1) 利用 $\overline{P} = \frac{W}{t}$.

(2) 利用 $\overline{P} = F\overline{v} \cos \alpha$, 其中 \overline{v} 为物体运动的平均速度.

2. 瞬时功率的计算

(1) 利用公式 $P = Fv \cos \alpha$, 其中 v 为 t 时刻的瞬时速度.

(2) 利用公式 $P = Fv_F$, 其中 v_F 为物体的速度 v 在力 F 方向上的分速度.

(3) 利用公式 $P = F_v v$, 其中 F_v 为物体受的外力 F 在速度 v 方向上的分力.

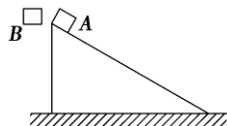


图 5-1-4

【典例 2】 如图 5-1-4 所示, 质量相同的两物体从同一高度由静止开始运动, A 沿着固定在地面上的光滑斜面下滑, B 做自由落体运动. 两物体分别到达地面时, 下列说法正确的是().

- A. 重力的平均功率 $\overline{P}_A > \overline{P}_B$
- B. 重力的平均功率 $\overline{P}_A = \overline{P}_B$
- C. 重力的瞬时功率 $P_A = P_B$
- D. 重力的瞬时功率 $P_A < P_B$

解析 根据功的定义可知重力对两物体做功相同即 $W_A = W_B$, 自由落体时间满足 $h = \frac{1}{2}gt_B^2$, 斜面下滑时间满足 $\frac{h}{\sin \theta} = \frac{1}{2}gt_A^2 \sin \theta$, 其中 θ 为斜面倾角, 故 $t_A > t_B$, 由 $P = \frac{W}{t}$ 知 $\overline{P}_A < \overline{P}_B$, A、B 均错; 由匀变速直线运动公式可知落地时两物体的速度大小相同, 方向不同, 重力的瞬时功率 $P_A = mgv \sin \theta$, $P_B = mgv$, 显然 $P_A < P_B$, 故 C 错、D 对.

答案 D

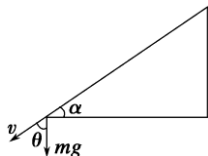
反思总结 区别平均功率和瞬时功率

对于功率问题, 首先要弄清楚是平均功率还是瞬时功率. 平均功率与一段时间(或过程)相对应, 计算时应明确是哪个力在哪段时间(或过程)内做功的平均功率. 瞬时功率计算时应明确是哪个力在哪个时刻(或状态)的功率.

【跟踪短训】

2. 质量为 m 的物体从倾角为 α 且固定的光滑斜面顶端由静止开始下滑, 斜面高为 h , 当物体滑至斜面底端时, 重力做功的瞬时功率为().

- A. $mg\sqrt{2gh}$ B. $\frac{1}{2}mg\sqrt{2gh}\sin \alpha$ C. $mg\sqrt{2gh}\sin \alpha$ D. $mg\sqrt{2gh}\sin \alpha$



解析 由于斜面是光滑的, 由牛顿定律和运动学公式有: $a = g \sin \alpha$, $2a \frac{h}{\sin \alpha} = v^2$, 故物体滑至底端时的速度 $v = \sqrt{2gh}$, 如图所示可知, 重力的方向和 v 方向的夹角 θ 为 $90^\circ - \alpha$.

则物体滑至底端时重力的瞬时功率为

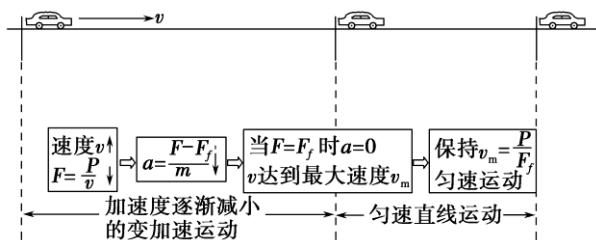
$$P = mg\sqrt{2gh}\cos(90^\circ - \alpha) = mg\sqrt{2gh}\sin \alpha, \text{ 故 C 选项正确.}$$

答案 C

热点三 机车的两种启动模型的分析 (动画演示见 PPT 课件)

模型一 以恒定功率启动

(1) 动态过程



(2) 这一过程的速度—时间图象如图 5-1-5 所示:

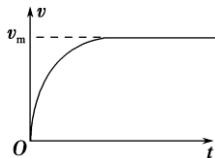
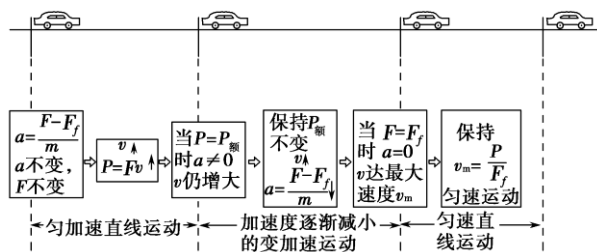


图 5-1-5

模型二 以恒定加速度启动

(1) 动态过程:



(2)这一过程的速度—时间图象如图 5-1-6 所示:

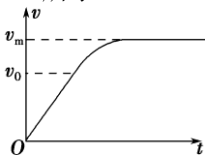


图 5-1-6

【典例 3】 某汽车发动机的额定功率为 60 kW, 汽车质量为 5 t, 汽车在运动中所受阻力的大小恒为车重的 0.1 倍. (g 取 10 m/s^2)

(1)若汽车以额定功率启动, 则汽车所能达到的最大速度是多少? 当汽车速度达到 5 m/s 时, 其加速度是多少?

(2)若汽车以恒定加速度 0.5 m/s^2 启动, 则其匀加速过程能维持多长时间?

解析 (1)当汽车的加速度为零时, 汽车的速度 v 达到最大值 v_m , 此时牵引力与阻力相等, 故最大速度为

$$v_m = \frac{P}{F} = \frac{P}{F_f} = \frac{60 \times 10^3}{0.1 \times 5000 \times 10} \text{ m/s} = 12 \text{ m/s}$$

由 $P = F_1 v$, $F_1 - F_f = ma$, 得速度 $v = 5 \text{ m/s}$ 时的加速度为

$$a = \frac{F_1 - F_f}{m} = \frac{P}{mv} - \frac{F_f}{m} = \left(\frac{60 \times 10^3}{5000 \times 5} - \frac{0.1 \times 5000 \times 10}{5000} \right) \text{ m/s}^2 = 1.4 \text{ m/s}^2$$

(2)当汽车以 $a' = 0.5 \text{ m/s}^2$ 的加速度启动时, 匀加速运动所能达到的最大速度为

$$v_m' = \frac{P}{F_1'} = \frac{P}{F_f + ma'} = \frac{60 \times 10^3}{0.1 \times 5000 \times 10 + 5000 \times 0.5} \text{ m/s} = 8 \text{ m/s}$$

由于此过程中汽车做匀加速直线运动, 满足 $v_m' = a' t$

故匀加速过程能维持的时间 $t = \frac{v_m'}{a'} = \frac{8}{0.5} \text{ s} = 16 \text{ s}$.

答案 (1)12 m/s 1.4 m/s² (2)16 s

反思总结 三个重要关系式

(1)无论哪种启动过程, 机车的最大速度都等于其匀速运动时的速度, 即 $v_m = \frac{P}{F_{\min}} = \frac{P}{F_{\text{阻}}}$ (式中 F_{\min} 为

最小牵引力, 其值等于阻力 $F_{\text{阻}}$).

(2)机车以恒定加速度启动的运动过程中, 匀加速过程结束时, 功率最大, 速度不是最大, 即 $v = \frac{P}{F} < v_m = \frac{P}{F_{\text{阻}}}$.

(3)机车以恒定功率运行时, 牵引力做的功 $W = Pt$. 由动能定理: $Pt - F_{\text{阻}} x = \Delta E_k$. 此式经常用于求解机车以恒定功率启动过程的位移大小.

【跟踪短训】

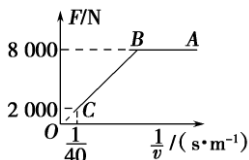


图 5-1-7

3. 在检测某种汽车性能的实验中, 质量为 $3 \times 10^3 \text{ kg}$ 的汽车由静止开始沿平直公路行驶, 达到的最大速度为 40 m/s , 利用传感器测得此过程中不同时刻该汽车的牵引力 F 与对应速度 v , 并描绘出如图 5-1-7 所示的 $F-\frac{1}{v}$ 图象(图线 ABC 为汽车由静止到达到最大速度的全过程, AB 、 BO 均为直线). 假设该汽车行驶中所受的阻力恒定, 根据图线 ABC :

(1) 求该汽车的额定功率;

(2) 该汽车由静止开始运动, 经过 35 s 达到最大速度 40 m/s , 求其在 BC 段的位移.

解析 (1) 由图线分析可知: 图线 AB 表示牵引力 F 不变, 即 $F = 8000 \text{ N}$, 阻力 F_f 不变, 汽车由静止开始做匀加速直线运动; 图线 BC 的斜率表示汽车的功率 P 不变, 达到额定功率后, 汽车所受牵引力逐渐减小, 汽车做加速度减小的变加速直线运动, 直至达到最大速度 40 m/s , 此后汽车做匀速直线运动.

由图可知: 当最大速度 $v_{\max} = 40 \text{ m/s}$ 时,

牵引力为 $F_{\min} = 2000 \text{ N}$

由平衡条件 $F_f = F_{\min}$ 可得 $F_f = 2000 \text{ N}$

由公式 $P = F_{\min} v_{\max}$ 得额定功率 $P = 8 \times 10^4 \text{ W}$.

(2) 匀加速运动的末速度 $v_B = \frac{P}{F}$,

代入数据解得 $v_B = 10 \text{ m/s}$

汽车由 A 到 B 做匀加速运动的加速度为 $a = \frac{F - F_f}{m} = 2 \text{ m/s}^2$

设汽车由 A 到 B 所用时间为 t_1 , 由 B 到 C 所用时间为 t_2 , 位移为 x , 则 $t_1 = \frac{v_B}{a} = 5 \text{ s}$, $t_2 = 35 \text{ s} - 5 \text{ s} = 30 \text{ s}$

B 点之后, 对汽车由动能定理可得

$$Pt_2 - F_f x = \frac{1}{2} m v_C^2 - \frac{1}{2} m v_B^2$$

代入数据可得 $x = 75 \text{ m}$.

答案 (1) $8 \times 10^4 \text{ W}$ (2) 75 m

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

思想方法 7. 变力做功的计算方法

► 方法一 平均力法

如果力的方向不变, 力的大小随位移按线性规律变化时, 可用力的算术平均值(恒力)代替变力, 即 $\overline{F} = \frac{F_1 + F_2}{2}$ 再利用功的定义式 $W = \overline{F} l \cos \alpha$ 来求功.

【典例 1】用锤子击打钉子, 设木板对钉子的阻力跟钉子进入木板的深度成正比, 每次击打钉子时锤子对钉子做的功相同. 已知第一次击打钉子时, 钉子进入的深度为 1 cm , 则第二次击打时, 钉子进入的深度是多少?

解析 设木板对钉子的阻力为 $F_f = kx$, x 为钉子进入木板的深度, 第一次击打后钉子进入木板的深度为 x_1 , 第二次击打钉子时, 钉子进入木板的总深度为 x_2 , 则有

$$W_1 = \overline{F} f_1 x_1 = \frac{0 + kx_1}{2} x_1 = \frac{1}{2} k x_1^2$$

$$W_2 = \overline{F} f_2 (x_2 - x_1) = \frac{kx_1 + kx_2}{2} (x_2 - x_1) = \frac{1}{2} k (x_2^2 - x_1^2)$$

由于 $W_1 = W_2$, 代入数据解得 $x_2 = \sqrt{2} x_1 = 1.41 \text{ cm}$

所以钉子第二次进入的深度为

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 0.41 \text{ cm.}$$

答案 0.41 cm

即学即练 1 质量是 2 g 的子弹，以 300 m/s 的速度射入厚度是 5 cm 的木板(如图 5-1-8 所示)，射穿后的速度是 100 m/s.子弹射穿木板的过程中受到的平均阻力是多大？你对题目中所说的“平均”一词有什么认识？

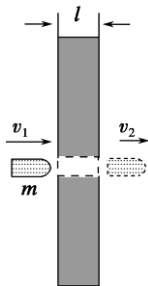


图 5-1-8

解析 设子弹所受的平均阻力为 F_f ，根据动能定理 $W_{合} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ 得

$$F_f l \cos 180^\circ = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$\text{所以 } F_f = -\frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2l} = -\frac{2 \times 10^{-3} \times (100^2 - 300^2)}{2 \times 5 \times 10^{-2}} \text{ N} = 1.6 \times 10^3 \text{ N}$$

子弹在木板中运动 5 cm 的过程中，所受木板的阻力各处不同，题目中所说的平均阻力是相对子弹运动这 5 cm 的过程来说的。

答案 $1.6 \times 10^3 \text{ N}$ 见解析

》方法二 用微元法求变力做功

将物体的位移分割成许多小段，因小段很小，每一小段上作用在物体上的力可以视为恒力，这样就将变力做功转化为在无数多个无穷小的位移上的恒力所做元功的代数和。此法在中学阶段，常应用于求解力的大小不变、方向改变的变力做功问题。

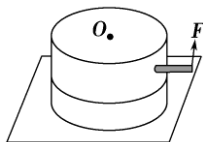
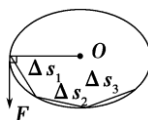


图 5-1-9

【典例 2】 如图 5-1-9 所示，一个人推磨，其推磨杆的力的大小始终为 F ，与磨杆始终垂直，作用点到轴心的距离为 r ，磨盘绕轴缓慢转动。则在转动一周的过程中推力 F 做的功为()。

- A. 0 B. $2\pi rF$ C. $2Fr$ D. $-2\pi rF$



解析 磨盘转动一周，力的作用点的位移为 0，但不能直接套用 $W = Fscos \alpha$ 求解，因为在转动过程中推力 F 为变力。我们可以用微元的方法来分析这一过程。由于 F 的方向在每时刻都保持与作用点的速度方向一致，因此可把圆周划分成很多小段来研究，如图所示，当各小段的弧长 Δs_i 足够小($\Delta s_i \rightarrow 0$)时， F 的方向与该小段的位移方向一致，所以有： $W_F = F\Delta s_1 + F\Delta s_2 + F\Delta s_3 + \dots + F\Delta s_i = F2\pi r = 2\pi rF$ (这等效于把曲线拉直)。

答案 B

即学即练 2 如图 5-1-10 所示，半径为 R ，孔径均匀的圆形弯管水平放置，小球在管内以足够大的初速度在水平面内做圆周运动，设开始运动的一周内，小球与管壁间的摩擦力大小恒为 F_f ，求小球在运动的这一周内，克服摩擦力所做的功。

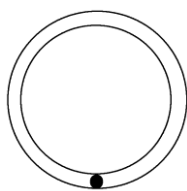
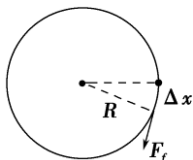


图 5-1-10



解析 将小球运动的轨迹分割成无数个小段，设每一小段的长度为 Δx ，它们可以近似看成直线，且与摩擦力方向共线反向，如图所示，元功 $W' = F_f \Delta x$ ，而在小球运动的一周内小球克服摩擦力所做的功等于各个元功的和，即 $W = \Sigma W' = F_f \Sigma \Delta x = 2\pi R F_f$.

答案 $2\pi R F_f$

方法三 用图象法求变力做功

在 $F-x$ 图象中，图线与两坐标轴所围的“面积”的代数和表示力 F 做的功，“面积”有正负，在 x 轴上方的“面积”为正，在 x 轴下方的“面积”为负.

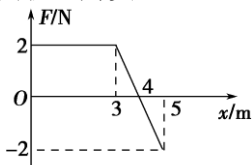


图 5-1-11

【典例 3】一物体所受的力 F 随位移 x 变化的图象如图 5-1-11 所示，求在这一过程中，力 F 对物体做的功为多少？

审题指导 解答本题时应把握以下两点：

- (1) $F-x$ 图象中图线与 x 轴围成的“面积”表示力 F 做的功.
- (2) x 轴上方的“面积”表示力 F 做正功， x 轴下方的“面积”表示力 F 做负功.

解析 力 F 对物体做的功等于 x 轴上方梯形“面积”所表示的正功与 x 轴下方三角形“面积”所表示的负功的代数和.

$$S_{\text{梯形}} = \frac{1}{2} \times (3+4) \times 2 = 7$$

$$S_{\text{三角形}} = -\frac{1}{2} \times (5-4) \times 2 = -1$$

所以力 F 对物体做的功为 $W = 7 \text{ J} - 1 \text{ J} = 6 \text{ J}$.

答案 6 J

即学即练 3 如图 5-1-12 甲所示，静止于光滑水平面上坐标原点处的小物块，在水平拉力 F 作用下，沿 x 轴方向运动，拉力 F 随物块所在位置坐标 x 的变化关系如图乙所示，图线为半圆. 则小物块运动到 x_0 处时 F 做的总功为().

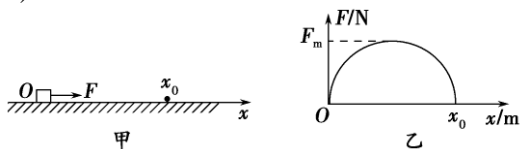


图 5-1-12

- A. 0 B. $\frac{1}{2} F_m x_0$ C. $\frac{\pi}{4} F_m x_0$ D. $\frac{\pi}{4} x_0^2$

解析 F 为变力，但 $F-x$ 图象包围的面积在数值上表示拉力做的总功. 由于图线为半圆，又因在数值上 $F_m = \frac{1}{2} x_0$ ，故 $W = \frac{1}{2} \pi F_m^2 = \frac{1}{2} \pi \cdot F_m \cdot \frac{1}{2} x_0 = \frac{\pi}{4} F_m x_0$.

答案 C

方法四 利用 $W=Pt$ 求变力做功

这是一种等效代换的观点,用 $W=Pt$ 计算功时,必须满足变力的功率是一定的这一条件.

【典例 4】如图 5-1-13 所示,用跨过光滑定滑轮的缆绳将海面上一艘失去动力的小船沿直线拖向岸边.已知拖动缆绳的电动机功率恒为 P ,小船的质量为 m ,小船受到的阻力大小恒为 F_f ,经过 A 点时的速度大小为 v_0 ,小船从 A 点沿直线加速运动到 B 点经历时间为 t_1 , A 、 B 两点间距离为 d ,缆绳质量忽略不计.求:

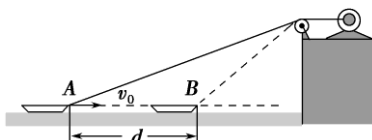


图 5-1-13

(1)小船从 A 点运动到 B 点的全过程克服阻力做的功 WF_f ;

(2)小船经过 B 点时的速度大小 v_1 .

解析 (1)小船从 A 点运动到 B 点克服阻力做功

$$WF_f = F_f d \text{ ①}$$

(2)小船从 A 点运动到 B 点,电动机牵引缆绳对小船做功

$$W = Pt_1 \text{ ②}$$

$$\text{由动能定理有 } W - WF_f = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 \text{ ③}$$

$$\text{由 ①②③ 式解得 } v_1 = \sqrt{v_0^2 + \frac{2}{m}(Pt_1 - F_f d)} \text{ ④}$$

$$\text{答案 (1)} F_f d \text{ (2)} \sqrt{v_0^2 + \frac{2}{m}(Pt_1 - F_f d)}$$

即学即练 4 汽车的质量为 m ,输出功率恒为 P ,沿平直公路前进距离 s 的过程中,其速度由 v_1 增至最大速度 v_2 .假定汽车在运动过程中所受阻力恒定,求汽车通过距离 s 所用的时间.

解析 当 $F = F_f$ 时,汽车的速度达到最大速度 v_2 ,由 $P = Fv$ 可得 $F_f = \frac{P}{v_2}$

$$\text{对汽车,根据动能定理,有 } Pt - F_f s = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$\text{联立以上两式解得 } t = \frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2P} + \frac{s}{v_2}$$

$$\text{答案 } \frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2P} + \frac{s}{v_2}$$

方法五 利用动能定理求变力的功

动能定理既适用于直线运动,也适用于曲线运动,既适用于求恒力功也适用于求变力功.因使用动能定理可由动能的变化来求功,所以动能定理是求变力功的首选.

【典例 5】如图 5-1-14 所示, AB 为四分之一圆周轨道,半径 $R=0.8$ m, BC 为水平轨道,长为 $L=3$ m.现有一质量 $m=1$ kg 的物体,从 A 点由静止滑下,到 C 点刚好停止.已知物体与 BC 段轨道间的动摩擦因数为 $\mu = \frac{1}{15}$,求物体在 AB 段轨道受到的阻力对物体所做的功. (g 取 10 m/s²)

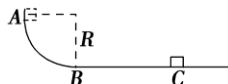


图 5-1-14

解析 物体在从 A 滑到 C 的过程中,有重力、 AB 段的阻力、 BC 段的摩擦力共三个力做功,且 $W_G = mgR$, $W_{fBC} = -\mu mgL$,由于物体在 AB 段受到的阻力是变力,做的功不能直接求解.设物体在 AB 段轨道受到的阻力对物体所做的功为 W_{fAB} ,从 A 到 C ,根据动能定理有 $mgR + W_{fAB} - \mu mgL = 0$,代入数据解得 $W_{fAB} = -6$ J.

答案 -6 J

即学即练 5 如图 5-1-15 甲所示, 一质量为 $m=1\text{ kg}$ 的物块静止在粗糙水平面上的 A 点, 从 $t=0$ 时刻开始物块受到如图乙所示规律变化的水平力 F 的作用并向右运动, 第 3 s 末物块运动到 B 点时速度刚好为 0, 第 5 s 末物块刚好回到 A 点, 已知物块与粗糙水平面间的动摩擦因数 $\mu=0.2$, ($g=10\text{ m/s}^2$) 求:

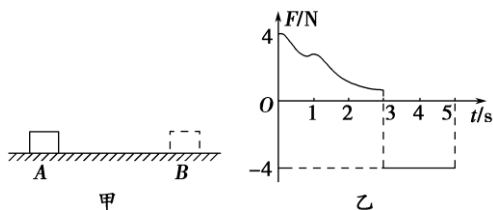


图 5-1-15

- (1) A 与 B 间的距离;
 (2) 水平力 F 在前 5 s 内对物块做的功.

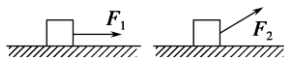
解析 (1) A、B 间的距离与物块在后 2 s 内的位移大小相等, 在后 2 s 内物块在水平恒力作用下由 B 点匀加速运动到 A 点, 由牛顿第二定律知 $F - \mu mg = ma$, 代入数值得 $a = 2\text{ m/s}^2$, 所以 A 与 B 间的距离为 $s = \frac{1}{2}at^2 = 4\text{ m}$.

(2) 前 3 s 内物块所受力 F 是变力, 设整个过程中力 F 做的功为 W , 物体回到 A 点时速度为 v , 则 $v^2 = 2as$, 由动能定理知 $W - 2\mu mgs = \frac{1}{2}mv^2$, 所以 $W = 2\mu mgs + mas = 24\text{ J}$.

答案 (1) 4 m (2) 24 J

高考对应题组

1. (2012 上海卷, 18) 如图所示, 位于水平面上的物体在水平恒力 F_1 作用下, 做速度为 v_1 的匀速运动; 若作用力变为斜向上的恒力 F_2 , 物体做速度为 v_2 的匀速运动, 且 F_1 与 F_2 功率相同. 则可能有().

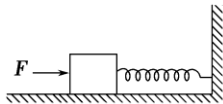


- A. $F_2 = F_1$ $v_1 > v_2$
 B. $F_2 = F_1$ $v_1 < v_2$
 C. $F_2 > F_1$ $v_1 > v_2$
 D. $F_2 < F_1$ $v_1 < v_2$

解析 水平恒力 F_1 的作用时有 $P_1 = F_1v_1$, 斜向上恒力 F_2 作用时有 $P_2 = F_2v_2\cos\theta$, 其中 θ 为 F_2 与水平方向的夹角, 又 $F_2\cos\theta = \mu(mg - F_2\sin\theta)$, $F_1 = \mu mg$, 故 $F_2\cos\theta < F_1$, 由于 $P_1 = P_2$, 所以 $v_1 < v_2$, F_1 与 F_2 的关系不确定, 故选项 B、D 正确, A、C 错误.

答案 BD

2. (2012 四川卷, 21) 如图所示, 劲度系数为 k 的轻弹簧的一端固定在墙上, 另一端与置于水平面上质量为 m 的物体接触(未连接), 弹簧水平且无形变. 用水平力 F 缓慢推动物体, 在弹性限度内弹簧长度被压缩了 x_0 , 此时物体静止. 撤去 F 后, 物体开始向左运动, 运动的最大距离为 $4x_0$. 物体与水平面间的动摩擦因数为 μ , 重力加速度为 g . 则().

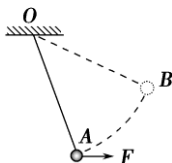


- A. 撤去 F 后, 物体先做匀加速运动, 再做匀减速运动
 B. 撤去 F 后, 物体刚运动时的加速度大小为 $\frac{kx_0}{m} - \mu g$
 C. 物体做匀减速运动的时间为 $2\sqrt{\frac{x_0}{\mu g}}$
 D. 物体开始向左运动到速度最大的过程中克服摩擦力做的功为 $\mu mg\left(x_0 - \frac{\mu mg}{k}\right)$

解析 撤去 F 后, 物体向左先做加速运动, 其加速度大小 $a_1 = \frac{kx - \mu mg}{m} = \frac{kx}{m} - \mu g$, 随着物体向左运动, x 逐渐减小, 所以加速度 a_1 逐渐减小, 当加速度减小到零时, 物体的速度最大, 然后物体做减速运

动, 其加速度大小 $a_2 = \frac{\mu mg - kx}{m} = \mu g - \frac{kx}{m}$, a_2 随着 x 的减小而增大. 当物体离开弹簧后做匀减速运动, 加速度大小 $a_3 = \frac{\mu mg}{m} = \mu g$, 所以选项 A 错误. 根据牛顿第二定律, 刚撤去 F 时, 物体的加速度 $a = \frac{kx_0 - \mu mg}{m} = \frac{kx_0}{m} - \mu g$, 选项 B 正确. 物体做匀减速运动的位移为 $3x_0$, 则 $3x_0 = \frac{1}{2}a_3 t^2$, 得物体做匀减速运动的时间 $t = \sqrt{\frac{6x_0}{a_3}} = \sqrt{\frac{6x_0}{\mu g}}$, 选项 C 错误. 当物体的速度最大时, 加速度 $a' = 0$, 即 $kx = \mu mg$, 得 $x = \frac{\mu mg}{k}$, 所以物体克服摩擦力做的功 $W = \mu mg(x_0 - x) = \mu mg(x_0 - \frac{\mu mg}{k})$, 选项 D 正确.

答案 BD



3. (2012 江苏卷, 3) 如图所示, 细线的一端固定于 O 点, 另一端系一小球. 在水平拉力作用下, 小球以恒定速率在竖直平面内由 A 点运动到 B 点. 在此过程中拉力的瞬时功率变化情况是().

A. 逐渐增大 B. 逐渐减小 C. 先增大, 后减小 D. 先减小, 后增大

解析 小球速率恒定, 由动能定理知: 拉力做的功与克服重力做的功始终相等, 将小球的速度分解, 可发现小球在竖直方向分速度逐渐增大, 重力的瞬时功率也逐渐增大, 则拉力的瞬时功率也逐渐增大, A 项正确.

答案 A

4. (2011 海南卷, 9) 一质量为 1 kg 的质点静止于光滑水平面上, 从 $t=0$ 时起, 第 1 秒内受到 2 N 的水平外力作用, 第 2 秒内受到同方向的 1 N 的外力作用. 下列判断正确的是().

A. $0 \sim 2 \text{ s}$ 内外力的平均功率是 $\frac{9}{4} \text{ W}$

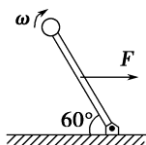
B. 第 2 秒内外力所做的功是 $\frac{5}{4} \text{ J}$

C. 第 2 秒末外力的瞬时功率最大

D. 第 1 秒内与第 2 秒内质点动能增加量的比值是 $\frac{4}{5}$

解析 根据牛顿第二定律得, 物体在第 1 s 内的加速度 $a_1 = \frac{F_1}{m} = 2 \text{ m/s}^2$, 在第 2 s 内的加速度 $a_2 = \frac{F_2}{m} = \frac{1}{2} \text{ m/s}^2 = 1 \text{ m/s}^2$; 第 1 s 末的速度 $v_1 = a_1 t = 2 \text{ m/s}$, 第 2 s 末的速度 $v_2 = v_1 + a_2 t = 3 \text{ m/s}$; $0 \sim 2 \text{ s}$ 内外力做的功 $W = \frac{1}{2} m v_2^2 = \frac{9}{2} \text{ J}$, 平均功率 $P = \frac{W}{t} = \frac{9}{4} \text{ W}$, 故 A 正确. 第 2 s 内外力所做的功 $W_2 = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = (\frac{1}{2} \times 1 \times 3^2 - \frac{1}{2} \times 1 \times 2^2) \text{ J} = \frac{5}{2} \text{ J}$, 故 B 错误. 第 1 s 末的瞬时功率 $P_1 = F_1 v_1 = 4 \text{ W}$. 第 2 s 末的瞬时功率 $P_2 = F_2 v_2 = 3 \text{ W}$, 故 C 错误. 第 1 s 内动能的增加量 $\Delta E_{k1} = \frac{1}{2} m v_1^2 = 2 \text{ J}$, 第 2 s 内动能的增加量 $\Delta E_{k2} = W_2 = \frac{5}{2} \text{ J}$, 所以 $\frac{\Delta E_{k1}}{\Delta E_{k2}} = \frac{4}{5}$, 故 D 正确.

答案 AD



5. (2011 上海卷, 15) 如图, 一长为 L 的轻杆一端固定在光滑铰链上, 另一端固定一质量为 m 的小球. 一水平向右的拉力作用于杆的中点, 使杆以角速度 ω 匀速转动, 当杆与水平方向成 60° 时, 拉力的功率为().

- A. $mgL\omega$ B. $\frac{\sqrt{3}}{2}mgL\omega$ C. $\frac{1}{2}mgL\omega$ D. $\frac{\sqrt{3}}{6}mgL\omega$

解析 由能的转化及守恒可知:拉力的功率等于克服重力的功率. $P_G = mgv_y = mgv\cos 60^\circ = \frac{1}{2}mg\omega L$,

故选 C.

答案 C

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 正、负功的判断及计算

1. (多选)如图 5-1-16 所示,在皮带传送装置中,皮带把物体 P 匀速带至高处,在此过程中,下述说法正确的是().

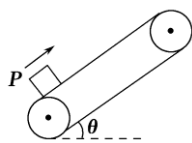


图 5-1-16

- A. 摩擦力对物体做正功
B. 摩擦力对物体做负功
C. 支持力对物体不做功
D. 合外力对物体做正功

解析 物体 P 匀速上升过程中,合外力为零,合外力对物体做功为零,D 错误;支持力垂直于运动方向,故支持力做功为零,C 正确;摩擦力沿斜面向上,与物体运动方向相同,故摩擦力做正功,A 正确;B 错误.

答案 AC

2. (多选)质量为 50 kg 的某人沿一竖直悬绳匀速向上爬(两手交替抓绳子,手与绳之间不打滑).在爬高 3 m 的过程中,手与绳之间均无相对滑动,重力加速度 g 取 10 m/s^2 .则下列说法正确的是().

- A. 绳子对人的静摩擦力做功为 1 500 J
B. 绳子对人的拉力做功为 1 500 J
C. 绳子对人的静摩擦力做功为 0
D. 绳子对人的拉力做功为 0

解析 人沿绳子向上爬时,手与绳子之间无相对滑动,绳子对人的静摩擦力作用在手上,手相对绳子是静止的,静摩擦力作用点的位移为零,因此静摩擦力不做功,同理,绳中拉力也不做功,A、B 错误,C、D 正确.

答案 CD

3. (单选)如图 5-1-17 所示,一个物块在与水平方向成 α 角的恒力 F 作用下,沿水平面向右运动一段距离 x ,在此过程中,恒力 F 对物块所做的功为().

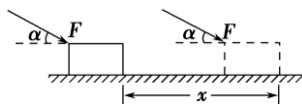


图 5-1-17

- A. $\frac{Fx}{\sin \alpha}$ B. $\frac{Fx}{\cos \alpha}$ C. $Fx\sin \alpha$ D. $Fx\cos \alpha$

解析 由于力 F 与位移 x 的夹角为 α ,所以力 F 做的功为 $W = Fx\cos \alpha$,故 D 正确.

答案 D

4. (2013 石家庄二模)(单选)如图 5-1-18 所示是质量为 1 kg 的滑块在水平面上做直线运动的 $v-t$ 图象.下列判断正确的是().

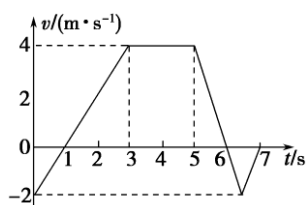


图 5-1-18

- A. 在 $t=1\text{ s}$ 时, 滑块的加速度为零
- B. 在 $4\text{ s}\sim 6\text{ s}$ 时间内, 滑块的平均速度为 2.5 m/s
- C. 在 $3\text{ s}\sim 7\text{ s}$ 时间内, 合力做功的平均功率为 2 W
- D. 在 $5\text{ s}\sim 6\text{ s}$ 时间内, 滑块受到的合力为 2 N

解析 由题图可知, $t=1\text{ s}$ 时, 滑块的加速度大小为 2 m/s^2 , A 选项错误. $4\text{ s}\sim 6\text{ s}$ 时间内, 滑块的位移 $x = \left(4 \times 1 + \frac{4}{2} \times 1\right)\text{ m} = 6\text{ m}$, 所以平均速度为 $\bar{v} = \frac{x}{t} = 3\text{ m/s}$, B 选项错误. $3\text{ s}\sim 7\text{ s}$ 时间内, 合力做功 $W = -\frac{1}{2}mv^2 = -\frac{1}{2} \times 1 \times 4^2\text{ J} = -8\text{ J}$, 所以合力做功的平均功率 $\bar{P} = \frac{|W|}{t} = \frac{8}{4}\text{ W} = 2\text{ W}$, C 选项正确. $5\text{ s}\sim 6\text{ s}$ 时间内 $F = ma = 4\text{ N}$. 选项 D 错误.

答案 C

5. (单选)如图 5-1-19 所示, 质量为 m 的物体置于倾角为 θ 的斜面上, 物体与斜面间的动摩擦因数为 μ , 在外力作用下, 斜面以加速度 a 沿水平方向向左做匀加速运动, 运动中物体 m 与斜面体相对静止. 则关于斜面对 m 的支持力和摩擦力的下列说法中错误的是().

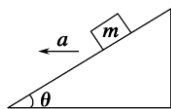
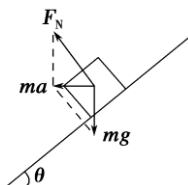


图 5-1-19

- A. 支持力一定做正功
- B. 摩擦力一定做正功
- C. 摩擦力可能不做功
- D. 摩擦力可能做负功



解析 支持力方向垂直斜面向上, 故支持力一定做正功, 而摩擦力是否存在需要讨论, 若摩擦力恰好为零, 此时物体只受重力和支持力, 如图所示, 此时加速度 $a = g \tan \theta$, 当 $a > g \tan \theta$, 摩擦力沿斜面向下, 摩擦力与位移夹角小于 90° , 则做正功; 当 $a < g \tan \theta$, 摩擦力沿斜面向上, 摩擦力与位移夹角大于 90° , 则做负功. 综上所述, B 是错误的.

答案 B

6. (多选)如图 5-1-20 所示, 摆球质量为 m , 悬线的长为 L , 把悬线拉到水平位置后放手. 设在摆球运动过程中空气阻力 $F_{\text{阻}}$ 的大小不变, 则下列说法正确的是().

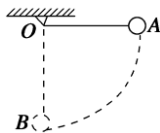
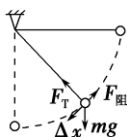


图 5-1-20

- A. 重力做功为 mgL
- B. 绳的拉力做功为 0
- C. 空气阻力($F_{\text{阻}}$)做功为 $-mgL$
- D. 空气阻力($F_{\text{阻}}$)做功为 $-\frac{1}{2}F_{\text{阻}}\pi L$



解析 如图所示，因为拉力 F_T 在运动过程中始终与运动方向垂直，故不做功，即 $W_{FT} = 0$

重力在整个运动过程中始终不变，小球在重力方向上的位移为 AB 在竖直方向上的投影 L ，所以 $W_G = mgL$ 。 $F_{阻}$ 所做的总功等于每个小弧段上 $F_{阻}$ 所做功的代数和，即 $W_{F_{阻}} = -(F_{阻} \Delta x_1 + F_{阻} \Delta x_2 + \dots) = -\frac{1}{2} F_{阻} \pi L$ 。

故重力 mg 做的功为 mgL ，绳子拉力做功为零，空气阻力所做的功为 $-\frac{1}{2} F_{阻} \pi L$ 。

答案 ABD

题组二 功率的计算及机车的启动

7. (单选)如图 5-1-21 所示，分别用 F_1 、 F_2 、 F_3 将质量为 m 的物体由静止沿同一光滑斜面以相同的加速度从斜面底端拉到斜面的顶端，物体到达斜面顶端时，力 F_1 、 F_2 、 F_3 的功率关系为()。

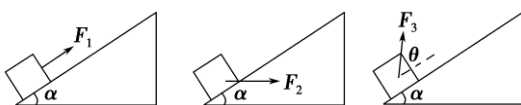


图 5 - 1 - 21

- A. $P_1 = P_2 = P_3$ B. $P_1 > P_2 = P_3$
C. $P_3 > P_2 > P_1$ D. $P_1 > P_2 > P_3$

解析 设物体的质量为 m ，三种情况下物体的加速度 a 相同，由牛顿第二定律知 $F - mg \sin \alpha = ma$ ，故各力在速度方向上的分量都相同，又因加速度相同，斜面长度相同，所以三种情况下到达斜面顶端时的速度相等，所以据功率公式可知 $P_1 = P_2 = P_3$ ，故选 A。

答案 A

8. (单选)把动力装置分散安装在每节车厢上，使其既具有牵引动力，又可以载客，这样的客车车辆叫做动车。几节自带动力的车辆(动车)加几节不带动力的车辆(也叫拖车)编成一组，就是动车组，假设动车组运行过程中受到的阻力与其所受重力成正比，每节动车与拖车的质量都相等，每节动车的额定功率都相等。若 1 节动车加 3 节拖车编成的动车组的最大速度为 120 km/h；则 6 节动车加 3 节拖车编成的动车组的最大速度为()。

- A. 120 km/h B. 240 km/h
C. 320 km/h D. 480 km/h

解析 若 1 节动车加 3 节拖车编成的动车组的最大速度为 $v_1 = \frac{P}{4kmg} = 120 \text{ km/h}$ ；则 6 节动车加 3 节拖车编成的动车组的最大速度为 $v_2 = \frac{6P}{9kmg} = \frac{2}{3} \times 4v_1 = \frac{8}{3} \times 120 \text{ km/h} = 320 \text{ km/h}$ ，故选项 C 正确。

答案 C

9. (单选)两辆完全相同的汽车，都拖着完全相同的拖车以相同的速度在平直公路上匀速齐头并进，某一时刻两拖车同时与汽车脱离，之后甲汽车保持原来的牵引力继续前进，乙汽车保持原来的功率继续前进，则一段时间后(假设均未达到最大功率)()。

- A. 甲车超前，乙车落后
B. 乙车超前，甲车落后
C. 它们仍齐头并进
D. 甲车先超过乙车，后乙车又超过甲车

解析 拖车与汽车脱离之前，汽车的牵引力等于摩擦力，脱离之后，汽车受到的摩擦力 F_f 减小，因为甲汽车的牵引力 F 保持不变，所以其将做匀加速直线运动，且加速度的大小为 $a = (F - F_f)/m$ ，而乙汽车保持原来的功率不变做加速运动，根据 $P = Fv$ 可知，其牵引力会随其速度的逐渐增大而减小，其加速度大小也会从 $a = (F - F_f)/m$ 逐渐减小，可见，甲车的速度较大，甲车超前，乙车落后。

答案 A

10. 质量为 2 000 kg、额定功率为 80 kW 的汽车，在平直公路上行驶的最大速度为 20 m/s.若汽车从静止开始做匀加速直线运动，加速度大小为 2 m/s²，运动中汽车所受阻力的大小不变. 求：

- (1)汽车所受阻力的大小.
- (2)3 s 末汽车的瞬时功率.
- (3)汽车做匀加速运动的时间.
- (4)汽车在匀加速运动中牵引力所做的功.

解析 (1)已知汽车在运动中所受阻力的大小不变，当汽车以最大速度行驶时，根据 $P = Fv$ ，可求得速度最大时牵引力为 $F = \frac{P}{v} = 4\,000\text{ N}$

此时牵引力和阻力大小相等，故 $F_{\text{阻}} = 4\,000\text{ N}$

(2)3 s 末汽车的速度 $v_1 = at_1 = 6\text{ m/s}$

由 $F - F_{\text{阻}} = ma$ 可得此时的牵引力为 $F = ma + F_{\text{阻}} = 8\,000\text{ N}$

故此时的功率为 $P' = Fv_1 = 4.8 \times 10^4\text{ W}$

(3)设汽车匀加速运动的时间为 t ，则

t 时刻汽车的速度为 $v = at = 2t$

此时汽车的功率为额定功率，又 $P = Fv$

代入数据解得 $t = 5\text{ s}$

(4)匀加速运动阶段牵引力为恒力，故牵引力所做的功为

$W = Fl = F \frac{1}{2}at^2 = 8\,000 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 5^2\text{ J} = 2 \times 10^5\text{ J}$.

答案 (1)4 000 N (2) $4.8 \times 10^4\text{ W}$ (3)5 s (4) $2 \times 10^5\text{ J}$

B 深化训练——提高能力技巧

11. (多选)如图 5-1-22 所示，在外力作用下某质点运动的 $v-t$ 图象为正弦曲线. 从图中可以判断().

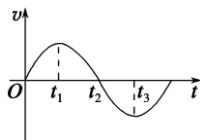


图 5-1-22

- A. 在 $0 \sim t_1$ 时间内，外力做正功
- B. 在 $0 \sim t_1$ 时间内，外力的功率逐渐增大
- C. 在 t_2 时刻，外力的功率最大
- D. 在 $t_1 \sim t_3$ 时间内，外力做的总功为零

解析 由动能定理可知，在 $0 \sim t_1$ 时间内质点速度越来越大，动能越来越大，外力一定做正功，故 A 项正确；在 $t_1 \sim t_3$ 时间内，动能变化量为零，可以判定外力做的总功为零，故 D 项正确；由 $P = Fv$ 知 0 、 t_1 、 t_2 、 t_3 四个时刻功率为零，故 B、C 都错。

答案 AD

12. (单选)质量为 2 kg 的物体，放在动摩擦因数为 $\mu = 0.1$ 的水平面上，在水平拉力 F 的作用下，由静止开始运动，拉力做的功 W 和物体发生的位移 x 之间的关系如图 5-1-23 所示， $g = 10\text{ m/s}^2$ ，下列说法中正确的是().

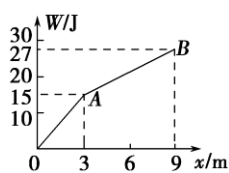


图 5-1-23

- A. 此物体在 AB 段做匀加速直线运动，且整个过程中拉力的最大功率为 15 W

- B. 此物体在 AB 段做匀速直线运动, 且整个过程中拉力的最大功率为 6 W
 C. 此物体在 AB 段做匀加速直线运动, 且整个过程中拉力的最大功率为 6 W
 D. 此物体在 AB 段做匀速直线运动, 且整个过程中拉力的最大功率为 15 W

解析 由题图知前 3 m 位移内拉力大小为 5 N , 摩擦力大小为 $f = \mu mg = 2\text{ N}$, 根据牛顿第二定律可得加速度为 $a = 1.5\text{ m/s}^2$, 所用时间为 $t = \sqrt{\frac{2x}{a}} = 2\text{ s}$, 末速度为 3 m/s ; 后 6 m 位移内拉力大小等于 2 N , 与摩擦力等大反向, 所以物体在 AB 段做匀速直线运动, 整个过程中拉力的最大功率为 $P_m = F_m v_m = 15\text{ W}$, D 对.

答案 D

13. (单选) 质量分别为 $2m$ 和 m 的 A 、 B 两种物体分别在水平恒力 F_1 和 F_2 的作用下沿水平面运动, 撤去 F_1 、 F_2 后受摩擦力的作用减速到停止, 其 $v-t$ 图象如图 5-1-24 所示, 则下列说法正确的是().

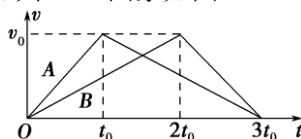


图 5-1-24

- A. F_1 、 F_2 大小相等
 B. F_1 、 F_2 对 A 、 B 做功之比为 $2:1$
 C. A 、 B 受到的摩擦力大小相等
 D. 全过程中摩擦力对 A 、 B 做功之比为 $1:2$

解析 设 A 加速时加速度大小为 a , 则减速时加速度大小为 $0.5a$, B 加速时加速度大小为 $0.5a$, 减速时加速度大小为 a . 根据牛顿第二定律, 对 A : $F_1 - F_{f1} = 2ma$, $F_{f1} = 2m \times 0.5a$, 对 B : $F_2 - F_{f2} = 0.5ma$, $F_{f2} = ma$, 解得 $F_1 = 3ma$, $F_2 = 1.5ma$, $F_{f2} = F_{f1}$. A 错误, C 正确; 外力 F_1 、 F_2 做功分别为: $W_1 = F_1 l_1$, $W_2 = F_2 l_2$, 由图线围成的面积可知 $l_1 = 0.5l_2$, 故 $W_1:W_2 = 1:1$, B 错误; 两物体运动位移相同, 故摩擦力做功之比为 $F_{f1}l:F_{f2}l = 1:1$, D 错误.

答案 C

14. (2013·上海模拟) 如图 5-1-25 甲所示, 在水平路段 AB 上有一质量为 $2 \times 10^3\text{ kg}$ 的汽车, 正以 10 m/s 的速度向右匀速运动, 汽车前方的水平路段 BC 较粗糙, 汽车通过整个 ABC 路段的 $v-t$ 图象如图乙所示(在 $t=15\text{ s}$ 处水平虚线与曲线相切), 运动过程中汽车发动机的输出功率保持 20 kW 不变, 假设汽车在两个路段上受到的阻力(含地面摩擦力和空气阻力等)各自有恒定的大小.

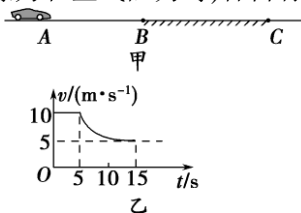


图 5-1-25

- (1) 求汽车在 AB 路段上运动时所受的阻力 F_{f1} ;
 (2) 求汽车刚好到达 B 点时的加速度 a ;
 (3) 求 BC 路段的长度.

解析 (1) 汽车在 AB 路段时, 有 $F_1 = F_{f1}$, $P = F_1 v_1$, $F_{f1} = \frac{P}{v_1}$, 联立解得: $F_{f1} = \frac{20 \times 10^3}{10}\text{ N} = 2\,000\text{ N}$.

(2) $t = 15\text{ s}$ 时汽车处于平衡态, 有 $F_2 = F_{f2}$, $P = F_2 v_2$,

$F_{f2} = \frac{P}{v_2}$, 联立解得: $F_{f2} = \frac{20 \times 10^3}{5}\text{ N} = 4\,000\text{ N}$.

$t = 5\text{ s}$ 时汽车开始减速运动, 有 $F_{f1} - F_{f2} = ma$,

解得 $a = -1\text{ m/s}^2$.

(3) $Pt - F_{f2}x = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$

解得 $x = 68.75 \text{ m}$.

答案 (1) $2\ 000 \text{ N}$ (2) -1 m/s^2 (3) 68.75 m

第 2 讲 动能 动能定理

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点 1

动能 (考纲要求 II)

1. 定义: 物体由于运动而具有的能叫动能.
2. 公式: $E_k = \frac{1}{2}mv^2$.
3. 单位: 焦耳, $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$.
4. 矢标性: 动能是标量, 只有正值.
5. 状态量: 动能是状态量, 因为 v 是瞬时速度.

考点 2

动能定理 (考纲要求 II)

1. 内容: 在一个过程中合外力对物体所做的功, 等于物体在这个过程中动能的变化.
2. 表达式: $W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$.
3. 物理意义: 合外力的功是物体动能变化的量度.
4. 适用条件
 - (1) 动能定理既适用于直线运动, 也适用于曲线运动.
 - (2) 既适用于恒力做功, 也适用于变力做功.
 - (3) 力可以是各种性质的力, 既可以同时作用, 也可以不同时作用.

思维深化 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

- (1) 一定质量的物体动能变化时, 速度一定变化, 但速度变化时, 动能不一定变化. ()
- (2) 动能不变的物体, 一定处于平衡状态. ()
- (3) 如果物体所受的合外力为零, 那么, 合外力对物体做的功一定为零. ()
- (4) 物体在合外力作用下做变速运动, 动能一定变化. ()

答案 (1)√ (2)× (3)√ (4)×

基础自测

1. (单选) 一个质量为 0.3 kg 的弹性小球, 在光滑水平面上以 6 m/s 的速度垂直撞到墙上, 碰撞后小球沿相反方向运动, 反弹后的速度大小与碰撞前相同, 则碰撞前后小球速度变化量的大小 Δv 和碰撞过程中小球的动能变化量 ΔE_k 为().

A. $\Delta v = 0$ B. $\Delta v = 12 \text{ m/s}$ C. $\Delta E_k = 1.8 \text{ J}$ D. $\Delta E_k = 10.8 \text{ J}$

解析 取初速度方向为正方向, 则 $\Delta v = (-6 - 6) \text{ m/s} = -12 \text{ m/s}$, 由于速度大小没变, 动能不变, 故动能变化量为 0 , 故只有选项 B 正确.

答案 B

2. (单选) 如图 5-2-1 所示, 质量为 m 的物块, 在恒力 F 的作用下, 沿光滑水平面运动, 物块通过 A 点和 B 点的速度分别是 v_A 和 v_B , 物块由 A 运动到 B 点的过程中, 力 F 对物块做的功 W 为().

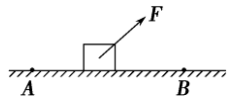


图 5-2-1

A. $W > \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$

B. $W = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$

C. $W = \frac{1}{2}mv_A^2 - \frac{1}{2}mv_B^2$

D. 由于 F 的方向未知, W 无法求出

解析 物块由 A 点到 B 点的过程中，只有力 F 做功，由动能定理可知， $W = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$ ，故 B 正确。

答案 B

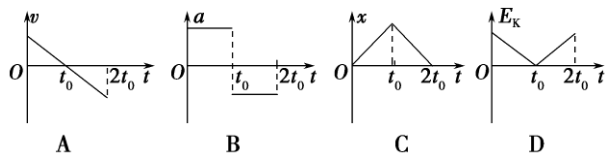
3. (单选)一质点开始时做匀速直线运动，从某时刻起受到一恒力作用。此后，该质点的动能不可能()。

- A. 一直增大
- B. 先逐渐减小至零，再逐渐增大
- C. 先逐渐增大至某一最大值，再逐渐减小
- D. 先逐渐减小至某一非零的最小值，再逐渐增大

解析 若力 F 的方向与初速度 v_0 的方向一致，则质点一直加速，动能一直增大，选项 A 可能。若力 F 的方向与 v_0 的方向相反，则质点先减速至速度为零后再反向加速，动能先减小至零后再增大，选项 B 可能。若力 F 的方向与 v_0 的方向成一钝角，如斜上抛运动，物体先减速，减到某一值再加速，则其动能先减小至某一非零的最小值再增大，选项 D 可能，选项 C 不可能，本题选 C。

答案 C

4. (单选)在地面上某处将一金属小球竖直向上抛出，上升一定高度后再落回原处，若不考虑空气阻力，则下列图象能正确反映小球的速度、加速度、位移和动能随时间变化关系的是(取向上为正方向)()。



解析 小球运动过程中加速度不变，B 错；速度均匀变化，先减小后反向增大，A 对；位移和动能与时间不是线性关系，C、D 错。

答案 A

5. (单选)子弹的速度为 v ，打穿一块固定的木块后速度刚好变为零。若木块对子弹的阻力为恒力，那么当子弹射入木块的深度为其厚度的一半时，子弹的速度是()。

- A. $\frac{v}{2}$
- B. $\frac{\sqrt{2}}{2}v$
- C. $\frac{v}{3}$
- D. $\frac{v}{4}$

解析 设子弹的质量为 m ，木块的厚度为 d ，木块对子弹的阻力为 f 。根据动能定理，子弹刚好打穿木块的过程满足 $-fd = 0 - \frac{1}{2}mv^2$ 。设子弹射入木块厚度一半时的速度为 v' ，则 $-f \frac{d}{2} = \frac{1}{2}mv'^2 - \frac{1}{2}mv^2$ ，得 $v' = \frac{\sqrt{2}}{2}v$ ，故选 B。

答案 B

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 对动能定理的理解及简单应用

1. 从两个方面理解动能定理

(1)动能定理公式中体现的三个关系：

- ①数量关系：即合外力所做的功与物体动能的变化具有等量代换关系。可以通过计算物体动能的变化，求合外力的功，进而求得某一力的功。
- ②单位关系，等式两侧物理量的国际单位都是焦耳。
- ③因果关系：合外力的功是引起物体动能变化的原因。

(2)动能定理叙述中所说的“外力”，即可以是重力、弹力、摩擦力，也可以是电场力、磁场力或其他力。

2. 应用动能定理的注意事项

(1)动能定理中的位移和速度必须是相对于同一个参考系的，一般以地面或相对地面静止的物体为参考系。

(2)应用动能定理时,必须明确各力做功的正、负.

(3)应用动能定理解题,关键是对研究对象进行准确的受力分析及运动过程分析,并画出物体运动过程的草图,借助草图理解物理过程和各量关系.

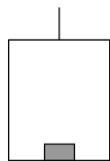


图 5-2-2

【典例 1】如图 5-2-2 所示,电梯质量为 M ,在它的水平地板上放置一质量为 m 的物体.电梯在钢索的拉力作用下竖直向上加速运动,当电梯的速度由 v_1 增加到 v_2 时,上升高度为 H ,则在这个过程中,下列说法或表达式正确的是().

- A. 对物体,动能定理的表达式为 $WF_N = \frac{1}{2}mv_2^2$, 其中 WF_N 为支持力的功
- B. 对物体,动能定理的表达式为 $W_{\text{合}} = 0$, 其中 $W_{\text{合}}$ 为合力的功
- C. 对物体,动能定理的表达式为 $WF_N - mgH = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$
- D. 对电梯,其所受合力做功为 $\frac{1}{2}Mv_2^2 - \frac{1}{2}Mv_1^2$

解析 电梯上升的过程中,对物体做功的有重力 mg 、支持力 F_N ,这两个力的总功才等于物体动能的增量 $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$,故 A、B 均错误,C 正确;对电梯,无论有几个力对它做功,由动能定理可知,其合力的功一定等于其动能的增量,故 D 正确.

答案 CD

【跟踪短训】

1. 质量 $m=2\text{ kg}$ 的物体,在光滑水平面上以 $v_1=6\text{ m/s}$ 的速度匀速向西运动,若有一个 $F=8\text{ N}$ 方向向北的恒力作用于物体,在 $t=2\text{ s}$ 内物体的动能增加了().

- A. 28 J B. 64 J C. 32 J D. 36 J

解析 由于力 F 与速度 v_1 垂直,物体做曲线运动,其两个分运动为向西的匀速运动和向北的匀加速直线运动,对匀加速运动: $a = \frac{F}{m} = 4\text{ m/s}^2$, $v_2 = at = 8\text{ m/s}$. 2 s 末物体的速度 $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = 10\text{ m/s}$, 2 s 内物体的动能增加了 $\Delta E = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = 64\text{ J}$, 故选项 B 正确.

答案 B

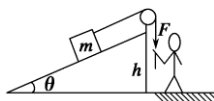


图 5-2-3

2. 人通过滑轮将质量为 m 的物体,沿粗糙的斜面由静止开始匀加速地由底端拉上斜面,物体上升的高度为 h ,到达斜面顶端的速度为 v ,如图 5-2-3 所示,则在此过程中().

- A. 物体所受的合外力做功为 $mgh + \frac{1}{2}mv^2$
- B. 物体所受的合外力做功为 $\frac{1}{2}mv^2$
- C. 人对物体做的功为 mgh
- D. 人对物体做的功大于 mgh

解析 物体沿斜面做匀加速运动,根据动能定理: $W_F - W_f - mgh = \frac{1}{2}mv^2$, 其中 W_f 为物体克服摩擦力做的功. 人对物体做的功即是人对物体的拉力做的功,所以 $W_{\text{人}} = W_F = W_f + mgh + \frac{1}{2}mv^2$, A、C 错误, B、D 正确.

答案 BD

热点二 动能定理在多过程中的应用

1. 优先考虑应用动能定理的问题

- (1) 不涉及加速度、时间的问题；
- (2) 有多个物理过程且不需要研究整个过程中的中间状态的问题；
- (3) 变力做功的问题；
- (4) 含有 F 、 l 、 m 、 v 、 W 、 E_k 等物理量的力学问题

2. 应用动能定理的解题步骤

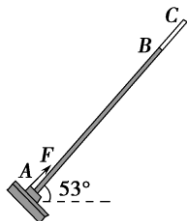
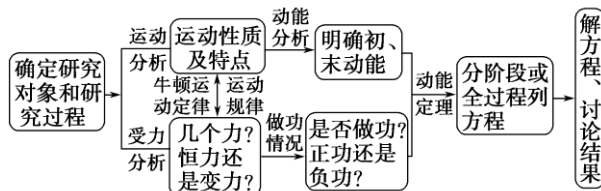


图 5-2-4

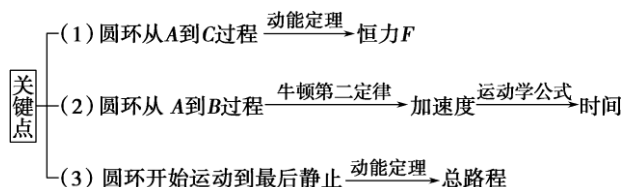
【典例 2】如图 5-2-4 所示，一根直杆由粗细相同的两段构成，其中 AB 段为长 $x_1=5\text{ m}$ 的粗糙杆， BC 段为长 $x_2=1\text{ m}$ 的光滑杆。将杆与水平面成 53° 角固定在一块弹性挡板上，在杆上套一质量 $m=0.5\text{ kg}$ 、孔径略大于杆直径的圆环。开始时，圆环静止在杆底端 A 。现用沿杆向上的恒力 F 拉圆环，当圆环运动到 B 点时撤去 F ，圆环刚好能到达顶端 C ，然后再沿杆下滑。已知圆环与 AB 段的动摩擦因数 $\mu=0.1$ ， $g=10\text{ m/s}^2$ ， $\sin 53^\circ=0.8$ ， $\cos 53^\circ=0.6$ 。试求：

(1) 拉力 F 的大小；

(2) 拉力 F 作用的时间；

(3) 若不计圆环与挡板碰撞时的机械能损失，从圆环开始运动到最终静止的过程中在粗糙杆上所通过的总路程。

审题指导



解析 (1) $A \rightarrow C$ 过程：根据动能定理有

$$Fx_1 - mg(x_1 + x_2)\sin 53^\circ - \mu mgx_1\cos 53^\circ = 0 - 0$$

恒力

$$F = \frac{mg(x_1 + x_2)\sin 53^\circ + \mu mgx_1\cos 53^\circ}{x_1} = 5.1\text{ N}$$

(2) $A \rightarrow B$ 过程：根据牛顿第二定律和运动学公式有

$$F - mg\sin 53^\circ - \mu mg\cos 53^\circ = ma_1, \quad x_1 = \frac{1}{2}a_1t_1^2$$

$$\text{解得加速度 } a_1 = \frac{F - mg(\sin 53^\circ + \mu\cos 53^\circ)}{m} = 1.6\text{ m/s}^2$$

$$\text{时间 } t_1 = \sqrt{\frac{2x_1}{a_1}} = 2.5\text{ s}$$

(3) 从圆环开始运动到最终静止在粗糙杆上通过的总路程为 L ，根据动能定理有 $Fx_1 - \mu mgL\cos 53^\circ =$

$0 - 0$

$$\text{总路程 } L = \frac{Fx_1}{\mu mg\cos 53^\circ} = 85\text{ m.}$$

答案 (1)5.1 N (2)2.5 s (3)85 m

反思总结 本题要注意以下几点

(1)拉力 F 在圆环运动全过程中不是始终存在的, 导致圆环的运动包含有力 F 作用和无力 F 作用的多个物理过程, 物体的运动状态、受力情况均发生变化, 因而在考虑力做功时, 必须根据不同情况, 分别对待.

(2)题中 A 到 C 的运动中包含两个不同的物理过程, 解题时, 可以分段考虑, 也可视为一个整体过程, 应用动能定理求解.

【跟踪短训】

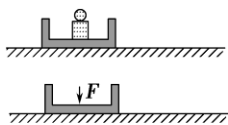


图 5-2-5

3. 如图 5-2-5 所示, 木盒中固定一质量为 m 的砝码, 木盒和砝码在桌面上以一定的初速度一起滑行一段距离后停止. 现拿走砝码, 而持续加一个竖直向下的恒力 $F(F=mg)$, 若其他条件不变, 则木盒滑行的距离().

A. 不变 B. 变小 C. 变大 D. 变大变小均可能

解析 设木盒质量为 M , 木盒中固定一质量为 m 的砝码时, 由动能定理可知, $\mu(m+M)gx_1 = \frac{1}{2}(M+m)v^2$, 解得 $x_1 = \frac{v^2}{2\mu g}$; 加一个竖直向下的恒力 $F(F=mg)$ 时, 由动能定理可知, $\mu(m+M)gx_2 = \frac{1}{2}Mv^2$, 解得 $x_2 = \frac{Mv^2}{2(m+M)\mu g}$. 显然 $x_2 < x_1$.

答案 B

4. (2013 天津卷, 10)质量为 $m=4$ kg 的小物块静止于水平地面上的 A 点, 现用 $F=10$ N 的水平恒力拉动物块一段时间后撤去, 物块继续滑动一段位移停在 B 点, A 、 B 两点相距 $x=20$ m, 物块与地面间的动摩擦因数 $\mu=0.2$, g 取 10 m/s², 求:

(1)物块在力 F 作用过程发生位移 x_1 的大小;

(2)撤去力 F 后物块继续滑动的的时间 t .

解析 (1)设物块受到的滑动摩擦力为 F_f , 则

$$F_f = \mu mg \quad \text{①}$$

根据动能定理, 对物块由 A 到 B 整个过程, 有

$$Fx_1 - F_f x = 0 \quad \text{②}$$

代入数据, 解得 $x_1 = 16$ m ③

(2)设刚撤去力 F 时物块的速度为 v , 此后物块的加速度为 a , 滑动的位移为 x_2 , 则 $x_2 = x - x_1$ ④

$$\text{由牛顿第二定律得 } a = \frac{F_f}{m} \quad \text{⑤}$$

$$\text{由匀变速直线运动公式得 } v^2 = 2ax_2 \quad \text{⑥}$$

$$\text{由 } v = v_0 + at \text{ 得 } v = at \quad \text{⑦}$$

代入数据, 解得 $t = 2$ s ⑧

答案 (1)16 m (2)2 s

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

思想方法 8.突破压轴计算题的审题策略与技巧

审题策略

1. 审题要慢, 答题要快

所谓审题要慢, 就是要仔细, 要审透, 关键的词句理解要到位, 深入挖掘试题的条件, 提取解题所需要的相关信息, 排除干扰因素. 要做到这些, 必须通读试题(特别是括号内的内容, 千万不要忽视),

才能快速答题.

2. 建立模型, 总体把握

建模是解题过程中最为关键的一个环节, 无论是简单问题还是复杂问题, 都需要正确建立模型, 建模可以从“数、形、链”三个方面进行, 所谓“数”即物理量, 可以是具体数据, 也可以是符号; 所谓“形”, 就是将题设物理情境以图形的形式呈现出来; 所谓“链”, 即情境链接和条件关联, 情境链接就是将物理情境分解成物理子过程, 并将这些子过程由“数、形”有机地链接起来, 条件关联即“数”间关联或存在的临界条件关联等. “数、形、链”三位一体, 三维建模. 一般分三步建立模型:

- (1)分析和分解物理过程, 确定不同过程的初、末状态, 将状态量与过程量对应起来;
- (2)画出关联整个物理过程的思维导图, 对于物体的运动和相互作用过程, 直接画出运动过程草图;
- (3)在图上标出物理过程和对应的物理量, 建立情境链接和条件关联、完成情境模型.

审题技法

1. 在审题过程中, 要特别注意以下几个方面:

- 第一, 题中给出什么.
- 第二, 题中要求什么.
- 第三, 题中隐含什么.
- 第四, 题中考查什么.

2. 理解题意的具体方法是:

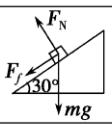
- (1)认真审题, 捕捉关键词. 如“最多”、“刚好”、“瞬间”等.
- (2)认真审题, 挖掘隐含条件.
- (3)审题过程要注意画好情境示意图, 展示物理图景.
- (4)审题过程要建立正确的物理模型.
- (5)在审题过程中要特别注意题中的临界条件.

【典例】 (2013 海南卷 13)一质量 $m=0.6\text{ kg}$ 的物体以 $v_0=20\text{ m/s}$ 的初速度从倾角为 30° 的斜坡底端沿斜坡向上运动. 当物体向上滑到某一位置时, 其动能减少了 $\Delta E_k=18\text{ J}$, 机械能减少了 $\Delta E=3\text{ J}$, 不计空气阻力, 重力加速度 $g=10\text{ m/s}^2$, 求:

- (1)物体向上运动时加速度的大小;
- (2)物体返回斜坡底端时的动能.

审题指导

第一步: 读题→获取信息

题干关键语句	挖掘隐含信息
①物体以 $v_0=20\text{ m/s}$ 的初速度从倾角为 30° 的斜坡底端向上运动	建模 物体做匀减速运动 (其受力情况如图) 
②滑动某一位置时, 其动能减少了 $\Delta E_k=18\text{ J}$	隐含 合外力做功为 -18 J ($-mgsin30^\circ \cdot x - F_f x = -18\text{ J}$)
③机械能减少了 $\Delta E=3\text{ J}$	隐含 摩擦产生的内能 $Q=3\text{ J}$ ($-F_f x = -3\text{ J}$)

第二步:

$$\begin{aligned} &\downarrow \text{由动能定理和功能关系得} \quad \begin{cases} -mgsin30^\circ x - F_f x = -\Delta E_k \\ -F_f x = -\Delta E \end{cases} \Rightarrow \text{求得 } F_f=? \\ &\downarrow \text{由牛顿第二定律得} \quad \begin{cases} mgsin30^\circ + F_f = ma \end{cases} \Rightarrow \text{求得 } a=? \\ &\downarrow \text{由运动学公式得} \quad \begin{cases} v_0^2 = 2ax_m \end{cases} \Rightarrow \text{求得 } x_m=? \\ &\downarrow \text{由动能定理得} \quad \begin{cases} mgsin30^\circ \cdot x_m - F_f x_m = E_k \end{cases} \Rightarrow \text{求出 } E_k=? \end{aligned}$$

解析 (1)设物体在运动过程中所受的摩擦力大小为 F_f , 物体动能减少 ΔE_k 时, 在斜坡上运动的距离为 x , 由动能定理和功能关系得 $-mgsin30^\circ x - F_f x = -\Delta E_k$ ①

$$-F_f x = -\Delta E$$
②

由牛顿第二定律得 $mg\sin 30^\circ + F_f = ma$ ③

联立①②③式并代入数据可得 $a = 6 \text{ m/s}^2$ ④

(2)设物体沿斜坡向上运动的最大距离为 x_m ，由运动学规律可得 $v_0^2 = 2ax_m$ ⑤

设物体返回底端时的动能为 E_k ，由动能定理有

$$mg\sin 30^\circ x_m - F_f x_m = E_k - 0$$
⑥

联立④⑤⑥式并代入数据可得 $E_k = 80 \text{ J}$

答案 (1) 6 m/s^2 (2) 80 J

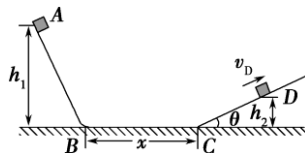


图 5-2-6

即学即练 如图 5-2-6 所示装置由 AB、BC、CD 三段轨道组成，轨道交接处均由很小的圆弧平滑连接，其中轨道 AB、CD 段是光滑的，水平轨道 BC 的长度 $x = 5 \text{ m}$ ，轨道 CD 足够长且倾角 $\theta = 37^\circ$ ；A、D 两点离轨道 BC 的高度分别为 $h_1 = 4.30 \text{ m}$ 、 $h_2 = 1.35 \text{ m}$ 。现让质量为 m 的小滑

块自 A 点由静止释放。已知小滑块与轨道 BC 间的动摩擦因数 $\mu = 0.5$ ，重力加速度 g 取 10 m/s^2 ， $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8$ 。求：

- (1)小滑块第一次到达 D 点时的速度大小；
- (2)小滑块第一次与第二次通过 C 点的时间间隔；
- (3)小滑块最终停止的位置距 B 点的距离。

解析 (1)小滑块从 A→B→C→D 过程中，由动能定理得：

$$mg(h_1 - h_2) - \mu mgx = \frac{1}{2}mv_D^2 - 0$$
①

将 h_1 、 h_2 、 x 、 μ 、 g 代入得： $v_D = 3 \text{ m/s}$ ②

(2)小滑块从 A→B→C 过程中，由动能定理得

$$mgh_1 - \mu mgx = \frac{1}{2}mv_C^2$$
③

将 h_1 、 x 、 μ 、 g 代入得： $v_C = 6 \text{ m/s}$ ④

小滑块沿 CD 段上滑的加速度大小

$$a = g\sin \theta = 6 \text{ m/s}^2$$
⑤

小滑块沿 CD 段上滑到最高点的时间

$$t_1 = \frac{v_C}{a} = 1 \text{ s}$$
⑥

由对称性可知小滑块从最高点滑回 C 点的时间

$$t_2 = t_1 = 1 \text{ s}$$
⑦

故小滑块第一次与第二次通过 C 点的时间间隔

$$t = t_1 + t_2 = 2 \text{ s}$$
⑧

(3)对小滑块运动全过程应用动能定理，设小滑块在水平轨道上运动的总路程为 $x_{\text{总}}$ ，有：

$$mgh_1 - \mu mgx_{\text{总}} = 0$$
⑨

将 h_1 、 μ 代入得 $x_{\text{总}} = 8.6 \text{ m}$ ，故小滑块最终停止的位置距 B 点的距离为 $2x - x_{\text{总}} = 1.4 \text{ m}$ ⑩

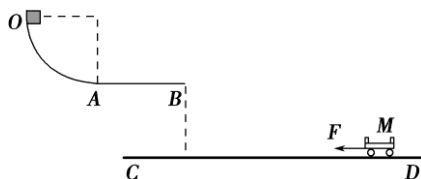
答案 (1) 3 m/s (2) 2 s (3) 1.4 m

附：对应高考题组(PPT课件文本，见教师用书)

1. (2010 山东卷，24)如图所示，四分之一圆轨道 OA 与水平轨道 AB 相切，它们与另一水平轨道 CD 在同一竖直面内，圆轨道 OA 的半径 $R = 0.45 \text{ m}$ ，水平轨道 AB 长 $x_1 = 3 \text{ m}$ ，OA 与 AB 均光滑。一滑块从 O 点由静止释放，当滑块经过 A 点时，静止在 CD 上的小车在 $F = 1.6 \text{ N}$ 的水平恒力作用下启动，

运动一段时间后撤去力 F . 当小车在 CD 上运动了 $x_2=3.28\text{ m}$ 时速度 $v=2.4\text{ m/s}$, 此时滑块恰好落入小车中. 已知小车质量 $M=0.2\text{ kg}$, 与 CD 间的动摩擦因数 $\mu=0.4$. (取 $g=10\text{ m/s}^2$) 求

- (1) 恒力 F 的作用时间 t .
 (2) AB 与 CD 的高度差 h .



解析 (1) 设小车在轨道 CD 上加速的距离为 x , 由动能定理得 $Fx - \mu Mg x_2 = \frac{1}{2} M v^2$ ①

设小车在轨道 CD 上做加速运动时的加速度为 a , 由牛顿运动定律得 $F - \mu Mg = Ma$ ②

$$x = \frac{1}{2} a t^2$$
 ③

联立①②③式, 代入数据得 $t = 1\text{ s}$ ④

(2) 设小车在轨道 CD 上做加速运动的末速度为 v' , 撤去力 F 后小车做减速运动时的加速度为 a' , 减速时间为 t' , 由牛顿运动定律得 $v' = at$ ⑤

$$-\mu Mg = Ma'$$
 ⑥

$$v = v' + a' t'$$
 ⑦

设滑块的质量为 m , 运动到 A 点的速度为 v_A , 由动能定理得 $mgR = \frac{1}{2} m v_A^2$ ⑧

设滑块由 A 点运动到 B 点的时间为 t_1 , 由运动学公式得

$$x_1 = v_A t_1$$
 ⑨

设滑块做平抛运动的时间为 t_1' , 则

$$t_1' = t + t' - t_1$$
 ⑩

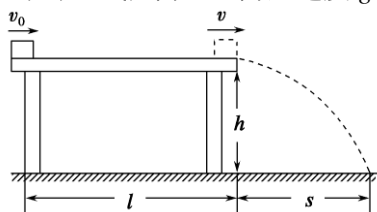
$$\text{由平抛规律得 } h = \frac{1}{2} g t_1'^2$$
 ⑪

联立②④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪式, 代入数据得

$$h = 0.8\text{ m}$$
 ⑫

答案 (1) 1 s (2) 0.8 m

2. (2012 北京卷, 22) 如图所示, 质量为 m 的小物块在粗糙水平桌面上做直线运动, 经距离 l 后以速度 v 飞离桌面, 最终落在水平地面上. 已知 $l=1.4\text{ m}$, $v=3.0\text{ m/s}$, $m=0.10\text{ kg}$, 小物块与桌面间的动摩擦因数 $\mu=0.25$, 桌面高 $h=0.45\text{ m}$, 不计空气阻力, 重力加速度 g 取 10 m/s^2 . 求:



(1) 小物块落地点到飞出点的水平距离 s ;

(2) 小物块落地时的动能 E_k ;

(3) 小物块的初速度大小 v_0 .

解析 (1) 由平抛运动规律, 有:

$$\text{竖直方向 } h = \frac{1}{2} g t^2, \text{ 水平方向 } s = vt,$$

$$\text{得水平距离 } s = \sqrt{\frac{2h}{g}} v = 0.90\text{ m}.$$

(2) 由机械能守恒定律, 得落地时的动能

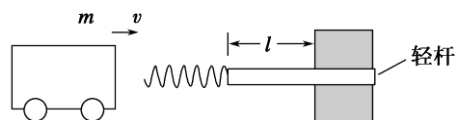
$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 + mgh = 0.90 \text{ J.}$$

$$(3) \text{由动能定理, 有 } -\mu mgl = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2,$$

$$\text{得初速度大小 } v_0 = \sqrt{2\mu gl + v^2} = 4.0 \text{ m/s.}$$

答案 (1)0.90 m (2)0.90 J (3)4.0 m/s

3. (2012 江苏卷, 14)某缓冲装置的理想模型如图所示, 劲度系数足够大的轻质弹簧与轻杆相连, 轻杆可在固定的槽内移动, 与槽间的滑动摩擦力恒为 f . 轻杆向右移动不超过 l 时, 装置可安全工作. 一质量为 m 的小车若以速度 v_0 撞击弹簧, 将导致轻杆向右移动 $\frac{l}{4}$. 轻杆与槽间的最大静摩擦力等于滑动摩擦力, 且不计小车与地面的摩擦.



- (1)若弹簧的劲度系数为 k , 求轻杆开始移动时, 弹簧的压缩量 x ;
 (2)求为使装置安全工作, 允许该小车撞击的最大速度 v_m ;
 (3)讨论在装置安全工作时, 该小车弹回速度 v' 和撞击速度 v 的关系.

解析 (1)轻杆开始移动时, 弹簧的弹力 $F = kx$ ①

$$\text{且 } F = f$$
②

$$\text{解得 } x = \frac{f}{k}$$
③

(2)设轻杆移动前小车对弹簧所做的功为 W , 则小车从撞击到停止的过程中

$$\text{由动能定理得: } -f\frac{l}{4} - W = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$$
④

$$\text{同理, 小车以 } v_m \text{ 撞击弹簧时, } -fl - W = 0 - \frac{1}{2}mv_m^2$$
⑤

$$\text{解得 } v_m = \sqrt{v_0^2 + \frac{3fl}{2m}}$$
⑥

(3)设轻杆恰好移动时, 小车撞击速度为 v_1 , 则有 $\frac{1}{2}mv_1^2 = W$ ⑦

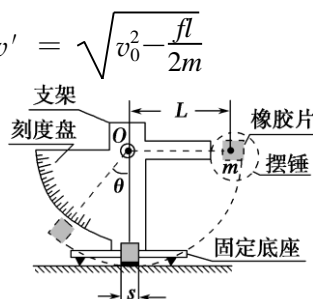
$$\text{由④⑦解得 } v_1 = \sqrt{v_0^2 - \frac{fl}{2m}}, \text{ 当 } v < \sqrt{v_0^2 - \frac{fl}{2m}} \text{ 时, } v' = v$$

$$\text{当 } \sqrt{v_0^2 - \frac{fl}{2m}} \leq v \leq \sqrt{v_0^2 + \frac{3fl}{2m}} \text{ 时, } v' = \sqrt{v_0^2 - \frac{fl}{2m}}$$

$$\text{答案 (1)} \frac{f}{k} \text{ (2)} \sqrt{v_0^2 + \frac{3fl}{2m}}$$

$$(3) \text{当 } v < \sqrt{v_0^2 - \frac{fl}{2m}} \text{ 时, } v' = v$$

$$\text{当 } \sqrt{v_0^2 - \frac{fl}{2m}} \leq v \leq \sqrt{v_0^2 + \frac{3fl}{2m}} \text{ 时, } v' = \sqrt{v_0^2 - \frac{fl}{2m}}$$



4. (2012 重庆卷, 23)如图所示为一种摆式摩擦因数测量仪, 可测量轮胎与地面间动摩擦因数, 其主要部件有: 底部固定有轮胎橡胶片的摆锤和连接摆锤的轻质细杆, 摆锤的质量为 m 、细杆可绕轴 O 在竖直平面内自由转动, 摆锤重心到 O 点距离为 L , 测量时, 测量仪固定于水平地面, 将摆锤从与 O 等高的位置处静止释放. 摆锤到最低点附近时, 橡胶片紧压地面擦过一小段距离 s ($s \ll L$), 之后继续摆至与竖直方向成 θ 角的最高位置. 若摆锤对地面的压力可视为大小为 F 的恒力, 重力加速度为 g , 求:

- (1)摆锤在上述过程中损失的机械能；
 (2)在上述过程中摩擦力对摆锤所做的功；
 (3)橡胶片与地面之间的动摩擦因数。

解析 (1)选从右侧最高点到左侧最高点的过程研究。因为初、末状态动能为零，所以全程损失的机械能 ΔE 等于减少的重力势能，即： $\Delta E = mgL\cos\theta$ 。①

(2)对全程应用动能定理： $W_G + W_f = 0$ ，②

$W_G = mgL\cos\theta$ ，③

由②、③得 $W_f = -W_G = -mgL\cos\theta$ ④

(3)由滑动摩擦力公式得 $f = \mu F_N$ ，⑤

摩擦力做的功 $W_f = -fs$ ，⑥

④、⑤式代入⑥式得： $\mu = \frac{mgL\cos\theta}{F_N}$ 。⑦

答案 (1) $mgL\cos\theta$ (2) $-mgL\cos\theta$ (3) $\frac{mgL\cos\theta}{F_N}$

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 对动能定理的理解

1. (单选)关于运动物体所受的合外力、合外力做的功及动能变化的关系，下列说法正确的是()。
- A. 合外力为零，则合外力做功一定为零
 B. 合外力做功为零，则合外力一定为零
 C. 合外力做功越多，则动能一定越大
 D. 动能不变，则物体合外力一定为零

解析 合外力为零，则物体可能静止，也可能做匀速直线运动，这两种情况合外力做功均为零，所以合外力做功一定为零，A对；合外力做功为零或动能不变，合外力不一定为零，如匀速圆周运动，故B、D错；合外力做功越多，动能变化越大，而不是动能越大，故C错。

答案 A

2. (多选)如图5-2-7所示，一块长木板B放在光滑的水平面上，在B上放一物体A，现以恒定的外力拉B，由于A、B间摩擦力的作用，A将在B上滑动，以地面为参考系，A、B都向前移动一段距离。在此过程中()。

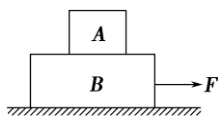


图 5-2-7

- A. 外力 F 做的功等于 A 和 B 动能的增量
 B. B 对 A 的摩擦力所做的功，等于 A 的动能增量
 C. A 对 B 的摩擦力所做的功，等于 B 对 A 的摩擦力所做的功
 D. 外力 F 对 B 做的功等于 B 的动能的增量与 B 克服摩擦力所做的功之和

解析 A 物体所受的合外力等于 B 对 A 的摩擦力，对 A 物体运用动能定理，则有 B 对 A 的摩擦力所做的功等于 A 的动能的增量，即 B 对；A 对 B 的摩擦力与 B 对 A 的摩擦力是一对作用力与反作用力，大小相等，方向相反，但是由于 A 在 B 上滑动，A、B 对地的位移不等，故二者做功不等，C 错；对 B 应用动能定理， $W_F - W_{f_f} = \Delta E_{kB}$ ，即 $W_F = \Delta E_{kB} + W_{f_f}$ 就是外力 F 对 B 做的功，等于 B 的动能增量与 B 克服摩擦力所做的功之和，D 对；由前述讨论知 B 克服摩擦力所做的功与 A 的动能增量(等于 B 对 A 的摩擦力所做的功)不等，故 A 错。

答案 BD

3. (多选)如图5-2-8所示，卷扬机的绳索通过定滑轮用力 F 拉位于粗糙斜面上的木箱，使之沿斜

面向上加速移动. 在移动的过程中, 下列说法中正确的是().

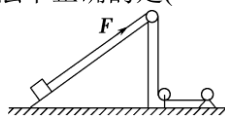


图 5-2-8

- A. F 对木箱做的功等于木箱增加的动能与木箱克服摩擦力所做的功之和
- B. F 对木箱做的功等于木箱克服摩擦力和克服重力所做的功之和
- C. 木箱克服重力所做的功等于木箱增加的重力势能
- D. F 对木箱做的功等于木箱增加的机械能与木箱克服摩擦力做的功之和

解析 木箱在上升过程中, 由动能定理可知: $W_F - mgh - W_f = \Delta E_k$, 故有 $W_F = mgh + W_f + \Delta E_k$, 由此可知 A、B 错误, D 正确; 木箱上升过程中, 重力做负功, 重力势能增加, 木箱克服重力做的功等于木箱增加的重力势能.

答案 CD

题组二 利用动能定理求变力的功

4. (单选)如图 5-2-9 所示, 一质量为 m 的质点在半径为 R 的半球形容器中(容器固定)由静止开始自边缘上的 A 点滑下, 到达最低点 B 时, 它对容器的正压力为 F_N . 重力加速度为 g , 则质点自 A 滑到 B 的过程中, 摩擦力对其所做的功为().

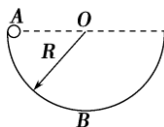


图 5-2-9

- A. $\frac{1}{2}R(F_N - 3mg)$
- B. $\frac{1}{2}R(3mg - F_N)$
- C. $\frac{1}{2}R(F_N - mg)$
- D. $\frac{1}{2}R(F_N - 2mg)$

解析 质点到达最低点 B 时, 它对容器的正压力为 F_N , 根据牛顿第二定律有 $F_N - mg = m\frac{v^2}{R}$, 根据动能定理, 质点自 A 滑到 B 的过程中有 $W_f + mgR = \frac{1}{2}mv^2$, 故摩擦力对其所做的功 $W_f = \frac{1}{2}RF_N - \frac{3}{2}mgR$, 故 A 项正确.

答案 A

5. (单选)如图 5-2-10 所示, 劲度系数为 k 的弹簧下端悬挂一个质量为 m 的重物, 处于静止状态. 手托重物使之缓慢上移, 直到弹簧恢复原长, 手对重物做的功为 W_1 . 然后放手使重物从静止开始下落, 重物下落过程中的最大速度为 v , 不计空气阻力. 重物从静止开始下落到速度最大的过程中, 弹簧对重物做的功为 W_2 , 则().

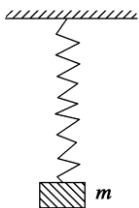


图 5-2-10

- A. $W_1 > \frac{m^2g^2}{k}$
- B. $W_1 < \frac{m^2g^2}{k}$
- C. $W_2 = \frac{1}{2}mv^2$
- D. $W_2 = \frac{m^2g^2}{k} - \frac{1}{2}mv^2$

解析 设 x 为弹簧伸长的长度, 由胡克定律得 $mg = kx$. 手托重物使之缓慢上移, 直到弹簧恢复原长, 重物的重力势能增加了 $mgx = \frac{m^2g^2}{k}$, 弹簧的弹力对重物做了功, 所以手对重物做的功 $W_1 < \frac{m^2g^2}{k}$, 选项 B 正确; 由动能定理知 $W_2 + \frac{m^2g^2}{k} = \frac{1}{2}mv^2$, 则 C、D 错.

答案 B

6. (单选)如图 5-2-11 所示, 质量为 m 的物块与转台之间的最大静摩擦力为物块重力的 k 倍, 物块与转轴 OO' 相距 R , 物块随转台由静止开始转动, 转速缓慢增大, 当转速增加到一定值时, 物块即

将在转台上滑动，在物块由静止到滑动前的这一过程中，转台的摩擦力对物块做的功最接近()。

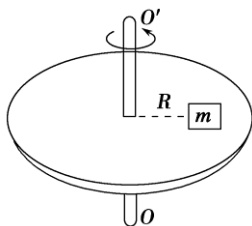
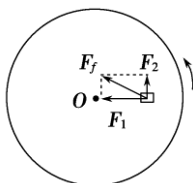


图 5-2-11

- A. 0 B. $2\pi kmgR$ C. $2kmgR$ D. $\frac{1}{2}kmgR$



解析 在转速增加的过程中，转台对物块的摩擦力是不断变化的，当转速增加到一定值时，物块在转台上即将滑动，说明此时静摩擦力 F_f 达到最大，其指向圆心的分量 F_1 提供向心力，即 $F_1 = m\frac{v^2}{R}$ ①

由于转台缓慢加速，使物块加速的分力 F_2 很小，因此可近似认为 $F_1 = F_f = kmg$ ②

在这一过程中对物块由动能定理，有 $W_f = \frac{1}{2}mv^2$ ③

由①②③知，转台对物块所做的功 $W_1 = \frac{1}{2}kmgR$ 。

答案 D

题组三 动能定理的应用

7. (2013 河北质检)(单选)如图 5-2-12 所示，分别将两个完全相同的等腰直角三角形木块的一直角边和斜边固定在水平地面上。现一小物块分别从木块顶点由静止开始下滑，若小物块与木块各边之间的动摩擦因数均相同，当小物块分别滑到木块底端时动能之比为()。

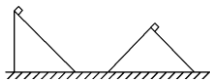


图 5-2-12

- A. $\sqrt{2}:1$ B. $1:\sqrt{2}$ C. $2:1$ D. $1:2$

解析 设直角边长为 L ，根据动能定理分别有 $mgL - \mu mg\cos 45^\circ \sqrt{2}L = E_{k1} - 0$ ， $mgL\sin 45^\circ - \mu mgL\cos 45^\circ = E_{k2} - 0$ ，得 $E_{k1}:E_{k2} = \sqrt{2}:1$ ，只有选项 A 正确。

答案 A

8. (单选)质量均为 m 的两物块 A、B 以一定的初速度在水平面上只受摩擦力而滑动，如图 5-2-13 所示是它们滑动的最大位移 x 与初速度的平方 v_0^2 的关系图象，已知 $v_{02}^2 = 2v_{01}^2$ ，下列描述中正确的是()。

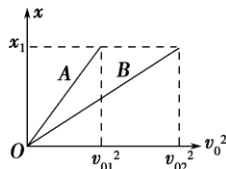


图 5-2-13

- A. 若 A、B 滑行的初速度相等，则到它们都停下来时滑动摩擦力对 A 做的功是对 B 做功的 2 倍
 B. 若 A、B 滑行的初速度相等，则到它们都停下来时滑动摩擦力对 A 做的功是对 B 做功的 $\frac{1}{2}$
 C. 若 A、B 滑行的最大位移相等，则滑动摩擦力对它们做的功相等
 D. 若 A、B 滑行的最大位移相等，则滑动摩擦力对 B 做的功是对 A 做功的 2 倍

解析 由于两物块质量均为 m ，若 A、B 滑行的初速度相等则初动能相等，由动能定理得 $-W_f = 0$

$-\frac{1}{2}mv_0^2$ ，即滑动摩擦力做的功相等，A、B 错；若 A、B 滑行的最大位移相等，由题意可知 $v_{02}^2 = 2v_{01}^2$ ，B 的初动能是 A 的初动能的 2 倍，滑动摩擦力对 B 做的功是对 A 做功的 2 倍，C 错，D 对。

答案 D

9. 如图 5-2-14 所示，在竖直平面内固定有两个很靠近的同心圆形轨道，外圆 ABCD 光滑，内圆的上半部分 B' C' D' 粗糙，下半部分 B' A' D' 光滑。一质量为 $m=0.2\text{ kg}$ 的小球从外轨道的最低点 A 处以初速度 v_0 向右运动，小球的直径略小于两圆的间距，小球运动的轨道半径 $R=0.2\text{ m}$ ，取 $g=10\text{ m/s}^2$ 。

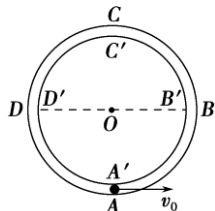


图 5-2-14

(1)若要使小球始终紧贴着外圆做完整的圆周运动，初速度 v_0 至少为多少？

(2)若 $v_0=3\text{ m/s}$ ，经过一段时间后小球到达最高点，内轨道对小球的支持力 $F_C=2\text{ N}$ ，则小球在这段时间内克服摩擦力做的功是多少？

(3)若 $v_0=3.1\text{ m/s}$ ，经过足够长的时间后，小球经过最低点 A 时受到的支持力为多少？小球在整个运动过程中减少的机械能是多少？

解析 (1)设此情形下小球到达外轨道的最高点的最小速度为 v_C ，则由牛顿第二定律可得 $mg = \frac{mv_C^2}{R}$

由动能定理可知 $-2mgR = \frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

代入数据解得： $v_0 = \sqrt{10}\text{ m/s}$ 。

(2)设此时小球到达最高点的速度为 $v_{C'}$ ，克服摩擦力做的功为 W ，则由牛顿第二定律可得 $mg - F_C = \frac{mv_{C'}^2}{R}$

由动能定理可知 $-2mgR - W = \frac{1}{2}mv_{C'}^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

代入数据解得： $W = 0.1\text{ J}$

(3)经足够长的时间后，小球在下半圆轨道内做往复运动。设小球经过最低点的速度为 v_A ，受到的支持力为 F_A ，则由动能定理可知 $mgR = \frac{1}{2}mv_A^2$

根据牛顿第二定律可得 $F_A - mg = \frac{mv_A^2}{R}$

代入数据解得： $F_A = 3mg = 6\text{ N}$

设小球在整个运动过程中减少的机械能为 ΔE ，由功能关系有 $\Delta E = \frac{1}{2}mv_0^2 - mgR$

代入数据解得： $\Delta E = 0.561\text{ J}$

答案 (1) $\sqrt{10}\text{ m/s}$ (2)0.1 J (3)0.561 J

B 深化训练——提高能力技巧

10. (2013 辽宁五校协作体联考)(单选)将一小球从高处水平抛出，最初 2 s 内小球动能 E_k 与时间 t 的关系如图 5-2-15 所示，不计空气阻力，重力加速度 $g=10\text{ m/s}^2$ 。根据图象信息，不能确定的物理量是()。

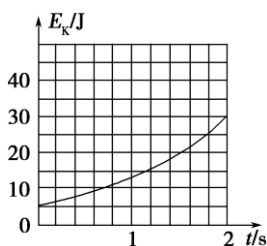


图 5-2-15

- A. 小球的质量 B. 小球的初速度
C. 最初 2 s 内重力对小球做功的平均功率
D. 小球抛出时的高度

解析 2 s 末小球竖直分速度 $v_y = gt_2 = 10 \times 2 \text{ m/s} = 20 \text{ m/s}$, 由图象知小球的初动能为 5 J, 即 $\frac{1}{2}mv_0^2 = 5 \text{ J}$ 2 s 末小球的动能为 30 J, 即 $\frac{1}{2}m(v_0^2 + v_y^2) = 30 \text{ J}$, 联立可求出小球的质量 m 和初速度 v_0 ; 由 $P = mg \frac{0 + v_y}{2}$ 可求出最初 2 s 内重力对小球做功的平均功率, 由 $h_2 = \frac{1}{2}gt_2^2$ 只能求出最初 2 s 内小球下落高度, 而无法确定小球抛出时的高度.

答案 D

11. (2013 湖北荆州一模)(多选)某科技创新小组设计制作出一种全自动升降机模型, 用电动机通过钢丝绳拉着质量为 m 的升降机由静止开始匀加速上升, 当升降机的速度为 v_1 时, 电动机的功率达到最大值 P , 以后电动机保持该功率不变, 直到升降机以最大速度 v_2 匀速上升为止. 整个过程中忽略一切阻力和钢丝绳的质量, 重力加速度为 g , 则下列说法正确的是().

- A. 钢丝绳的最大拉力为 $\frac{P}{v_2}$
B. 升降机的最大速度 $v_2 = \frac{P}{mg}$
C. 钢丝绳的拉力对升降机所做的功等于升降机克服升降机重力所做的功
D. 升降机速度由 v_1 增大至 v_2 的过程中, 钢丝绳的拉力不断减小

解析 当升降机的速度为 v_1 前, 钢丝绳的拉力最大且为 $\frac{P}{v_1}$, 选项 A 错误; 当钢丝绳的拉力 $F = mg$ 时升降机的速度达到最大 $v_2 = \frac{P}{F} = \frac{P}{mg}$, 选项 B 正确; 根据动能定理有 $W_F - W_G = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$, 由于 $v_2 > v_1$, 所以 $W_F \neq W_G$, 即选项 C 错误; 由 $P = Fv$ 知, P 不变时 F 随 v 的增大而减小, 选项 D 正确.

答案 BD

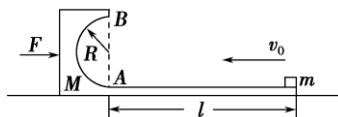


图 5-2-16

12. (2013 山东省济宁市模拟, 22)光滑水平面上, 一个长木板与半径 R 未知的半圆组成如图 5-2-16 所示的装置,

装置质量 $M = 5 \text{ kg}$. 在装置的右端放一质量为 $m = 1 \text{ kg}$ 的小滑块(可视为质点), 小滑块与长木板间的动摩擦因数 $\mu = 0.5$, 装置与小滑块一起以 $v_0 = 10 \text{ m/s}$ 的速度向左运动. 现给装置加一个 $F = 55 \text{ N}$ 向右的水平推力, 小滑块与长木板发生相对滑动, 当小滑块滑至长木板左端 A 时, 装置速度恰好减速为 0, 此时撤去外力 F 并将装置锁定. 小滑块继续沿半圆形轨道运动, 且恰好能通过轨道最高点 B. 滑块脱离半圆形轨道后又落回长木板. 已知小滑块在通过半圆形轨道时克服摩擦力做功 $W_f = 2.5 \text{ J}$. g 取 10 m/s^2 . 求:

- (1) 装置运动的时间和位移;
(2) 长木板的长度 l ;
(3) 小滑块最后落回长木板上的落点离 A 的距离.

解析 (1) 对 M : $F - \mu mg = Ma_1$

解得: $a_1 = 10 \text{ m/s}^2$

设装置运动的时间为 t_1 , 由 $v_0 - a_1 t_1 = 0$

解得: $t_1 = 1 \text{ s}$

装置向左运动的距离: $x_1 = v_0 t_1 - \frac{1}{2} a_1 t_1^2 = 5 \text{ m}$

(2) 对 m : $\mu mg = ma_2$, 解得 $a_2 = 5 \text{ m/s}^2$

设滑块到 A 点的速度为 v_1 ，则 $v_1 = v_0 - a_2 t_1$

解得： $v_1 = 5 \text{ m/s}$

小滑块向左运动的距离： $x_2 = v_0 t_1 - \frac{1}{2} a_2 t_1^2 = 7.5 \text{ m}$

则木板长为 $l = x_2 - x_1 = 2.5 \text{ m}$

(3) 设滑块在 B 点的速度为 v_2 ，从 A 至 B：

$$-mg \times 2R - W_f = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

在 B 点： $mg = m \frac{v_2^2}{R}$

联立解得： $R = 0.4 \text{ m}$ ， $v_2 = 2 \text{ m/s}$

小滑块平抛运动时： $2R = \frac{1}{2} g t_2^2$

落点离 A 的距离： $x = v_2 t_2$ ，解得： $x = 0.8 \text{ m}$

答案 (1) 1 s 5 m (2) 2.5 m (3) 0.8 m

第 3 讲 机械能守恒定律 功能关系

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点 1

重力做功与重力势能 (考纲要求 II)

1. 重力做功的特点

(1) 重力做功与路径无关，只与始末位置的高度差有关。

(2) 重力做功不引起物体机械能的变化。

2. 重力做功与重力势能变化的关系

(1) 定性关系：重力对物体做正功，重力势能就减小；重力对物体做负功，重力势能就增大。

(2) 定量关系：重力对物体做的功等于物体重力势能的减小量。即 $W_G = -(E_{p2} - E_{p1}) = E_{p1} - E_{p2}$ 。

(3) 重力势能的变化量是绝对的，与参考面的选取无关。

3. 弹性势能

(1) 概念：物体由于发生弹性形变而具有的能。

(2) 大小：弹簧的弹性势能的大小与形变量及劲度系数有关，弹簧的形变量越大，劲度系数越大，弹簧的弹性势能越大。

(3) 弹力做功与弹性势能变化的关系：类似于重力做功与重力势能变化的关系，用公式表示： $W = -\Delta E_p$ 。

判断正误，正确的划“√”，错误的划“×”。

(1) 重力势能的大小与零势能参考面的选取有关。()

(2) 重力势能的变化与零势能参考面的选取无关。()

(3) 被举到高处的物体重力势能一定不为零。()

(4) 克服重力做功，物体的重力势能一定增加。()

(5) 发生弹性形变的物体都具有弹性势能。()

答案 (1) √ (2) √ (3) × (4) √ (5) √

考点 2

机械能守恒定律及其应用 (考纲要求 II)

1. 机械能：动能和势能统称为机械能，其中势能包括弹性势能和重力势能。

2. 机械能守恒定律

(1) 内容：在只有重力或弹力做功的物体系统内，动能与势能可以相互转化，而总的机械能保持不变。

(2) 表达式：

$$mgh_1 + \frac{1}{2} m v_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2} m v_2^2$$

3. 守恒条件：只有重力或弹簧的弹力做功。

思维深化 2 判断正误，正确的划“√”，错误的划“×”。

(1)物体所受的合外力为零,物体的机械能一定守恒.()

(2)合外力做功为零,物体的机械能一定守恒.()

(3)物体除受重力或弹力外,还存在其他力作用,但其他力不做功,只有重力或弹力做功,物体的机械能一定守恒.()

答案 (1)× (2)× (3)√

考点3

功能关系 (考纲要求 II)

1.功能关系

(1)功是能量转化的量度,即做了多少功就有多少能量发生了转化.

(2)做功的过程一定伴随着能量的转化,而且能量的转化必须通过做功来实现.

2. 能量守恒定律

(1)内容:能量既不会消灭,也不会创生.它只会从一种形式转化为其他形式,或者从一个物体转移到另一个物体,而在转化和转移的过程中,能量的总量保持不变.

(2)表达式: $\Delta E_{\text{减}} = \Delta E_{\text{增}}$.

思维深化 3 判断正误,正确的划“√”,错误的划“×”.

(1)力对物体做了多少功,物体就有多少能.()

(2)物体在速度增大时,其机械能可能在减小.()

(3)滑动摩擦力做功时,一定会引起机械能的转化.()

(4)物体只发生动能和势能的相互转化时,物体的机械能一定守恒.()

答案 (1)× (2)√ (3)√ (4)√

基础自测

1. (单选)关于重力势能,下列说法中正确的是().

A. 物体的位置一旦确定,它的重力势能的大小也随之确定

B. 物体与零势能面的距离越大,它的重力势能也越大

C. 一个物体的重力势能从-5 J变化到-3 J,重力势能减少了

D. 重力势能的减少量等于重力对物体做的功

解析 物体的重力势能与参考面有关,同一物体在同一位置相对不同的参考面的重力势能不同,A选项错.物体在零势能面以上,距零势能面的距离越大,重力势能越大;物体在零势能面以下,距零势能面的距离越大,重力势能越小,B选项错.重力势能中的正、负号表示大小,-5 J的重力势能小于-3 J的重力势能,C选项错.重力做的功等于重力势能的变化,D选项对.

答案 D

2. (单选)自由下落的物体,其动能 E_k 与位移 h 的关系如图 5-3-1 所示.则图中直线的斜率表示该物体的().

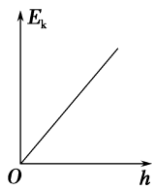


图 5-3-1

A. 质量

B. 机械能

C. 重力大小

D. 重力加速度

解析 由机械能守恒定律, $E_k = mgh$, 动能 E_k 与位移 h 的关系图线的斜率表示该物体的重力大小,选项 C 正确.

答案 C

3. (多选)如图 5-3-2 所示,一轻弹簧的左端固定,右端与一小球相连,小球静止于光滑水平面上.现对小球施加一个水平向右的恒力 F , 使小球从静止开始运动,则小球在向右运动的整个过程中,下列说

法正确的是().

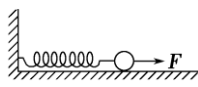


图 5-3-2

- A. 小球和弹簧组成的系统机械能守恒
- B. 小球和弹簧组成的系统机械能逐渐增大
- C. 小球的动能逐渐增大
- D. 小球的动能先逐渐增大后逐渐减小

解析 小球在向右运动的整个过程中, 恒力 F 对小球和弹簧组成的系统做正功, 由功能关系知, 系统机械能逐渐增大, 选项 B 正确, A 错误; 当恒力 F 与弹簧对小球的拉力 T 平衡时, 动能最大, 可见小球在向右运动的整个过程中动能先逐渐增大后逐渐减小, 选项 D 正确, C 错误.

答案 BD

4. (单选) 升降机底板上放一质量为 100 kg 的物体, 物体随升降机由静止开始竖直向上移动 5 m 时速度达到 4 m/s, 则此过程中(g 取 10 m/s^2)().

- A. 升降机对物体做功 5 800 J
- B. 合外力对物体做功 5 800 J
- C. 物体的重力势能增加 500 J
- D. 物体的机械能增加 800 J

解析 根据动能定理得 $W_{\text{升}} - mgh = \frac{1}{2}mv^2$, 可解得 $W_{\text{升}} = 5\,800 \text{ J}$, A 正确; 合外力做的功为 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 100 \times 4^2 \text{ J} = 800 \text{ J}$, B 错误; 物体重力势能增加 $mgh = 100 \times 10 \times 5 \text{ J} = 5\,000 \text{ J}$, C 错误; 物体机械能增加 $\Delta E = Fh = W_{\text{升}} = 5\,800 \text{ J}$, D 错.

答案 A

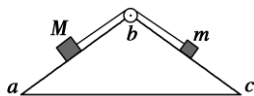


图 5-3-3

5. (2013 山东卷, 16)(多选) 如图 5-3-3 所示, 楔形木块 abc 固定在水面上, 粗糙斜面 ab 和光滑斜面 bc 与水平面的夹角相同, 顶角 b 处安装一定滑轮, 质量分别为 M 、 m ($M > m$) 的滑块, 通过不可伸长的轻绳跨过定滑轮连接, 轻绳与斜面平行. 两滑块由静止释放后, 沿斜面做匀加速运动. 若不计滑轮的质量和摩擦, 在两滑块沿斜面运动的过程中().

- A. 两滑块组成系统的机械能守恒
- B. 重力对 M 做的功等于 M 动能的增加
- C. 轻绳对 m 做的功等于 m 机械能的增加
- D. 两滑块组成系统的机械能损失等于 M 克服摩擦力做的功

解析 除重力以外其他力对物体做的功等于物体机械能的变化, 故 M 克服摩擦力做的功等于两滑块组成的系统机械能的减少量, 拉力对 m 做的功等于 m 机械能的增加量, 选项 C、D 正确.

答案 CD

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 对机械能守恒定律的理解与应用

1. 机械能守恒的条件(任一条件均可)

- (1) 物体只受重力作用.
- (2) 存在其他力作用, 但其他力不做功, 而只有重力(或弹簧弹力)做功.
- (3) 相互作用的物体组成的系统只有动能和势能的相互转化, 无其他形式能量的转化.

2. 机械能守恒定律的表达式

$\Delta E_p = -\Delta E_k$; (不需要选零势能面)

$E_k + E_p = E_k' + E_p'$; (一定要选零势能面)

$\Delta E_{\text{增}} = \Delta E_{\text{减}}$. (不需要选零势能面)

【典例 1】(2013 广东卷, 19) 如图 5-3-4 所示, 游乐场中, 从高处 A 到水面 B 处有两条长度相

同的光滑轨道。甲、乙两小孩沿不同轨道同时从 A 处自由滑向 B 处，下列说法正确的有()。

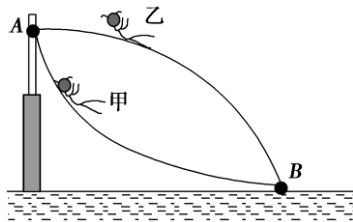
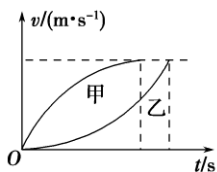


图 5-3-4

- A. 甲的切向加速度始终比乙的大
- B. 甲、乙在同一高度的速度大小相等
- C. 甲、乙在同一时刻总能到达同一高度
- D. 甲比乙先到达 B 处

审题指导 甲、乙两小孩沿不同轨道从 A 运动到 B 时，只有重力做功，根据机械能守恒定律和甲、乙两小孩运动的速度—时间图象解决问题。



解析 甲、乙两小孩沿光滑轨道从 A 运动到 B ，只有重力做功，根据机械能守恒定律，得 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ ，即 $v = \sqrt{2gh}$ ，所以甲、乙两小孩在同一高度时，速度大小相等，选项 B 正确；甲、乙两小孩在运动过程的速率—时间图象如图所示。由速率—时间图象可知，选项 A、C 错误，选项 D 正确。

答案 BD

反思总结 机械能守恒的判定方法

(1)做功条件分析法：若物体系统内只有重力和弹簧弹力做功，其他力均不做功，则系统的机械能守恒。

(2)能量转化分析法：若只有系统内物体间动能和重力势能及弹性势能的相互转化，系统跟外界没有发生机械能的传递，机械能也没有转变成其他形式的能(如没有内能增加)，则系统的机械能守恒。

【跟踪短训】

1. 如图 5-3-5 所示，在轻弹簧的下端悬挂一个质量为 m 的小球 A ，若将小球 A 从弹簧原长位置由静止释放，小球 A 能够下降的最大高度为 h 。若将小球 A 换为质量为 $2m$ 的小球 B ，仍从弹簧原长位置由静止释放，已知重力加速度为 g ，不计空气阻力，则小球 B 下降 h 时的速度为(重力加速度为 g ，不计空气阻力)()。

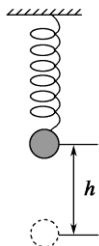


图 5-3-5

- A. $\sqrt{2gh}$
- B. \sqrt{gh}
- C. $\sqrt{\frac{gh}{2}}$
- D. 0

解析 对弹簧和小球 A ，根据机械能守恒定律得弹性势能 $E_p = mgh$ ；对弹簧和小球 B ，根据机械能守恒定律有 $E_p + \frac{1}{2} \times 2mv^2 = 2mgh$ ，得小球 B 下降 h 时的速度 $v = \sqrt{gh}$ ，只有选项 B 正确。

答案 B

热点二 机械能守恒定律的综合应用

应用机械能守恒定律解题的一般步骤

- (1)选取研究对象 $\left\{ \begin{array}{l} \text{单个物体} \\ \text{多个物体组成的系统} \\ \text{含弹簧的系统} \end{array} \right.$

- (2)分析受力情况和各力做功情况，确定是否符合机械能守恒条件。
 (3)确定初末状态的机械能或运动过程中物体机械能的转化情况。
 (4)选择合适的表达式列出方程，进行求解。
 (5)对计算结果进行必要的讨论和说明。

【典例 2】 (2013 浙江卷, 23)山谷中有三块石头和一根不可伸长的轻质青藤，其示意图如图 5-3-6 中 A、B、C、D 均为石头的边缘点，O 为青藤的固定点， $h_1=1.8\text{ m}$ ， $h_2=4.0\text{ m}$ ， $x_1=4.8\text{ m}$ ， $x_2=8.0\text{ m}$ 。开始时，质量分别为 $M=10\text{ kg}$ 和 $m=2\text{ kg}$ 的大、小两只滇金丝猴分别位于左边和中间的石头上，当大猴发现小猴将受到伤害时，迅速从左边石头的 A 点水平跳至中间石头。大猴抱起小猴跑到 C 点，抓住青藤下端，荡到右边石头上的 D 点，此时速度恰好为零。运动过程中猴子均可看成质点，空气阻力不计，重力加速度 $g=10\text{ m/s}^2$ 。求：

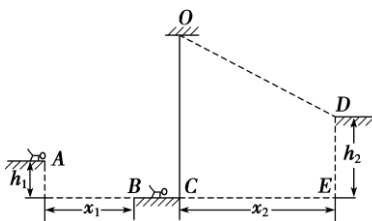


图 5-3-6

- (1)大猴从 A 点水平跳离时速度的最小值；
 (2)猴子抓住青藤荡起时的速度大小；
 (3)猴子荡起时，青藤对猴子的拉力大小。

审题指导 (1)大猴从 A→B，做什么运动？其运动规律 $x_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $h_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(2)猴子抓住青藤荡起，从 C→D，受几个力作用？其中有哪些力做功？机械能是否守恒？

(3)猴子荡起时，(c 点)分析猴子受力，列牛顿第二定律方程 $\underline{\hspace{4cm}}$ 。

解析 (1)设猴子从 A 点水平跳离时速度的最小值为 v_{\min} ，

根据平抛运动规律，有 $h_1 = \frac{1}{2}gt^2$ ①

$$x_1 = v_{\min}t \text{ ②}$$

$$\text{联立①、②式，得 } v_{\min} = 8\text{ m/s} \text{ ③}$$

(2)猴子抓住青藤后的运动过程中机械能守恒，设荡起时速度为 v_C ，

$$\text{有 } (M+m)gh_2 = \frac{1}{2}(M+m)v_C^2 \text{ ④}$$

$$v_C = \sqrt{2gh_2} = \sqrt{80}\text{ m/s} \approx 9\text{ m/s} \text{ ⑤}$$

(3)设拉力为 F_T ，青藤的长度为 L 。对最低点，

$$\text{由牛顿第二定律得 } F_T - (M+m)g = (M+m)\frac{v_C^2}{L} \text{ ⑥}$$

$$\text{由几何关系 } (L - h_2)^2 + x_2^2 = L^2 \text{ ⑦}$$

$$\text{得： } L = 10\text{ m} \text{ ⑧}$$

综合⑤、⑥、⑧式并代入数据解得：

$$F_T = (M+m)g + (M+m)\frac{v_C^2}{L} = 216\text{ N}$$

答案 (1)8 m/s (2)约 9 m/s (3)216 N

反思总结 用机械能守恒定律解题应注意的问题

(1)列方程时，选取的表达角度不同，表达式不同，对参考平面的选取要求也不一定相同。

(2)应用机械能守恒能解决的问题，应用动能定理同样能解决，但其解题思路和表达式有所不同。

【跟踪短训】

2. 如图 5-3-7 所示, 两个 $\frac{3}{4}$ 竖直圆弧轨道固定在同一水平地面上, 半径 R 相同, 左侧轨道由金属凹槽制成, 右侧轨道由金属圆管制成, 且均可视为光滑. 在两轨道右侧的正上方分别将金属小球 A 和 B 由静止释放, 小球距离地面的高度分别为 h_A 和 h_B , 下列说法正确的是().

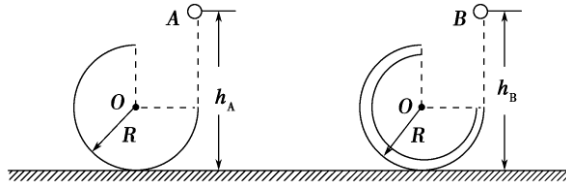


图 5-3-7

- A. 若使小球 A 沿轨道运动并且从最高点飞出, 释放的最小高度为 $\frac{5R}{2}$
- B. 若使小球 B 沿轨道运动并且从最高点飞出, 释放的最小高度为 $\frac{5R}{2}$
- C. 适当调整 h_A , 可使 A 球从轨道最高点飞出后, 恰好落在轨道右端口处
- D. 适当调整 h_B , 可使 B 球从轨道最高点飞出后, 恰好落在轨道右端口处

解析 小球 A 从最高点飞出的最小速度为 $v_A = \sqrt{gR}$, 由机械能守恒: $mgh_A = 2mgR + \frac{1}{2}mv_A^2$, 则 $h_A = \frac{5R}{2}$, A 选项正确; 小球 B 从最高点飞出的最小速度为 $v_B = 0$, 由机械能守恒, $mgh_B = 2mgR$, 释放的最小高度为 $h_B = 2R$, B 选项错误; 要使小球 A 或 B 从轨道最高点飞出后, 恰好落在轨道右端口处, 需满足: $R = v_0 t$, $R = \frac{1}{2}gt^2$, 则 $v_0 = \sqrt{\frac{gR}{2}}$, 而 A 球的最小速度 $v_A = \sqrt{gR} > v_0$, A 球不可能落在轨道右端口处, B 球可能, C 选项错误、 D 选项正确.

答案 AD

3. (2013 德州模拟)如图 5-3-8 所示, 在同一竖直平面内, 一轻质弹簧一端固定, 另一自由端恰好与水平线 AB 平齐, 静止放于倾角为 53° 的光滑斜面上. 一长为 $L=9\text{ cm}$ 的轻质细绳一端固定在 O 点, 另一端系一质量为 $m=1\text{ kg}$ 的小球, 将细绳拉至水平, 使小球在位置 C 由静止释放, 小球到达最低点 D 时, 细绳刚好被拉断. 之后小球在运动过程中恰好沿斜面方向将弹簧压缩, 最大压缩量为 $x=5\text{ cm}$. ($g=10\text{ m/s}^2$, $\sin 53^\circ=0.8$, $\cos 53^\circ=0.6$) 求:

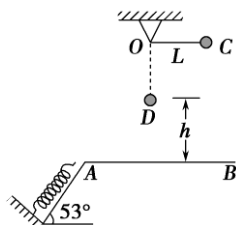


图 5-3-8

- (1) 细绳受到的拉力的最大值;
- (2) D 点到水平线 AB 的高度 h ;
- (3) 弹簧所获得的最大弹性势能 E_p .

解析 (1) 小球由 C 到 D , 由机械能守恒定律得:

$$mgL = \frac{1}{2}mv_1^2, \text{ 解得 } v_1 = \sqrt{2gL} \text{ ①}$$

$$\text{在 } D \text{ 点, 由牛顿第二定律得 } F - mg = m\frac{v_1^2}{L} \text{ ②}$$

由①②解得 $F = 30\text{ N}$

由牛顿第三定律知细绳所能承受的最大拉力为 30 N .

(2) 由 D 到 A , 小球做平抛运动 $v_y^2 = 2gh$ ③

$$\tan 53^\circ = \frac{v_y}{v_1} \text{ ④}$$

联立解得 $h = 16 \text{ cm}$

(3) 小球从 C 点到将弹簧压缩至最短的过程中, 小球与弹簧系统的机械能守恒, 即 $E_p = mg(L + h + x \sin 53^\circ)$, 代入数据得: $E_p = 2.9 \text{ J}$.

答案 (1) 30 N (2) 16 cm (3) 2.9 J

热点三 对功能关系的理解及应用

几种常见的功能关系及其表达式

力做功	能的变化	定量关系
合力的功	动能变化	$W = E_{k2} - E_{k1} = \Delta E_k$
重力的功	重力势能变化	(1) 重力做正功, 重力势能减少 (2) 重力做负功, 重力势能增加 (3) $W_G = -\Delta E_p = E_{p1} - E_{p2}$
弹簧弹力的功	弹性势能变化	(1) 弹力做正功, 弹性势能减少 (2) 弹力做负功, 弹性势能增加 (3) $W_F = -\Delta E_p = E_{p1} - E_{p2}$
只有重力、弹簧弹力做功	不引起机械能变化	机械能守恒 $\Delta E = 0$
除重力和弹簧弹力之外的其他力做的功	机械能变化	(1) 其他力做多少正功, 物体的机械能就增加多少 (2) 其他力做多少负功, 物体的机械能就减少多少 (3) $W = \Delta E$
一对相互作用的滑动摩擦力的总功	内能变化	(1) 作用于系统的一对滑动摩擦力一定做负功, 系统内能增加 (2) $Q = F_f L_{\text{相对}}$

【典例 3】

(2013 大纲全国卷, 20) 如图 5-3-9 所示, 一固定斜面倾角为 30° , 一质量为 m 的小物块自斜面底端以一定的初速度, 沿斜面向上做匀减速运动, 加速度的大小等于重力加速度的大小 g . 若物块上升的最大高度为 H , 则此过程中, 物块的().

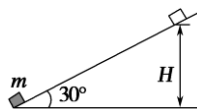


图 5-3-9

- A. 动能损失了 $2mgH$ B. 动能损失了 mgH
C. 机械能损失了 mgH D. 机械能损失了 $\frac{1}{2}mgH$

解析 运动过程中有摩擦力做功, 考虑动能定理和功能关系. 物块以大小为 g 的加速度沿斜面向上做匀减速运动, 运动过程中 $F_{\text{合}} = mg$, 由受力分析知摩擦力 $f = \frac{1}{2}mg$, 当上升高度为 H 时, 位移 $s = 2H$, 由动能定理得 $\Delta E_k = -2mgH$; 由功能关系知 $\Delta E = W_f = -\frac{1}{2}mgs = -mgH$, 选项 A、C 正确.

答案 AC

反思总结 功能关系问题的解答技巧

对各种功能关系熟记于心, 力学范围内, 应牢固掌握以下三条功能关系:

- (1) 重力的功等于重力势能的变化, 弹力的功等于弹性势能的变化;
- (2) 合外力的功等于动能的变化;
- (3) 除重力、弹力外, 其他力的功等于机械能的变化.

运用功能关系解题时, 应弄清楚重力做什么功, 合外力做什么功, 除重力、弹力外的力做什么功,

从而判断重力势能或弹性势能、动能、机械能的变化。

【跟踪短训】

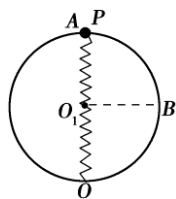


图 5-3-10

4. 如图 5-3-10 所示, 一小球 P 套在竖直放置的光滑固定圆环上, 圆环的半径为 R , 环上的 B 点与圆心 O_1 等高, 一原长为 R 的轻弹簧下端固定在环的最低点 O 上, 上端与球 P 连接. 现使小球 P 以很小的初速度(可视为零)从环的最高点 A 开始向右沿环下滑, 若不计空气阻力, 弹簧始终处于弹性限度内, 则下列说法正确的是().

- A. 小球 P 在下滑过程中弹簧的弹性势能逐渐减少
- B. 小球 P 在下滑过程中机械能守恒
- C. 小球 P 在下滑过程中机械能先逐渐增加后逐渐减少
- D. 小球 P 在到达 B 点之后向下滑动的过程中动能先逐渐增加后逐渐减少

解析 轻弹簧的原长为 R , 小球 P 运动到 B 、 O 两点间某位置时受到弹簧的弹力为零, 弹性势能最小, 可见, 小球 P 在下滑过程中弹簧的弹性势能先逐渐减少后逐渐增加, 选项 A 错误; 小球 P 和弹簧组成的系统机械能守恒, 但对小球 P 机械能不守恒, 而是先逐渐增加后逐渐减少, 选项 C 正确, B 错误; 小球 P 到达 B 点下方环上某点时合力为零, 动能最大, 可见, 小球 P 在到达 B 点之后向下滑动的过程中动能先逐渐增加后逐渐减少, 选项 D 正确.

答案 CD

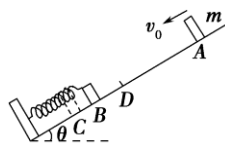


图 5-3-11

5. 如图 5-3-11 所示, 一物体质量 $m=2\text{ kg}$, 在倾角为 $\theta=37^\circ$ 的斜面上的 A 点以初速度 $v_0=3\text{ m/s}$ 下滑, A 点距弹簧上端 B 的距离 $AB=4\text{ m}$. 当物体到达 B 后将弹簧压缩到 C 点, 最大压缩量 $BC=0.2\text{ m}$, 然后物体又被弹簧弹上去, 弹到的最高位置为 D 点, D 点距 A 点 $AD=3\text{ m}$. 挡板及弹簧质量不计, g 取 10 m/s^2 , $\sin 37^\circ=0.6$, 求:

- (1) 物体与斜面间的动摩擦因数 μ .
- (2) 弹簧的最大弹性势能 E_{pm} .

解析 (1) 物体从开始位置 A 点到最后 D 点的过程中, 弹性势能没有发生变化, 动能和重力势能减少, 机械能的减少量为 $\Delta E = \Delta E_k + \Delta E_p = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgl_{AD}\sin 37^\circ$ ①

物体克服摩擦力产生的热量为 $Q = F_f x$ ②

其中 x 为物体的路程, 即 $x = 5.4\text{ m}$ ③

$F_f = \mu mg \cos 37^\circ$ ④

由能量守恒定律可得 $\Delta E = Q$ ⑤

由①②③④⑤式解得 $\mu = 0.52$.

(2) 由 A 到 C 的过程中, 动能减少 $\Delta E_k' = \frac{1}{2}mv_0^2$ ⑥

重力势能减少 $\Delta E_p' = mgl_{AC}\sin 37^\circ$ ⑦

摩擦生热 $Q = F_f l_{AC} = \mu mg \cos 37^\circ l_{AC}$ ⑧

由能量守恒定律得弹簧的最大弹性势能为

$\Delta E_{\text{pm}} = \Delta E_k' + \Delta E_p' - Q$ ⑨

联立⑥⑦⑧⑨解得 $\Delta E_{\text{pm}} = 24.5 \text{ J}$.

答案 (1)0.52 (2)24.5 J

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

物理建模 8. 摩擦力做功及传送带中的能量问题

1. 模型条件

(1) 传送带匀速或加速运动.

(2) 物体以初速度 v_0 滑上传送带或轻轻放于传送带上, 物体与传送带间有摩擦力.

(3) 物体与传送带之间有相对滑动.

2. 模型特点

(1) 若物体轻轻放在匀速运动的传送带上, 物体一定要和传送带之间产生相对滑动, 物体一定受到沿传送带前进方向的摩擦力.

(2) 若物体静止在传送带上, 与传送带一起由静止开始加速, 如果动摩擦因数较大, 则物体随传送带一起加速; 如果动摩擦因数较小, 则物体将跟不上传送带的运动, 相对传送带向后滑动.

(3) 若物体与水平传送带一起匀速运动, 则物体与传送带之间没有摩擦力; 若传送带是倾斜的, 则物体受到沿传送带向上的静摩擦力作用.

3. 功能关系

(1) 功能关系分析: $W_F = \Delta E_k + \Delta E_p + Q$

(2) 对 W_F 和 Q 的理解:

① 传送带的功: $W_F = Fx_{\text{传}}$

② 产生的内能 $Q = F_f x_{\text{相对}}$

【典例】 (2013 云南部分名校统考, 24) 如图 5-3-12 所示, 与水平面夹角为 $\theta = 30^\circ$ 的倾斜传送带始终绷紧, 传送带下端 A 点与上端 B 点间的距离为 $L = 4 \text{ m}$, 传送带以恒定的速率 $v = 2 \text{ m/s}$ 向上运动. 现将一质量为 1 kg 的物体无初速度地放于 A 处, 已知物体与传送带间的动摩擦因数 $\mu = \frac{\sqrt{3}}{2}$, 取 $g = 10 \text{ m/s}^2$, 求:

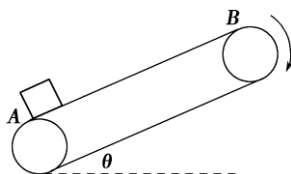


图 5-3-12

(1) 物体从 A 运动到 B 共需多少时间?

(2) 电动机因传送该物体多消耗的电能.

解析 (1) 物体无初速度放在 A 处后, 因 $mg\sin\theta < \mu mg\cos\theta$, 则物体斜向上做匀加速直线运动,

$$\text{加速度 } a = \frac{\mu mg\cos\theta - mg\sin\theta}{m} = 2.5 \text{ m/s}^2$$

$$\text{物体达到与传送带同速所需的时间 } t_1 = \frac{v}{a} = 0.8 \text{ s}$$

$$t_1 \text{ 时间内物体的位移 } L_1 = \frac{v}{2}t_1 = 0.8 \text{ m}$$

之后物体以速度 v_1 做匀速运动, 运动的时间

$$t_2 = \frac{L - L_1}{v} = 1.6 \text{ s}$$

物体运动的总时间 $t = t_1 + t_2 = 2.4 \text{ s}$

(2) 前 0.8 s 内物体相对传送带的位移为

$$\Delta L = vt_1 - L_1 = 0.8 \text{ m}$$

因摩擦而产生的内能 $E_{\text{内}} = \mu mg\cos\theta \cdot \Delta L = 6 \text{ J}$

$$E_{\text{总}} = E_k + E_p + E_{\text{内}} = \frac{1}{2}mv^2 + mgL\sin\theta + E_{\text{内}} = 28 \text{ J}$$

答案 (1)2.4 s (2)28 J

反思总结 传送带模型问题的分析流程

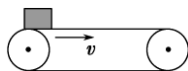
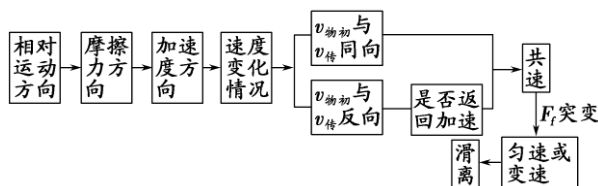


图 5-3-13

即学即练 (2013 陕西西工大附中适应考, 20)如图 5-3-13 所示, 质量为 m 的物体在水平传送带上由静止释放, 传送带由电动机带动, 始终保持以速率 v 匀速运动, 物体与传送带间的动摩擦因数为 μ , 物体过一会儿能保持与传送带相对静止, 对于物体从静止释放到相对传送带静止这一过程, 下列说法正确的是()。

- A. 电动机多做的功为 $\frac{1}{2}mv^2$
- B. 摩擦力对物体做的功为 $\frac{1}{2}mv^2$
- C. 电动机增加的功率为 μmgv
- D. 传送带克服摩擦力做功为 $\frac{1}{2}mv^2$

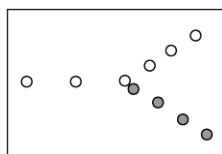
解析 由能量守恒知电动机多做的功为物体动能增量和摩擦生热 Q , 所以 A 项错; 根据动能定理,

对物体列方程, $W_f = \frac{1}{2}mv^2$, 所以 B 项正确; 因为电动机增加的功率 $P = \frac{\mu mg \frac{v}{2}t + \mu mg \frac{v}{2}t}{t} = \mu mgv$, C 项正确; 因为传送带与物体共速之前, 传送带的路程是物体路程的 2 倍, 所以传送带克服摩擦力做功为 $W = \mu mgx_{\text{传}} = 2\mu mgx_{\text{物}} = mv^2$, D 项错误。

答案 BC

对应高考题组

1. (2013 江苏卷, 5)水平面上, 一白球与一静止的灰球碰撞, 两球质量相等. 碰撞过程的频闪照片如图所示, 据此可推断, 碰撞过程中系统损失的动能约占碰撞前动能的()。



- A. 30%
- B. 50%
- C. 70%
- D. 90%

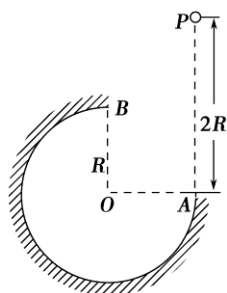
解析 由题图测量可得白、灰两球在碰撞前后相邻两次闪光时间内照片上球的间距分别为: $x_1 = 6$

mm、 $x_1' = x_2' = 3.5$ mm, 设照片的放大率为 k 、闪光周期为 T , 则有 $\frac{\frac{1}{2}m\left(\frac{x_1}{kT}\right)^2 - \frac{1}{2}m\left(\frac{x_1'}{kT}\right)^2 - \frac{1}{2}m\left(\frac{x_2'}{kT}\right)^2}{\frac{1}{2}m\left(\frac{x_1}{kT}\right)^2} =$

$\frac{x_1^2 - x_1'^2 - x_2'^2}{x_1^2} = 0.319$, 故 A 正确。

答案 A

2. (2012 安徽卷, 16)如图所示, 在竖直平面内有一半径为 R 的圆弧轨道, 半径 OA 水平、 OB 竖直, 一个质量为 m 的小球自 A 的正上方 P 点由静止开始自由下落, 小球沿轨道到达最高点 B 时恰好对轨道没有压力. 已知 $AP = 2R$, 重力加速度为 g , 则小球从 P 到 B 的运动过程中()。

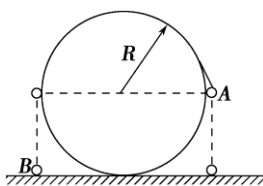


- A. 重力做功 $2mgR$
- B. 机械能减少 mgR
- C. 合外力做功 mgR
- D. 克服摩擦力做功 $\frac{1}{2}mgR$

解析 小球到达 B 点时，恰好对轨道没有压力，只受重力作用，根据 $mg = \frac{mv^2}{R}$ 得，小球在 B 点的速度 $v = \sqrt{gR}$ 。小球从 P 到 B 的过程中，重力做功 $W = mgR$ ，故选项 A 错误；减少的机械能 $\Delta E_{\text{减}} = mgR - \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mgR$ ，故选项 B 错误；合外力做功 $W_{\text{合}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mgR$ ，故选项 C 错误；根据动能定理得， $mgR - W_f = \frac{1}{2}mv^2 - 0$ ，所以 $W_f = mgR - \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mgR$ ，故选项 D 正确。

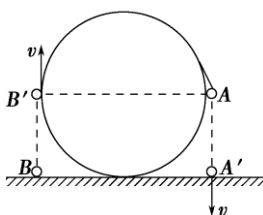
答案 D

3. (2012·上海卷, 16)如图所示，可视为质点的小球 A 、 B 用不可伸长的细软轻线连接，跨过固定在地面上半径为 R 的光滑圆柱， A 的质量为 B 的两倍。当 B 位于地面时， A 恰与圆柱轴心等高，将 A 由静止释放， B 上升的最大高度是()。



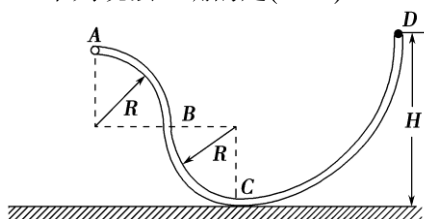
- A. $2R$
- B. $\frac{5R}{3}$
- C. $\frac{4R}{3}$
- D. $\frac{2R}{3}$

解析 如图所示，以 A 、 B 为系统，以地面为零势能面，设 A 质量为 $2m$ ， B 质量为 m ，根据机械能守恒定律有： $2mgR = mgR + \frac{1}{2} \times 3mv^2$ ， A 落地后 B 将以 v 做竖直上抛运动，即有 $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ ，解得 $h = \frac{1}{3}R$ 。则 B 上升的高度为 $R + \frac{1}{3}R = \frac{4}{3}R$ ，故选项 C 正确。



答案 C

4. (2012·浙江卷, 18)由光滑细管组成的轨道如图所示，其中 AB 段和 BC 段是半径为 R 的四分之一圆弧，轨道固定在竖直平面内。一质量为 m 的小球，从距离水平地面高为 H 的管口 D 处由静止释放，最后能够从 A 端水平抛出落到地面上。下列说法正确的是()。

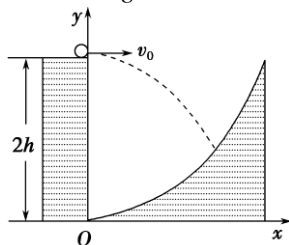


- A. 小球落到地面时相对于 A 点的水平位移值为 $2\sqrt{2RH-2R^2}$
 B. 小球落到地面时相对于 A 点的水平位移值为 $2\sqrt{2RH-4R^2}$
 C. 小球能从细管 A 端水平抛出的条件是 $H>2R$
 D. 小球能从细管 A 端水平抛出的最小高度 $H_{\min}=\frac{5}{2}R$

解析 要使小球从 A 点水平抛出, 则小球到达 A 点时的速度 $v>0$, 根据机械能守恒定律, 有 $mgH - mg2R = \frac{1}{2}mv^2$, 所以 $H>2R$, 故选项 C 正确、选项 D 错误; 小球从 A 点水平抛出时的速度 $v = \sqrt{2gH - 4gR}$, 小球离开 A 点后做平抛运动, 则有 $2R = \frac{1}{2}gt^2$, 水平位移 $x = vt$, 联立以上各式可得水平位移 $x = 2\sqrt{2RH - 4R^2}$, 选项 A 错误、选项 B 正确.

答案 BC

5. (2012 大纲全国卷, 26)一探险队员在探险时遇到一山沟, 山沟的一侧竖直, 另一侧的坡面呈抛物线形状. 此队员从山沟的竖直一侧, 以速度 v_0 沿水平方向跳向另一侧坡面. 如图所示, 以沟底的 O 点为原点建立坐标系 Oxy . 已知山沟竖直一侧的高度为 $2h$, 坡面的抛物线方程为 $y = \frac{1}{2h}x^2$; 探险队员的质量为 m . 人视为质点, 忽略空气阻力, 重力加速度为 g .



(1)求此人落到坡面时的动能;

(2)此人水平跳出的速度为多大时, 他落在坡面时的动能最小? 动能的最小值为多少?

解析 (1)设该队员在空中运动的时间为 t , 在坡面上落点的横坐标为 x , 纵坐标为 y . 由运动学公式和已知条件得,

$$x = v_0 t \quad ①$$

$$2h - y = \frac{1}{2}gt^2 \quad ②$$

$$\text{根据题意有 } y = \frac{x^2}{2h} \quad ③$$

由机械能守恒, 落到坡面时的动能为

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + mg(2h - y) \quad ④$$

$$\text{联立 } ①②③④ \text{ 式得 } \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\left(v_0^2 + \frac{4g^2h^2}{v_0^2 + gh}\right) \quad ⑤$$

$$(2)⑤ \text{ 式可以改写为 } v^2 = \left(\sqrt{v_0^2 + gh} - \frac{2gh}{\sqrt{v_0^2 + gh}}\right)^2 + 3gh \quad ⑥$$

v^2 取极小的条件为 ⑥ 式中的平方项等于 0, 由此得

$$v_0 = \sqrt{gh} \quad ⑦$$

$$\text{此时 } v^2 = 3gh, \text{ 则最小动能为 } \left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{\min} = \frac{3}{2}mgh. \quad ⑧$$

答案 见解析

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 机械能守恒定律及应用

1. (单选)关于机械能是否守恒,下列说法正确的是().

- A. 做匀速直线运动的物体机械能一定守恒
- B. 做圆周运动的物体机械能一定守恒
- C. 做变速运动的物体机械能可能守恒
- D. 合外力对物体做功不为零,机械能一定不守恒

解析 做匀速直线运动的物体与做圆周运动的物体,如果是在竖直平面内则机械能不守恒, A、B 错误;合外力做功不为零,机械能可能守恒, C 正确, D 错误.

答案 C

2. (多选)如图 5-3-14 所示,质量分别为 m 和 $2m$ 的两个小球 A 和 B,中间用轻质杆相连,在杆的中点 O 处有一固定转动轴,把杆置于水平位置后释放,在 B 球顺时针摆动到最低位置的过程中(不计一切摩擦)().

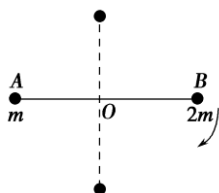


图 5-3-14

- A. B 球的重力势能减少,动能增加, B 球和地球组成的系统机械能守恒
- B. A 球的重力势能增加,动能也增加, A 球和地球组成的系统机械能不守恒
- C. A 球、B 球和地球组成的系统机械能守恒
- D. A 球、B 球和地球组成的系统机械能不守恒

解析 A 球在上摆过程中,重力势能增加,动能也增加,机械能增加, B 项正确;由于 A 球、B 球和地球组成的系统只有重力做功,故系统的机械能守恒, C 项正确, D 项错误;所以 B 球和地球组成系统的机械能一定减少, A 项错误.

答案 BC

3. (多选)某娱乐项目中,参与者抛出一小球去撞击触发器,从而进入下一关.现在将这个娱乐项目进行简化,假设参与者从触发器的正下方以速率 v 竖直上抛一小球,小球恰好击中触发器.若参与者仍在刚才的抛出点,沿 A、B、C、D 四个不同的光滑轨道分别以速率 v 抛出小球,如图 5-3-15 所示.则小球能够击中触发器的可能是().

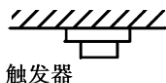
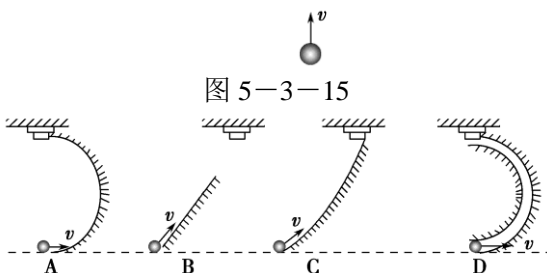


图 5-3-15



解析 竖直上抛时小球恰好击中触发器,则由 $-mgh = 0 - \frac{1}{2}mv^2$, $h = 2R$ 得 $v = 2\sqrt{gR}$.沿图 A 中轨道以速率 v 抛出小球,小球沿光滑圆弧内表面做圆周运动,到达最高点的速率应大于或等于 \sqrt{gR} ,所以不能到达圆弧最高点,即不能击中触发器.沿图 B 中轨道以速率 v 抛出小球,小球沿光滑斜面上滑一段后做斜抛运动,最高点具有水平方向的速度,所以也不能击中触发器.图 C 及图 D 中小球在轨道最高点速度均可以为零,由机械能守恒定律可知小球能够击中触发器.

答案 CD

4. (2013 苏州模拟)如图 5-3-16 所示, 水平地面与一半径为 l 的竖直光滑圆弧轨道相接于 B 点, 轨道上的 C 点位置处于圆心 O 的正下方. 在距地面高度为 l 的水平平台边缘上的 A 点, 质量为 m 的小球以 $v_0 = \sqrt{2gl}$ 的速度水平飞出, 小球在空中运动至 B 点时, 恰好沿圆弧轨道在该点的切线方向滑入轨道. 小球运动过程中空气阻力不计, 重力加速度为 g , 试求:

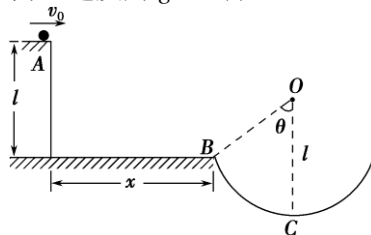


图 5-3-16

- (1) B 点与抛出点 A 正下方的水平距离 x ;
- (2) 圆弧 BC 段所对的圆心角 θ ;
- (3) 小球滑到 C 点时, 对圆轨道的压力.

解析 (1) 设小球做平抛运动到达 B 点的时间为 t , 由平抛运动规律, $l = \frac{1}{2}gt^2$, $x = v_0t$, 联立解得 $x = 2l$.

(2) 由小球到达 B 点时竖直分速度 $v_y^2 = 2gl$, $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0}$, 解得 $\theta = 45^\circ$.

(3) 小球从 A 运动到 C 点的过程中机械能守恒, 设到达 C 点时速度大小为 v_C , 有机械能守恒定律,

$$mgl \left(1 + 1 - \frac{\sqrt{2}}{2} \right) = \frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_0^2,$$

设轨道对小球的支持力为 F , 有: $F - mg = m\frac{v_C^2}{l}$,

解得: $F = (7 - \sqrt{2})mg$,

由牛顿第三定律可知, 小球对圆轨道的压力大小为

$$F' = (7 - \sqrt{2})mg, \text{ 方向竖直向下.}$$

答案 (1) $2l$ (2) 45° (3) $(7 - \sqrt{2})mg$ 竖直向下

题组二 功能关系的理解及应用

5. (2013 佛山二模)(单选) 竖直向上的恒力 F 作用在质量为 m 的物体上, 使物体从静止开始运动. 当物体升高 h 时, 速度为 v . 在运动过程中, 设阻力恒为 f , 则().

- A. 恒力 F 对物体做的功等于物体动能的增量
- B. 恒力 F 对物体做的功等于物体机械能的增量
- C. 恒力 F 与阻力 f 对物体做的功转化为物体的机械能
- D. 恒力 F 与阻力 f 对物体做的功等于物体机械能的增量

解析 整个运动过程中, 恒力 F 做正功, 阻力 f 做负功, 重力 mg 做负功, 由动能定理可知, 合外力所做的功等于物体动能的变化量, 故选项 A 错误; 根据功能原理, 除了重力(或弹力)以外的力所做的功等于物体机械能的变化量, 故选项 B 错误, D 正确; 功不能转化为能, 只能是能与能之间转化, 在能与能的转化过程中需要做功, 故选项 C 错误.

答案 D

6. (单选) 如图 5-3-17 所示, 竖立在水平面上的轻弹簧, 下端固定, 将一个金属球放在弹簧顶端(球与弹簧不连接), 用力向下压球, 使弹簧被压缩, 并用细线把小球和地面拴牢(图甲). 烧断细线后, 发现球被弹起且脱离弹簧后还能继续向上运动(图乙). 那么该球从细线被烧断到刚脱离弹簧的运动过程中, 下列说法正确的是().

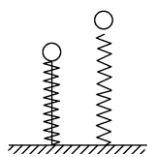


图 5-3-17

- A. 弹簧的弹性势能先减小后增大
- B. 球刚脱离弹簧时动能最大
- C. 球在最低点所受的弹力等于重力
- D. 在某一阶段内, 小球的动能减小而小球的机械能增加

解析 从细线被烧断到球刚脱离弹簧的运动过程中, 弹簧的弹性势能转化为小球的机械能, 弹性势能逐渐减小, 选项 A 错误; 当弹簧弹力与球重力相等时, 球的动能最大, 此后弹簧继续对球做正功, 但球的动能减小, 而球的机械能却增大, 所以选项 D 正确, B 错误; 小球能继续上升, 说明

在细线烧断瞬间小球在最低点时受到的弹力大于球的重力, 选项 C 错误.

答案 D

7. (多选)如图 5-3-18 所示, 轻质弹簧的一端与固定的竖直板 P 拴接, 另一端与物体 A 相连, 物体 A 置于光滑水平桌面上(桌面足够大), A 右端连接一细线, 细线绕过光滑的定滑轮与物体 B 相连. 开始时托住 B , 让 A 处于静止且细线恰好伸直, 然后由静止释放 B , 直至 B 获得最大速度. 下列有关该过程的分析中正确的是().

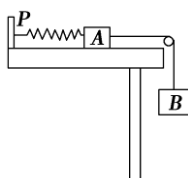


图 5-3-18

- A. B 物体受到细线的拉力保持不变
- B. B 物体机械能的减少量大于弹簧弹性势能的增加量
- C. A 物体动能的增量等于 B 物体重力对 B 做的功与弹簧弹力对 A 做的功之和
- D. A 物体与弹簧所组成的系统机械能的增加量等于细线拉力对 A 做的功

解析 对 A 、 B 的运动分析可知, A 、 B 做加速度越来越小的加速运动, 直至 A 和 B 达到最大速度, 从而可以判断细线对 B 物体的拉力越来越大, A 选项错误; 根据能量守恒定律知, B 的重力势能的减少转化为 A 、 B 的动能与弹簧的弹性势能的增加, 据此可判断 B 选项正确, C 选项错误; 而 A 物体动能的增量为细线拉力与弹簧弹力对 A 做功之和, 由此可知 D 选项正确.

答案 BD

8. (2013 文昌中学模拟)(单选)如图 5-3-19 所示, 长为 $2l$ 、质量为 m 、粗细均匀、质量分布均匀的软绳对称地挂在轻小的定滑轮两边, 用细线将物块 M 与软绳连接, 物块由静止释放后向下运动, 直到软绳刚好全部离开滑轮(此时物块未到达地面), 在此过程中().

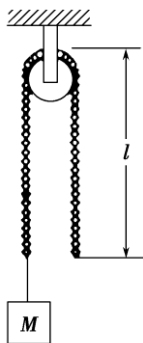


图 5-3-19

- A. 物块 M 的机械能逐渐增加

- B. 软绳的机械能逐渐增加
- C. 软绳重力势能共减少了 mgl
- D. 软绳重力势能的减少量等于物块机械能的增加量

解析 物块 M 向下运动过程中，细线对软绳有拉力，对物块也有拉力，细线对物块的拉力对物块做负功，物块 M 机械能减少，细线对软绳的拉力对软绳做正功，软绳机械能增加，故 A 错误，B 正确；以初态软绳下端所在水平面为零势能面，则初态软绳重力势能为 $E_{p1} = mg \frac{l}{2} = \frac{mgl}{2}$ ，末态软绳的重力势能为 $E_{p2} = 0$ ，故 $\Delta E_p = E_{p2} - E_{p1} = -\frac{mgl}{2}$ ，C 错误；根据机械能守恒定律可知，物块机械能的减少量应等于软绳机械能的增加量，D 错误。

答案 B

B 深化训练——提高能力技巧

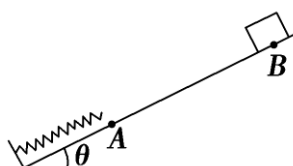


图 5-3-20

9. (2013 苏北四市质检)(多选)如图 5-3-20 所示，将一轻弹簧下端固定在倾角为 θ 的粗糙斜面底端，弹簧处于自然状态时上端位于 A 点。质量为 m 的物体从斜面上的 B 点由静止下滑，与弹簧发生相互作用后，最终停在斜面上。下列说法正确的是()。

- A. 物体最终将停在 A 点
- B. 物体第一次反弹后不可能到达 B 点
- C. 整个过程中重力势能的减少量大于克服摩擦力做的功
- D. 整个过程中物体的最大动能大于弹簧的最大弹性势能

解析 因物体由静止下滑，说明重力沿斜面的分力大于摩擦力，所以物体最终停下后一定要压缩弹簧，不可能停在 A 点，选项 A 错误；物体在运动过程中，克服摩擦力做功，将机械能转化为内能，所以物体第一次反弹后不可能到达 B 点，选项 B 正确；因整个过程中要克服摩擦力做功，最终压缩弹簧也要克服弹力做功，所以重力势能一部分转化为内能，另一部分转化为弹簧的弹性势能，选项 C 正确；整个过程中物体第一次向下运动到 A 点下方斜面上某一点时合力为零，速度最大，此时有最大动能 E_{km} ，从该点到速度为零的过程中，根据功能关系有 $E_{pm} = E_{km} + mgh - W_f$ ，由于重力做功 mgh 大于克服摩擦力做功 W_f ，所以 $E_{pm} > E_{km}$ ，即物体的最大动能小于弹簧的最大弹性势能，选项 D 项错。

答案 BC

10. (2013 东北三校一模, 20)(多选)如图 5-3-21 所示，两根等长的细线拴着两个小球在竖直平面内各自做圆周运动。某一时刻小球 1 运动到自身轨道的最低点，小球 2 恰好运动到自身轨道的最高点，这两点高度相同，此时两小球速度大小相同。若两小球质量均为 m ，忽略空气阻力的影响，则下列说法正确的是()。

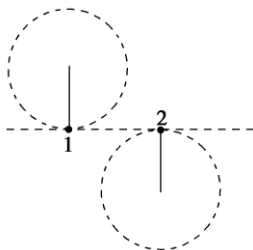


图 5-3-21

- A. 此刻两根线拉力大小相同
- B. 运动过程中，两根线上拉力的差值最大为 $2mg$
- C. 运动过程中，两根线上拉力的差值最大为 $10mg$

D. 若相对同一零势能面, 小球 1 在最高点的机械能等于小球 2 在最低点的机械能

解析 已知小球质量为 m , 当两小球运动到题中图示位置时, 设两球速度大小为 v , 此时两根细线的拉力分别为 F_1 和 F_2 , $F_1 - mg = m\frac{v^2}{L}$, $F_2 + mg = m\frac{v^2}{L}$, 故选项 A 错误. 易知小球 1 在最高点时细线的拉力 F_1' 最小, 设此时速度大小为 v_1 , 则有 $F_1' + mg = m\frac{v_1^2}{L}$, 再由机械能守恒定律有 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + 2mgL$; 小球 2 在最低点时细线的拉力 F_2' 最大, 设此时速度大小为 v_2 , 则有 $F_2' - mg = m\frac{v_2^2}{L}$, 再由机械能守恒定律有 $\frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}mv^2 + 2mgL$, 联立解得, 运动过程中两根线上拉力的差值最大为 $F_2' - F_1' = 2mg + m\frac{v_2^2 - v_1^2}{L} = 2mg + 8mg = 10mg$, 故选项 C 正确, B 错误. 取题中图示位置为零势能面, 由机械能守恒定律知选项 D 正确.

答案 CD

11. 如图 5-3-22 所示, 质量为 $m=1$ kg 的滑块, 在水平力作用下静止在倾角为 $\theta=30^\circ$ 的光滑斜面上, 斜面的末端 B 与水平传送带相接(滑块经过此位置滑上皮带时无能量损失), 传送带的运行速度为 $v_0=3$ m/s, 长为 $L=1.4$ m. 今将水平力撤去, 当滑块滑到传送带右端 C 时, 恰好与传送带速度相同. 滑块与传送带间的动摩擦因数 $\mu=0.25$, $g=10$ m/s².

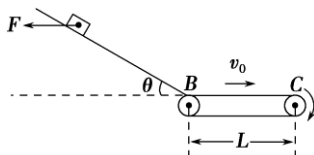


图 5-3-22

- (1)求水平作用力 F 的大小;
- (2)求滑块下滑的高度;
- (3)若滑块滑上传送带时速度大于 3 m/s, 求滑块在传送带上滑行的整个过程中产生的热量.

解析 (1)滑块受到水平推力 F 、重力 mg 和支持力 F_N 而处于平衡状态, 由平衡条件可知, 水平推力

$$F = mg \tan \theta, \text{ 代入数据得 } F = \frac{10\sqrt{3}}{3} \text{ N.}$$

(2)设滑块从高为 h 处下滑, 到达斜面底端速度为 v , 下滑过程机械能守恒, 故有 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$, 所以 $v = \sqrt{2gh}$

若滑块滑上传送带时的速度小于传送带速度, 则滑块在传送带上由于受到向右的滑动摩擦力而做匀加速运动; 根据动能定理有 $\mu mgL = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2$, 所以 $h_1 = \frac{v_0^2}{2g} - \mu L$, 代入数据得 $h_1 = 0.1$ m 若滑块冲上传送带时的速度大于传送带的速度, 则滑块由于受到向左的滑动摩擦力而做匀减速运动; 根据动能定理有 $-\mu mgL = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2$, 则 $h_2 = \frac{v_0^2}{2g} + \mu L$, 代入数据得 $h_2 = 0.8$ m.

(3)设滑块在传送带上运动的时间为 t , 则 t 时间内传送带的位移 $x = v_0 t$, $mgh_2 = \frac{1}{2}mv^2$, $v_0 = v - at$, $a = \mu g$

滑块相对传送带滑动的位移 $\Delta s = L - x$, 相对滑动产生的热量 $Q = \mu mg \Delta x$, 代入数据可得 $Q = 0.5$ J.

答案 (1) $\frac{10\sqrt{3}}{3}$ N (2) 0.1 m 或 0.8 m (3) 0.5 J

12. (2013 北京卷, 23)蹦床比赛分成预备运动和比赛动作两个阶段. 最初, 运动员静止站在蹦床上; 在预备运动阶段, 他经过若干次蹦跳, 逐渐增加上升高度, 最终达到完成比赛动作所需的高度; 此后, 进入比赛动作阶段.

把蹦床简化为一个竖直放置的轻弹簧, 弹力大小 $F=kx$ (x 为床面下沉的距离, k 为常量). 质量 $m=50$ kg 的运动员静止站在蹦床上, 床面下沉 $x_0=0.10$ m; 在预备运动中, 假定运动员所做的总功 W 全部

用于增加其机械能；在比赛动作中，把该运动员视作质点，其每次离开床面做竖直上抛运动的腾空时间均为 $\Delta t = 2.0 \text{ s}$ ，设运动员每次落下使床面压缩的最大深度均为 x_1 。取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，忽略空气阻力的影响。

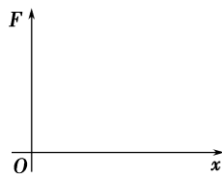
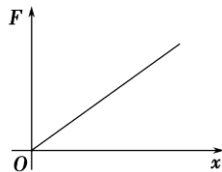


图 5-3-23

- (1) 求常量 k ，并在图 5-3-23 中画出弹力 F 随 x 变化的示意图；
- (2) 求在比赛动作中，运动员离开床面后上升的最大高度 h_m ；
- (3) 借助 $F-x$ 图象可以确定弹力做功的规律，在此基础上，求 x_1 和 W 的值。



解析 (1) 床面下沉 $x_0 = 0.10 \text{ m}$ 时，运动员受力平衡 $mg = kx_0$

$$\text{得 } k = \frac{mg}{x_0} = 5.0 \times 10^3 \text{ N/m}$$

$F-x$ 图线如图所示。

(2) 运动员从 $x = 0$ 处离开床面，开始腾空，其上升、下落的时间相等，所以运动员上升的最大高度为

$$h_m = \frac{1}{2}g\left(\frac{\Delta t}{2}\right)^2 = 5.0 \text{ m}.$$

(3) 参考由速度 - 时间图象求位移的方法， $F-x$ 图线下的面积等于弹力做的功，从 x 处到 $x = 0$ ，弹力做功 W_T

$$W_T = \frac{1}{2}x kx = \frac{1}{2}kx^2$$

运动员从 x_1 处上升到最大高度 h_m 的过程，根据动能定理，有 $\frac{1}{2}kx_1^2 - mg(x_1 + h_m) = 0 - 0$

$$\text{得 } x_1 = x_0 + \sqrt{x_0^2 + 2x_0h_m} = 1.1 \text{ m}$$

对整个预备运动，由题设条件以及动能关系，有

$$W + \frac{1}{2}kx_0^2 = mg(h_m + x_0)$$

$$\text{得 } W = 2525 \text{ J} \approx 2.5 \times 10^3 \text{ J}.$$

答案 (1) $5.0 \times 10^3 \text{ N/m}$ 如解析图所示 (2) 5.0 m

(3) 1.1 m $2.5 \times 10^3 \text{ J}$

专题五 应用动力学观点和能量观点解决力学压轴题

高考试题中常常以能量守恒为核心考查重力、摩擦力、电场力、磁场力的做功特点，以及动能定理、机械能守恒定律和能量守恒定律的应用。分析时应抓住能量核心和各种力做功的不同特点，运用动能定理和能量守恒定律进行分析。

常考点一 应用动力学方法和动能定理解决多过程问题

若一个物体参与了多个运动过程，有的运动过程只涉及分析力或求解力而不涉及能量问题，则常常用牛顿运动定律求解；若该过程涉及能量转化问题，并且具有功能关系的特点，则往往用动能定理求解。

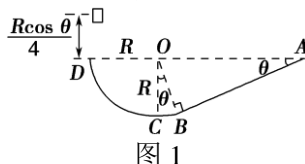


图 1

【典例 1】如图 1 所示，竖直固定放置的粗糙斜面 AB 的下端与光滑的圆弧 BCD 的 B 点相切，圆弧轨道的半径为 R ，圆心 O 与 A 、 D 在同一水平面上， C 点为圆弧轨道最低点， $\angle COB = \theta$ ，现在质量为 m 的小物体从距 D 点高度为 $\frac{R\cos\theta}{4}$ 的地方无初速度地释放，已知小物体恰能从 D 点进入圆弧轨道。求：

- (1) 为使小物体不会从 A 点冲出斜面，小物体与斜面间的动摩擦因数至少为多少？
- (2) 若小物体与斜面间的动摩擦因数 $\mu = \frac{\sin\theta}{2\cos\theta}$ ，则小物体在斜面上通过的总路程为多少？
- (3) 小物体通过圆弧轨道最低点 C 时，对 C 点的最大压力和最小压力各是多少？

审题指导 (1) 运动过程分析

自由落体运动 \longrightarrow 圆周运动 \longrightarrow 斜面上匀减速运动

(2) 找出小物体最终的运动状态

从 B 点开始做往复运动 \longrightarrow 此过程中机械能守恒

解析 (1) 为使小物体不会从 A 点冲出斜面，由动能定理得 $mg\frac{R\cos\theta}{4} - \mu_1 mg\cos\theta \frac{R\cos\theta}{\sin\theta} = 0$

解得动摩擦因数至少为 $\mu_1 = \frac{\sin\theta}{4\cos\theta}$

(2) 分析运动过程可得，最终小物体将在 BB' 圆弧间做往复运动 (B' 未画出)，由动能定理得

$$mg\left(\frac{R\cos\theta}{4} + R\cos\theta\right) - \mu mg\cos\theta = 0$$

解得小物体在斜面上通过的总路程为 $s = \frac{5R\cos\theta}{2\sin\theta}$

(3) 由于小物体第一次通过最低点时速度最大，此时压力最大，由动能定理得 $mg\left(\frac{R\cos\theta}{4} + R\right) = \frac{1}{2}mv^2$

由牛顿第二定律得 $F_{N\max} - mg = m\frac{v^2}{R}$

联立以上两式解得 $F_{N\max} = 3mg + \frac{1}{2}mg\cos\theta$

最终小物体将从 B 点开始做往复运动，则有

$$mgR(1 - \cos\theta) = \frac{1}{2}mv'^2, F_{N\min} - mg = m\frac{v'^2}{R}$$

联立以上两式，解得 $F_{N\min} = mg(3 - 2\cos\theta)$

由牛顿第三定律，得小物体通过圆弧轨道最低点 C 时，对 C 点的最大压力 $F_{N'}_{\max} = F_{N\max} = 3mg + \frac{1}{2}mg\cos\theta$

最小压力 $F_{N'}_{\min} = F_{N\min} = mg(3 - 2\cos\theta)$

答案 (1) $\frac{\sin\theta}{4\cos\theta}$ (2) $\frac{5R\cos\theta}{2\sin\theta}$ (3) $3mg + \frac{1}{2}mg\cos\theta$ $mg(3 - 2\cos\theta)$

即学即练 1 如图 2 所示，倾角为 α 的光滑斜面与半径为 $R = 0.4$ m 半圆形光滑轨道在同一竖直平面内，其中斜面与水平面 BE 光滑连接，水平面 BE 长为 $L = 0.4$ m，直径 CD 沿竖直方向， C 、 E 可看作重合。现有一可视为质点的小球从斜面上距 B 点竖直距离为 H 的地方由静止释放，小球在水平面上所受阻力为其重力的 $\frac{1}{5}$ 。(取 $g = 10$ m/s²)

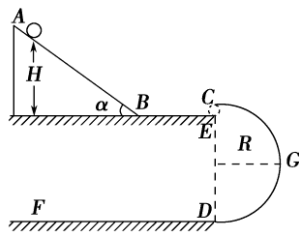


图 2

(1) 若要使小球经 E 处水平进入圆形轨道且能沿轨道运动， H 至少要多高？如小球恰能沿轨道运动，那么小球在水平面 DF 上能滑行多远？

(2) 若小球静止释放处离 B 点的高度 h 小于 (1) 中 H 的最小值，小球可击中与圆心等高的 G 点，求 h

的值.

解析 (1) 小球从光滑斜面轨道下滑机械能守恒, 设小球到达 B 点时的速度大小为 v . 则 $mgH = \frac{1}{2}mv^2$

因为小球在水平面所受阻力为其重力的 $\frac{1}{5}$

根据牛顿第二定律 $a = \frac{kmg}{m} = 2 \text{ m/s}^2$

$$v_E^2 - v^2 = -2aL$$

小球能在竖直平面内做圆周运动, 在圆形轨道最高点必须满足: $mg \leq m\frac{v_E^2}{R}$

联立以上几式并代入数据得: $H \geq 0.28 \text{ m}$

小球恰能沿轨道运动, 根据动能定理:

$$mg2R - kmgx = 0 - \frac{1}{2}mv_E^2, x = 5 \text{ m}.$$

(2) 若 $h < H$, 小球过 E 点后做平抛运动, 设小球经 E 点时的速度大小为 v_x , 则击中半圆中点 G 时: 竖直方向:

$$R = \frac{1}{2}gt^2, \text{ 水平方向: } R = v_x t$$

$$\text{由动能定理: } mgh - kmgL = \frac{1}{2}mv_x^2$$

联立以上三式并代入数据得 $h = 0.18 \text{ m}$.

答案 (1) $H \geq 0.28 \text{ m}$ 5 m (2) 0.18 m

常考点二 用动力学和机械能守恒定律解决多过程问题

若一个物体参与了多个运动过程, 有的过程只涉及运动和力的问题或只要求分析物体的动力学特点, 则要用动力学方法求解; 若某过程涉及到做功和能量转化问题, 则要考虑应用动能定理或机械能守恒定律求解.

【典例 2】如图 3 甲所示, 弯曲部分 AB 和 CD 是两个半径相等的四分之一圆弧, 中间的 BC 段是竖直的薄壁细圆管(细圆管内径略大于小球的直径), 细圆管分别与上、下圆弧轨道相切连接, BC 段的长度 L 可伸缩调节. 下圆弧轨道与水平面相切, D 、 A 分别是上、下圆弧轨道的最高点与最低点, 整个轨道固定在同一竖直平面内. 一小球多次以某一速度从 A 点水平进入轨道, 从 D 点水平飞出. 在 A 、 D 两点各放一个压力传感器, 测试小球对轨道 A 、 D 两点的压力, 计算出压力差 ΔF . 改变 BC 间距离 L , 重复上述实验, 最后绘得 $\Delta F - L$ 的图线如图乙所示. (不计一切摩擦阻力, g 取 10 m/s^2)

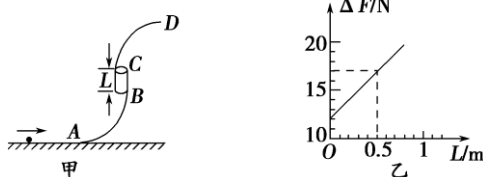


图 3

(1) 某一次调节后 D 点离地高度为 0.8 m . 小球从 D 点飞出, 落地点与 D 点的水平距离为 2.4 m , 求小球过 D 点时速度大小.

(2) 求小球的质量和圆弧轨道的半径大小.

审题指导 (1) 小球做平抛运动 \rightarrow 竖直高度求时间 $t \rightarrow$ 水平方向的初速度 v_0 .

(2) 小球从 A 点到 D 点, 满足机械能守恒定律.

(3) 分别对 A 点和 D 点, 应用向心力公式, 求 F_A 和 $F_D \rightarrow$ 压力差 ΔF 随 L 的函数式 \rightarrow 由图象的截距和斜率, 求小球的质量 m 和圆弧轨道半径 r .

解析 (1) 设小球过 D 点时速度为 v_0 小球在竖直方向上做自由落体运动, 则 $H_D = \frac{1}{2}gt^2$

水平方向做匀速直线运动 $x = v_0 t$

由以上两式代入数据解得 $v_0 = 6 \text{ m/s}$.

(2) 设圆弧轨道的半径为 r ，由 A 到 D 过程中小球机械能守恒 $\frac{1}{2}mv_A^2 = \frac{1}{2}mv_D^2 + mg(2r + L)$

在 A 点： $F_A - mg = m\frac{v_A^2}{r}$

在 D 点： $F_D + mg = m\frac{v_D^2}{r}$

所以 $\Delta F = F_A - F_D = 6mg + 2mg\frac{L}{r}$

由图象纵截距得： $6mg = 12 \text{ N}$

解得 $m = 0.2 \text{ kg}$ ，当 $L = 0.5 \text{ m}$ 时， $\Delta F = 17 \text{ N}$

代入数据解得： $r = 0.4 \text{ m}$

答案 (1) 6 m/s (2) 0.2 kg 0.4 m

反思总结 机械能守恒定律与圆周运动综合的问题是力学命题最热的组合形式之一，求解的关键是抓好两个分析：(1) 状态分析，找到圆周运动的临界状态及有关向心力问题，如题中的 A 和 D 点；(2) 过程分析，利用机械能守恒定律求解几个状态之间的关系，如 A 到 D 过程机械能守恒，有 $\frac{1}{2}mv_A^2 = \frac{1}{2}mv_D^2 + mg(2r + L)$ 。

即学即练 2 如图 4 所示，一个斜面与竖直方向的夹角为 30° ，斜面的下端与第一个光滑圆形管道相切，第二个光滑圆形管道与第一个圆形管道也相切。两个光滑圆形管道粗细不计，其半径均为 R ，小物块可以看作质点。小物块与斜面的动摩擦因数为 μ ，物块由静止从某一高度沿斜面下滑，至圆形管道的最低点 A 时，对轨道的压力是重力的 7 倍。求：

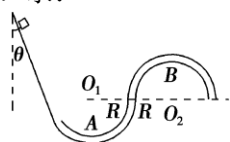


图 4

(1) 物块到达 A 点时的速度；

(2) 物块到达最高点 B 时，对管道压力的大小与方向；

(3) 物块在斜面上滑动的的时间。

解析 (1) 设小物块在 A 点时速度为 v_A ，由牛顿第二定律得 $7mg - mg = m\frac{v_A^2}{R}$ ①

解①式得 $v_A = \sqrt{6gR}$ ②

(2) 设小物块在 B 点时速度为 v_B ，

从 A 到 B ，小物块机械能守恒，有

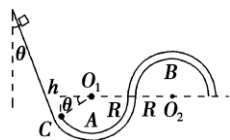
$$\frac{1}{2}mv_A^2 = mg \cdot 2R + \frac{1}{2}mv_B^2$$
 ③

解得 $v_B = \sqrt{2gR} > \sqrt{gR}$ ，所以小物块对上管壁有压力

由牛顿第二定律得 $F_N + mg = m\frac{v_B^2}{R}$ ④

解得 $F_N = mg$ ⑤

由牛顿第三定律知，物块对轨道压力的大小为 mg ，方向竖直向上。



(3) 如图所示，设斜面末端为 C ，物块在此点的速度为 v_C ，从 C 到 A 过程机械能守恒，有

$$\frac{1}{2}mv_C^2 + mgh = \frac{1}{2}mv_A^2$$
 ⑥

由几何关系得 $h = R(1 - \sin 30^\circ)$ ⑦

物块在斜面上运动，由牛顿第二定律得

$$mg\cos 30^\circ - \mu mg\sin 30^\circ = ma \textcircled{8}$$

由运动规律得 $v_C = at \textcircled{9}$

$$\text{解 } \textcircled{2} \textcircled{6} \textcircled{7} \textcircled{8} \textcircled{9} \text{ 式得 } t = \frac{1}{\sqrt{3} - \mu} \sqrt{\frac{20R}{g}} \textcircled{10}$$

答案 (1) $\sqrt{6gR}$ (2) mg , 方向竖直向上

$$(3) \frac{1}{\sqrt{3} - \mu} \sqrt{\frac{20R}{g}}$$

常考点三 应用动力学观点和功能关系解决力学综合问题

求解相对滑动物体的能量问题的方法

(1) 正确分析物体的运动过程, 做好受力情况分析.

(2) 利用运动学公式, 结合牛顿第二定律分析物体的速度关系及位移关系.

(3) 公式 $Q = F_f l_{\text{相对}}$ 中 $l_{\text{相对}}$ 为两接触物体间的相对位移, 若物体在传送带上往复运动时, 则 $l_{\text{相对}}$ 为总的相对路程.

【典例 3】如图 5 所示, 质量为 $m = 1 \text{ kg}$ 的可视质点的小物块轻轻放在水平匀速运动的传送带上的 P 点, 随传送带运动到 A 点后水平抛出, 小物块恰好无碰撞的沿圆弧切线从 B 点进入竖直光滑圆弧轨道下滑, 圆弧轨道与质量为 $M = 2 \text{ kg}$ 的足够长的小车左端在最低点 O 点相切, 并在 O 点滑上小车, 水平地面光滑, 当物块运动到障碍物 Q 处时与 Q 发生无机械能损失的碰撞, 碰撞前物块和小车已经相对静止, 而小车可继续向右运动(物块始终在小车上), 小车运动过程中和圆弧无相互作用. 已知圆弧半径 $R = 1.0 \text{ m}$, 圆弧对应的圆心角 θ 为 53° , A 点距水平面的高度 $h = 0.8 \text{ m}$, 物块与小车间的动摩擦因数为 $\mu = 0.1$, 重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$, $\sin 53^\circ = 0.8$, $\cos 53^\circ = 0.6$. 试求:

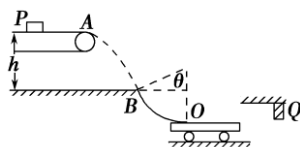


图 5

(1) 小物块离开 A 点的水平初速度 v_1 ;

(2) 小物块经过 O 点时对轨道的压力;

(3) 第一次碰撞后直至静止, 物块相对小车的位移和小车做匀减速运动的总时间.

解析 (1) 对小物块由 A 到 B 有: $v_y^2 = 2gh \textcircled{1}$

$$\text{在 } B \text{ 点: } \tan \theta = \frac{v_y}{v_1} \textcircled{2}$$

$$\text{解得 } v_1 = 3 \text{ m/s} \textcircled{3}$$

(2) 由 A 到 O , 根据动能定理有:

$$mg(h + R - R\cos \theta) = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \textcircled{4}$$

$$\text{在 } O \text{ 点: } F_N - mg = m\frac{v_0^2}{R} \textcircled{5}$$

$$\text{解得: } v_0 = \sqrt{33} \text{ m/s}, F_N = 43 \text{ N} \textcircled{6}$$

由牛顿第三定律知, 小物块对轨道的压力 $F_N' = 43 \text{ N} \textcircled{7}$

(3) 摩擦力 $F_f = \mu mg = 1 \text{ N}$, 物块滑上小车后经过时间 t 达到的共同速度为 v_t , 则 $\frac{v_0 - v_t}{a_m} = \frac{v_t}{a_M}, a_m = 2a_M$,

$$\text{得 } v_t = \frac{\sqrt{33}}{3} \text{ m/s} \textcircled{8}$$

由于碰撞不损失能量, 物块在小车上重复做匀减速和匀加速运动, 相对小车始终向左运动, 物块与小车最终静止, 摩擦力做功使动能全部转化为内能, 故有:

$$F_f l_{\text{相}} = \frac{1}{2}(M + m)v_t^2 \text{ 得 } l_{\text{相}} = 5.5 \text{ m} \textcircled{9}$$

小车从物块碰撞后开始匀减速运动，(每个减速阶段)加速度 a 不变 $a_M = \frac{F_f}{M} = 0.5 \text{ m/s}^2$ ， $v_t = a_M t$ 得 $t =$

$$\frac{2}{3}\sqrt{33} \text{ s} \text{⑩}$$

答案 (1)3 m/s (2)43 N (3)5.5 m $\frac{2}{3}\sqrt{33} \text{ s}$

反思总结 (1)在⑤中，不注意受力分析，将关系式写成 $F_N = m\frac{v_0^2}{R}$ ，得出 $F_N = 33 \text{ N}$ 。

(2)在⑦中，忘记应用牛顿第三定律。

(3)在⑩中，分析不清小车的运动规律，此关系式无法列出。

即学即练 3 一个平板小车置于光滑水平面上，其右端恰好和一个 $\frac{1}{4}$ 光滑圆弧轨道 AB 的底端等高对接，如图 6 所示。已知小车质量 $M=2 \text{ kg}$ ，小车足够长，圆弧轨道半径 $R=0.8 \text{ m}$ 。现将一质量 $m=0.5 \text{ kg}$ 的小滑块，由轨道顶端 A 点无初速度释放，滑块滑到 B 端后冲上小车。滑块与小车上表面间的动摩擦因数 $\mu=0.2$ 。(取 $g=10 \text{ m/s}^2$) 试求。

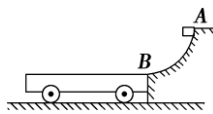


图 6

(1)滑块到达 B 端时，对轨道的压力大小；

(2)小车运动 2 s 时，小车右端距轨道 B 端的距离；

(3)滑块与车面间由于摩擦而产生的内能。

解析 (1)滑块从 A 端下滑到 B 端时速度大小为 v_0 ，由动能定理得 $mgR = \frac{1}{2}mv_0^2$ ， $v_0 = 4 \text{ m/s}$

在 B 点对滑块由牛顿第二定律得 $F_N - mg = m\frac{v_0^2}{R}$

解得轨道对滑块的支持力 $F_N = 3mg = 15 \text{ N}$

由牛顿第三定律得，滑块对轨道的压力大小 $F_N' = 15 \text{ N}$

(2)滑块滑上小车后，由牛顿第二定律

对滑块： $-\mu mg = ma_1$ ，得 $a_1 = -2 \text{ m/s}^2$ 得

对小车： $\mu mg = Ma_2$ ，得 $a_2 = 0.5 \text{ m/s}^2$

设经时间 t 后两者达到共同速度，则有 $v_0 + a_1 t = a_2 t$

解得 $t = 1.6 \text{ s}$

由于 $t = 1.6 \text{ s} < 2 \text{ s}$ ，故 1.6 s 后小车和滑块一起匀速运动，速度 $v = a_2 t = 0.8 \text{ m/s}$

因此，2 s 时小车右端距轨道 B 端的距离为

$$x = \frac{1}{2}a_2 t^2 + v(2 - t) = 0.96 \text{ m}$$

(3)滑块相对小车滑动的距离为

$$\Delta x = \frac{v_0 + v}{2}t - \frac{v}{2}t = 3.2 \text{ m}$$

所以产生的内能 $Q = \mu mg \Delta x = 3.2 \text{ J}$

答案 (1)15 N (2)0.96 m (3)3.2 J

专题强化练五

1. (2013 惠州市第三次调研)单板滑雪 U 形池如图 7 所示，由两个完全相同的 $\frac{1}{4}$ 圆弧滑道 AB 、 CD 和水平滑道 BC 构成，圆弧滑道的半径 $R=3.2 \text{ m}$ ， B 、 C 分别为圆弧滑道的最低点， B 、 C 间的距离 $s=7.5 \text{ m}$ ，假设某次比赛中运动员经过水平滑道 B 点时水平向右的速度 $v_B=16 \text{ m/s}$ ，运动员从 B 点运动到 C 点做匀变速直线运动所用的时间 $t=0.5 \text{ s}$ ，从 D 点跃起时的速度 $v_D=6.0 \text{ m/s}$ 。设运动员连同滑板的质量 $m=50 \text{ kg}$ ，忽略空气阻力的影响，重力加速度 g 取 10 m/s^2 。求：

- (1)运动员在 B 点对圆弧轨道的压力;
 (2)运动员从 D 点跃起后在空中运动的时间;
 (3)运动员从 C 点运动到 D 点的过程中需要克服摩擦阻力所做的功.



图 7

解析 (1)由 $F_N - mg = \frac{mv_B^2}{R}$, 可得 $F_N = 4\,500\text{ N}$

由牛顿第三定律知, 压力为 $4\,500\text{ N}$.

(2)运动员从 D 点跃起后在空中做竖直上抛运动, 设运动员上升的时间为 t_1 , 根据运动学公式 $v_D = gt_1$

运动员在空中完成动作的时间 $t' = 2t_1 = \frac{2v_D}{g} = 1.2\text{ s}$

(3)运动员从 B 点到 C 点, 做匀变速直线运动, 运动过程的平均速度 $\bar{v}_{BC} = \frac{s}{t} = \frac{v_B + v_C}{2}$

解得运动员到达 C 点时的速度

$$v_C = \frac{2s}{t} - v_B = 14.0\text{ m/s}$$

运动员从 C 点到 D 点的过程中, 克服摩擦力和重力做功, 根据动能定理 $-W_f - mgR = \frac{1}{2}mv_D^2 - \frac{1}{2}mv_C^2$

得运动员克服摩擦力做功 $W_f = \frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_D^2 - mgR$

代入数值解得 $W_f = 2\,400\text{ J}$

答案 (1) $4\,500\text{ N}$ (2) 1.2 s (3) $2\,400\text{ J}$

2. 飞机若仅依靠自身喷气式发动机产生的推力起飞需要较长的跑道, 某同学设计在航空母舰上安装电磁弹射器以缩短飞机起飞距离, 他的设计思想如下: 如图 8 所示, 航空母舰的水平跑道总长 $l=180\text{ m}$, 其中电磁弹射器是一种长度为 $l_1=120\text{ m}$ 的直线电机, 这种直线电机从头至尾可以提供恒定的牵引力 $F_{牵}$. 一架质量为 $m=2.0 \times 10^4\text{ kg}$ 的飞机, 其喷气式发动机可以提供恒定的推力 $F_{推}=1.2 \times 10^5\text{ N}$. 考虑到飞机在起飞过程中受到的阻力与速度大小有关, 假设在电磁弹射阶段的平均阻力为飞机重力的 0.05 倍, 在后一阶段的平均阻力为飞机重力的 0.2 倍. 飞机离舰起飞的速度 $v=100\text{ m/s}$, 航母处于静止状态, 飞机可视为质量恒定的质点. 请你求出(计算结果均保留二位有效数字):

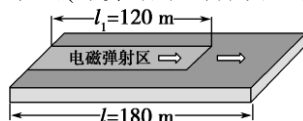


图 8

- (1)飞机在后一阶段的加速度大小;
 (2)电磁弹射器的牵引力 $F_{牵}$ 的大小;
 (3)电磁弹射器输出效率可以达到 80% , 则每弹射这样一架飞机电磁弹射器需要消耗多少能量.

解析 (1)设后一阶段飞机加速度为 a_2 , 平均阻力为 $F_{f2} = 0.2mg$, 则 $F_{推} - F_{f2} = ma_2$

所以飞机在后一阶段的加速度大小: $a_2 = 4.0\text{ m/s}^2$

(2)解法一 设电磁弹射阶段飞机加速度为 a_1 、末速度为 v_1 , 平均阻力为 $F_{f1} = 0.05mg$

$$\text{则 } v_1^2 = 2a_1l_1, v^2 - v_1^2 = 2a_2(l - l_1)$$

$$\text{得: } a_1 = 39.7\text{ m/s}^2$$

$$\text{由: } F_{牵} + F_{推} - F_{f1} = ma_1, \text{ 得 } F_{牵} = 6.8 \times 10^5\text{ N}$$

解法二 由动能定理得:

$$F_{\text{牵}}l_1 + F_{\text{推}}l - F_{f1}l_1 - F_{f2}(l - l_1) = \frac{1}{2}mv^2$$

解得 $F_{\text{牵}} = 6.8 \times 10^5 \text{ N}$

(3) 电磁弹射器对飞机做功: $W = F_{\text{牵}}l_1 = 8.2 \times 10^7 \text{ J}$

则其消耗的能量: $E = \frac{W}{80\%} = 1.0 \times 10^8 \text{ J}$

答案 (1) 4.0 m/s^2 (2) $6.8 \times 10^5 \text{ N}$ (3) $1.0 \times 10^8 \text{ J}$

3. 如图 9 所示, 质量为 $m = 0.1 \text{ kg}$ 的小球置于平台末端 A 点, 平台的右下方有一个表面光滑的斜面体, 在斜面体的右边固定一竖直挡板, 轻质弹簧拴接在挡板上, 弹簧的自然长度为 $x_0 = 0.3 \text{ m}$, 斜面体底端 C 点距挡板的水平距离为 $d_2 = 1 \text{ m}$, 斜面体的倾角为 $\theta = 45^\circ$, 斜面体的高度 $h = 0.5 \text{ m}$. 现给小球一大小为 $v_0 = 2 \text{ m/s}$ 的初速度, 使之在空中运动一段时间后, 恰好从斜面体的顶端 B 点无碰撞地进入斜面, 并沿斜面运动, 经过 C 点后沿粗糙水平面运动, 过一段时间开始压缩轻质弹簧. 小球速度减为零时, 弹簧被压缩了 $\Delta x = 0.1 \text{ m}$. 已知小球与水平面间的动摩擦因数 $\mu = 0.5$, 设小球经过 C 点时无能量损失, 重力加速度 g 取 10 m/s^2 , 求:

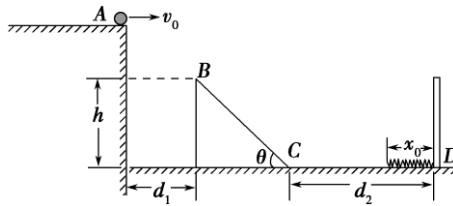


图 9

(1) 平台与斜面体间的水平距离 d_1 ;

(2) 小球在斜面上的运动时间 t_1 ;

(3) 弹簧压缩过程中的最大弹性势能 E_p .

解析 (1) 小球到达斜面顶端时, 竖直分速度为 $v_{By} = v_0 \tan \theta$

又根据自由落体运动知识知, $v_{By} = gt$

水平方向小球做匀速直线运动

则 $d_1 = v_0 t$, 解得: $d_1 = 0.4 \text{ m}$.

(2) 在 B 点小球的速度为 v_B , 则 $v_B = \frac{v_0}{\cos \theta}$

小球由 B 点到 C 点过程中, 由牛顿第二定律知:

$$mg \sin \theta = ma, \quad v_C^2 - v_B^2 = 2a \frac{h}{\sin \theta}$$

$v_C = v_B + at_1$, 解得: $t_1 = 0.2 \text{ s}$, $v_C = 3\sqrt{2} \text{ m/s}$.

(3) 小球在水平面上运动的过程中, 由功能关系知:

$$\frac{1}{2}mv_C^2 = \mu mg(d_2 - x_0) + \mu mg \Delta x + E_p, \quad \text{解得: } E_p = 0.5 \text{ J}$$

答案 (1) 0.4 m (2) 0.2 s (3) 0.5 J

4. (2013 四川卷, 10) 在如图 10 所示的竖直平面内, 物体 A 和带正电的物体 B 用跨过定滑轮的绝缘轻绳连接, 分别静止于倾角 $\theta = 37^\circ$ 的光滑斜面上的 M 点和粗糙绝缘水平面上, 轻绳与对应平面平行. 劲度系数 $k = 5 \text{ N/m}$ 的轻弹簧一端固定在 O 点, 一端用另一轻绳穿过固定的光滑小环 D 与 A 相连. 弹簧处于原长, 轻绳恰好拉直, DM 垂直于斜面. 水平面处于场强 $E = 5 \times 10^4 \text{ N/C}$ 、方向水平向右的匀强电场中. 已知 A、B 的质量分别为 $m_A = 0.1 \text{ kg}$ 和 $m_B = 0.2 \text{ kg}$, B 所带电荷量 $q = +4 \times 10^{-6} \text{ C}$. 设两物体均视为质点, 不计滑轮质量和摩擦, 绳不可伸长, 弹簧始终在弹性限度内, B 电荷量不变. 取 $g = 10 \text{ m/s}^2$, $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$.

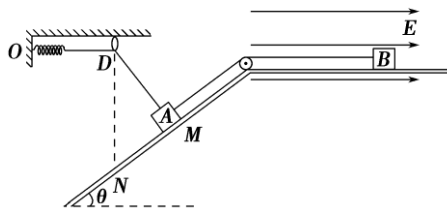


图 10

(1)求 B 所受静摩擦力的大小;

(2)现对 A 施加沿斜面向下的拉力 F , 使 A 以加速度 $a=0.6 \text{ m/s}^2$ 开始做匀加速直线运动. A 从 M 到 N 的过程中, B 的电势能增加了 $\Delta E_p=0.06 \text{ J}$. 已知 DN 沿竖直方向, B 与水平面间的动摩擦因数 $\mu=0.4$. 求 A 到达 N 点时拉力 F 的瞬时功率.

解析 A 、 B 处于静止状态时, 对于 A 、 B 根据共点力的平衡条件解决问题; 当 A 、 B 做匀加速直线运动时, 根据运动学公式、牛顿第二定律和功能关系解决问题.

(1) F 作用之前, A 、 B 处于静止状态. 设 B 所受静摩擦力大小为 f_0 , A 、 B 间绳中张力为 T_0 , 有对 A :
 $T_0 = m_A g \sin \theta$ ①

对 B : $T_0 = qE + f_0$ ②

联立①②式, 代入数据解得 $f_0 = 0.4 \text{ N}$ ③

(2)物体 A 从 M 点到 N 点的过程中, A 、 B 两物体的位移均为 x , A 、 B 间绳子张力为 T , 有 $qEx = \Delta E_p$ ④

$T - \mu m_B g - qE = m_B a$ ⑤

设 A 在 N 点时速度为 v , 受弹簧拉力为 $F_{\text{弹}}$, 弹簧的伸长量为 Δx , 有 $v^2 = 2ax$ ⑥

$F_{\text{弹}} = k\Delta x$ ⑦

$F + m_A g \sin \theta - F_{\text{弹}} \sin \theta - T = m_A a$ ⑧

由几何关系知 $\Delta x = \frac{x(1 - \cos \theta)}{\sin \theta}$ ⑨

设拉力 F 的瞬时功率为 P , 有 $P = Fv$ ⑩

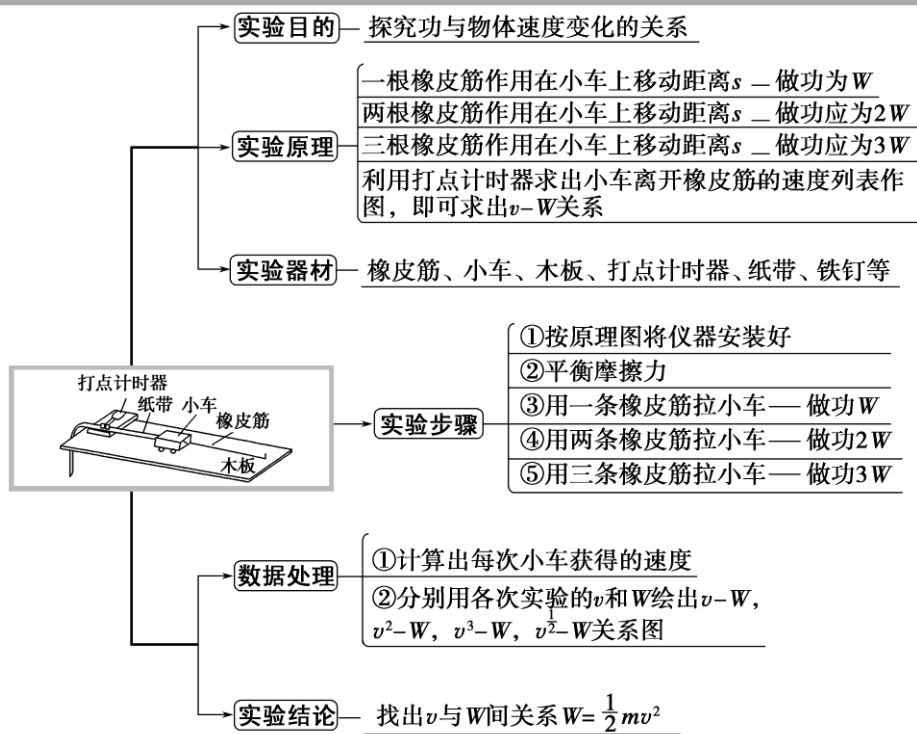
联立④~⑩式, 代入数据解得 $P = 0.528 \text{ W}$. ⑪

答案 (1)0.4 N (2)0.528 W

实验五 探究动能定理

基本实验要求

必考必会 必记必做



, 误差分析

1. 误差的主要来源是橡皮筋的长度、粗细不一, 使橡皮筋的拉力做功 W 与橡皮筋的条数不成正比.

2. 没有完全平衡摩擦力或平衡摩擦力时倾角过大也会造成误差.
3. 利用打上点的纸带计算小车的速度时, 测量不准带来误差.

注意事项

1. **平衡摩擦力:** 将木板一端垫高, 使小车重力沿斜面向下的分力与摩擦阻力平衡. 方法是轻推小车, 由打点计时器打在纸带上的点的均匀程度判断小车是否匀速运动, 找到木板一个合适的倾角.
2. **选点测速:** 测小车速度时, 纸带上的点应选均匀部分的, 也就是选小车做匀速运动状态的.
3. **规格相同:** 橡皮筋规格相同时, 力对小车做的功以一条橡皮筋做的功为单位即可, 不必计算出具体数值.

实验热点聚焦

考向预测 热点聚焦

具体数值.

热点一 对实验原理的理解

【典例 1】“探究功与速度变化的关系”的实验装置如图 1 所示, 当小车在一条橡皮筋作用下弹出时, 橡皮筋对小车做的功记为 W ; 当用 2 条、3 条、4 条……完全相同的橡皮筋并在一起进行第 2 次、第 3 次、第 4 次……实验时, 橡皮筋对小车做的功记为 $2W$ 、 $3W$ 、 $4W$ ……每次实验中小车获得的最大速度可由打点计时器所打出的纸带测出.

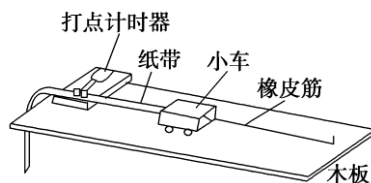


图 1

(1)关于该实验, 下列说法正确的是_____.

- A. 打点计时器可以用干电池供电
- B. 实验仪器安装时, 可以不平衡摩擦力
- C. 每次实验小车必须从同一位置由静止弹出
- D. 利用每次测出的小车最大速度 v_m 和橡皮筋做的功 W , 依次作出 $W-v_m$ 、 $W-v_m^2$ 、 $W-v_m^3$, W^2-v_m 、 W^3-v_m ……的图象, 得出合力做功与物体速度变化的关系.

(2)如图 2 所示, 给出了某次实验打出的纸带, 从中截取了测量小车最大速度所用的一段纸带, 测得 A、B、C、D、E 相邻两点间的距离分别为 $AB=1.48\text{ cm}$, $BC=1.60\text{ cm}$, $CD=1.62\text{ cm}$, $DE=1.62\text{ cm}$; 已知相邻两点打点时间间隔为 0.02 s , 则小车获得的最大速度 $v_m = \underline{\hspace{2cm}}\text{ m/s}$. (结果保留两位有效数字)

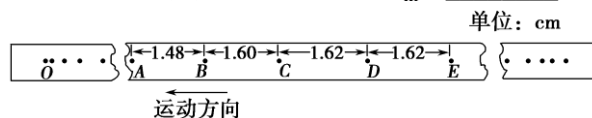


图 2

解析 (1)打点计时器必须用交流电, A 项错误; 实验仪器安装时, 必须平衡摩擦力, B 项错误; 每次实验小车必须从同一位置由静止弹出, C 项正确; 根据所得数据分别作出橡皮筋所做的功 W 与小车获得的最大速度或小车获得的最大速度的平方、立方等图象, 找出合力做的功与物体速度变化的关系, D 项正确.

(2)小车获得的最大速度 $v = \frac{x}{t} = \frac{1.62 \times 10^{-2}}{0.02} \text{ m/s} = 0.81 \text{ m/s}$.

答案 (1)CD (2)0.81

【跟踪短训】

1. [2013 福建卷, 19(1)]在“探究恒力做功与动能改变的关系”实验中(装置如图 3):

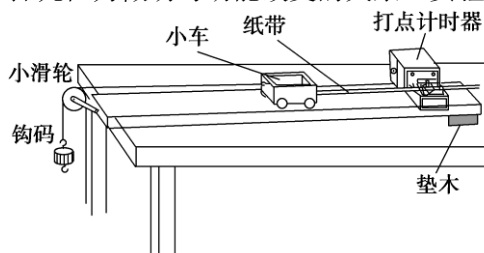


图 3

①下列说法哪一项是正确的_____。(填选项前字母)

- A. 平衡摩擦力时必须将钩码通过细线挂在小车上
- B. 为减小系统误差, 应使钩码质量远大于小车质量
- C. 实验时, 应使小车靠近打点计时器由静止释放

②图 4 是实验中获得的一条纸带的一部分, 选取 O 、 A 、 B 、 C 计数点, 已知打点计时器使用的交流电频率为 50 Hz, 则打 B 点时小车的瞬时速度大小为_____ m/s

(保留三位有效数字).

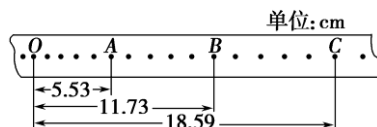


图 4

解析 根据实验原理、实验操作步骤、误差分析、注意事项判断; 应用运动的平均速度等于中间时刻的瞬时速度求瞬时速度.

①平衡摩擦力是让小车重力的下滑分力与摩擦力平衡, 故不能挂钩码平衡摩擦力, 选项 A 错误; 本实验中, 近似认为小车所受拉力等于钩码的重力, 因此应使钩码的质量远小于小车的质量, 选项 B 错误; 实验时, 为充分利用纸带, 应使小车靠近打点计时器由静止释放, 选项 C 正确.

$$②v_B = \frac{AC}{2t} = \frac{(18.59 - 5.53) \times 10^{-2}}{0.2} \text{ m/s} = 0.653 \text{ m/s}.$$

答案 ①C ②0.653

热点二 实验数据处理

【典例 2】如图 5 所示是某研究性学习小组的同学做探究“橡皮筋做功和物体速度变化的关系”的实验, 图中是小车在一条橡皮筋作用下弹出, 沿木板滑行的情形. 这时, 橡皮筋对小车做功记为 W . 当用 2 条、3 条、...、 n 条完全相同的橡皮筋并在一起进行第 2 次、第 3 次、...、第 n 次实验时, 每次橡皮筋都被拉伸到同一位置释放. 小车每次实验中获得的速度可以由打点计时器所打的纸带测出, 图 6 甲为某次实验中打出的纸带.

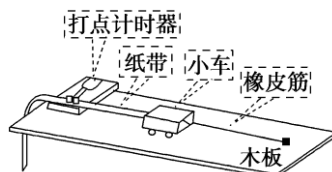


图 5

(1)除了图中已给出的实验器材和电源外, 还需要的器材有_____.

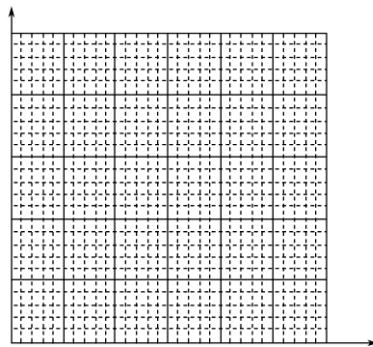
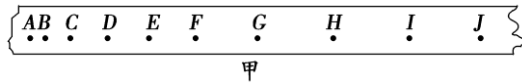
(2)实验时为了使小车只在橡皮筋作用下运动, 应采取的措施是_____

(3)每次实验得到的纸带上的点分布并不都是均匀的, 为了测量小车最终获得的末速度, 应选用纸带的_____部分进行测量.

(4)下面是本实验的数据记录及数据处理表.

物理量数据实验次数	橡皮筋做的功 $W_n(\text{J})$	10 个间隔均匀的点之间的距离 $s(\text{m})$	10 个间隔均匀的点的时间 $T(\text{s})$	小车获得的末速度 $v_n(\text{m/s})$	小车获得的末速度的平方 $v_n^2(\text{m}^2/\text{s}^2)$
1	$W_1 = W$	0.200	0.2	1.00	1.00
2	$W_2 = 2W$	0.282	0.2	1.41	1.99
3	$W_3 = 3W$	0.300	0.2	1.50	2.25
4	$W_4 = 4W$	0.400	0.2	2.00	4.00
5	$W_5 = 5W$	0.458	0.2	2.24	5.02

从理论上讲，橡皮筋做的功 W_n 与物体获得的速度 v_n 之间的关系是 $W_n \propto$ _____，请你运用表中的数据在如图乙所示的坐标系中作出相应的图象，以验证理论的正确性。



乙

图 6

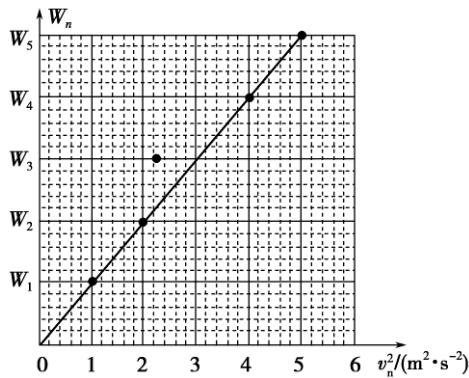
解析 (1)要计算某点速度的大小，必须要测量纸带上计数点间的距离，除了题图甲中已给出的实验器材和电源外，还需要的器材是刻度尺。

(2)实验时为了使小车只在橡皮筋作用下运动，应采取的措施是把放打点计时器一端的木板垫起适当的高度以平衡摩擦力。

(3)小车最终做匀速运动，因此应选用相邻两计数点间隔相等的部分。

(4)根据动能定理可知，从理论上讲，橡皮筋做的功 W_n 与物体获得的速度 v_n 之间的关系是 $W_n \propto v_n^2$ ；以 W_n 为纵坐标，以 v_n^2 为横坐标，用描点作图法作图，图象是过原点的直线，说明 $W_n \propto v_n^2$ 。

答案 (1)刻度尺 (2)把木板的左端垫起适当的高度以平衡摩擦力 (3)每相邻两点之间距离相等(或点分布均匀) (4) v_n^2 图象如图所示



【跟踪短训】

2.某同学用如图 7 所示的实验装置探究小车动能变化与合力对它所做功的关系。图中 A 为小车，连接在小车后面的纸带穿过打点计时器 B 的限位孔，它们均置于水平放置的一端带有定滑轮足够长的木板上，C 为弹簧测力计，不计绳与滑轮的摩擦。实验时，先接通电源再松开小车，打点计时器在纸带上打下一系列点。

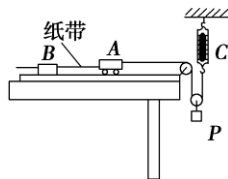


图 7

该同学在一个比较理想的纸带上，从点迹清楚的某点开始记为 0 点，顺次选取 5 个点，分别测量这 5 个点到 0 点之间的距离，并计算出它们与 0 点之间的速度平方差 $\Delta v^2 (\Delta v^2 = v^2 - v_0^2)$ ，填入下表：

点迹	x/cm	$\Delta v^2/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2})$
0	—	—
1	1.60	0.04
2	3.60	0.09
3	6.00	0.15
4	7.00	0.18
5	9.20	0.23

(1) 请以 Δv^2 为纵坐标, 以 x 为横坐标在坐标图 8 中作出 Δv^2-x 图象. 若测出小车质量为 0.2 kg, 结合图象可求得小车所受合力的大小为 _____ N.

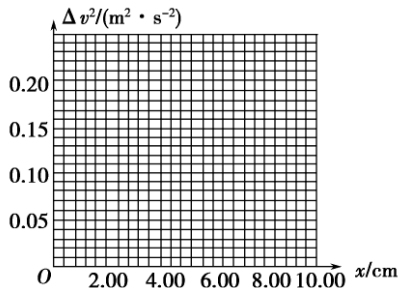


图 8

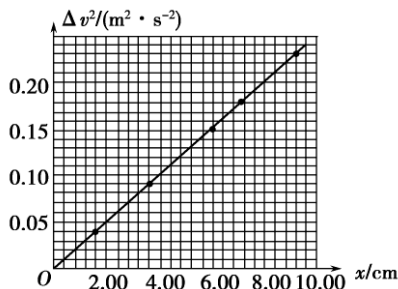
(2) 若该同学通过计算发现小车所受合力小于弹簧测力计读数, 明显超出实验误差的正常范围. 你认为主要原因是 _____, 实验操作中改进的措施是 _____.

解析 (1) 由 $v^2 - v_0^2 = 2ax$ 可知 $\Delta v^2 = 2ax$,

在 Δv^2-x 图象中, 斜率 $k = 2a = 2.5$,

由 $F = ma$, 得 $F = 0.25 \text{ N}$.

答案 (1) 图象如图所示 0.25



(2) 小车滑行时所受摩擦阻力较大 将木板左侧垫高, 使木板倾斜一定的角度以平衡摩擦力

拓展创新实验

创新拓展 自主探究

探究高考命题视角

视角 1 实验器材的改进, 使用拉力传感器和速度传感器

如图 9 所示, 将拉力传感器固定在小车上, 平衡小车的摩擦力, 拉力传感器可以记录小车受到的拉力大小, 在水平桌面上相距一定距离 x 的 A、B 两点各安装一个速度传感器, 分别记录小车通过 A、B 时的速度大小, 改变钩码的数量, 分别得到对应拉力的功 W 和 Δv^2 (即 $v_A^2 - v_B^2$), 也可验证得到 $W \propto \Delta v^2$ 的结论.

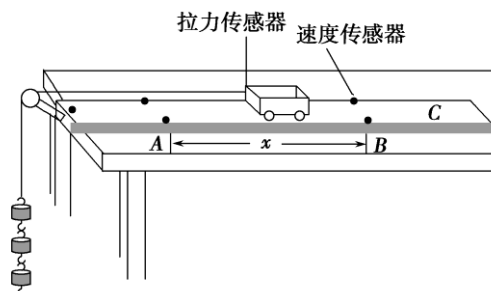


图 9

视角 2 实验方案的改进

利用自由落体运动探究功和动能的关系。

视角 3 创新拓展 把探究功和动能关系的实验拓展为探究弹性势能和形变量关系的实验。

【典例 3】 (2013 新课标全国卷 II, 22)

某同学利用下述装置对轻质弹簧的弹性势能进行探究：一轻质弹簧放置在光滑水平桌面上，弹簧左端固定，右端与一小球接触而不固连；弹簧处于原长时，小球恰好在桌面边缘，如图 10 所示。向左推小球，使弹簧压缩一段距离后由静止释放，小球离开桌面后落到水平地面。通过测量和计算，可求得弹簧被压缩后的弹性势能。

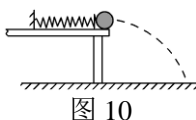


图 10

回答下列问题：

(1) 本实验中可认为，弹簧被压缩后的弹性势能 E_p 与小球抛出时的动能 E_k 相等。已知重力加速度大小为 g 。为求得 E_k ，至少需要测量下列物理量中的_____ (填正确答案标号)。

- A. 小球的质量 m
- B. 小球抛出点到落地点的水平距离 s
- C. 桌面到地面的高度 h
- D. 弹簧的压缩量 Δx
- E. 弹簧原长 l_0

(2) 用所选取的测量量和已知量表示 E_k ，得 $E_k =$ _____。

(3) 图 11 中的直线是实验测量得到的 $s - \Delta x$ 图线。从理论上可推出，如果 h 不变， m 增加， $s - \Delta x$ 图线的斜率会_____ (填“增大”、“减小”或“不变”)；如果 m 不变， h 增加， $s - \Delta x$ 图线的斜率会_____ (填“增大”、“减小”或“不变”)。由图 11 中给出的直线关系和 E_k 的表达式可知， E_p 与 Δx 的_____ 次方成正比。

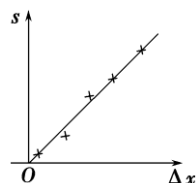


图 11

解析 (1) 小球抛出时的动能 $E_k = \frac{1}{2}mv_0^2$ ，要求得 v_0 需利用平抛知识， $s = v_0t$ ， $h = \frac{1}{2}gt^2$ 。根据 s 、 h 、 g ，求得 $v_0 = s\sqrt{\frac{g}{2h}}$ ，因此，需测量小球质量 m 、桌面高度 h 及落地水平距离 s 。

(2) 小球抛出时的动能 $E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{mgs^2}{4h}$ 。

(3) 弹簧的弹性势能 $E_p = E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{mgs^2}{4h}$

即 $s = 2\sqrt{\frac{hE_p}{mg}}$ ，根据题给的直线关系可知， s 与 Δx 成正比，而 E_p 与 s^2 成正比，故 E_p 应与 Δx 的 2 次方成正比，则 $s \propto 2\sqrt{\frac{h}{mg}}\Delta x$ ， $s - \Delta x$ 图线的斜率正比于 $\sqrt{\frac{h}{mg}}$ ，如果 h 不变， m 增加， $s - \Delta x$ 图线的斜率将会减小；如果 m 不变， h 增加，则 $s - \Delta x$ 图线的斜率会增大。

答案 (1)ABC (2) $\frac{mgs^2}{4h}$ (3)减小 增大 2

【探究跟踪】

利用气垫导轨探究弹簧的弹性势能与形变量的关系，在气垫导轨上放置一带有遮光片的滑块、滑块的一端与轻弹簧贴近，弹簧另一端固定在气垫导轨的一端，将一光电门 P 固定在气垫导轨底座上适当位置(如图 12 所示)。弹簧处于自然状态时，使滑块向左压缩弹簧一段距离，然后由静止释放滑块，与光电门相连的光电计时器可记录遮光片通过光电门时的挡光时间，则可计算出滑块离开弹簧后的速度大小。

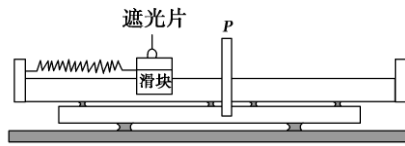


图 12

实验步骤如下:

①用游标卡尺测量遮光片的宽度 d .

②在气垫导轨上通过滑块将弹簧压缩 x_1 , 滑块由静止释放.

由光电计时器读出滑块第一次通过光电门时遮光片的挡光时间 t_1 .

③利用所测数据求出滑块第一次通过光电门时的速度 v 和动能 $\frac{1}{2}mv^2$.

④增大弹簧压缩量为 x_2 、 x_3 、 \dots , 重复实验步骤②③, 记录并计算相应的滑块动能 $\frac{1}{2}mv^2$, 如下表所

示.

弹簧压缩量 $x(\text{cm})$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$x^2(\text{cm}^2)$	0.25	1.00	2.25	4.00	6.25	9.00
动能 $\frac{1}{2}mv^2$	0.49m	1.95m	4.40m	7.82m	12.22m	17.60m

(1)测量遮光片的宽度时游标卡尺示数如图 13 所示, 读得 $d = \underline{\hspace{2cm}}$ cm;

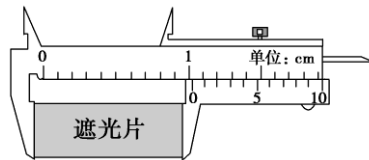
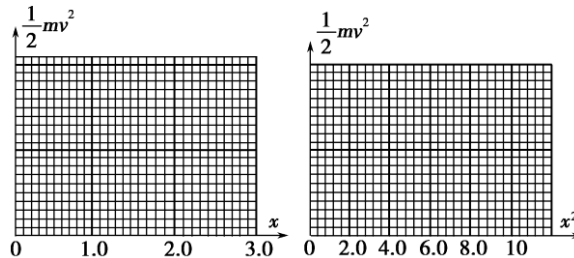


图 13

(2)在下面所给的两个坐标系中分别作出 $\frac{1}{2}mv^2 - x$ 和 $\frac{1}{2}mv^2 - x^2$ 图象;

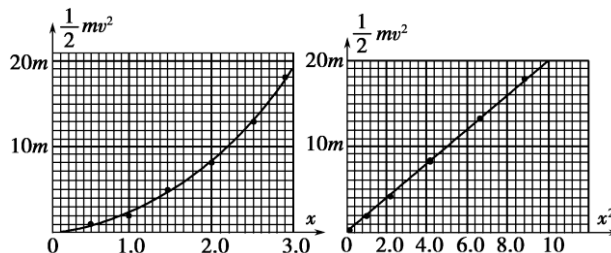


(3)由机械能守恒定律, $E_p = \frac{1}{2}mv^2$, 根据图象得出结论是

解析 (1)根据游标卡尺读数规则, 读出遮光片的宽度 $d = 1.0 \text{ cm} + 0.02 \text{ cm} = 1.02 \text{ cm}$;

(2)根据描点法在坐标系中进行描点、连线, 所作

$\frac{1}{2}mv^2 - x$ 和 $\frac{1}{2}mv^2 - x^2$ 图象如图所示;



(3)根据图象得出结论是: 弹性势能的大小与形变量 x 的二次方成正比.

答案 (1)1.02 (2)见解析 (3)弹性势能的大小与形变量 x 的二次方成正比

1. 用如图 14 所示的装置做“探究动能定理”的实验时, 下列说法正确的是(填字母代号)().

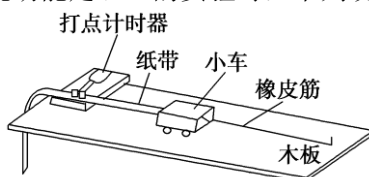


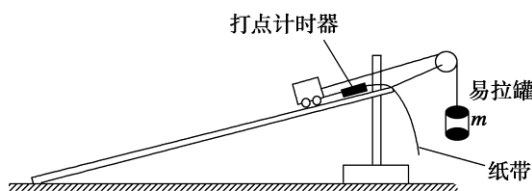
图 14

- A. 为了平衡摩擦力, 实验中可以将长木板的左端适当垫高, 使小车拉着穿过打点计时器的纸带自由下滑时能保持匀速运动
- B. 每次实验中橡皮筋的规格要相同, 拉伸的长度要一样
- C. 可以通过改变橡皮筋的条数来改变拉力做功的数值
- D. 可以通过改变小车的质量来改变拉力做功的数值
- E. 实验中要先释放小车再接通打点计时器的电源
- F. 通过打点计时器打下的纸带来测定小车加速过程中获得的最大速度
- G. 通过打点计时器打下的纸带来测定小车加速过程中获得的平均速度

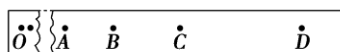
解析 当小车拉着穿过打点计时器的纸带做匀速运动时, 沿长木板方向的重力的分力大小等于摩擦力, 即在实验中可消除摩擦力的影响, A 正确; 由实验原理可知, B、C 正确, D 错误; 使用打点计时器时都必须先接通电源再释放小车, E 错误; 橡皮筋拉力做的总功等于小车动能的增加, 此动能应为小车获得的最大动能, 所以用打点计时器打下的纸带测定的是小车的最大速度, F 正确、G 错误.

答案 ABCF

2. 如图 15 甲所示, 是某同学验证动能定理的实验装置. 其步骤如下:



甲



乙

图 15

- a. 易拉罐内盛上适量细沙, 用轻绳通过滑轮连接在小车上, 小车连接纸带. 合理调整木板倾角, 让小车沿木板匀速下滑.
- b. 取下轻绳和易拉罐, 测出易拉罐和细沙的质量 m 及小车质量 M .
- c. 取下细绳和易拉罐后, 换一条纸带, 让小车由静止释放, 打出的纸带如图 15 乙(中间部分未画出), O 为打下的第一点. 已知打点计时器的打点频率为 f , 重力加速度为 g .

(1) 步骤 c 中小车所受的合外力为_____.

(2) 为验证从 $O \rightarrow C$ 过程中小车合外力做功与小车动能变化的关系, 测出 BD 间的距离为 x_0 , OC 间距离为 x_1 , 则 C 点的速度为_____. 需要验证的关系式为_____ (用所测物理量的符号表示).

答案 (1) mg (2) $\frac{x_0 f}{2}$ $mgx_1 = \frac{Mx_0^2 f^2}{8}$

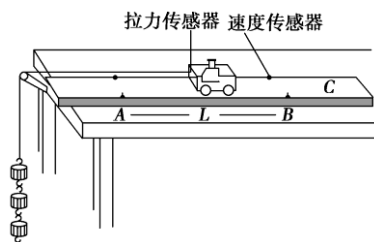


图 16

3. 某实验小组利用拉力传感器和速度传感器探究“动能定理”. 如图 16 所示, 他们将拉力传感器固定在小车上, 用不可伸长的细线将其通过一个定滑轮与钩码相连, 用拉力传感器记录小车受到拉力的大小. 在水平桌面上相距 50.0 cm 的 A、B 两点各安装一个速度传感器, 记录小车上通过 A、B 时的速度大小, 小车中可以放置砝码.

(1) 实验主要步骤如下:

① 测量_____和拉力传感器的总质量 M_1 ; 把细线的一端固定在拉力传感器上, 另一端通过定滑轮与钩码相连; 正确连接所需电路.

② 将小车停在 C 点, _____, 小车在细线拉动下运动, 记录细线拉力及小车通过 A、B 时的速度.

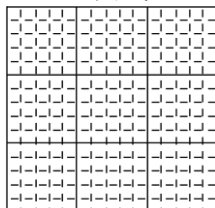
③ 在小车中增加砝码或减少砝码, 重复②的操作.

(2) 下列表格是他们测得的一组数据, 其中 M 是 M_1 与小车中砝码质量之和, $|v_2^2 - v_1^2|$ 是两个速度传感器记录速度的平方差, 可以据此计算出动能变化量 ΔE , F 是拉力传感器受到的拉力, W 是 F 在 A、B 间所做的功. 表格中的 $\Delta E_3 =$ _____, $W_3 =$ _____.(结果保留三位有效数字)

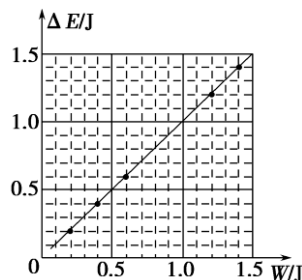
数据记录表

次数	M/kg	$ v_2^2 - v_1^2 /(\text{m}^2 \text{s}^{-2})$	$\Delta E/\text{J}$	F/N	W/J
1	0.500	0.76	0.190	0.400	0.200
2	0.500	1.65	0.413	0.840	0.420
3	0.500	2.40	ΔE_3	1.220	W_3
4	1.000	2.40	1.200	2.420	1.210
5	1.000	2.84	1.420	2.860	1.430

(3) 根据表格, 请在图中的方格纸上作出 $\Delta E - W$ 图线.



解析 (1) ① 在实验过程中拉力对小车和拉力传感器做功使小车和拉力传感器的动能增加, 所以需要测量小车和拉力传感器的总质量; ③ 通过控制变量法只改变小车的质量或只改变拉力大小得出不同的数据; (2) 通过拉力传感器的示数和 A、B 间距用 $W = FL$ 可计算拉力做的功; (3) 利用图象法处理数据, 由动能定理 $W = \frac{1}{2}Mv_2^2 - \frac{1}{2}Mv_1^2$, 可知 W 与 ΔE 成正比, 作图可用描点法, 图线如图所示.



答案 (1) ① 小车 ② 释放小车

(2) 0.600 J 0.610 J (3) 见解析图

4. 如图 17 所示, 某组同学借用“探究 a 与 F 、 m 之间的定量关系”的相关实验思想、原理及操作,

进行“研究合外力做功和动能变化的关系”的实验：

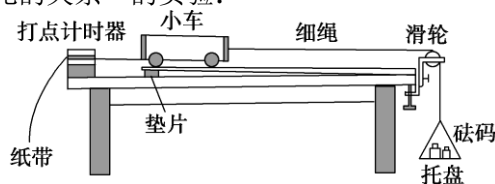


图 17

(1)为达到平衡阻力的目的，取下细绳及托盘，通过调整垫片的位置，改变长木板倾斜程度，根据打出的纸带判断小车是否做_____运动。

(2)连接细绳及托盘，放入砝码，通过实验得到图 18 所示的纸带。纸带上 O 为小车运动起始时刻所打的点，选取时间间隔为 0.1 s 的相邻计数点 A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 、 G 。实验时小车所受拉力为 0.2 N ，小车的质量为 0.2 kg 。

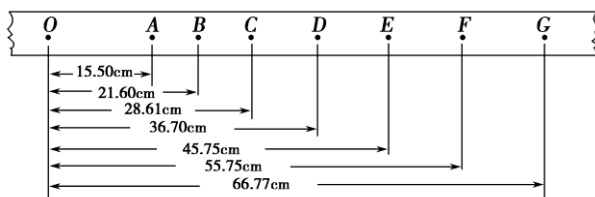


图 18

请计算小车所受合外力做的功 W 和小车动能的变化 ΔE_k 。补填表中空格(结果保留至小数点后第四位)。

	$O-B$	$O-C$	$O-D$	$O-E$	$O-F$
W/J	0.043 2	0.057 2	0.073 4	0.091 5	
$\Delta E_k/\text{J}$	0.043 0	0.057 0	0.073 4	0.090 7	

分析上述数据可知：在实验误差允许的范围内 $W = \Delta E_k$ ，与理论推导结果一致。

(3)实验前已测得托盘质量为 $7.7 \times 10^{-3}\text{ kg}$ ，实验时该组同学放入托盘中的砝码质量应为_____kg(g 取 9.8 m/s^2 ，结果保留至小数点后第三位)。

解析 (1)若已平衡摩擦力，则小车在木板上做匀速直线运动。

$$(2) \text{从纸带上的 } O \text{ 点到 } F \text{ 点, } W = F \cdot \overline{OF} = 0.2 \times 0.557 5 \text{ J} = 0.111 5 \text{ J}, \text{ 打 } F \text{ 点时速度 } v_F = \frac{\overline{EG}}{2T} = \frac{0.667 7 - 0.457 5}{0.2} \text{ m/s} = 1.051 \text{ m/s}, \Delta E_k = \frac{1}{2} M v_F^2 = \frac{1}{2} \times 0.2 \times 1.051^2 \text{ J} \approx 0.110 5 \text{ J}$$

$$(3) \text{打 } B \text{ 点时小车的速度为 } v_B = \frac{\overline{AC}}{2T}$$

$$= \frac{0.286 1 - 0.155 0}{0.2} \text{ m/s} = 0.655 5 \text{ m/s}, \text{ 所以小车的加速度 } a = \frac{v_F - v_B}{4T} = \frac{1.051 - 0.655 5}{4 \times 0.1} \text{ m/s}^2 \approx 0.99 \text{ m/s}^2.$$

$$\text{小车所受的拉力 } F = (m_0 + m)(g - a), \text{ 所以盘中砝码的质量 } m = \frac{F}{g - a} - m_0 = \left(\frac{0.2}{9.8 - 0.99} - 7.7 \times 10^{-3} \right)$$

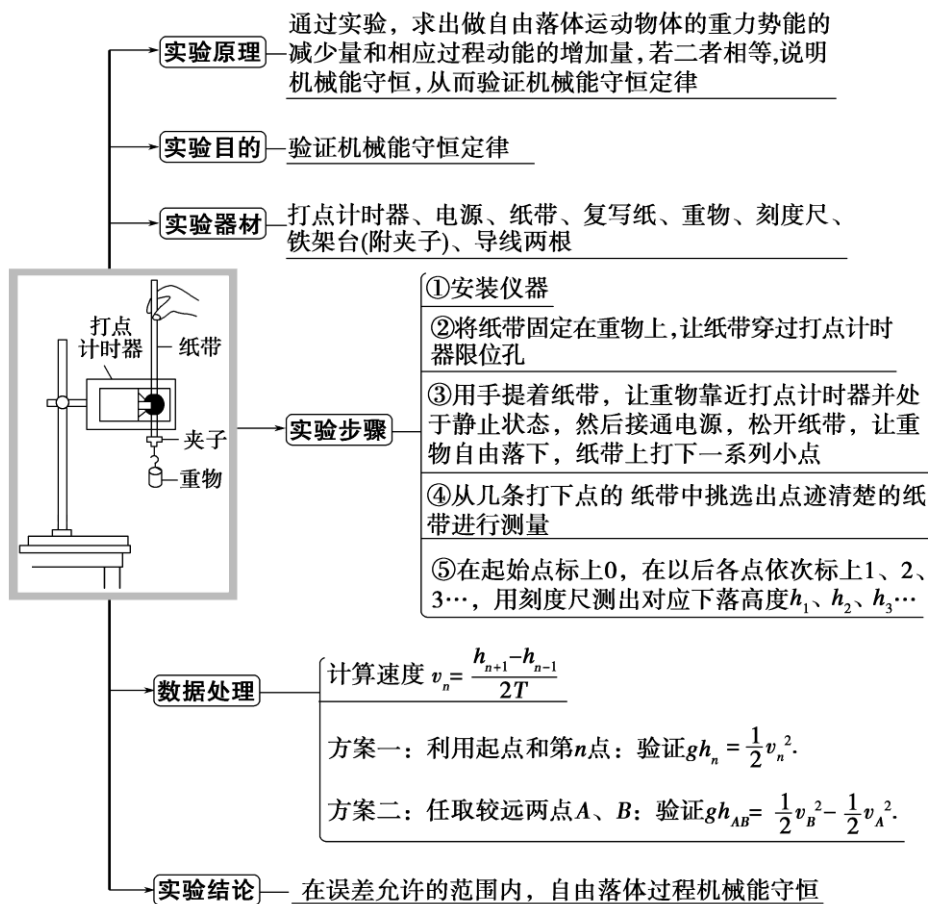
kg $\approx 0.015\text{ kg}$ 。

答案 (1)匀速直线(或匀速) (2)0.111 5 0.110 5 (3)0.015

实验六 验证机械能守恒定律

基本实验要求

必考必会 必记必做



1. 减小测量误差：一是测下落距离时都从 0 点量起，一次将各打点对应下落高度测量完，二是多测几次取平均值。

2. 误差来源：由于重物和纸带下落过程中要克服阻力做功，故动能的增加量 $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_n^2$ 必定稍小于重力势能的减少量 $\Delta E_p = mgh_n$ ，改进办法是调整器材的安装，尽可能地减小阻力。

注意事项

1. 打点计时器要竖直：安装打点计时器时要竖直架稳，使其两限位孔在同一竖直平面内以减少摩擦阻力。

2. 重物密度要大：重物应选用质量大、体积小、密度大的材料。

3. 一先一后：应先接通电源，让打点计时器正常工作，后松开纸带让重物下落。

4. 测长度，算速度：某时刻的瞬时速度的计算应用 $v_n = \frac{d_{n+1} - d_{n-1}}{2T}$ ，不能用 $v_n = \sqrt{2gd_n}$ 或 $v_n = gt$ 来计算。

实验热点聚焦

考向预测 热点聚焦

热点一 实验原理与操作

【典例 1】在利用自由落体运动验证机械能守恒定律的实验中，电源的频率为 50 Hz，依次打出的点为 0, 1, 2, 3, 4, …, n。则：

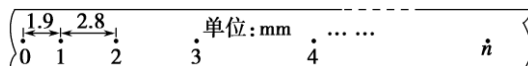


图 1

(1) 如用第 2 点到第 6 点之间的纸带来验证，必须直接测量的物理量为 _____、_____、_____，必须计算出的物理量为 _____、_____，验证的表达式为 _____。

(2) 下列实验步骤操作合理的排列顺序是 _____ (填写步骤前面的字母)。

A. 将打点计时器竖直安装在铁架台上

B. 接通电源，再松开纸带，让重物自由下落

- C. 取下纸带, 更换新纸带(或将纸带翻个面)重新做实验
 D. 将重物固定在纸带的一端, 让纸带穿过打点计时器, 用手提着纸带
 E. 选择一条纸带, 用刻度尺测出物体下落的高度 $h_1, h_2, h_3 \cdots h_n$, 计算出对应的瞬时速度 $v_1, v_2,$

$v_3 \cdots v_n$

F. 分别算出 $\frac{1}{2}mv_n^2$ 和 mgh_n , 在实验误差范围内看是否相等

解析 (1)要验证从第 2 点到第 6 点之间的纸带对应重物的运动过程中机械能守恒, 应测出第 2 点到第 6 点的距离 h_{26} , 要计算第 2 点和第 6 点的速度 v_2 和 v_6 , 必须测出第 1 点到第 3 点之间的距离 h_{13} 和第 5 点到第 7 点之间的距离 h_{57} , 机械能守恒的表达式为 $mgh_{26} = \frac{1}{2}mv_6^2 - \frac{1}{2}mv_2^2$

(2)实验操作顺序为 ADBCEF.

答案 (1)第 2 点到第 6 点之间的距离 h_{26}

第 1 点到第 3 点之间的距离 h_{13}

第 5 点到第 7 点之间的距离 h_{57}

第 2 点的瞬时速度 v_2 第 6 点的瞬时速度 v_6

$$mgh_{26} = \frac{1}{2}mv_6^2 - \frac{1}{2}mv_2^2$$

(2)ADBCEF

【跟踪短训】

1. 利用图 2 实验装置探究重物下落过程中动能与重力势能的转化问题.

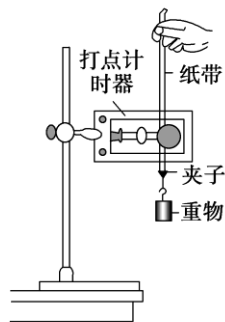


图 2

(1)实验操作步骤如下, 请将步骤 B 补充完整:

A. 按实验要求安装好实验装置;

B. 使重物靠近打点计时器, 接着先_____, 后_____, 打点计时器在纸带上打下一系列的点;

C. 图 3 为一条符合实验要求的纸带, O 点为打点计时器打下的第一点. 分别测出若干连续点 $A, B, C \cdots$ 与 O 点之间的距离 $h_1, h_2, h_3 \cdots$.



图 3

(2)已知打点计时器的打点周期为 T , 重物质量为 m , 重力加速度为 g , 结合实验中所测得的 h_1, h_2, h_3 , 可得重物下落到 B 点时的速度大小为_____, 纸带从 O 点下落到 B 点的过程中, 重物增加的动能为_____, 减少的重力势能为_____.

(3)取打下 O 点时重物的重力势能为零, 计算出该重物下落不同高度 h 时所对应的动能 E_k 和重力势能 E_p , 建立坐标系, 横轴表示 h , 纵轴表示 E_k 和 E_p , 根据以上数据在图 4 中绘出图线 I 和图线 II. 已求得图线 I 斜率的绝对值 $k_1 = 2.94 \text{ J/m}$, 请计算图线 II 的斜率 $k_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ J/m}$ (保留三位有效数字). 重物和纸带下落过程中所受平均阻力与重物所受重力的比值为_____ (用 k_1 和 k_2 表示).

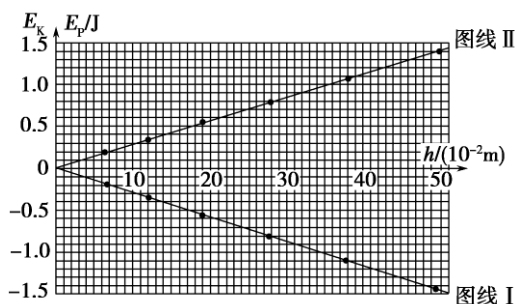


图 4

(4)通过对 k_1 和 k_2 的比较分析, 可得到的结论是(只要求写出一条): _____.

解析 (3)对图线 I: $E_p = -mgh$, 即 $k_1 = mg$.

对图线 II: $E_k = (mg - F_f)h$, 即 $k_2 = mg - F_f$, 所以 $F_f = k_1 - k_2$, $\frac{F_f}{mg} = \frac{k_1 - k_2}{mg} = \frac{k_1 - k_2}{k_1}$.

答案 (1)接通电源 放开纸带 (2) $\frac{h_3 - h_1}{2T}$ $\frac{m(h_3 - h_1)^2}{8T^2}$ mgh_2 (3)2.80(2.73~2.87 均可) $\frac{k_1 - k_2}{k_1}$ (k_1 用 mg 表示也可) (4) k_2 小于 k_1 , 动能的增量小于重力势能的减少量. (其他结论合理的也可)

热点二 实验数据的处理及误差分析

【典例 2】用如图 5 甲所示实验装置验证 m_1 、 m_2 组成的系统机械能守恒. m_2 从高处由静止开始下落, m_1 上拖着的纸带打出一系列的点, 对纸带上的点迹进行测量, 即可验证机械能守恒定律. 图乙给出的是实验中获取的一条纸带: 0 是打下的第一个点, 每相邻两个计数点间还有 4 个点(图中未标出), 计数点间的距离如图乙所示. 已知 $m_1 = 50 \text{ g}$ 、 $m_2 = 150 \text{ g}$, 则(g 取 10 m/s^2 , 结果保留两位有效数字)

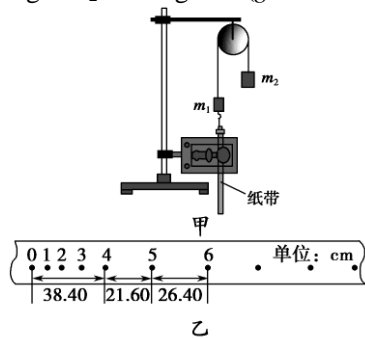


图 5

(1)在纸带上打下计数点 5 时的速度 $v_5 =$ _____ m/s ;

(2)在打点 0~5 过程中系统动能的增加量 $\Delta E_k =$ _____ J , 系统势能的减少量 $\Delta E_p =$ _____ J , 由此得出的结论是 _____;

(3)若某同学作出的 $\frac{1}{2}v^2 - h$ 图象如图 6 所示, 则当地的实际重力加速度 $g =$ _____ m/s^2 .

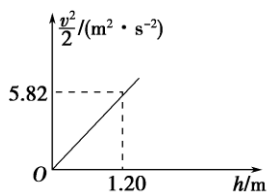


图 6

解析 (1) $v_5 = \frac{(21.60 + 26.40) \times 10^{-2}}{2 \times 0.1} \text{ m/s} = 2.4 \text{ m/s}$. (2)动能的增加量 $\Delta E_k = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_5^2 = 0.58 \text{ J}$; 系统

势能的减少量 $\Delta E_p = (m_2 - m_1)gh = 0.60 \text{ J}$, 故在误差允许的范围内, 两者相等, m_1 、 m_2 组成的系统机械能守恒.

(3)由 $\frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2 = (m_2 - m_1)gh$, 得 $\frac{v^2}{2h} = k = \frac{(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2} = \frac{g}{2}$, 即 $\frac{g}{2} = \frac{5.82}{1.20} \text{ m/s}^2 = 4.85 \text{ m/s}^2$, $g = 9.7 \text{ m/s}^2$.

答案 (1)2.4 (2)0.58 0.60 在误差允许的范围内, m_1 、 m_2 组成的系统机械能守恒 (3)9.7

反思总结 数据处理的方法

方法一: 用 $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ 验证时, 利用起始点和第 n 点计算.

方法二: 用 $\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = mg\Delta h$ 验证时, 任取两点计算

方法三: 图象法. 从纸带上选取多个点, 测量从第一点到其余各点的下落高度 h , 并计算各点速度的平方 v^2 , 然后以 $\frac{1}{2}v^2$ 为纵轴, 以 h 为横轴, 根据实验数据绘出 $\frac{1}{2}v^2 - h$ 图线. 若在误差允许的范围内图线是一条过原点且斜率为 g 的直线, 则验证了机械能守恒定律.

【跟踪短训】

2. (2013 南京模拟)某实验小组在做“验证机械能守恒定律”实验中, 提出了如图 7 所示的甲、乙两种方案: 甲方案为用自由落体运动进行实验, 乙方案为用小车在斜面上下滑进行实验.

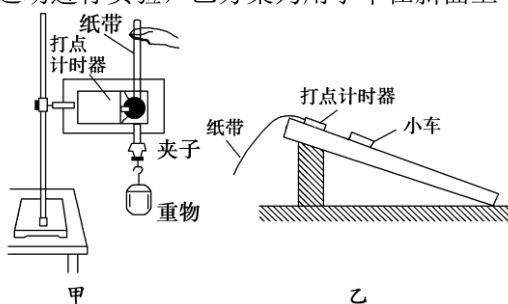


图 7

(1)组内同学对两种方案进行了深入的讨论分析, 最终确定了一个大家认为误差相对较小的方案, 你认为该小组选择的方案是 _____, 理由是 _____.

(2)若该小组采用图甲的装置打出了一条纸带如图 8 所示, 相邻两点之间的时间间隔为 0.02 s, 请根据纸带计算出 B 点的速度大小 _____ m/s(结果保留三位有效数字).

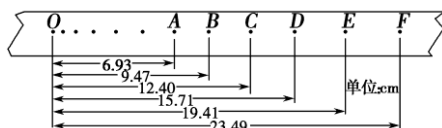


图 8

(3)该小组内同学们根据纸带算出了相应点的速度, 作出 v^2-h 图线如图 9 所示, 请根据图线计算出当地的重力加速度 $g =$ _____ m/s^2 (结果保留两位有效数字).

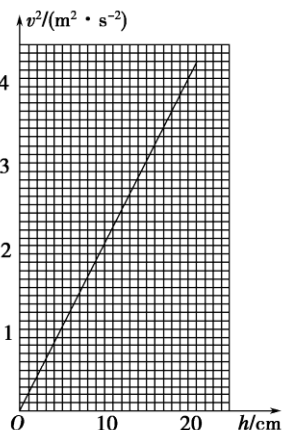


图 9

解析 (1)甲, 理由是: 采用乙图实验时, 由于小车和斜面间存在摩擦力的作用, 且不能忽略, 所以小车在下滑过程中机械能不守恒, 故乙图不能用来验证机械能守恒定律.

$$(2)v_B = \frac{AC}{2T} = 1.37 \text{ m/s};$$

(3)因为 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$, 所以 $v^2 = 2gh$, 图线的斜率是 $2g$, 可得 $g = 9.7 \text{ m/s}^2$ 或 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$.

答案 (1)甲 采用乙图实验时, 由于小车和斜面间存在摩擦力的作用, 且不能忽略, 所以小车在下滑过程中机械能不守恒, 故乙图不能用来验证机械能守恒定律

(2)1.37 (3)9.7 或 9.8

拓展创新实验

创新拓展 自主探究

探究高考命题视角

以本实验为背景, 通过改变实验条件、实验仪器设置题目, 不脱离教材而又不拘泥教材, 体现开放性、探究性、实验方法的改进等特点.

视角 1 实验方案的改进

①由系统动能、重力势能的变化验证机械能守恒, 所用实验器材: 光电门、气垫导轨(如典例 3).

②通过小球自由落体运动的闪光照片验证机械能守恒, 如探究跟踪 3.

视角 2 计算法数据处理

【典例 3】 利用气垫导轨验证机械能守恒定律, 实验装置示意图如图 10 所示:

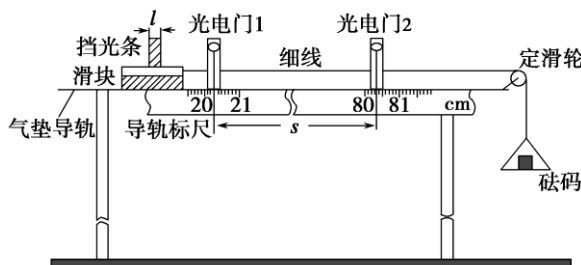


图 10

(1)实验步骤

①将气垫导轨放在水平桌面上, 桌面高度不低于 1 m, 将导轨调至水平;

②用游标卡尺测量挡光条的宽度 $l = 9.30 \text{ mm}$;

③由导轨标尺读出两光电门中心之间的距离 $s = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}$;

④将滑块移至光电门 1 左侧某处, 待砝码静止不动时, 释放滑块, 要求砝码落地前挡光条已通过光电门 2;

⑤从数字计时器(图中未画出)上分别读出挡光条通过光电门 1 和光电门 2 所用的时间 Δt_1 和 Δt_2 ;

⑥用天平称出滑块和挡光条的总质量 M , 再称出托盘和砝码的总质量 m .

(2)用表示直接测量量的字母写出下列所示物理量的表达式

①滑块通过光电门 1 和光电门 2 时瞬时速度分别为 $v_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ 和 $v_2 = \underline{\hspace{2cm}}$.

②当滑块通过光电门 1 和光电门 2 时, 系统(包括滑块、挡光条、托盘和砝码)的总动能分别为 $E_{k1} = \underline{\hspace{2cm}}$ 和 $E_{k2} = \underline{\hspace{2cm}}$.

③在滑块从光电门 1 运动到光电门 2 的过程中, 系统势能的减少 $\Delta E_p = \underline{\hspace{2cm}}$ (重力加速度为 g).

(3)如果 $\Delta E_p = \underline{\hspace{2cm}}$, 则可认为验证了机械能守恒定律.

解析 由导轨标尺读出两光电门中心之间的距离

$$s = 80.30 \text{ cm} - 20.30 \text{ cm} = 60.00 \text{ cm}.$$

由于挡光条宽度很小, 因此将挡光条通过光电门时的平均速度看做瞬时速度, 挡光条的宽度 l 可用游标卡尺测量, 挡光时间 Δt 可从数字计时器读出, 因此, 滑块通过光电门的瞬时速度为 $\frac{l}{\Delta t}$, 则通过光电门 1 时瞬时速度为 $\frac{l}{\Delta t_1}$, 通过光电门 2 时瞬时速度为 $\frac{l}{\Delta t_2}$.

由于质量事先已用天平测出, 由公式 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 可得: 系统通过光电门 1 时动能 $E_{k1} = \frac{1}{2}(M + m)\left(\frac{l}{\Delta t_1}\right)^2$, 系统通过光电门 2 时动能 $E_{k2} = \frac{1}{2}(M + m)\left(\frac{l}{\Delta t_2}\right)^2$. 末动能减初动能可得动能的增加量.

两光电门中心之间的距离 s 即砝码和托盘下落的高度, 系统势能的减小量 $\Delta E_p = mgs$, 最后对比 $E_{k2} - E_{k1}$ 与 ΔE_p 数值大小, 在误差允许的范围内相等, 就验证了机械能守恒定律.

答案 (1)③60.00(59.96~60.04)

(2)① $\frac{l}{\Delta t_1}$ $\frac{l}{\Delta t_2}$ ② $\frac{1}{2}(M+m)\left(\frac{l}{\Delta t_1}\right)^2$

$\frac{1}{2}(M+m)\left(\frac{l}{\Delta t_2}\right)^2$ ③ mgs (3) $E_{k2} - E_{k1}$

【探究跟踪】

(2013 海南卷, 11)某同学用图 11(a)所示的实验装置验证机械能守恒定律. 已知打点计时器所用电源的频率为 50 Hz, 当地重力加速度为 $g=9.80 \text{ m/s}^2$. 实验中该同学得到的一条点迹清晰的完整纸带如图(b)所示. 纸带上的第一个点记为 O , 另选连续的三个点 A 、 B 、 C 进行测量, 图中给出了这三个点到 O 点的距离 h_A 、 h_B 和 h_C 的值. 回答下列问题(计算结果保留三位有效数字)

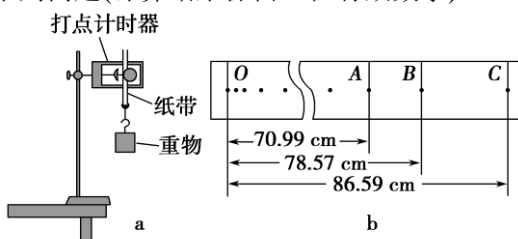


图 11

(1)打点计时器打 B 点时, 重物速度的大小 $v_B = \underline{\hspace{2cm}}$ m/s;

(2)通过分析该同学测量的实验数据, 他的实验结果是否验证了机械能守恒定律? 简要说明分析的依据.

解析 (1)由匀变速直线运动中间时刻的瞬时速度等于平均速度可知 $v_B = \frac{h_C - h_A}{2T}$, 由电源频率为 50 Hz 可知 $T=0.02 \text{ s}$, 代入其他数据可解得 $v_B = 3.90 \text{ m/s}$.

(2)本实验是利用自由落体运动验证机械能守恒定律, 只要在误差允许范围内, 重物重力势能的减少等于其动能的增加, 即可验证机械能守恒定律. 选 B 点分析, 由于 $\frac{1}{2}mv_B^2 \approx 7.61 \text{ m}$, $mgh_B = 7.857 \text{ m}$, 故该同学的实验结果近似验证了机械能守恒定律.

答案 (1)3.90 (2) $\frac{v_B^2}{2} = 7.61 \text{ (m/s)}^2$, 因为 $\frac{1}{2}mv_B^2 \approx mgh_B$, 近似验证机械能守恒定律

随堂达标演练

通关达标 技能提升

1. [2013 重庆卷, 6(1)]我国舰载飞机在“辽宁舰”上成功着舰后, 某课外活动小组对舰载飞机利用阻拦索着舰的力学问题很感兴趣. 他们找来了木板、钢球、铁钉、橡皮条以及墨水, 制作了如图 12 所示的装置, 准备定量研究钢球在橡皮条阻拦下前进的距离与被阻拦前速率的关系. 要达到实验目的, 需直接测量的物理量是钢球由静止释放时的_____和在橡皮条阻拦下前进的距离, 还必须增加的一种实验器材是_____. 忽略钢球所受的摩擦力和空气阻力, 重力加速度已知, 根据_____定律(定理), 可得到钢球被阻拦前的速率.

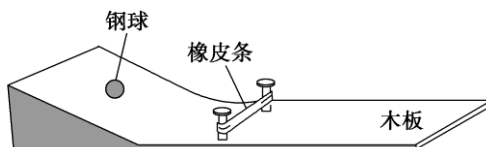


图 12

解析 根据机械能守恒定律(或动能定理)可知 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$, $v = \sqrt{2gh}$, 要研究 v 与前进的距离的关系, 需要直接测出钢球距水平木板的高度 h , 要测距离及高度, 必须增加实验器材刻度尺.

答案 高度(距水平木板的高度) 刻度尺 机械能守恒(动能)

2. (2013 河北百校联考)“验证机械能守恒定律”的实验装置可以采用图 13 所示的甲或乙方案来进行.

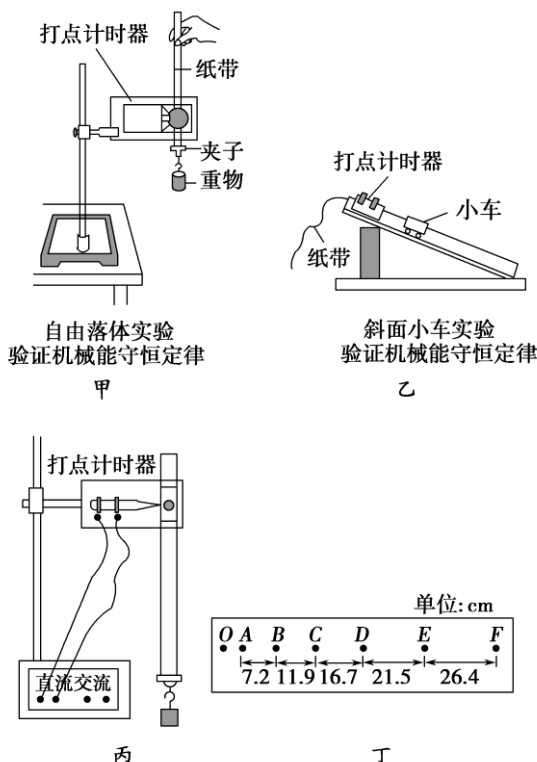


图 13

(1)比较这两种方案, _____(填“甲”或“乙”)方案好些.

(2)该同学开始实验时情形如图丙所示,接通电源释放纸带.请指出该同学在实验操作中存在的两处明显错误或不当的地方:

①_____; ②_____.

(3)该实验中得到一条纸带,且测得每两个计数点间的距离如图丁中所示.已知相邻两个计数点之间的时间间隔 $T=0.1\text{ s}$.则物体运动的加速度 $a=$ _____;该纸带是采用_____(填“甲”或“乙”)实验方案得到的.

解析 由 $\Delta x = aT^2$,利用逐差法得到物体运动的加速度 $a = 4.8\text{ m/s}^2$.若用自由落体实验测得物体运动的加速度 a 应该接近 10 m/s^2 ,所以该纸带是采用“乙”实验方案得到的.

答案 (1)甲 (2)①打点计时器接了直流电源 ②重物离打点计时器太远 (3) 4.8 m/s^2 乙

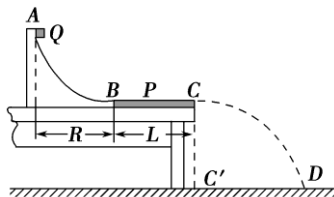


图 14

3. (2013 全国大纲, 23)测量小物块 Q 与平板 P 之间动摩擦因数的实验装置如图 14 所示. AB 是半径足够大的、光滑的四分之一圆弧轨道,与水平固定放置的 P 板的上表面 BC 在 B 点相切, C 点在水平地面的垂直投影为 C' .重力加速度大小为 g .实验步骤如下:

- ①用天平称出物块 Q 的质量 m ;
- ②测量出轨道 AB 的半径 R 、 BC 的高度 L 和 CC' 的高度 h ;
- ③将物块 Q 在 A 点从静止释放,在物块 Q 落地处标记其落地点 D ;
- ④重复步骤③,共做 10 次;
- ⑤将 10 个落地点用一个尽量小的圆围住,用米尺测量圆心到 C' 的距离 s .

(1)用实验中的测量量表示:

(i)物块 Q 到达 B 点时的动能 $E_{kB} =$ _____;

- (ii)物块 Q 到达 C 点时的动能 $E_{kC} =$ _____ ;
 (iii)在物块 Q 从 B 运动到 C 的过程中, 物块 Q 克服摩擦力做的功 $W_f =$ _____ ;
 (iv)物块 Q 与平板 P 之间的动摩擦因数 $\mu =$ _____ .

(2)回答下列问题:

- (i)实验步骤④⑤的目的是_____ ;
 (ii)已知实验测得的 μ 值比实际值偏大, 其原因除了实验中测量量的误差之外, 其他的可能是
 _____ (写出一个可能的原因即可).

解析 (1)(i) $A \rightarrow B$ 过程中, 机械能守恒, 得 $E_{kB} = mgR$.

$$(ii) C \rightarrow D \text{ 过程中, 物块 } Q \text{ 做平抛运动, 则 } v_C = \frac{C'D}{t_{CD}} = \frac{s}{\sqrt{\frac{2h}{g}}}, \text{ 则 } E_{kC} = \frac{1}{2}mv_C^2 = \frac{mgs^2}{4h}.$$

$$(iii) B \rightarrow C \text{ 过程中, 对物块 } Q \text{ 只有摩擦力做功, 由动能定理得克服摩擦力做的功 } W_f = -(E_{kC} - E_{kB}) \\ = mgR - \frac{mgs^2}{4h}.$$

$$(iv) \text{ 根据 } f = \mu F_N \text{ 得 } \mu = \frac{F_f}{mg} = \frac{W_f}{mgL} = \frac{R}{L} - \frac{s^2}{4hL}.$$

(2)(i)因每次落点总不同, 偶然误差较大, 所以取多个落点的圆心位置测量 s 是为了尽可能地减小实验误差.

(ii)实验原理中只有 P 对 Q 的摩擦力做负功, 实际还有其他阻力做负功使系统机械能减小, 因此测量的 W_f 应比真实值大, 即测得的 μ 值偏大, 其他阻力有空气阻力、圆弧轨道阻力、接缝 B 处阻力等.

答案 (1)(i) mgR (ii) $\frac{mgs^2}{4h}$ (iii) $mgR - \frac{mgs^2}{4h}$ (iv) $\frac{R}{L} - \frac{s^2}{4hL}$ (2)(i)减小实验误差 (ii)圆弧轨道存在摩擦(或接缝 B 处不平滑等)

章末定时练五
 (时间: 60 分钟)

一、选择题(本题共 8 小题, 在每小题给出的四个选项中, 第 1~5 题只有一项符合题目要求, 第 6~8 题有多项符合题目要求).

1. (2013 汕头二模)下列说法正确的是().
 A. 若物体所受的合力为零, 则物体的动能一定不变
 B. 若物体所受的合力不为零, 则物体的动能一定改变
 C. 若物体的动能不变, 则它所受的合力一定为零
 D. 若物体的动能改变, 则它所受的合力一定为零

解析 物体所受的合力为零, 则合力做的功一定为零, 物体的动能一定不变, 选项 A 正确; 物体所受的合力不为零, 但合力做的功可能为零, 故物体的动能可能不变, 选项 B 错误; 物体的动能不变, 则物体的速度大小不变, 但速度方向可能改变, 故合力可能不为零, 选项 C 错误; 物体的动能改变, 则物体的速度一定改变, 故合力一定不为零, 选项 D 错误.

答案 A

2. 质量为 1 kg 的物体静止于光滑水平面上. $t=0$ 时刻起, 物体受到向右的水平拉力 F 作用, 第 1 s 内 $F=2 \text{ N}$, 第 2 s 内 $F=1 \text{ N}$. 下列判断正确的是().

- A. 2 s 末物体的速度是 2 m/s
 B. 2 s 内物体的位移为 3 m
 C. 第 1 s 末拉力的瞬时功率最大
 D. 第 2 s 末拉力的瞬时功率最大

解析 由牛顿第二定律得第 1 s 和第 2 s 内的加速度分别为 2 m/s^2 和 1 m/s^2 , 第 1 s 末和第 2 s 末的速度分别为 $v_1 = a_1 t_1 = 2 \text{ m/s}$ 和 $v_2 = v_1 + a_2 t_2 = 3 \text{ m/s}$, 则选项 A 错误; 2 s 内的位移 $x = \frac{v_1 t_1}{2} + \frac{v_1 + v_2}{2} t_2 = 3.5 \text{ m}$,

则选项 B 错误；第 1 s 末拉力的瞬时功率 $P_1 = Fv_1 = 4 \text{ W}$ ，第 2 s 末拉力的瞬时功率 $P_2 = Fv_2 = 3 \text{ W}$ ，则选项 C 正确，D 错误。

答案 C

3. 如图 1 所示，表面光滑的固定斜面顶端安装一定滑轮，小物块 A、B 用轻绳连接并跨过滑轮(不计滑轮的质量和摩擦)。初始时刻，A、B 处于同一高度并恰好处于静止状态。剪断轻绳后 A 下落、B 沿斜面下滑，则从剪断轻绳到物块着地，两物块()。

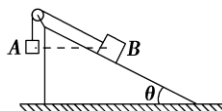


图 1

- A. 速率的变化量不同
- B. 机械能的变化量不同
- C. 重力势能的变化量相同
- D. 重力做功的平均功率相同

解析 由题意根据力的平衡有 $m_A g = m_B g \sin \theta$ ，所以 $m_A = m_B \sin \theta$ 。根据机械能守恒定律 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ ，得 $v = \sqrt{2gh}$ ，所以两物块落地速率相等，选项 A 错；因为两物块的机械能守恒，所以两物块的机械能变化量都为零，选项 B 错误；根据重力做功与重力势能变化的关系，重力势能的变化为 $\Delta E_p = -W_G = -mgh$ ，选项 C 错误；因为 A、B 两物块都做匀变速运动，所以 A 重力的平均功率为 $\overline{P}_A = m_A g \frac{v}{2}$ ，B 重力的平均功率 $\overline{P}_B = m_B g \frac{v}{2} \cos(\frac{\pi}{2} - \theta)$ ，因为 $m_A = m_B \sin \theta$ ，所以 $\overline{P}_A = \overline{P}_B$ ，选项 D 正确。

答案 D

4. 如图 2 所示，有一倾 $\theta = 30^\circ$ 的足够长斜坡，小孩在做游戏时，从该斜坡顶端将一足球沿水平方向踢出去，已知足球被踢出时的初动能为 9 J，不计空气阻力，则该足够第一次落在斜坡上时的动能为()。

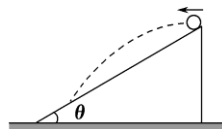


图 2

- A. 12 J
- B. 21 J
- C. 27 J
- D. 36 J

解析 足球被踢出后开始做平抛运动，第一次落在斜坡上时对足球的位移进行分解有 $\tan 30^\circ = \frac{y}{x} =$

$\frac{0 + v_y}{\frac{2}{v_0 t}}$ ，得 $\frac{v_0}{v_y} = \frac{\sqrt{3}}{2}$ ，足球第一次落在斜坡上时的动能为 $\frac{1}{2}m(v_0^2 + v_y^2) = 21 \text{ J}$ ，只有选项 B 正确。

答案 B

5. (2013 昆明市质检)如图 3 所示，质量为 m 的小球套在倾斜放置的固定光滑杆上，一根轻质弹簧一端固定于 O 点，另一端与小球相连，弹簧与杆在同一竖直平面内，将小球沿杆拉到弹簧水平位置由静止释放，小球沿杆下滑，当弹簧位于竖直位置时，小球速度恰好为零，此时小球下降的竖直高度为 h ，若全过程中弹簧始终处于伸长状态且处于弹性限度范围内，下列说法正确的是()。

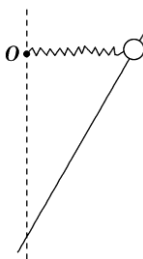


图 3

- A. 弹簧与杆垂直时，小球速度最大

- B. 弹簧与杆垂直时, 小球的动能与重力势能之和最大
 C. 小球下滑至最低点的过程中, 弹簧的弹性势能增加量小于 mgh
 D. 小球下滑至最低点的过程中, 弹簧的弹性势能增加量大于 mgh

解析 弹簧与杆垂直时, 弹性势能最小, 小球重力势能和动能之和最大, 选项 A 错误, B 正确. 由机械能守恒定律, 小球下滑至最低点的过程中, 弹簧的弹性势能增加等于 mgh , 选项 C、D 错误.

答案 B

6. 光滑水平面上静止的物体, 受到一个水平拉力作用开始运动, 拉力 F 随时间 t 变化的图象如图 4 所示, 用 E_k 、 v 、 x 、 P 分别表示物体的动能、速度、位移和拉力 F 的功率, 下列四个图象分别定性描述了这些物理量随时间变化的情况, 其中正确的是().

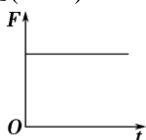
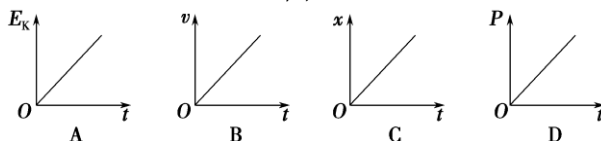


图 4



解析 由于拉力 F 恒定, 所以物体有恒定的加速度 a , 则 $v = at$, 则 v 与 t 成正比, 选项 B 正确; 由 $P = Fv = Fat$ 可知, P 与 t 成正比, 选项 D 正确; 由 $x = \frac{1}{2}at^2$ 可知 x 与 t^2 成正比, 选项 C 错误; 由动能定理可知 $E_k = Fx = \frac{1}{2}Fat^2$, E_k 与 t^2 成正比, 选项 A 错误.

答案 BD

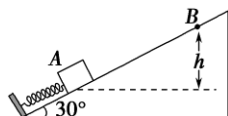


图 5

7. 如图 5 所示, 将一轻弹簧固定在倾角为 30° 的斜面底端, 现用一质量为 m 的物体将弹簧压缩锁定在 A 点, 解除锁定后, 物体将沿斜面上滑, 物体在运动过程中所能到达的最高点 B 距 A 的竖直高度为 h , 物体离开弹簧后沿斜面向上运动的加速度大小等于重力加速度 g . 则下列说法正确的是().

- A. 弹簧的最大弹性势能为 mgh
 B. 物体从 A 点运动到 B 点的过程中系统损失的机械能为 mgh
 C. 物体的最大动能等于弹簧的最大弹性势能
 D. 物体最终静止在 B 点

解析 物体离开弹簧上滑时, 有 $mgsin\theta + \mu mgcos\theta = ma = mg$, 又因为 $\theta = 30^\circ$, 所以 $mgsin\theta = \mu mgcos\theta = \frac{1}{2}mg$, $\mu = tan\theta$; 根据功能关系: $E_{pm} = mgh + Q$ 大于 mgh , A 项错误; 机械能损失 $\Delta E = Q = \mu mgcos\theta \cdot \frac{h}{sin30^\circ} = mgh$, B 项正确; 物体最大动能的位置在 A 点上方, 合外力为零处, 即 $kx' = mgsin\theta + \mu mgcos\theta$, $E_{pm} = E_{km} + mgh' + \mu mgcos\theta \cdot \frac{h'}{sin\theta}$, C 项错误; 因为 $\mu = tan\theta$, 所以物体可以在 B 点静止, D 项正确.

答案 BD

8. 在机场和火车站可以看到对行李进行安全检查用的水平传送带如图 6 所示, 当旅客把行李放在正在匀速运动的传送带上后, 传送带和行李之间的滑动摩擦力使行李开始运动, 随后它们保持相对静止, 行李随传送带一起匀速通过检测仪器接受检查, 设某机场的传送带匀速前进的速度为 0.4 m/s , 某行李箱的质量为 5 kg , 行李箱与传送带之间的动摩擦因数为 0.2 , 当旅客把这个行李箱小心地放在传送带上, 通过安全检查的过程中, g 取 10 m/s^2 , 则().



图 6

- A. 开始时行李的加速度为 2 m/s^2

- B. 行李到达 B 点时间为 2 s
 C. 传送带对行李做的功为 0.4 J
 D. 传送带上将留下一段摩擦痕迹, 该痕迹的长度是 0.03 m

解析 行李开始运动时由牛顿第二定律有: $\mu mg = ma$, 所以 $a = 2 \text{ m/s}^2$, 故 A 项正确.

由于传送带的长度未知, 故时间不可求, 故 B 项错误;

行李最后和传送带一起匀速运动, 所以传送带对行李做的功为 $W = \frac{1}{2}mv^2 = 0.4 \text{ J}$, 故 C 项正确;

在传送带上留下的痕迹长度为 $\Delta x = vt - \frac{vt}{2} = \frac{vt}{2} = 0.04 \text{ m}$, 故 D 项错误.

答案 AC

二、非选择题

9. 某同学利用竖直上抛小球的频闪照片验证机械能守恒定律. 频闪仪每隔 0.05 s 闪光一次, 如图 7 所标数据为实际距离, 该同学通过计算得到不同时刻的速度如下表(当地重力加速度取 9.8 m/s^2 , 小球质量 $m = 0.2 \text{ kg}$, 结果保留三位有效数字)

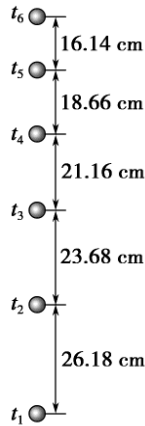


图 7

时刻	t_2	t_3	t_4	t_5
速度(m/s)	4.99	4.48	3.98	

- (1) 由频闪照片上的数据计算 t_5 时刻小球的速度 $v_5 =$ _____ m/s;
 (2) 从 t_2 到 t_5 时间内, 重力势能增量 $\Delta E_p =$ _____ J, 动能减少量 $\Delta E_k =$ _____ J;
 (3) 在误差允许的范围内, 若 ΔE_p 与 ΔE_k 近似相等, 即可验证了机械能守恒定律. 由上述计算得 ΔE_p _____ E_k (选填 “>” “<” 或 “=”), 造成这种结果的主要原因是_____.

解析 本题考查机械能守恒定律的验证, 与教材实验有所不同, 本题以竖直上抛为依托考查机械能守恒, 要注意知识的迁移和变化.

$$(1) v_5 = \frac{16.14 + 18.66}{2 \times 0.05} \times 10^{-2} \text{ m/s} = 3.48 \text{ m/s};$$

(2) 重力势能的增量 $\Delta E_p = mg\Delta h$, 代入数据可得 $\Delta E_p = 1.24 \text{ J}$, 动能减少量为 $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_5^2$, 代入数据可得 $\Delta E_k = 1.28 \text{ J}$;

(3) 由计算可得 $\Delta E_p < \Delta E_k$, 主要是由于存在空气阻力.

答案 (1) 3.48

(2) 1.24 1.28

(3) < 存在空气阻力

10. 某同学为探究“恒力做功与物体动能改变的关系”, 设计了如下实验, 他的操作步骤是:

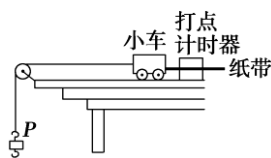


图 8

- 连接好实验装置如图 8 所示.
- 将质量为 200 g 的小车拉到打点计时器附近, 并按住小车.
- 在质量为 10 g、30 g、50 g 的三种钩码中, 他挑选了一个质量为 50 g 的钩码挂在拉线的挂钩 P 上.
- 释放小车, 打开打点计时器的电源, 打出一条纸带.

(1) 在多次重复实验得到的纸带中取出自认为满意的一条. 经测量、计算, 得到如下数据:

① 第一个点到第 N 个点的距离为 40.0 cm.

② 打下第 N 点时小车的速度大小为 1.00 m/s. 该同学将钩码的重力当作小车所受的拉力, 拉力对小车做的功为 _____ J, 小车动能的增量为 _____ J.

(2) 此次实验探究结果, 他没能得到“恒力对物体做的功等于物体动能的增量”, 且误差很大, 显然, 在实验探究过程中忽视了各种产生误差的因素. 请你根据该同学的实验装置和操作过程帮助分析一下, 造成较大误差的主要原因有: _____.

(至少写出两条原因)

解析 (1) 拉力为 $F = mg = 0.050 \times 9.8 \text{ N} = 0.49 \text{ N}$,

拉力对小车做的功:

$$W = Fl = 0.49 \times 0.400 \text{ J} = 0.196 \text{ J},$$

小车动能的增量:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 0.200 \times 1.00^2 \text{ J} = 0.100 \text{ J}.$$

(2) 误差很大的可能原因: ① 小车质量不满足远大于钩码质量; ② 没有平衡摩擦力; ③ 先放小车后开电源, 使打第一个点时, 小车已有了一定的初速度.

答案 (1) ② 0.196 0.100 (2) ① 小车质量没有远大于钩码质量; ② 没有平衡摩擦力; ③ 操作错误: 先放小车后开电源(任选其二)

11. (2013 江西联考) 有一个边长为 $L = 1.6 \text{ m}$ 的正方形桌子, 桌面离地高度为 $h = 1.25 \text{ m}$. 一个质量为 m 的小物块可从桌面正中心 O 点以初速 $v_0 = 3 \text{ m/s}$ 沿着与 OA 成 37° 的方向在桌面上运动直至落地. 设物块与桌面间的动摩擦因数为 $\mu = 0.25$, 取 $g = 10 \text{ m/s}^2$, $\cos 37^\circ = 0.8$, 则:

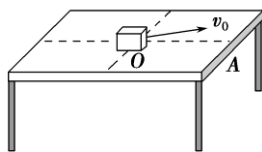


图 9

(1) 物块落地的速度大小是多少?

(2) 物块落地点到桌面中心 O 点的水平距离是多少?

解析 (1) 设小物块落地时的速度为 v , 由能量守恒可得:

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \mu mg \left(\frac{L/2}{\cos 37^\circ} \right)$$

代入数据得: $v = \sqrt{29} \text{ m/s}$.

(2) 设小物块运动到桌边时的速度为 v' , 则由能量守恒可得:

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv'^2 + \mu mg \left(\frac{L/2}{\cos 37^\circ} \right)$$

代入数据得 $v' = 2 \text{ m/s}$

小物块做平抛运动的时间为 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0.5 \text{ s}$

小物块落地点到桌面中心 O 点的水平距离为

$$x = v' t + \frac{L/2}{\cos 37^\circ} = 2 \text{ m}$$

答案 (1) $\sqrt{29}$ m/s (2) 2 m

12. 如图 10 所示, ABC 为固定在竖直面内的光滑四分之一圆轨道, 其半径为 $r=10$ m, N 为固定在水平面内的半圆平面, 其半径为 $R=\frac{10}{\pi}$ m, 轨道 ABC 与平面 N 相切于 C 点, DEF 是包围在半圆平面 N 周围且垂直于 N 的光滑半圆形挡板, 质量为 $M=1$ kg 的滑块的上表面与平面 N 在同一水平面内, 且滑块与 N 接触紧密但不连接, 现让物体自 A 点由静止开始下滑, 进入平面 N 后受到挡板 DEF 的约束并最终冲上滑块, 已知 $m=1$ kg, 物体与平面 N 之间的动摩擦因数为 $\mu_1=0.5$ 、与滑块之间的动摩擦因数为 $\mu_2=0.4$, 滑块与地面之间是光滑的, 滑块的竖直高度为 $h=0.05$ m, 长 $L=4$ m. (取 $g=10$ m/s²)

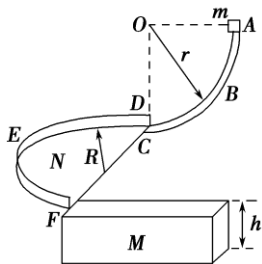


图 10

- (1) 物体滑到 C 处时对圆轨道的压力是多少?
- (2) 物体运动到 F 处时的速度是多少?
- (3) 当物体从滑块上滑落后到达地面时, 物体与滑块之间的距离是多少?

解析 (1) 对物体从 A 处到 C 处, 由机械能守恒定律得

$$mgr = \frac{1}{2}mv_C^2, \text{ 在 } C \text{ 处有 } F - mg = m\frac{v_C^2}{r}$$

联立解得 $F = 3mg = 30$ N

由牛顿第三定律可知, 物体滑到 C 处时, 对圆轨道的压力是 30 N.

(2) 对物体从 C 处到 F 处, 由动能定理有

$$-\mu_1 mg \times \pi R = \frac{1}{2}mv_F^2 - \frac{1}{2}mv_C^2, \text{ 解得 } v_F = 10 \text{ m/s.}$$

(3) 物体在滑块上运动, 对物体由牛顿第二定律有:

$$-\mu_2 mg = ma_1, \text{ 解得 } a_1 = -4 \text{ m/s}^2$$

对滑块由牛顿第二定律有: $\mu_2 mg = Ma_2$,

解得 $a_2 = 4 \text{ m/s}^2$

设经 t 时间物体刚要从滑块上滑落, 此时物体的速度为 v_1 , 运动的位移为 x_1 , 滑块的速度为 v_2 , 运动的位移为 x_2

$$x_1 = v_F t + \frac{1}{2}a_1 t^2, x_2 = \frac{1}{2}a_2 t^2, x_1 - x_2 = L$$

由以上三式得 $t = \frac{1}{2}$ s 或 2 s (不合题意舍去)

则有 $v_1 = 8$ m/s, $v_2 = 2$ m/s

设物体从抛出到落地时间为 t_1 , $h = \frac{1}{2}gt_1^2$, 得 $t_1 = 0.1$ s

这段时间内物体水平位移 $x_3 = v_1 t_1 = 0.8$ m

滑块水平位移 $x_4 = v_2 t_1 = 0.2$ m

$\Delta x = x_3 - x_4 = 0.6$ m.

答案 (1) 30 N (2) 10 m/s (3) 0.6 m

选修3-1

第六章 静电场

第1讲 电场的力的性质

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点1

物质的电结构、电荷守恒 (考纲要求 I)

1. 物质的电结构

(1)原子是由带正电的原子核和带负电的电子构成,原子核的正电荷数与电子的负电荷数相等.

(2)金属中离原子核最远的电子往往会脱离原子核的束缚而在金属中自由活动,这种电子叫做自由电子.

2. 电荷及电荷守恒定律

(1)元电荷:最小的电荷量,其值为 $e=1.60\times 10^{-19}\text{C}$.其他带电体的电荷量皆为元电荷的整数倍.

(2)电荷守恒定律

①内容:电荷既不会创生,也不会消灭,它只能从一个物体转移到另一个物体,或者从物体的一部分转移到另一部分;在转移过程中,电荷的总量保持不变.

②起电方式:摩擦起电、接触起电、感应起电.

③带电实质:物体带电的实质是得失电子.

考点2

点电荷、静电场 (考纲要求 I)

1. 点电荷

(1)当带电体本身的大小和形状对研究的问题影响很小时,可以将带电体视为点电荷.

(2)是一种理想化的物理模型.

2. 静电场

(1)定义:存在于电荷周围,能传递电荷间相互作用的一种特殊物质.

(2)基本性质:对放入其中的电荷有力的作用.

思维深化 1 判断正误,正确的划“√”,错误的划“×”.

(1)任何带电体所带的电荷量都是元电荷的整数倍.()

(2)完全相同的两金属球接触后电荷先中和后平分.()

(3)把电荷放入电场中,电荷一定受到电场力的作用.()

答案 (1)√ (2)√ (3)√

考点3

库仑定律 (考纲要求 II)

1.内容:真空中两个静止点电荷之间的相互作用力与它们的电荷量的乘积成正比,与它们的距离的平方成反比.作用力的方向在它们的连线上.

2. 表达式: $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$, 式中 $k=9.0\times 10^9\text{ N m}^2/\text{C}^2$, 叫静电力常量.
 3. 适用条件: 真空中的点电荷.

考点4

电场强度、点电荷的场强 (考纲要求 II)

1. 定义: 放入电场中某点的电荷受到的电场力 F 与它的电荷量 q 的比值.
 2. 定义式: $E=\frac{F}{q}$. 单位: N/C 或 V/m
 3. 点电荷的电场强度
 真空中点电荷形成的电场中某点的电场强度: $E=k\frac{Q}{r^2}$.
 4. 方向: 规定正电荷在电场中某点所受电场力的方向为该点的电场强度方向.
 5. 电场强度的叠加: 电场中某点的电场强度为各个点电荷单独在该点产生的电场强度的矢量和, 遵从平行四边形定则.

思维深化 2 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

- (1) 根据公式 $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$ 得, 当 $r\rightarrow 0$ 时, 有 $F\rightarrow \infty$. ()
 (2) 电场强度反映了电场力的性质, 所以此电场中某点的场强与试探电荷在该点所受的电场力成正比. ()
 (3) 电场中某点的场强方向即为正电荷在该点所受的电场力的方向. ()
 (4) 在真空中, 电场强度的表达式为 $E=\frac{kQ}{r^2}$, 式中 Q 就是产生电场的点电荷. ()

答案 (1)× (2)× (3)√ (4)√

考点5

电场线 (考纲要求 I)

1. 定义: 为了形象地描述电场中各点电场强度的强弱及方向, 在电场中画出一些曲线, 曲线上每一点的切线方向都跟该点的电场强度方向一致, 曲线的疏密表示电场的强弱.
 2. 几种典型电场的电场线(如图 6-1-1 所示).

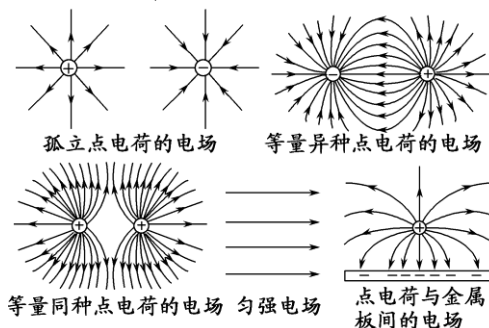


图 6-1-1

思维深化 3 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

- (1) 在点电荷电场中, 以点电荷为球心的同一球面上各点的场强都相同. ()
 (2) 带电粒子的运动轨迹可能与电场线重合. ()
 (3) 电场线的方向即为带电粒子的运动方向. ()

答案 (1)× (2)√ (3)×

基础自测

1. (多选)关于元电荷的下列说法中正确的是().
 A. 元电荷实质上是指电子和质子本身
 B. 所有带电体的电荷量一定等于元电荷的整数倍
 C. 元电荷的值通常取 $e=1.60\times 10^{-19}\text{ C}$
 D. 电荷量 e 的数值最早是由美国科学家密立根通过实验测得的

解析 元电荷只是一个电荷量单位, 没有正、负, 不是物体, 电子、质子是实实在在的粒子, 不是

元电荷，其带电荷量为一个元电荷，A 错误；实验得出，所有带电体的电荷量或者等于 e ，或者是 e 的整数倍，这就是说，电荷量是不能连续变化的物理量，B 正确；电荷量 e 的数值最早是由美国物理学家密立根测得的，D 正确。

答案 BCD

2. (单选)关于电场强度的概念，下列说法正确的是()。

A. 由 $E = \frac{F}{q}$ 可知，某电场的场强 E 与 q 成反比，与 F 成正比

B. 正、负试探电荷在电场中同一点受到的电场力方向相反，所以某一点场强方向与放入试探电荷的正负有关

C. 电场中某一点的场强与放入该点的试探电荷的正负无关

D. 电场中某一点不放试探电荷时，该点场强等于零

解析 电场中某点场强的大小由电场本身决定，与试探电荷的受力情况及电荷性质无关，故 A、D 错误，C 正确；而电场强度的方向与正电荷受电场力方向相同，与负电荷所受电场力方向相反，B 错误。

答案 C

3. (单选)两个分别带有电荷量为 $-Q$ 和 $+3Q$ 的相同金属小球(均可视为点电荷)，固定在相距为 r 的两处，它们间库仑力的大小为 F 。两小球相互接触后将其固定距离变为 $\frac{r}{2}$ ，则两球间库仑力的大小为()。

A. $\frac{1}{12}F$ B. $\frac{3}{4}F$ C. $\frac{4}{3}F$ D. $12F$

解析 两带电金属球接触前，由库仑定律得： $F = k\frac{3Q^2}{r^2}$ ，两带电金属球接触后，它们的电荷量先中和后均分， $F' = k\frac{Q^2}{(\frac{r}{2})^2} = k\frac{4Q^2}{r^2}$ 。联立得 $F' = \frac{4}{3}F$ ，C 选项正确。

答案 C

4. (单选)如图 6-1-2 所示，两个质量均为 m 的完全相同的金属球壳 a 与 b ，壳层的厚度和质量分布均匀，将它们分别固定于绝缘支座上，两球心间的距离为 l ，为球半径的 3 倍。若使它们带上等量异种电荷，两球电量的绝对值均为 Q ，那么， a 、 b 两球之间的万有引力 $F_{引}$ 、库仑力 $F_{库}$ 分别为()。

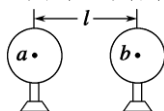


图 6-1-2

A. $F_{引} = G\frac{m^2}{l^2}$, $F_{库} = k\frac{Q^2}{l^2}$

B. $F_{引} \neq G\frac{m^2}{l^2}$, $F_{库} \neq k\frac{Q^2}{l^2}$

C. $F_{引} \neq G\frac{m^2}{l^2}$, $F_{库} = k\frac{Q^2}{l^2}$

D. $F_{引} = G\frac{m^2}{l^2}$, $F_{库} \neq k\frac{Q^2}{l^2}$

解析 万有引力定律适用于两个可看成质点的物体，虽然两球心间的距离 l 只有半径的 3 倍，但由于壳层的厚度和质量分布均匀，两球壳可看做质量集中于球心的质点。因此，可以应用万有引力定律。对于 a 、 b 两带电球壳，由于两球心间的距离 l 只有半径的 3 倍，不能看成点电荷，不满足库仑定律的适用条件，故 D 正确。

答案 D

5. (多选)如图 6-1-3 所示为电场中的一条电场线，



图 6-1-3

在该电场线上有 a 、 b 两点，用 E_a 、 E_b 分别表示两点电场强度的大小，则()。

A. a 、 b 两点的场强方向相同

B. 因为电场线由 a 指向 b ，所以 $E_a > E_b$

C. 因为电场线是直线，所以 $E_a = E_b$

D. 不知道 a 、 b 附近电场线的分布情况, E_a 、 E_b 的大小不能确定

解析 电场线上某点的切线方向表示该点电场强度的方向, 本题中的电场线是直线, 因此 a 、 b 两点的电场强度方向相同; 电场线的疏密表示电场强度的大小, 一条电场线不能确定 a 、 b 两点的电场强度的大小关系.

答案 AD

6. (单选)如图 6-1-4 所示, 一带负电粒子以某速度进入水平向右的匀强电场中, 在电场力作用下形成图中所示的运动轨迹. M 和 N 是轨迹上的两点, 其中 M 点是轨迹的最右点. 不计重力, 下列表述正确的是().

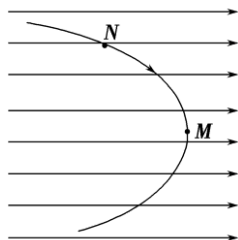


图 6-1-4

- A. 粒子在 M 点的速率最大
- B. 粒子所受电场力的方向沿电场力方向
- C. 粒子在电场中的加速度不变
- D. 粒子在电场中的电势能始终在增加

解析 粒子接近 M 点过程中电场力做负功, 离开 M 点的过程中电场力做正功, 所以在 M 点粒子的速率应该最小, 且所受电场力方向与电场方向相反, A、B 错误, 粒子在匀强电场中运动, 所受电场力不变, 加速度不变, C 正确, 因为动能先减小后增加, 所以电势能先增加后减小, D 错误.

答案 C

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 电场强度的理解及计算

1. 电场强度三个表达式的比较

表达式 比较	$E = \frac{F}{q}$	$E = k \frac{Q}{r^2}$	$E = \frac{U}{d}$
公式意义	电场强度定义式	真空中点电荷电场强度的决定式	匀强电场中 E 与 U 的关系式
适用条件	一切电场	①真空 ②点电荷	匀强电场
决定因素	由电场本身决定, 与 q 无关	由场源电荷 Q 和场源电荷到该点的距离 r 共同决定	由电场本身决定, d 为沿电场方向的距离
相同点	矢量, 遵守平行四边形定则 单位: $1 \text{ N/C} = 1 \text{ V/m}$		

2. 电场强度的计算方法

除用以上三个表达式计算外, 还可以借助下列三种方法求解:

- (1) 电场叠加合成的方法.
- (2) 平衡条件求解法.
- (3) 对称法.

【典例 1】(2013 新课标全国卷 I, 15)如图 6-1-5, 一半径为 R 的圆盘上均匀分布着电荷量为 Q 的电荷, 在垂直于圆盘且过圆心 c 的轴线上有 a 、 b 、 d 三个点, a 和 b 、 b 和 c 、 c 和 d 间的距离均为 R , 在 a 点处有一电荷量为 q ($q > 0$) 的固定点电荷. 已知 b 点处的场强为零, 则 d 点处场强的大小为(k 为静电力常量)().

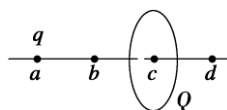


图 6-1-5

- A. $k\frac{3q}{R^2}$ B. $k\frac{10q}{9R^2}$ C. $k\frac{Q+q}{R^2}$ D. $k\frac{9Q+q}{9R^2}$

解析 本题应从点电荷产生的电场和电场的叠加角度解决问题。

已知 a 处点电荷和带电圆盘均在 b 处产生电场，且 b 处场强为零，所以带电圆盘在 b 处产生的电场场强 E_1 和 q 在 b 处产生的电场场强 E_{ab} 等大反向，即 $E_1 = E_{ab} = \frac{kq}{R^2}$ ，带电圆盘在 d 处产生的电场场强 $E_2 = E_1$ 且方向与 E_1 相反， q 在 d 处产生的电场场强 $E_{ad} = \frac{kq}{(3R)^2}$ ，则 d 处场强 $E_d = E_2 + E_{ad} = \frac{kq}{R^2} + \frac{kq}{9R^2} = k\frac{10q}{9R^2}$ ，

选项 B 正确。

答案 B

反思总结 分析电场叠加问题的一般步骤

电场强度是矢量，叠加时应遵从平行四边形定则，分析电场的叠加问题的一般步骤是：

- (1) 确定分析计算的空间位置；
- (2) 分析该处有几个分电场，先计算出各个分电场在该点的电场强度的大小和方向；
- (3) 依次利用平行四边形定则求出矢量和。

【跟踪短训】

1. 在图 6-1-6 中， A 、 B 、 C 三点都在匀强电场中，已知 $AC \perp BC$ ， $\angle ABC = 60^\circ$ ， $BC = 20$ cm。把一个电量 $q = 1 \times 10^{-5}$ C 的正电荷从 A 移到 B ，电场力做功为 0；从 B 移到 C ，电场力做功为 -1.73×10^{-3} J。该匀强电场的电场强度大小和方向为()。

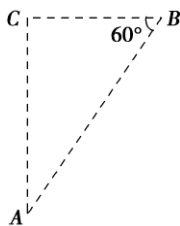
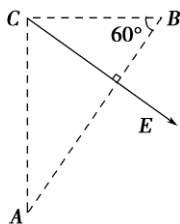


图 6-1-6

- A. 865 V/m 垂直 AB 连线斜向下
 B. 865 V/m 沿 CB 方向
 C. 1 000 V/m 垂直 AB 连线斜向下
 D. 1 000 V/m 垂直 AB 连线斜向上



解析 把电荷 q 从 A 移到 B ，电场力做功为零，因此 A 、 B 为等势面上的两点。据电荷从 B 移到 C

的做功情况，得 B 、 C 两点间电势差 $U_{BC} = \frac{W}{q} = \frac{-1.73 \times 10^{-3} \text{ J}}{10^{-5} \text{ C}} = -173 \text{ V} < 0$

而 $U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C$ 可知 B 点电势比 C 点电势低 173 V

根据电场线和等势面的关系知，场强方向必垂直于 AB 连线斜向下，如图所示，大小为

$$E = \frac{U}{d} = \frac{U}{BC \sin 60^\circ} = 1\,000 \text{ V/m}$$

答案 C

2. 如图 6-1-7 所示, 一个质量为 30 g、带电量为 $-1.7 \times 10^{-8} \text{C}$ 的半径极小的小球用丝线悬挂在某匀强电场中, 电场线与水平面平行. 当小球静止时, 测得悬线与竖直方向夹角为 30° , 则匀强电场方向和大小为(g 取 10 m/s^2)().

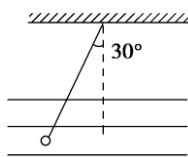
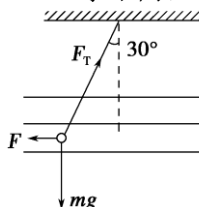


图 6-1-7

- A. 水平向右 $5 \times 10^6 \text{ N/C}$
C. 水平向左 $5 \times 10^6 \text{ N/C}$

- B. 水平向右 $1 \times 10^7 \text{ N/C}$
D. 水平向左 $1 \times 10^7 \text{ N/C}$



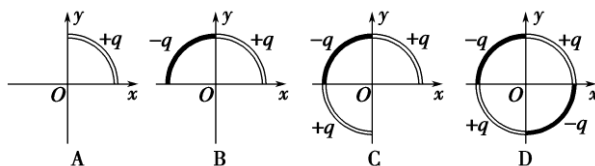
解析 分析小球受力, 重力 mg 竖直向下, 丝线拉力 F_T 沿丝线方向向上, 因为小球处于平衡状态, 还应受水平向左的电场力 F . 小球带负电, 所受电场力方向与场强方向相反, 所以场强方向水平向右.

小球在 3 个力作用之下处于平衡状态, 3 个力的合力必为零.

所以 $F = mg \tan 30^\circ$, 又 $F = Eq$, $Eq = mg \tan 30^\circ$, 则 $E = \frac{mg \tan 30^\circ}{q}$, 代入数据得: $E = 1 \times 10^7 \text{ N/C}$.

答案 B

3. (2013 江苏卷, 3) 下列选项中的各 $\frac{1}{4}$ 圆环大小相同, 所带电荷量已在图中标出, 且电荷均匀分布, 各 $\frac{1}{4}$ 圆环间彼此绝缘. 坐标原点 O 处电场强度最大的是().



解析 每个 $\frac{1}{4}$ 圆环在 O 点产生的电场强度大小相等, 设为 E . 根据电场的叠加原理和对称性, 得 A、B、C、D 各图中 O 点的电场强度分别为 $E_A = E$ 、 $E_B = \sqrt{2}E$ 、 $E_C = E$ 、 $E_D = 0$, 故选项 B 正确.

答案 B

热点二 库仑力作用下的平衡问题

1. 静电场中带电体平衡问题的解题思路

(1) 确定研究对象. 如果有几个物体相互作用时, 要依据题意, 适当选取“整体法”或“隔离法”, 确定研究对象.

(2) 受力分析. 注意多了一个库仑力 ($F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$).

(3) 列平衡方程.

2. 库仑定律及库仑力的两点注意

(1) 库仑定律 ($F = k \frac{q_1q_2}{r^2}$) 适用于真空中的点电荷, 其正负不表示力的大小, 而表示力的性质.

(2) 库仑力具有力的共性, 如两个点电荷间的库仑力满足牛顿第三定律.

【典例 2】 (2013 新课标全国卷 II, 18) 如图 6-1-8, 在光滑绝缘水平面上, 三个带电小球 a 、 b 和 c 分别位于边长为 l 的正三角形的三个顶点上; a 、 b 带正电, 电荷量均为 q , c 带负电. 整个系统置于方向水平的匀强电场中. 已知静电力常量为 k . 若三个小球均处于静止状态, 则匀强电场场强的大小为().

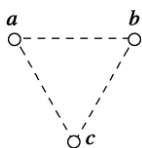
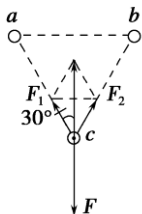


图 6-1-8

- A. $\frac{\sqrt{3}kq}{3l^2}$ B. $\frac{\sqrt{3}kq}{l^2}$ C. $\frac{3kq}{l^2}$ D. $\frac{2\sqrt{3}kq}{l^2}$

解析 各小球都在力的作用下处于静止状态，分别对各小球受力分析，列平衡方程可求解。

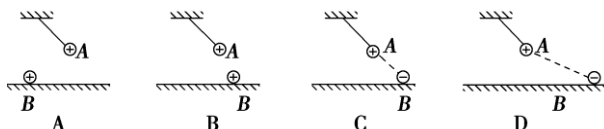


以 c 球为研究对象，除受 a 、 b 两个小球的库仑力外还受匀强电场的静电力，如图所示。 c 球处于平衡状态，据共点力平衡条件可知 $F = 2k\frac{qq_c}{l^2}\cos 30^\circ$ ， $F = Eq_c$ ，解得 $E = \frac{\sqrt{3}kq}{l^2}$ ，选项 B 正确。

答案 B

【跟踪短训】

4. 下列选项中， A 球系在绝缘细线的下端， B 球固定在绝缘平面上，它们带电的种类以及位置已在图中标出。 A 球能保持静止的是()。



解析 对带电小球 A 进行受力分析，小球 A 受到重力、线的拉力和库仑力的作用，小球 A 能保持静止，说明三个力的合力为零。

答案 AD

5. 两个大小相同的小球带有同种电荷，质量分别为 m_1 和 m_2 ，带电荷量分别是 q_1 和 q_2 ，用绝缘线悬挂后，因静电力而使两悬线张开，分别与中垂线方向成 α_1 角和 α_2 角，且两球处于同一水平线上，如图 6-1-9 所示，若 $\alpha_1 = \alpha_2$ ，则下述结论正确的是()。

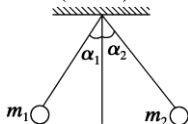
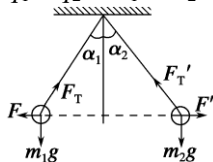


图 6-1-9

- A. q_1 一定等于 q_2 B. 一定满足 $\frac{q_1}{m_1} = \frac{q_2}{m_2}$
 C. m_1 一定等于 m_2 D. 必须同时满足 $q_1 = q_2$ 、 $m_1 = m_2$



解析 分别对两小球进行受力分析，如图所示，由平衡条件得 $F - F_T \sin \alpha_1 = 0$ ； $F_T \cos \alpha_1 - m_1 g = 0$ 。

所以 $\tan \alpha_1 = \frac{F}{m_1 g} = \frac{kq_1 q_2}{m_1 g r^2}$ 。同理 $\tan \alpha_2 = \frac{F}{m_2 g} = \frac{kq_1 q_2}{m_2 g r^2}$ 。因为 $\alpha_1 = \alpha_2$ ，所以 $m_1 = m_2$ 。

答案 C

热点三 对电场线的理解及应用

电场线的应用

(1)判断电场强度的方向

电场线上任意一点的切线方向即为该点电场的方向。

(2)判断电场力的方向——正电荷的受力方向和电场线在该点切线方向相同，负电荷的受力方向和电场线在该点切线方向相反。

(3)判断电场强度的大小(定性)——电场线密处电场强度大，电场线疏处电场强度小，进而可判断电荷受力大小和加速度的大小。

(4)判断电势的高低与电势降低的快慢——沿电场线的方向电势逐渐降低，电场强度的方向是电势降低最快的方向。

【典例3】三个点电荷电场的电场线分布如图6-1-10所示，图中 a 、 b 两点处的场强大小分别为 E_a 、 E_b ，电势分别为 φ_a 、 φ_b ，则()。

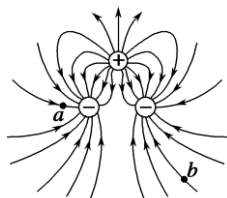


图 6-1-10

- A. $E_a > E_b$, $\varphi_a > \varphi_b$ B. $E_a < E_b$, $\varphi_a < \varphi_b$
 C. $E_a > E_b$, $\varphi_a < \varphi_b$ D. $E_a < E_b$, $\varphi_a > \varphi_b$

解析 由题图可以看出 a 处电场线更密，所以 $E_a > E_b$ ，根据对称性， a 处的电势应与右侧负电荷附近对称点的电势相等，再根据沿电场线方向电势降低可以判定 $\varphi_b > \varphi_a$ ，故C项正确。

答案 C

【跟踪短训】

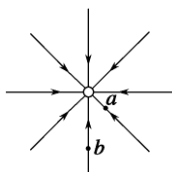


图 6-1-11

6. 图6-1-11是某一点电荷的电场线分布图，下列表述正确的是()。

- A. a 点的电势高于 b 点的电势
 B. 该点电荷带负电
 C. a 点和 b 点电场强度的方向相同
 D. a 点的电场强度大于 b 点的电场强度

解析 沿电场线方向电势降低，故A选项错误；由图中电场线分布知，此图为一负点电荷的电场线分布图，B项正确；电场线密集处场强大，C项错、D项正确。

答案 BD

7. 图6-1-12中的实线表示电场线，虚线表示只受电场力作用的带正电粒子的运动轨迹，粒子先经过 M 点，再经过 N 点，可以判定()。

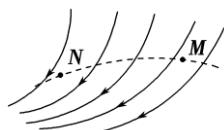


图 6-1-12

- A. M 点的电势大于 N 点的电势
 B. M 点的电势小于 N 点的电势
 C. 粒子在 M 点受到的电场力大于在 N 点受到的电场力
 D. 粒子在 M 点受到的电场力小于在 N 点受到的电场力

解析 此电场为非匀强电场，从电场线的疏密程度能够判断出场强的大小， N 点处电场线比 M 点处密集，则 N 点场强大于 M 点场强，同一带电粒子在 N 点受到的电场力大于在 M 点受到的电场力，D正确、C错误。顺着电场线的方向电势逐渐降低， M 点的电势大于 N 点的电势，A正确、B错误。

答案 AD

物理建模 9.三电荷平衡模型 两个等量点电荷电场的分布模型

►► 模型一 三电荷平衡模型

1. 模型构建

对由三个自由电荷组成的系统，且它们仅靠彼此间的静电力作用而处于平衡状态，该系统即为三电荷平衡模型。

2. 模型条件

- (1)三个点电荷共线.
- (2)三个点电荷彼此间仅靠电场力作用达到平衡，不受其他外力.
- (3)任意一个点电荷受到其他两个点电荷的电场力大小相等，方向相反，为一对平衡力.

3. 模型特点

- (1)“三点共线”——三个点电荷分布在同一直线上.
- (2)“两同夹异”——正负电荷相互间隔.
- (3)“两大夹小”——中间电荷的电荷量最小.
- (4)“近小远大”——中间电荷靠近电荷量较小的电荷.

【典例1】如图6-1-13所示，在光滑绝缘水平面上放置电荷量分别为 q_1 、 q_2 、 q_3 的三个点电荷，三者位于一条直线上，已知 q_1 与 q_2 之间的距离为 l_1 ， q_2 与 q_3 之间的距离为 l_2 ，三个点电荷都处于静止状态。

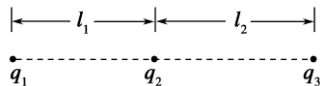


图 6 - 1 - 13

- (1)若 q_2 为正电荷，判断 q_1 和 q_3 的电性；
- (2)求 q_1 、 q_2 、 q_3 三者电荷量大小之比.

解析 (1) q_2 为正电荷时，假设 q_1 为正电荷，要使 q_2 受力平衡， q_3 应为正电荷，但此时分析 q_1 的受力情况， q_2 对 q_1 有向左的斥力， q_3 对 q_1 也有向左的斥力， q_1 所受合力向左，不能平衡，因此， q_2 为正电荷时， q_1 只能为负电荷。同理可知， q_3 为负电荷。

(2)三个点电荷所受合力都等于零，根据共点力平衡条件和库仑定律有

$$\text{对 } q_2 : k \frac{q_1 q_2}{l_1^2} = k \frac{q_2 q_3}{l_2^2}$$

$$\text{对 } q_1 : k \frac{q_1 q_2}{l_1^2} = k \frac{q_1 q_3}{(l_1 + l_2)^2}$$

$$\text{联立可解得 } q_1 : q_2 : q_3 = \left(\frac{l_1 + l_2}{l_2}\right)^2 : 1 : \left(\frac{l_1 + l_2}{l_1}\right)^2$$

$$\text{答案 (1)负, 负 (2)} \left(\frac{l_1 + l_2}{l_2}\right)^2 : 1 : \left(\frac{l_1 + l_2}{l_1}\right)^2$$

即学即练 1 两个可自由移动的点电荷分别放在A、B两处，如图6-1-14所示。A处电荷带正电荷量 Q_1 ，B处电荷带负电荷量 Q_2 ，且 $Q_2=4Q_1$ ，另取一个可以自由移动的点电荷 Q_3 ，放在AB直线上，欲使整个系统处于平衡状态，则()。



图 6 - 1 - 14

- A. Q_3 为负电荷，且放于A左方
- B. Q_3 为负电荷，且放于B右方
- C. Q_3 为正电荷，且放于A、B之间
- D. Q_3 为正电荷，且放于B右方

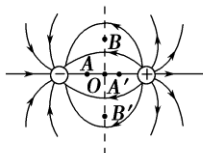
解析 因为每个电荷都受到其余两个电荷的库仑力作用，且已知 Q_1 和 Q_2 是异种电荷，对 Q_3 的作用力一为引力，一为斥力，所以 Q_3 要平衡就不能放在A、B之间。根据库仑定律知，由于B处的电荷

Q_2 电荷量较大, Q_3 应放在离 Q_2 较远而离 Q_1 较近的地方才有可能处于平衡, 故应放在 Q_1 的左侧. 要使 Q_1 和 Q_2 也处于平衡状态, Q_3 必须带负电, 故应选 A.

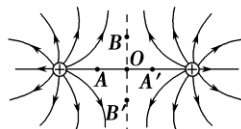
答案 A

模型二 两个等量点电荷电场的分布模型

1. 模型构建



等量异种点电荷



等量同种点电荷

2. 模型条件

- (1) 等量
- (2) 点电荷

3. 模型特点

项目	等量异种点电荷	等量同种点电荷
连线中点 O 处的场强大小	最小, 指向负电荷一方	为零
连线上的场强大小	沿连线先变小, 再变大	沿连线先变小, 再变大
沿中垂线由 O 点向外场强大小	O 点最大, 向外逐渐减小	O 点最小, 向外先变大后变小

【典例 2】如图 6-1-15 为真空中两点电荷 A 、 B 形成的电场中的一簇电场线, 已知该电场线关于虚线对称, O 点为 A 、 B 电荷连线的中点, a 、 b 为其连线的中垂线上对称的两点, 则下列说法正确的是()。

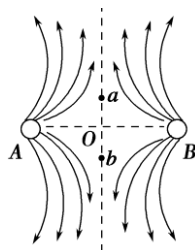


图 6-1-15

- A. A 、 B 可能带等量异号的正、负电荷
- B. A 、 B 可能带不等量的正电荷
- C. a 、 b 两点处无电场线, 故其电场强度可能为零
- D. 同一试探电荷在 a 、 b 两点处所受电场力大小相等, 方向一定相反

解析 根据题图中的电场线分布可知, A 、 B 带等量的正电荷, 选项 A、B 错误; a 、 b 两点处虽然没有画电场线, 但其电场强度一定不为零, 选项 C 错误; 由图可知, a 、 b 两点处电场强度大小相等, 方向相反, 同一试探电荷在 a 、 b 两点处所受电场力大小相等, 方向一定相反, 选项 D 正确.

答案 D

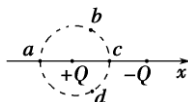


图 6-1-16

即学即练 2 (2013 山东卷, 19)如图 6-1-16 所示, 在 x 轴上相距为 L 的两点固定两个等量异种点电荷 $+Q$ 、 $-Q$, 虚线是以 $+Q$ 所在点为圆心、 $\frac{L}{2}$ 为半径的圆, a 、 b 、 c 、 d 是圆上的四个点, 其中 a 、 c 两点在 x 轴上, b 、 d 两点关于 x 轴对称. 下列判断正确的是()。

- A. b 、 d 两点处的电势相同
- B. 四个点中 c 点处的电势最低

C. b 、 d 两点处的电场强度相同

D. 将一试探电荷 $+q$ 沿圆周由 a 点移至 c 点, $+q$ 的电势能减小

解析 根据等量异种点电荷电场线及等势线的分布可知 b 、 d 两点电势相同, 电场强度大小相等、方向不同, 选项 A 对, C 错. c 点电势为 0, 由 a 经 b 到 c , 电势越来越低, 正电荷由 a 经 b 到 c 电势能越来越小, 选项 B、D 对.

答案 ABD

附: 对应高考题组

1. (2010 全国 II, 17) 在雷雨云下沿竖直方向的电场强度约为 10^4 V/m. 已知一半径为 1 mm 的雨滴在此电场中不会下落, 取重力加速度大小为 10 m/s², 水的密度为 10^3 kg/m³. 这雨滴携带的电荷量的最小值约为 ().

A. 2×10^{-9} C B. 4×10^{-9} C C. 6×10^{-9} C D. 8×10^{-9} C

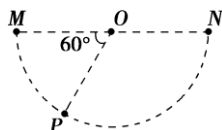
解析 由于雨滴在此电场中不会下落, 则有:

$$qE \geq mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$$

$$\text{雨滴所带电荷量为: } q \geq \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g}{E} \approx 4 \times 10^{-9} \text{ C,}$$

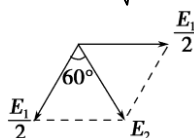
正确选项为 B.

答案 B



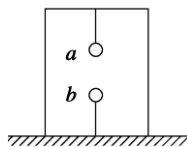
2. (2010 海南单科, 4) 如图, M 、 N 和 P 是以 MN 为直径的半圆弧上的三点, O 点为半圆弧的圆心, $\angle MOP = 60^\circ$. 电荷量相等、符号相反的两个点电荷分别置于 M 、 N 两点, 这时 O 点电场强度的大小为 E_1 ; 若将 N 点处的点电荷移至 P 点, 则 O 点的场强大小变为 E_2 , E_1 与 E_2 之比为 ().

A. 1:2 B. 2:1 C. $2:\sqrt{3}$ D. $4:\sqrt{3}$



解析 依题意, 每个点电荷在 O 点产生的场强为 $\frac{E_1}{2}$, 则当 N 点处的点电荷移至 P 点时, O 点场强如图所示, 合场强大小为 $E_2 = \frac{E_1}{2}$, 则 $\frac{E_1}{E_2} = \frac{2}{1}$, B 正确.

答案 B

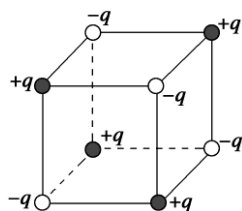


3. (2011 上海单科, 16) 如图, 在水平面上的箱子内, 带异种电荷的小球 a 、 b 用绝缘细线分别系于上、下两边, 处于静止状态. 地面受到的压力为 N , 球 b 所受细线的拉力为 F . 剪断连接球 b 的细线后, 在球 b 上升过程中地面受到的压力 ().

A. 小于 N B. 等于 N C. 等于 $N+F$ D. 大于 $N+F$

解析 剪断连接球 b 的细线后, b 球会向上加速, 造成两球之间的静电力 $F_{电}$ 增大, 设箱子质量为 M , 剪断前由整体法有 $N = Mg + m_a g + m_b g$, $F_{电} = m_b g + F$. 剪断后对箱和 a 球有 $N' = Mg + m_a g + F_{电}'$ $= N - m_b g + F_{电}'$, 由于 $F_{电}' > F_{电}$, 所以 $N' > N + F$, 故选 D.

答案 D



4. (2011 重庆卷)如图所示, 电量为 $+q$ 和 $-q$ 的点电荷分别位于正方体的顶点, 正方体范围内电场强度为零的点有().

- A. 体中心、各面中心和各边中点
- B. 体中心和各边中点
- C. 各面中心和各边中点
- D. 体中心和各面中心

解析 根据点电荷场强公式 $E = \frac{kQ}{r^2}$ 及正方体的对称性可知正方体的体中心点及各面的中心点处场强为零, 故答案为 D.

答案 D

5. (2011 海南卷, 3)三个相同的金属小球 1、2、3 分别置于绝缘支架上, 各球之间的距离远大于小球的直径. 球 1 的带电荷量为 q , 球 2 的带电荷量为 nq , 球 3 不带电且离球 1 和球 2 很远, 此时球 1、2 之间作用力的大小为 F . 现使球 3 先与球 2 接触, 再与球 1 接触, 然后将球 3 移至远处, 此时球 1、2 之间作用力的大小仍为 F , 方向不变. 由此可知().

- A. $n=3$
- B. $n=4$
- C. $n=5$
- D. $n=6$

解析 根据库仑定律, 球 3 未与球 1、球 2 接触前, 球 1、2 间的库仑力 $F = k\frac{nq^2}{r^2}$, 三个金属小球相同, 接触后电荷量均分, 球 3 与球 2 接触后, 球 2 和球 3 的带电荷量 $q_2 = q_3 = \frac{nq}{2}$, 球 3 再与球 1 接触后,

球 1 的带电荷量 $q_1 = \frac{q + \frac{nq}{2}}{2} = \frac{(n+2)q}{4}$, 此时 1、2 间的作用力 $F' = k\frac{\frac{nq}{2} \cdot \frac{(n+2)q}{4}}{r^2} = k\frac{n(n+2)q^2}{8r^2}$, 由题意知 $F' = F$, 即 $n = \frac{n(n+2)}{8}$, 解得 $n = 6$. 故 D 正确.

答案 D

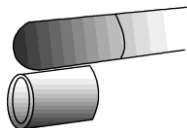
6. (2013 北京卷, 18)某原子电离后其核外只有一个电子, 若该电子在核的静电力作用下绕核做匀速圆周运动, 那么电子运动().

- A. 半径越大, 加速度越大
- B. 半径越小, 周期越大
- C. 半径越大, 角速度越小
- D. 半径越小, 线速度越小

解析 本题是以微观情景为背景, 电子所受的库仑力提供向心力, 可根据库仑定律和圆周运动知识来判断.

对电子来说, 库仑力提供其做圆周运动的向心力, 则 $k\frac{Qq}{r^2} = ma = m\frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m\frac{4\pi^2}{T^2}r$ 得: $a = \frac{kQq}{mr^2}$, $v = \sqrt{\frac{kQq}{mr}}$, $\omega = \sqrt{\frac{kQq}{mr^3}}$, $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{kQq}}$, 因此选项 C 正确.

答案 C



7. (2012 浙江理综, 19)用金属箔做成一个不带电的圆环, 放在干燥的绝缘桌面上. 小明同学用绝缘材料做的笔套与头发摩擦后, 将笔套自上而下慢慢靠近圆环, 当距离约为 0.5 cm 时圆环被吸引到笔套上, 如图所示. 对上述现象的判断与分析, 下列说法正确的是().

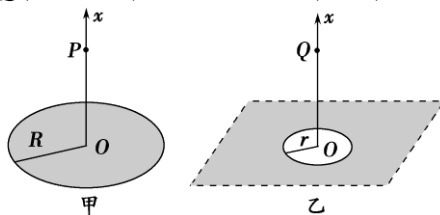
- A. 摩擦使笔套带电
- B. 笔套靠近圆环时, 圆环上、下部感应出异号电荷
- C. 圆环被吸引到笔套的过程中, 圆环所受静电力合力大于圆环的重力

D. 笔套碰到圆环后, 笔套所带的电荷立刻被全部中和

解析 笔套与头发摩擦后, 能够吸引圆环, 说明笔套上带了电荷, 即摩擦使笔套带电, 选项 A 正确; 笔套靠近圆环时, 由于静电感应, 会使圆环上、下部感应出异号电荷, 选项 B 正确; 圆环被吸引到笔套的过程中, 是由于圆环所受静电力的合力大于圆环所受的重力, 故选项 C 正确; 笔套接触到圆环后, 笔套上的部分电荷转移到圆环上, 使圆环带上相同性质的电荷, 选项 D 错误.

答案 ABC

8. (2012 安徽卷)如图 11 甲所示, 半径为 R 的均匀带电圆形平板, 单位面积带电量为 σ , 其轴线上任意一点 P (坐标为 x) 的电场强度可以由库仑定律和电场强度的叠加原理求出: $E=2\pi k\sigma\left[1-\frac{x}{(R^2+x^2)^{\frac{1}{2}}}\right]$, 方向沿 x 轴. 现考虑单位面积带电量为 σ_0 的无限大均匀带电平板, 从其中间挖去一半径为 r 的圆板, 如图乙所示. 则圆孔轴线上任意一点 Q (坐标为 x) 的电场强度为().



- A. $2\pi k\sigma_0\frac{x}{(r^2+x^2)^{\frac{1}{2}}}$ B. $2\pi k\sigma_0\frac{r}{(r^2+x^2)^{\frac{1}{2}}}$ C. $2\pi k\sigma_0\frac{x}{r}$ D. $2\pi k\sigma_0\frac{r}{x}$

解析 根据半径为 R 的均匀带电圆形平板在 P 点的电场强度 $E=2\pi k\sigma\left[1-\frac{x}{(R^2+x^2)^{\frac{1}{2}}}\right]$, 用极限思维法推知当带电圆板无限大时(即当 $R\rightarrow\infty$)的电场强度 $E'=2\pi k\sigma$, 对于无限大带电平板, 挖去一半径为 r 的圆板的电场强度, 可利用填补法, 即将挖去的圆板填充进去, 这时 Q 点的电场强度 $E_Q=2\pi k\sigma_0$, 则挖去圆板后的电场强度 $E_{Q'}=2\pi k\sigma_0-2\pi k\sigma_0\left[1-\frac{x}{(r^2+x^2)^{\frac{1}{2}}}\right]=2\pi k\sigma_0\frac{x}{(r^2+x^2)^{\frac{1}{2}}}$, 故选项 A 正确. 选项 B、C、D 错误.

答案 A

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 对电场强度理解及计算

1. (多选)下列关于电场强度的两个表达式 $E=\frac{F}{q}$ 和 $E=\frac{kQ}{r^2}$ 的叙述, 正确的是().

A. $E=\frac{F}{q}$ 是电场强度的定义式, F 是放入电场中的电荷所受的力, q 是产生电场的电荷的电荷量

B. $E=\frac{F}{q}$ 是电场强度的定义式, F 是放入电场中电荷所受的静电力, q 是放入电场中电荷的电荷量, 它适用于任何电场

C. $E=\frac{kQ}{r^2}$ 是点电荷场强的计算式, Q 是产生电场的电荷的电荷量, 它不适用于匀强电场

D. 从点电荷场强计算式分析库仑定律的表达式 $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$, 式 $\frac{kq_2}{r^2}$ 是点电荷 q_2 产生的电场在点电荷 q_1 处的场强大小, 而 $\frac{kq_1}{r^2}$ 是点电荷 q_1 产生的电场在 q_2 处场强的大小

解析 公式 $E=\frac{F}{q}$ 是电场强度的定义式, 适用于任何电场. $E=\frac{kQ}{r^2}$ 是点电荷场强的计算公式, 只适用

于点电荷电场, 库仑定律公式 $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 可以看成 q_1 在 q_2 处的电场 $E_1 = \frac{kq_1}{r^2}$ 对 q_2 的作用力, 故 A 错误, B、C、D 正确.

答案 BCD

2. (单选) 图 6-1-17 中边长为 a 的正三角形 ABC 的三个顶点分别固定三个点电荷 $+q$ 、 $+q$ 、 $-q$, 则该三角形中心 O 点处的场强为().

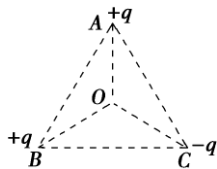
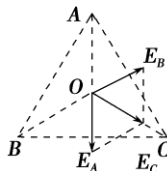


图 6-1-17

- A. $\frac{6kq}{a^2}$, 方向由 C 指向 O B. $\frac{6kq}{a^2}$, 方向由 O 指向 C
 C. $\frac{\sqrt{3}kq}{a^2}$, 方向由 C 指向 O D. $\frac{\sqrt{3}kq}{a^2}$, 方向由 O 指向 C

解析 每个点电荷在 O 点处的场强大小都是 $E = \frac{kq}{(\sqrt{3}a/3)^2} = \frac{3kq}{a^2}$, 画出矢量叠加的示意图, 如图所示, 由图可得 O 点处的合场强为 $E_0 = 2E = \frac{6kq}{a^2}$, 方向由 O 指向 C. B 项正确.



答案 B

3. (2013 海南卷, 1)(单选) 如图 6-1-18, 电荷量为 q_1 和 q_2 的两个点电荷分别位于 P 点和 Q 点. 已知在 P 、 Q 连线上某点 R 处的电场强度为零, 且 $PR = 2RQ$. 则().



图 6-1-18

- A. $q_1 = 2q_2$ B. $q_1 = 4q_2$ C. $q_1 = -2q_2$ D. $q_1 = -4q_2$

解析 由于 R 处的合场强为 0, 故两点电荷的电性相同, 结合点电荷的场强公式 $E = k \frac{q}{r^2}$ 可知 $k \frac{q_1}{r_1^2} - k \frac{q_2}{r_2^2} = 0$, 又 $r_1 = 2r_2$, 故 $q_1 = 4q_2$, 本题选 B.

答案 B

题组二 库仑力作用下的平衡问题

4. (单选) 如图 6-1-19 所示, 两个电荷量均为 $+q$ 的小球用长为 l 的轻质绝缘细绳连接, 静止在光滑的绝缘水平面上. 两个小球的半径 $r \ll l$, k 表示静电力常量. 则轻绳的张力大小为().



图 6-1-19

- A. 0 B. $\frac{kq^2}{l^2}$ C. $\frac{2kq^2}{l^2}$ D. $\frac{kq}{l^2}$

解析 轻绳的张力大小等于两个带电小球之间的库仑力, 由库仑定律知, $F = \frac{kq^2}{l^2}$, B 正确.

答案 B

5. (单选) 如图 6-1-20 所示, 悬挂在 O 点的一根不可伸长的绝缘细线下端有一个带电荷量不变的小球 A . 在两次实验中, 均缓慢移动另一带同种电荷的小球 B . 当 B 到达悬点 O 的正下方并与 A 在同一水平线上, A 处于受力平衡时, 悬线偏离竖直方向的角度为 θ . 若两次实验中 B 的电荷量分别为 q_1 和 q_2 , θ 分别为 30° 和 45° , 则 $\frac{q_2}{q_1}$ 为().

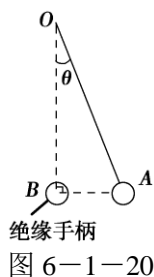
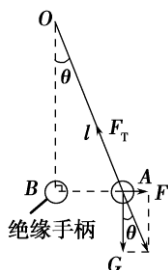


图 6-1-20

- A. 2 B. 3 C. $2\sqrt{3}$ D. $3\sqrt{3}$



解析 对 A 受力分析如图所示，由库仑定律得 $F = k \frac{q_A q_B}{r^2}$ ；

又 $r = l \sin \theta$ ， $F = G \tan \theta$

由以上各式可解得 $q_B = \frac{Gl^2 \sin^2 \theta \tan \theta}{kq_A}$ ，

因 G 、 l 、 q_A 、 k 不变，则

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{\sin^2 45^\circ \tan 45^\circ}{\sin^2 30^\circ \tan 30^\circ} = 2\sqrt{3}.$$

故 C 正确.

答案 C

6. (单选)如图 6-1-21 所示三个点电荷 q_1 、 q_2 、 q_3 在一条直线上， q_2 和 q_3 的距离为 q_1 和 q_2 距离的两倍，每个点电荷所受静电力的合力为零，由此可以判定，三个点电荷的电荷量之比 $q_1 : q_2 : q_3$ 为 ().

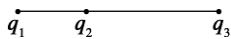


图 6-1-21

- A. $(-9) : 4 : (-36)$ B. $9 : 4 : 36$ C. $(-3) : 2 : (-6)$ D. $3 : 2 : 6$

解析 由三电荷平衡模型的特点“两同夹异”可知， q_1 和 q_3 为同种电荷，它们与 q_2 互为异种电荷，

设 q_1 和 q_2 距离为 r ，则 q_2 和 q_3 的距离为 $2r$ ，对于 q_1 有 $\frac{kq_2q_1}{r^2} = \frac{kq_1q_3}{(3r)^2}$ ，则有 $\frac{q_2}{q_3} = \frac{1}{9}$ ，对 q_3 有 $\frac{kq_1q_3}{(3r)^2} = \frac{kq_2q_3}{(2r)^2}$ ，

所以 $\frac{q_1}{q_2} = \frac{9}{4}$ ，考虑到各电荷的电性，故 A 正确.

答案 A

题组三 对电场线的理解及应用

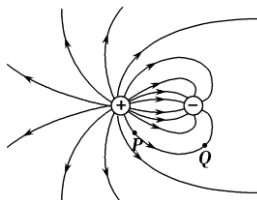


图 6-1-22

7. (单选)某静电场的电场线分布如图 6-1-22 所示，图中 P 、 Q 两点的电场强度的大小分别为 E_P 和 E_Q ，电势分别为 φ_P 和 φ_Q ，则 ().

- A. $E_P > E_Q$ ， $\varphi_P > \varphi_Q$ B. $E_P > E_Q$ ， $\varphi_P < \varphi_Q$
 C. $E_P < E_Q$ ， $\varphi_P > \varphi_Q$ D. $E_P < E_Q$ ， $\varphi_P < \varphi_Q$

解析 根据沿着电场线的方向电势是降落的，可以判断出 $\varphi_P > \varphi_Q$ ；根据电场线的疏密表示电场的强弱，可以判断出 $E_P > E_Q$ ，故选 A.

答案 A

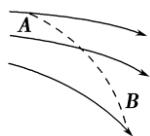
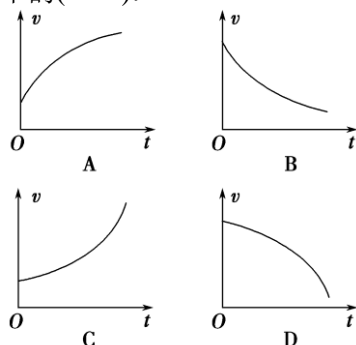


图 6-1-23

8. (单选)如图 6-1-23 所示, 实线是电场线, 一带电粒子只在电场力的作用下沿虚线由 A 运动到 B 的过程中, 其速度—时间图象是选项中的().



解析 电场力的方向指向凹的一面且沿与电场线相切的方向, 因此粒子从 A 到 B 的过程中电场力与速度的夹角大于 90° , 粒子做减速运动, 电场力越来越小, 加速度越来越小, 故 B 项正确.

答案 B

9. (2013 云南昆明质检)(多选)A、B 为一电场中 x 轴上的两点, 如图 6-1-24 甲所示. 一电子仅在电场力作用下沿 x 轴运动, 该电子的动能 E_k 随其坐标变化的关系如图乙所示, 则下列说法正确的是().

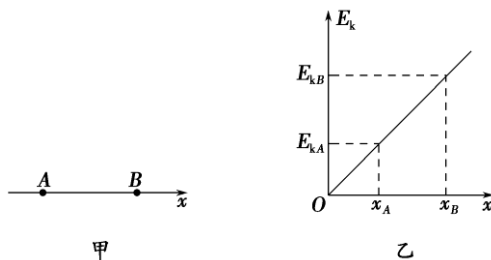


图 6-1-24

- A. 该电场不可能是点电荷形成的电场
- B. A、B 两点电场强度大小关系为 $E_A < E_B$
- C. A、B 两点电势的关系为 $\varphi_A < \varphi_B$
- D. 电子在 A、B 两点的电势能大小关系为 $E_{pA} < E_{pB}$

解析 由动能定理得 $F_x = E_k$, 则 $F = \frac{E_k}{x}$, 可知电子所受的电场力不变, 电场强度不变, 故 B 错误, A 正确; 电子由 A 到 B 电场力做正功, 电势能减小, D 错误; 电场线的方向由 B 指向 A, 沿着电场线电势降低, 故 $\varphi_A < \varphi_B$, C 正确.

答案 AC

B 深化训练——提高能力技巧

10. (单选)一半径为 R 的绝缘球壳上均匀地带有电荷量为 +Q 的电荷, 另一电荷量为 +q 的点电荷放在球心 O 上. 由于对称性, 点电荷受力为零. 现在球壳上挖去半径为 r ($r \ll R$) 的一个很小的圆孔, 则此时置于球心处的点电荷().

- A. 受力大小为零
- B. 受力大小为 $\frac{kqQ}{R^2}$, 方向由圆孔指向球心
- C. 受力大小为 $\frac{kqQr^2}{4R^4}$, 方向由圆孔指向球心

D. 受力大小为 $\frac{kqQr^2}{4R^4}$, 方向由球心指向圆孔

解析 把球壳分成无限多个微元, 由对称性可知除挖去的圆孔和其对称处外其他都有两个微元关于圆心对称, 两对称微元对球心处的点电荷作用力的合成为零. 球壳上电荷面密度为 $\frac{Q}{4\pi R^2}$, 与挖去的圆孔对称处的微元带电荷量 $\Delta Q = \frac{Qr^2}{4R^2}$.

由库仑定律得 ΔQ 对圆心处点电荷 q 的作用力大小 $F = \frac{k\Delta Qq}{R^2} = \frac{kqQr^2}{4R^4}$, 由同种电荷相互排斥可知库仑力方向由球心指向圆孔, 选项 D 正确.

答案 D

11. (单选)如图 6-1-25 所示, 一个均匀的带电圆环, 带电荷量为 $+Q$, 半径为 R , 放在绝缘水平桌面上. 圆心为 O 点, 过 O 点作一竖直线, 在此线上取一点 A , 使 A 到 O 点的距离为 R , 在 A 点放一检验电荷 $+q$, 则 $+q$ 在 A 点所受的电场力为().

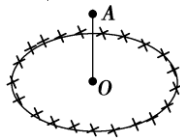


图 6-1-25

A. $\frac{kQq}{R^2}$, 方向向上 B. $\frac{\sqrt{2}kQq}{4R^2}$, 方向向上 C. $\frac{kQq}{4R^2}$, 方向水平向左 D. 不能确定

解析 先把带电圆环分成若干个小部分, 每一部分可视为点电荷, 各点电荷对检验电荷的库仑力在水平方向上相互抵消, 竖直向上方向上电场力大小为 $\frac{kqQ\cos 45^\circ}{(\sqrt{2}R)^2} = \frac{\sqrt{2}kQq}{4R^2}$, 故选 B.

答案 B

12. (单选)如图 6-1-26 所示, 将两个摆长均为 l 的单摆悬于 O 点, 摆球质量均为 m , 带电荷量均为 $q(q>0)$. 将另一个带电荷量也为 $q(q>0)$ 的小球从 O 点正下方较远处缓慢移向 O 点, 当三个带电小球分别处于等边三角形 abc 的三个顶点上时, 摆线的夹角恰好为 120° , 则此时摆线上的拉力大小等于().

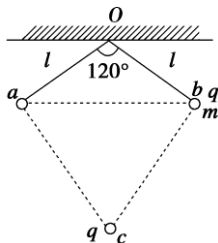
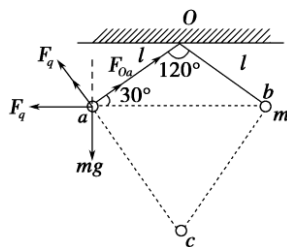


图 6-1-26

A. $\sqrt{3}mg$ B. mg C. $2\sqrt{3}\frac{kq^2}{l^2}$ D. $\sqrt{3}\frac{kq^2}{l^2}$

解析 对 a 处小球进行隔离分析, 如图所示,



小球处于平衡状态, 则

$$F_{Oa} \sin 30^\circ + F_q \cos 30^\circ = mg$$

$$F_{Oa} \cos 30^\circ = F_q + F_q \sin 30^\circ, \text{ 联立解得 } F_{Oa} = mg, \text{ 又利用对称性可知 } F_{Oa} = F_{Ob}.$$

答案 B

13. (多选)如图 6-1-27 所示, 一个电荷量为 $+Q$ 的点电荷甲固定在绝缘水平面上的 O 点, 另一个电荷量为 $-q$ 、质量为 m 的点电荷乙从 A 点以初速度 v_0 沿它们的连线向甲运动, 到 B 点时速度最小且为 v . 已知静电力常量为 k , 点电荷乙与水平面间的动摩擦因数为 μ , AB 间距离为 L , 则().

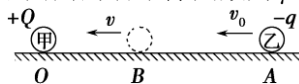


图 6-1-27

- A. OB 间的距离为 $\sqrt{\frac{kQq}{\mu mg}}$
- B. 从 A 到 B 的过程中, 电场力对点电荷乙做的功为 $W = \mu mgL + \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2$
- C. 从 A 到 B 的过程中, 电场力对点电荷乙做的功为 $W = \mu mgL + \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$
- D. 在点电荷甲形成的电场中, AB 间的电势差 $U_{AB} = \frac{\mu mgL + \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2}{q}$

解析 点电荷乙到达 B 点时电场力等于摩擦力, 即 $k\frac{Qq}{l_{OB}^2} = \mu mg$, 所以 $l_{OB} = \sqrt{\frac{kQq}{\mu mg}}$, 选项 A 正确; 从 A 到 B 的过程中, 电场力做正功, 摩擦力做负功, 根据动能定理有 $W - \mu mgL = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 所以 $W = \mu mgL + \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 选项 B 错误、C 正确; 根据 $W = -qU_{AB}$ 可得, $U_{AB} = -\frac{W}{q}$, 选项 D 错误.

答案 AC

14. (2013 安徽卷 20)(单选)如图 6-1-28 所示, xOy 平面是无穷大导体的表面, 该导体充满 $z < 0$ 的空间, $z > 0$ 的空间为真空. 将电荷量为 q 的点电荷置于 z 轴上 $z = h$ 处, 则在 xOy 平面上会产生感应电荷. 空间任意一点处的电场皆是由点电荷 q 和导体表面上的感应电荷共同激发的. 已知静电平衡时导体内部电场强度处处为零, 则在 z 轴上 $z = \frac{h}{2}$ 处的电场强度大小为(k 为静电力常量)().

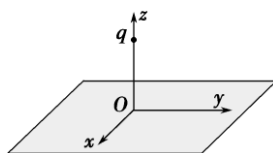
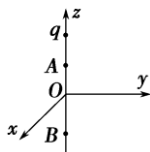


图 6-1-28

- A. $k\frac{4q}{h^2}$ B. $k\frac{4q}{9h^2}$ C. $k\frac{32q}{9h^2}$ D. $k\frac{40q}{9h^2}$



解析 本题需抓住题中的隐含条件: 静电平衡时导体内部电场强度处处为零, 然后利用电场的叠加原理求解.

在 z 轴上 $z = -\frac{h}{2}$ 处的 B 点, 电场是由点电荷 q 和导体表面上的感应电荷共同激发的. 由于该处电场强度为零, 设导体表面在该点产生的电场强度为 E , 则有 $k\frac{q}{(\frac{3}{2}h)^2} = E$.

根据对称性知, 导体表面感应电荷在 $z = \frac{h}{2}$ 处的 A 点的电场强度大小也为 E , 但方向与 B 点相反.

则 $z = \frac{h}{2}$ 处 A 点的合电场强度 $E_{\text{合}} = k\frac{q}{(\frac{h}{2})^2} + E = k\frac{40q}{9h^2}$. 故选项 D 正确.

答案 D

考点1

电势能、电势 (考纲要求 I)

1. 电势能

(1) 电场力做功的特点:

电场力做功与路径无关, 只与初、末位置有关.

(2) 电势能

①定义: 电荷在电场中具有的势能, 数值上等于将电荷从该点移到零势能位置时电场力所做的功.

②电场力做功与电势能变化的关系: 电场力做的功等于电势能的减少量, 即 $W_{AB} = E_{pA} - E_{pB} = -\Delta E_p$.

2. 电势

(1)定义: 试探电荷在电场中某点具有的电势能 E_p 与它的电荷量 q 的比值.

(2)定义式: $\varphi = \frac{E_p}{q}$.

(3)矢标性: 电势是标量, 有正负之分, 其正(负)表示该点电势比零电势高(低).

(4)相对性: 电势具有相对性, 同一点的电势因选取零电势点的不同而不同.

3. 等势面

(1)定义: 电场中电势相等的各点组成的面.

(2) 四个特点

①等势面一定与电场线垂直.

②在同一等势面上移动电荷时电场力不做功.

③电场线方向总是从电势高的等势面指向电势低的等势面.

④等差等势面越密的地方电场强度越大, 反之越小.

思维深化 1 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1)电场力做功与重力做功相似, 均与路径无关. ()

(2)有电场力做功时, 电荷的机械能也可能守恒. ()

(3)电场中电场强度为零的地方电势一定为零. ()

(4)沿电场线方向电势越来越低, 电场强度越来越小. ()

(5)电场力与速度方向夹角小于 90° 时, 电场力做正功. ()

答案 (1)√ (2)× (3)× (4)× (5)√

考点2

电势差 (考纲要求 II)

1.定义: 电荷在电场中, 由一点 A 移到另一点 B 时, 电场力做功与移动电荷的电荷量的比值.

2. 定义式: $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$.

3. 电势差与电势的关系: $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$, $U_{AB} = -U_{BA}$.

4. 影响因素: 电势差 U_{AB} 由电场本身的性质决定, 与移动的电荷 q 及电场力做的功 W_{AB} 无关, 与零电势点的选取无关.

考点3

匀强电场中电势差与电场强度的关系

(考纲要求 I)

1. 电势差与电场强度的关系: 匀强电场中两点间的电势差等于电场强度与这两点沿电场线方向的距离的乘积. 即 $U = Ed$, 也可以写作 $E = \frac{U}{d}$.

2. 公式 $U = Ed$ 的适用范围: 匀强电场.

考点4

静电现象的解释 (考纲要求 I)

1. 静电感应、静电平衡: 把金属导体放在外电场中, 导体内的自由电子受电场力作用而发生迁移, 使导体的两面出现等量的异种电荷, 这种现象叫静电感应; 当导体内自由电子的定向移动停止时, 导体处于静电平衡状态.

2. 静电屏蔽: 金属壳或金属网罩所包围的区域, 不受外部电场的影响, 这种现象叫做静电屏蔽.

思维深化 2 判断正误，正确的划“√”，错误的划“×”。

(1) A 、 B 两点的电势差等于将正电荷从 A 点移到 B 点时静电力所做的功。()

(2) 电势差是一个标量，但是有正值和负值之分。()

(3) 由于静电力做功跟移动电荷的路径无关，所以电势差也跟移动电荷的路径无关，只跟这两点的位置有关。()

(4) A 、 B 两点的电势差是恒定的，所以 $U_{AB} = U_{BA}$ 。()

答案 (1)× (2)√ (3)√ (4)×

基础自测

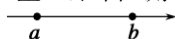


图 6-2-1

1. (多选)如图 6-2-1 所示， a 、 b 为某电场线上的两点，那么以下结论正确的是()。

- A. 把正电荷从 a 移到 b ，电场力做正功，电荷的电势能减小
- B. 把负电荷从 a 移到 b ，电场力做负功，电荷的电势能增加
- C. 把负电荷从 a 移到 b ，电场力做正功，电荷的电势能增加
- D. 不论正电荷还是负电荷，从 a 到 b 电势能都逐渐降低

解析 若正电荷从 a 移到 b ，由于电场力方向和位移方向同向，电场力做正功，电荷的电势能减小， A 对；若把负电荷从 a 移到 b ，电场力做负功，电荷的电势能增加， B 对， C 、 D 错。

答案 AB

2. (多选)关于电势差的计算公式，下列说法正确的是()。

A. 电势差的公式 $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$ 说明两点间的电势差 U_{AB} 与电场力做功 W_{AB} 成正比，与移动电荷的电荷量 q 成反比

B. 把正电荷从 A 点移到 B 点电场力做正功，则有 $U_{AB} > 0$

C. 电势差的公式 $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$ 中， U_{AB} 与移动电荷的电荷量 q 无关

D. 电场中 A 、 B 两点间的电势差 U_{AB} 等于把正电荷 q 从 A 点移动到 B 点时电场力所做的功

解析 电场中两点间的电势差是一个定值，不会随着电场力做的功 W_{AB} 和移动电荷的电荷量 q 的变化而变化，故 A 错， C 对；又由 $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$ 知，电场力做正功， q 为正电荷，则电势差为正，即 B 正确；电场中 A 、 B 两点间的电势差 U_{AB} 等于把单位正电荷从 A 点移动到 B 点时电场力所做的功，故 D 错误。

答案 BC

3. (单选)在静电场中，下列说法正确的是()。

- A. 电场强度处处为零的区域内，电势一定也处处为零
- B. 电场强度处处相同的区域内，电势一定也处处相同
- C. 电场强度的方向总是跟等势面垂直
- D. 电势降低的方向就是电场强度的方向

解析 电场强度大小和电势高低没有直接关系，不能根据电场强度大小判断电势高低，也不能根据电势的高低判断电场强度的大小，故 A 、 B 错；电场强度的方向一定跟等势面垂直， C 对；沿电场强度的方向电势降低，但电势降低的方向不一定是电场强度的方向， D 错。

答案 C

4. (单选)将悬挂在细线上的带正电的小球 A 放在不带电的金属空心球 C 内(不和球壁接触)，另有一个悬挂在细线上的带负电的小球 B 向 C 靠近，如图 6-2-2 所示，下列说法正确的是()。

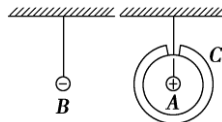


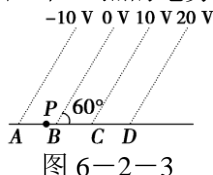
图 6-2-2

- A. A 往左偏离竖直方向, B 往右偏离竖直方向
 B. A 的位置不变, B 往右偏离竖直方向
 C. A 往左偏离竖直方向, B 的位置不变
 D. A 和 B 的位置都不变

解析 带正电的小球 A 放在不带电的空心球 C 内, 通过静电感应, 空心球外壳带正电, 内壁带负电. 因此, 金属空心球 C 和带电小球 B 带异种电荷, 所以 B 受 C 球的吸引往右偏离竖直方向. 而由于空心球 C 能屏蔽小球 B 所产生的外部电场, 使小球 A 不受外电场的作用, 所以 A 的位置不变, B 对.

答案 B

5. (单选) 如图 6-2-3 所示是某电场中的一组等势面, 若 A 、 B 、 C 、 D 相邻两点间距离均为 2 cm, A 和 P 点间的距离为 1.5 cm, 则该电场的场强 E 和 P 点的电势 φ_P 分别为().



A. 500 V/m, -2.5 V B. $\frac{1000\sqrt{3}}{3}$ V/m, -2.5 V

C. 500 V/m, 2.5 V D. $\frac{1000\sqrt{3}}{3}$ V/m, 2.5 V

解析 由 $E = \frac{U}{d}$ 得 $E = \frac{U_{CB}}{BC \sin 60^\circ} = \frac{10}{2 \times 10^{-2} \times \frac{\sqrt{3}}{2}}$ V/m = $\frac{1000\sqrt{3}}{3}$ V/m, $U_{BP} = E PB \sin 60^\circ = \frac{1000\sqrt{3}}{3}$

$\times 0.5 \times 10^{-2} \times \frac{\sqrt{3}}{2}$ V = 2.5 V, 由于 $\varphi_B = 0$, 所以 $\varphi_P = -U_{BP} = -2.5$ V, 故 B 正确.

答案 B

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 根据粒子的运动轨迹、电场线(等势面)进行相关问题的判定

1. 电势高低常用的两种判断方法

(1) 依据电场线的方向 \rightarrow 沿电场线方向电势逐渐降低

(2) 依据 $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} \rightarrow U_{AB} > 0, \varphi_A > \varphi_B, U_{AB} < 0, \varphi_A < \varphi_B$.

2. 电势能增、减的判断方法

(1) 做功判断法 \rightarrow 电场力做正功, 电势能减小; 电场力做负功, 电势能增加

(2) 公式法 \rightarrow 由 $E_p = q\varphi_p$, 将 q 、 φ_p 的大小、正负号一起代入公式, E_p 的正值越大电势能越大, E_p 的负值越小, 电势能越大

(3) 能量守恒法 \rightarrow 在电场中, 若只有电场力做功时, 电荷的动能和电势能相互转化, 动能增加, 电势能减小, 反之, 电势能增加

(4) 电荷电势法 \rightarrow 正电荷在电势高的地方电势能大, 负电荷在电势低的地方电势能大

【典例 1】 (2013 宁夏银川第四次考试) 如图 6-2-4 所示, 虚线 a 、 b 、 c 代表电场中三个等势面, 相邻等势面之间的电势差相同, 实线为一带正电的质点仅在电场力作用下通过该区域的运动轨迹, P 、 Q 是这条轨迹上的两点, 由此可知().

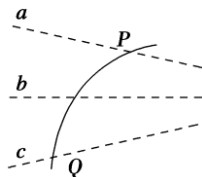
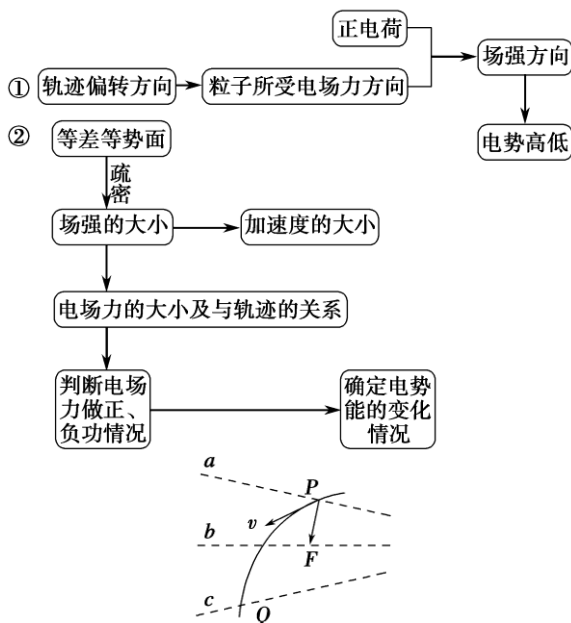


图 6-2-4

- A. 三个等势面中, c 等势面电势最高
 B. 带电质点通过 P 点时电势能较大
 C. 带电质点通过 Q 点时动能较大

D. 带电质点通过 P 点时加速度较大
审题指导



解析 等差等势面越密集, 该区域场强越大, 故 $E_P > E_Q$, 带电质点通过 P 点时加速度较大, D 正确; 假设质点由 P 运动到 Q , 根据: ①运动轨迹的切线方向为速度方向; ②电场线与等势面垂直; ③正电荷所受的电场力与电场强度同向; ④做曲线运动的质点, 其所受的合外力指向运动轨迹的凹侧, 从而确定质点经过 P 时的速度和电场力方向, 如图所示. 根据正电荷所受电场力的方向可知, 电场线由等势面 a 指向等势面 c , 故 $\varphi_a > \varphi_b > \varphi_c$, A 错误; 电场力与瞬时速度成锐角, 故由 P 运动到 Q 电场力对质点做正功, 质点的电势能减小, 动能增加, B、C 正确. 假设质点由 Q 运动到 P , 能得到同样的结论.

答案 BCD

反思总结 这类问题一般综合性较强, 运用“牛顿运动定律、功和能”的知识分析

(1) “运动与力两线法”——画出“速度线”(运动轨迹在初始位置的切线)与“力线”(在初始位置电场线的切线方向, 指向轨迹的凹侧)从二者的夹角情况分析电荷做曲线运动的情况.

(2) “三不知时要假设”——电荷的正负、场强的方向或等势面电势的高低、电荷运动的方向, 是题目中相互制约的三个方面. 若已知其中的任一个, 可顺次向下分析判定各待求量; 若三个都不知(三不知), 则要用“假设法”分别讨论各种情况. 有时各种情景的讨论结果是归一的.

【跟踪短训】

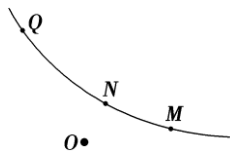


图 6-2-5

1. (2013 重庆卷, 3)如图 6-2-5 所示, 高速运动的 α 粒子被位于 O 点的重原子核散射, 实线表示 α 粒子运动的轨迹, M 、 N 和 Q 为轨迹上的三点, N 点离核最近, Q 点比 M 点离核更远, 则().

- A. α 粒子在 M 点的速率比在 Q 点的大
- B. 三点中, α 粒子在 N 点的电势能最大
- C. 在重核产生的电场中, M 点的电势比 Q 点的低
- D. α 粒子从 M 点运动到 Q 点, 电场力对它做的总功为负功

解析 利用动能定理可判断 α 粒子的速率大小. 由电势的高低可判断电势能的大小. 重原子核带正电, 离核越近, 电势越高, 选项 C 错误; 同一正电荷在电势越高的地方, 其电势能越大, 选项 B 正确; 带正电的 α 粒子在从 M 点到 Q 点的过程中, 电场力做的总功为正功, 据动能定理知, 其速率增大, 选

项 A、D 错误 .

答案 B

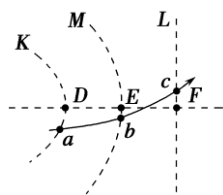


图 6-2-6

2. 如图 6-2-6 所示, 在两等量异种点电荷连线上有 D 、 E 、 F 三点, 且 $DE=EF$. K 、 M 、 L 分别为过 D 、 E 、 F 三点的等势面. 一不计重力的带负电粒子, 从 a 点射入电场, 运动轨迹如图中实线所示, 以 $|W_{ab}|$ 表示该粒子从 a 点到 b 点电场力做功的数值, 以 $|W_{bc}|$ 表示该粒子从 b 点到 c 点电场力做功的数值, 则().

- A. $|W_{ab}|=|W_{bc}|$
- B. $|W_{ab}|<|W_{bc}|$
- C. 粒子由 a 点到 b 点, 动能减少
- D. a 点的电势较 b 点的电势低

解析 由等量异种点电荷的电场线特点可知靠近电荷处电场强度大, 类比公式 $U=Ed$ 知 $|U_{ab}|>|U_{bc}|$, 而 $W=qU$, 所以 $|W_{ab}|>|W_{bc}|$, 则 A、B 均错误; 从带负电粒子的运动轨迹可知该粒子从 a 点到 c 点受到大体向左的作用力, 故左侧为正电荷, 从左向右电势降低, 则 D 错误; 粒子由 a 点到 b 点, 电场力做负功, 电势能增加, 动能减少, 则 C 正确.

答案 C

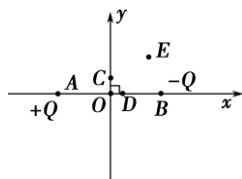
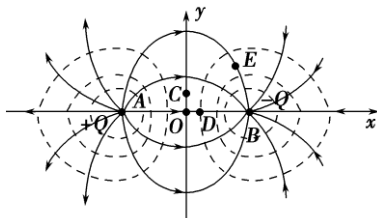


图 6-2-7

3. 真空中某处, 在 x 轴上关于 O 点对称的 A 、 B 两点有着等量异种点电荷 $+Q$ 和 $-Q$, 两点电荷形成的电场中分布着 C 、 D 、 E 三点(如图 6-2-7 所示), 其中 $OC=OD$, $BE=BD$, 则下列判断正确的是().

- A. 比较电场强度的大小有 $E_C<E_D$
- B. 比较电势高低有 $\varphi_C>\varphi_D$
- C. 将同一正点电荷从 O 点移到 D 点电场力所做的功大于从 O 点移到 E 点电场力所做的功
- D. 将同一正点电荷从 O 点移到 D 点电场力所做的功小于从 O 点移到 E 点电场力所做的功

解析 A 、 B 两点为等量异种点电荷, 其电场线、等势面如图所示.



由图可知, C 点电场线较 D 点更稀疏, 所以有 $E_C<E_D$, 故选 A.

沿电场线方向, 电势逐渐降低, 所以有 $\varphi_C = \varphi_O > \varphi_D$, 故选 B.

由等势面分布知, O 、 D 两点间电势差 U_{OD} 小于 O 、 E 两点间电势差 U_{OE} . 将同一正点电荷从 O 点移动至 D 点电场力做功为 $W_{OD} = qU_{OD}$, 从 O 点移动至 E 点电场力做功为 $W_{OE} = qU_{OE}$, 比较可知 $W_{OD} < W_{OE}$, 故不选 C、选 D.

答案 ABD

热点二 电场力做功与电场中的功能关系

1. 求电场力做功的几种方法

(1)由公式 $W=Fl\cos\alpha$ 计算, 此公式只适用于匀强电场, 可变形为 $W=EqL\cos\alpha$.

(2)由 $W_{AB}=qU_{AB}$ 计算, 此公式适用于任何电场.

(3)由电势能的变化计算: $W_{AB}=E_{pA}-E_{pB}$.

(4)由动能定理计算: $W_{\text{电场力}}+W_{\text{其他力}}=\Delta E_k$.

2. 电场中的功能关系

(1)若只有电场力做功, 电势能与动能之和保持不变.

(2)若只有电场力和重力做功, 电势能、重力势能、动能之和保持不变.

(3)除重力、弹簧弹力之外, 其他各力对物体做的功等于物体机械能的变化.

(4)所有外力对物体所做的功等于物体动能的变化.

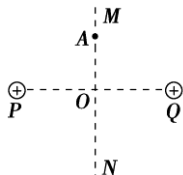
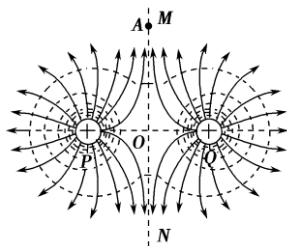


图 6-2-8

【典例 2】(2013 天津卷, 6)两个带等量正电的点电荷, 固定在图 6-2-8 中 P 、 Q 两点, MN 为 PQ 连线的中垂线, 交 PQ 于 O 点, A 为 MN 上的一点. 一带负电的试探电荷 q , 从 A 点由静止释放, 只在静电力作用下运动, 取无限远处的电势为零, 则().

- A. q 由 A 向 O 的运动是匀加速直线运动
- B. q 由 A 向 O 运动的过程电势能逐渐减小
- C. q 运动到 O 点时的动能最大
- D. q 运动到 O 点时的电势能为零



解析 根据等量同种电荷形成的电场的特点、力与运动的关系、功能关系解决问题.

等量同种电荷的电场线如图所示, 负试探电荷 q 在 A 点由静止释放, 在电场力的作用下从 A 向 O 做变加速直线运动, 且电场力做正功, 电势能减小, A 错误, B 正确; 负试探电荷 q 通过 O 点后在电场力的作用下向下做变减速运动, 因此 q 运动到 O 点时的速度最大, 动能最大, 选项 C 正确; 因无限远处的电势为零, 则 O 点的电势 $\varphi \neq 0$, 所以 q 在 O 点的电势能不为零, 选项 D 错误.

答案 BC

反思总结 处理电场中能量问题的基本方法

在解决电场中的能量问题时常用到的基本规律有动能定理、能量守恒定律, 有时也会用到功能关系.

- (1)应用动能定理解题需研究合外力的功(或总功).
- (2)应用能量守恒定律解题需注意电势能和其他形式能之间的转化.
- (3)应用功能关系解决该类问题需明确电场力做功与电势能改变之间的对应关系.
- (4)有电场力做功的过程机械能不一定守恒, 但机械能与电势能的总和可以守恒.

【跟踪短训】

4. 质量为 m 的带正电小球由空中 A 点无初速自由下落, 在 t 秒末加上竖直向上、范围足够大的匀强电场, 再经过 t 秒小球又回到 A 点. 不计空气阻力且小球从未落地, 则().

- A. 整个过程中小球电势能变化了 $\frac{3}{2}mg^2t^2$
- B. 整个过程中小球速度增量的大小为 $2gt$

- C. 从加电场开始到小球运动到最低点时小球动能变化了 mg^2t^2
 D. 从 A 点到最低点小球重力势能变化了 $\frac{2}{3}mg^2t^2$

答案 BD

5. 在光滑的绝缘水平面上, 有一个正方形 $abcd$, 顶点 a 、 c 处分别固定一个正点电荷, 电荷量相等, 如图 6-2-9 所示. 若将一个带负电的粒子置于 b 点, 自由释放, 粒子将沿着对角线 bd 往复运动. 粒子从 b 点运动到 d 点的过程中().

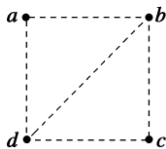
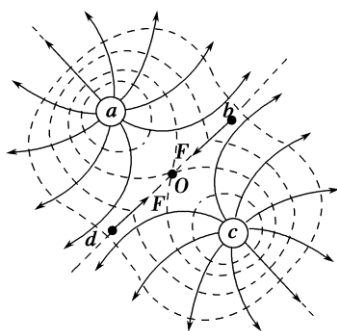


图 6-2-9

- A. 先做匀加速运动, 后做匀减速运动
 B. 先从高电势到低电势, 后从低电势到高电势
 C. 电势能与机械能之和先增大, 后减小
 D. 电势能先减小, 后增大



解析 a 、 c 两点放等量正点电荷后的电场, 如图所示.

电场是非匀强电场, 负电荷在其中受的电场力是变力, 由牛顿第二定律知加速度也是变化的. 故不选 A.

在 bd 连线上, 中点 O 的电势最高, 所以从 b 到 d , 电势先增大后减小, 故不选 B.

由于只有电场力做功, 所以只有电势能与动能的相互转化, 其总和不变, 故不选 C.

在 bd 连线上的负电荷受力方向如图所示. 由 b 到 O 时, 电场力做正功, 电势能减小; 由 O 到 d 时, 电场力做负功, 电势能增大. 故选 D.

答案 D

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

思想方法 9. 公式 $E = \frac{U}{d}$ 的拓展及应用技巧

1. 匀强电场中场强与电势差的关系

在匀强电场中, 沿场强方向的两点间的电势差等于场强与这两点的距离的乘积, 用公式 $U = Ed$ 表示, 场强在数值上等于沿场强方向每单位距离上的电势差, 电势降落最快的方向为电场强度的方向.

2. 应用“一式二结论”巧解电场强度与电势差相关的问题

(1) “一式”

$E = \frac{U}{d} = \frac{W_{\text{电}}}{qd}$, 其中 d 是沿电场强度方向上的距离.

(2) “二结论”

结论 1 匀强电场中的任一线段 AB 的中点 C 的电势 $\varphi_C = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2}$, 如图 6-2-10 所示.

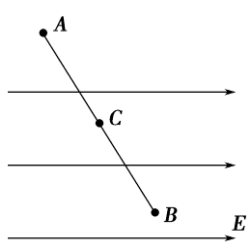


图 6-2-10

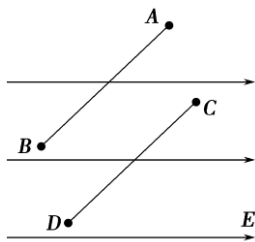


图 6-2-11

结论 2 匀强电场中若两线段 $AB \parallel CD$, 且 $AB = CD$, 则 $U_{AB} = U_{CD}$ (或 $\varphi_A - \varphi_B = \varphi_C - \varphi_D$), 如图 6-2-11 所示.

【典例】 (2012 安徽卷, 18) 如图 6-2-12 所示, 在平面直角坐标系中, 有方向平行于坐标平面的匀强电场, 其中坐标原点 O 处的电势为 0 V , 点 A 处的电势为 6 V , 点 B 处的电势为 3 V , 则电场强度的大小为().

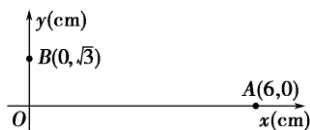
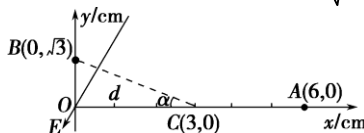


图 6-2-12

- A. 200 V/m B. $200 \sqrt{3} \text{ V/m}$ C. 100 V/m D. $100 \sqrt{3} \text{ V/m}$



解析 在匀强电场中, 沿某一方向电势降落, 则在这一方向上电势均匀降落, 故 OA 的中点 C 的电势 $\varphi_C = 3 \text{ V}$ (如图所示), 因此 B 、 C 为等势面. O 点到 BC 的距离 $d = OC \sin \alpha$, 而 $\sin \alpha = \frac{OB}{\sqrt{OB^2 + OC^2}} = \frac{1}{2}$, 所以 $d = \frac{1}{2} OC = 1.5 \times 10^{-2} \text{ m}$. 根据 $E = \frac{U}{d}$ 得, 匀强电场的电场强度 $E = \frac{U}{d} = \frac{3}{1.5 \times 10^{-2}} \text{ V/m} = 200 \text{ V/m}$,

故选项 A 正确, 选项 B、C、D 错误.

答案 A

即学即练 如图 6-2-13 所示, 在直角三角形所在的平面内有匀强电场, 其中 A 点电势为 0 V , B 点电势为 3 V , C 点电势为 6 V . 已知 $\angle ACB = 30^\circ$, AB 边长为 $\sqrt{3} \text{ m}$, D 为 AC 的中点. 现将一点电荷放在 D 点, 且点电荷在 C 点产生的场强为 2 N/C , 则放入点电荷后, B 点场强为().

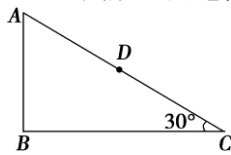


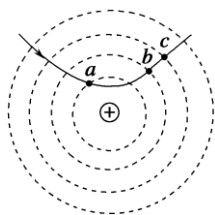
图 6-2-13

- A. 4 N/C B. 5 N/C C. $2\sqrt{2} \text{ N/C}$ D. $\sqrt{5} \text{ N/C}$

解析 D 点电势为 3 V , BD 连线为等势线, 由几何关系可知, A 点到等势线的距离为 1.5 m , 所以匀强电场的场强 $E_1 = \frac{3}{1.5} \text{ N/C} = 2 \text{ N/C}$, 且与 AB 的夹角为 30° , 点电荷在 B 点的场强 E_2 与 E_1 垂直, 所以合场强 $E = 2\sqrt{2} \text{ N/C}$.

答案 C

对应高考题组

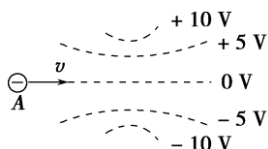


1. (2012 山东理综, 19)图中虚线为一组间距相等的同心圆, 圆心处固定一带正电的点电荷. 一带电粒子以一定初速度射入电场, 实线为粒子仅在电场力作用下的运动轨迹, a 、 b 、 c 三点是实线与虚线的交点. 则该粒子().

- A. 带负电
- B. 在 c 点受力最大
- C. 在 b 点的电势能大于在 c 点的电势能
- D. 由 a 点到 b 点的动能变化大于由 b 点到 c 点的动能变化

解析 由带电粒子进入正点电荷形成的电场中的运动轨迹可以看出两者相互排斥, 故带电粒子带正电, 选项 A 错误; 根据库仑定律 $F = k\frac{q_1q_2}{r^2}$ 可知, a 、 b 、 c 三点中, 在 a 点时受力最大, 选项 B 错误; 带电粒子从 b 点到 c 点的过程中, 电场力做正功, 电势能减小, 故在 b 点的电势能大于在 c 点的电势能, 选项 C 正确; 由于虚线为等间距的同心圆, 故 $U_{ab} > U_{bc}$, 所以 $W_{ab} > W_{bc}$, 根据动能定理, 带电粒子由 a 点到 b 点的动能变化大于由 b 点到 c 点的动能变化, 选项 D 正确.

答案 CD



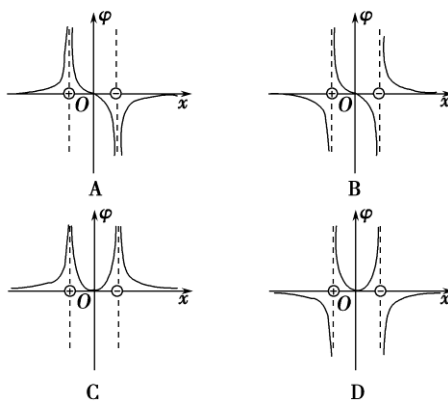
2. (2012 天津理综, 5)两个固定的等量异号点电荷所产生电场的等势面如图中虚线所示, 一带负电的粒子以某一速度从图中 A 点沿图示方向进入电场在纸面内飞行, 最后离开电场, 粒子只受静电力作用, 则粒子在电场中().

- A. 做直线运动, 电势能先变小后变大
- B. 做直线运动, 电势能先变大后变小
- C. 做曲线运动, 电势能先变小后变大
- D. 做曲线运动, 电势能先变大后变小

解析 带负电的粒子以速度 v 进入电场后, 电场力的方向与 v 的方向不在一条直线上, 故带负电的粒子做曲线运动, 选项 A、B 错误. 带负电的粒子先由低电势面运动到高电势面, 然后由高电势面运动到低电势面, 所以电势能先减小后变大, 选项 C 正确, 选项 D 错误.

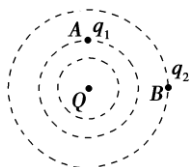
答案 C

3. (2011 上海单科, 14)两个等量异种点电荷位于 x 轴上, 相对原点对称分布, 正确描述电势 φ 随位置 x 变化规律的是图().



解析 距正电荷越近电势越高, 且 $\varphi > 0$; 距负电荷越近电势越低, 且 $\varphi < 0$, 故选 A.

答案 A

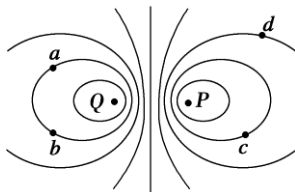


4. (2012 福建卷, 15)如图所示, 在点电荷 Q 产生的电场中, 将两个带正电的试探电荷 q_1 、 q_2 分别置于 A 、 B 两点, 虚线为等势线. 取无穷远处为零电势点, 若将 q_1 、 q_2 移动到无穷远的过程中外力克服电场力做的功相等, 则下列说法正确的是().

- A. A 点电势大于 B 点电势
- B. A 、 B 两点的电场强度相等
- C. q_1 的电荷量小于 q_2 的电荷量
- D. q_1 在 A 点的电势能小于 q_2 在 B 点的电势能

解析 由于电场力做负功, 所以 Q 应带负电荷, 由负点电荷产生电场的电场线的分布规律可判断出 $\varphi_B > \varphi_A$, 故 A 项错误; 由 $E = k\frac{Q}{r^2}$, r 不相等, 所以 $E_A \neq E_B$, B 项错误; 由 $\varphi_A = \frac{W_{A \rightarrow \infty}}{q_1}$ 、 $\varphi_B = \frac{W_{B \rightarrow \infty}}{q_2}$, 因为 $W_{A \rightarrow \infty} = W_{B \rightarrow \infty}$, $\varphi_A < \varphi_B < 0$, 所以 $\frac{1}{q_1} > \frac{1}{q_2}$, 即 $q_1 < q_2$, 故 C 项正确; 由于克服电场力做功相等, 且无穷远处电势能为零, 所以 q_1 在 A 点的电势能等于 q_2 在 B 点的电势能, 故 D 项错误.

答案 C



5. (2012 重庆卷, 20)空间中 P 、 Q 两点处各固定一个点电荷, 其中 P 点处为正电荷, P 、 Q 两点附近电场的等势面分布如图所示, a 、 b 、 c 、 d 为电场中的 4 个点, 则().

- A. P 、 Q 两点处的电荷等量同种
- B. a 点和 b 点的电场强度相同
- C. c 点的电势低于 d 点的电势
- D. 负电荷从 a 到 c , 电势能减少

解析 由题中所给的等势面分布图是对称的及电场线与等势面垂直可得, P 、 Q 两点应为等量的异种电荷, A 错; a 、 b 两点的电场强度大小相等, 但方向不同, 故 B 错; 因 P 处为正电荷, 因此 c 点的电势高于 d 点的电势, C 错; 因 P 处为正电荷, 故 Q 处为负电荷, 负电荷从靠 Q 较近的 a 点移到靠 P 较近的 c 点时, 电场力做正功, 电势能减小, D 对.

答案 D

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 对电场线、场强、电势、电势能关系的理解

1. (单选)下列说法中, 正确的是().

- A. 电场强度为零的地方, 电势一定为零
- B. 电势为零的地方电场强度不一定为零
- C. 电场强度相同的地方, 电势一定相等
- D. 电势相等的地方电场强度一定相等

解析 混淆了电场强度与电势的关系. 电场强度和电势的大小没有必然的关系. 电场强度为零的地方, 电势不一定为零, 如对于等势体而言, 内部的场强为零, 但内部的电势不为零. 电场强度相等的地方, 电势也不一定相等, 如匀强电场内部, 场强处处相等, 但电势并不处处相等; 对于电荷分布不均匀的等势体而言, 表面是一个等势面, 但因电荷密度不相等, 故表面上场强的大小不相等.

答案 B

2. (多选)关于匀强电场电场强度和电势差的关系,下列说法正确的是().

- A. 在相同距离上的两点,电势差大的其场强也必定大
- B. 场强在数值上等于每单位距离上的电势的降落
- C. 沿电场线的方向,任何相等距离上的电势降落必定相等
- D. 电势降低最快的方向必定是电场强度的方向

解析 对公式 $U=Ed$ 中的 d 没有正确理解. 选项 A 中,距离如果是沿电场方向的距离就正确;选项 B 中的距离如果是沿场强的方向,就是正确的. 所以选项 C、D 正确.

答案 CD

3. (单选)关于电场力做功与电势差的关系,下列说法正确的是().

- A. M 、 N 两点间的电势差等于单位电荷从 M 点移到 N 点电场力做的功
- B. 不管是否存在其他力做功,电场力对电荷做多少正功,电荷的电势能就减少多少
- C. 在两点移动电荷电场力做功为零,则两点一定在同一等势面上,且电荷一定在等势面上移动
- D. 在两点间移动电荷电场力做功的多少与零电势的选择有关

解析 $W=qU_{AB}=q(\varphi_A-\varphi_B)$,由此关系式可以得出,当 q 取单位正电荷时, $W=U_{AB}$,也就是说“ M 、 N 两点间的电势差等于单位正电荷从 M 点移到 N 点电场力做的功”,所以 A 错;不管是否有其他力做功,电场力做多少正功,电荷的电势能就减少多少, B 正确;在两点间移动电荷,电场力做功为零,说明了两点间的电势差为零,但移动的路径不能确定,故 C 错误;两点间的电势差和零电势的选择没有关系,所以在两点间移动电荷,电场力做功的多少和零电势的选择没有关系, D 错误.

答案 B

题组二 电势的高低、电势能的增减的判断

4. (单选)将一正电荷从无穷远处移入电场中 M 点,电势能减少了 8.0×10^{-9} J. 若将另一等量的负电荷从无穷远处移入电场中的 N 点,电势能增加了 9.0×10^{-9} J. 下列判断正确的是().

- A. $\varphi_M < \varphi_N < 0$
- B. $\varphi_N > \varphi_M > 0$
- C. $\varphi_N < \varphi_M < 0$
- D. $\varphi_M > \varphi_N > 0$

解析 取无穷远处电势为 0,则正电荷在 M 点的电势能为 -8.0×10^{-9} J,负电荷在 N 点的电势能为 9.0×10^{-9} J. 由 $\varphi = \frac{E}{q}$, M 、 N 点的电势 $\varphi_M < 0$, $\varphi_N < 0$,且 $|\varphi_N| > |\varphi_M|$,即 $\varphi_N < \varphi_M < 0$,故 C 正确.

答案 C

5. (单选)图中的虚线 a 、 b 、 c 、 d 表示匀强电场中的 4 个等势面. 两个带电粒子 M 、 N (重力忽略不计)以平行于等势面的初速度射入电场,运动轨迹分别如图 6-2-14 中 MPN 和 NQM 所示. 已知 M 是带正电的粒子. 则下列说法中正确的是().

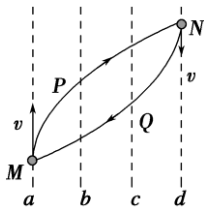


图 6-2-14

- A. N 一定也带正电
- B. a 点的电势高于 b 点的电势, a 点的场强大于 b 点的场强
- C. 带电粒子 N 的动能减小、电势能增大
- D. 带电粒子 N 的动能增大、电势能减小

解析 根据偏转情况得带正电的 M 粒子向右偏, N 粒子向左偏必带负电,故 A 错;该电场是匀强电场,故 B 错;两粒子都是电势能减小,动能增大,故 C 错, D 对.

答案 D

6. (2013 江苏卷, 6)(多选)将一电荷量为 $+Q$ 的小球放在不带电的金属球附近,所形成的电场线分布如图 6-2-15 所示,金属球表面的电势处处相等. a 、 b 为电场中的两点,则().

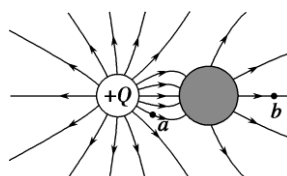


图 6-2-15

- A. a 点的电场强度比 b 点的大
- B. a 点的电势比 b 点的高
- C. 检验电荷 $-q$ 在 a 点的电势能比在 b 点的大
- D. 将检验电荷 $-q$ 从 a 点移到 b 点的过程中, 电场力做负功

解析 由题图可知, a 处电场线比 b 处密, 所以 $E_a > E_b$, 选项 A 正确; 沿着电场线的方向电势不断降落, a 点电势高于不带电金属球的电势, 不带电金属球的电势高于 b 点电势, 所以 $\varphi_a > \varphi_b$, 选项 B 正确; 负电荷在高电势点的电势能小, 选项 C 错误; 检验电荷 $-q$ 从 a 点移到 b 点时, 电势能增大, 故电场力做负功, 选项 D 正确.

答案 ABD

题组三 对电势差的理解及计算

7. (2013 广东四校联考)(多选)某电场的电场线分布如图所示, 将一电荷量 $q = 2 \times 10^{-9} \text{C}$ 的试探电荷由电场中的 a 点移到 b 点, 电荷克服电场力做功为 $4 \times 10^{-8} \text{J}$, 下列说法正确的是().

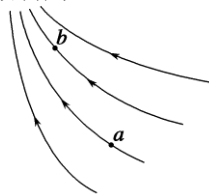


图 6-2-16

- A. a 点的场强大于 b 点的场强
- B. 试探电荷带正电
- C. a 点电势高于 b 点电势
- D. a, b 两点间的电势差为 20V

解析 电场线的疏密程度表示电场强度的大小, A 错误; 把试探电荷从 a 点移到 b 点, 克服电场力做功, 说明试探电荷所受的电场力和电场方向相反, 试探电荷带负电, B 错误; 沿电场线的方向电势降低, C 正确; 因为 $U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} = \frac{-4 \times 10^{-8} \text{J}}{-2 \times 10^{-9} \text{C}} = 20 \text{V}$, D 正确.

答案 CD

8. (单选)如图 6-2-17 所示, 高为 h 的光滑绝缘曲面处于匀强电场中, 匀强电场的方向平行于竖直平面, 一带电荷量为 $+q$, 质量为 m 的小球, 以初速度 v_0 从曲面底端的 A 点开始沿曲面表面上滑, 到达曲面顶端 B 点的速度仍为 v_0 , 则().

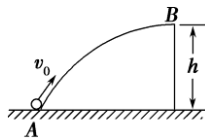
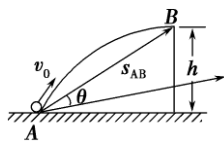


图 6-2-17

- A. 电场力对小球做功为 $mgh + \frac{1}{2}mv_0^2$
- B. A, B 两点的电势差为 $\frac{mgh}{q}$
- C. 小球在 B 点的电势能大于在 A 点的电势能
- D. 电场强度的最小值为 $\frac{mg}{q}$

解析 如图所示, 设 A, B 两点间电势差为 U_{AB} , 对小球由 A 到 B 的过程, 根据动能定理得 $qU_{AB} -$

$mgh = 0$ ，解得 $U_{AB} = mgh/q$ ，选项 B 正确；电场力对小球做的功刚好克服重力做功，等于 mgh ，选项 A 错误；由于小球由 A 到 B 的过程电场力做正功，所以小球电势能减小，选项 C 错误；设电场方向与 AB 间位移方向的夹角为 θ ， $U_{AB} = Es_{AB} \cos \theta = \frac{mgh}{q}$ ，解得 $E = \frac{mgh}{qs_{AB} \cos \theta}$ ，可知电场强度的最小值不等于 $\frac{mg}{q}$ ，选项 D 错误。



答案 B

9. (多选)如图 6-2-18 所示为空间某一电场的电场线，a、b 两点为其中一条竖直向下的电场线上的两点，该两点的高度差为 h ，一个质量为 m 、带电荷量为 $+q$ 的小球从 a 点静止释放后沿电场线运动到 b 点时速度大小为 $\sqrt{3gh}$ ，则下列说法中正确的是()。

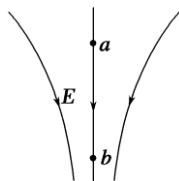


图 6-2-18

A. 质量为 m 、带电荷量为 $+q$ 的小球从 a 点静止释放后沿电场线运动到 b 点的过程中动能增加量等于电势能减少量

B. a、b 两点的电势差 $U = \frac{mgh}{2q}$

C. 质量为 m 、带电荷量为 $+2q$ 的小球从 a 点静止释放后沿电场线运动到 b 点时速度大小为 \sqrt{gh}

D. 质量为 m 、带电荷量为 $-q$ 的小球从 a 点静止释放后沿电场线运动到 b 点时速度大小为 \sqrt{gh}

解析 质量为 m 、带电荷量为 $+q$ 的小球从 a 点静止释放后沿电场线运动到 b 点的过程中，机械能与电势能之和守恒，其动能增加量等于重力势能、电势能的减少量之和，选项 A 错误；设 a、b 之间的电势差为 U ，由题意，质量为 m 、带电荷量为 $+q$ 的小球从 a 点静止释放后沿电场线运动到 b 点时速度大小为 $\sqrt{3gh}$ ，根据动能定理， $mgh + qU = \frac{1}{2}m 3gh$ ，解得 $qU = \frac{1}{2}mgh$ ，a、b 两点的电势差 $U = \frac{mgh}{2q}$ ，选项 B 正确；质量为 m 、带电荷量为 $+2q$ 的小球从 a 点静止释放后沿电场线运动到 b 点时，由动能定理得 $mgh + 2qU = \frac{1}{2}mv_1^2$ ，解得 $v_1 = 2\sqrt{gh}$ ，选项 C 错误；质量为 m 、带电荷量为 $-q$ 的小球从 a 点静止释放后沿电场线运动到 b 点

时，由动能定理得 $mgh - qU = \frac{1}{2}mv_2^2$ ，解得 $v_2 = \sqrt{gh}$ ，选项 D 正确。

答案 BD

10. (多选)如图 6-2-19 所示为一匀强电场，某带电粒子从 A 点运动到 B 点。在这一运动过程中克服重力做的功为 2.0 J，电场力做的功为 1.5 J。则下列说法正确的是()。

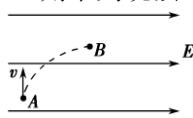


图 6-2-19

A. 粒子带负电

B. 粒子在 A 点的电势能比在 B 点少 1.5 J

C. 粒子在 A 点的动能比在 B 点多 0.5 J

D. 粒子在 A 点的机械能比在 B 点少 1.5 J

解析 从粒子的运动轨迹可以看出，粒子所受的电场力方向与场强方向相同，粒子带正电，A 错误；粒子从 A 点运动到 B 点，电场力做功 1.5 J，说明电势能减少 1.5 J，B 错误；对粒子应用动能定理得：W

电 + $W_{重} = E_{kB} - E_{kA}$, 代入数据解得 $E_{kB} - E_{kA} = 1.5 \text{ J} - 2.0 \text{ J} = -0.5 \text{ J}$, C 正确; 粒子机械能的变化量等于除重力外其他力做的功, 电场力做功 1.5 J , 则粒子的机械能增加 1.5 J , D 正确.

答案 CD

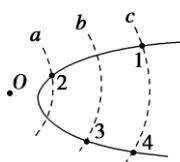


图 6-2-20

11. (单选)如图 6-2-20 所示, 虚线 a 、 b 、 c 表示在 O 处某一点电荷的电场中的三个等势面, 设两相邻等势面间的间距相等. 一电子射入电场后的运动轨迹如图中实线所示, 其中 1、2、3、4 表示电子的运动轨迹与等势面的一些交点. 由此可以判定().

- A. 电子在 1、2、3、4 位置处所具有的电势能与动能的总和一定相等
- B. O 处的点电荷一定带正电
- C. a 、 b 、 c 三个等势面的电势关系是 $\varphi_a > \varphi_b > \varphi_c$
- D. 电子从位置 1 到 2 和从位置 3 到 4 的过程中电场力做功的大小关系是 $W_{12} = 2W_{34}$

解析 由电子射入电场后的运动轨迹可知场源点电荷为负点电荷, 沿着电场线方向电势降低, 即 $\varphi_c > \varphi_b > \varphi_a$. 在点电荷的电场中, 虽然 $ab = bc$, 但 $U_{ab} \neq U_{bc}$, 故电子从位置 1 到 2 和从位置 3 到 4 的过程中电场力做功 $W_{12} \neq 2W_{34}$. 由能量守恒可知选项 A 正确.

答案 A

B 深化训练——提高能力技巧

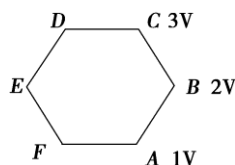


图 6-2-21

12. (单选)如图 6-2-21 所示, A 、 B 、 C 、 D 、 E 、 F 为匀强电场中一个边长为 10 cm 的正六边形的六个顶点, A 、 B 、 C 三点电势分别为 1 V 、 2 V 、 3 V , 则下列说法正确的是().

- A. 匀强电场的场强大小为 10 V/m
- B. 匀强电场的场强大小为 $\frac{20\sqrt{3}}{3} \text{ V/m}$
- C. 电荷量为 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 的正点电荷从 E 点移到 F 点, 电荷克服电场力做功为 $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$
- D. 电荷量为 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 的负点电荷从 F 点移到 D 点, 电荷的电势能减少 $4.8 \times 10^{-19} \text{ J}$

解析 A 、 C 连线中点的电势为 2 V , 因此 BE 连线为等势线, 由几何知识知, A 、 C 连线的长度为

$$d = 0.1 \text{ m} \times \sin 60^\circ \times 2 = \frac{\sqrt{3}}{10} \text{ m}, \text{ 匀强电场的场强大小为 } E = U/d = (3 - 1)/d = \frac{20\sqrt{3}}{3} \text{ V/m}, \text{ 故 B 对、A}$$

错; 正点电荷从 E 点移到 F 点, 电场力做正功, 故 C 错; 电荷量为 1.6×10^{-19} 的负点电荷从 F 点移到 D 点, 电场力做正功 $qU' = -1.6 \times 10^{-19} \times (1 - 3) = 3.2 \times 10^{-19} \text{ J}$, 故电荷的电势能减少 $3.2 \times 10^{-19} \text{ J}$, 故 D 错.

答案 B

13. 如图 6-2-22 所示, 带电荷量为 Q 的正点电荷固定在倾角为 30° 的光滑绝缘斜面底部的 C 点, 斜面上有 A 、 B 两点, 且 A 、 B 和 C 在同一直线上, A 和 C 相距为 L , B 为 AC 中点. 现将一带电小球从 A 点由静止释放, 当带电小球运动到 B 点时速度正好又为零, 已知带电小球在 A 点处的加速度大小为 $\frac{g}{4}$, 静电力常量为 k , 求:

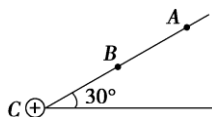


图 6-2-22

- (1) 小球运动到 B 点时的加速度大小.
 (2) B 和 A 两点间的电势差(用 Q 和 L 表示).

解析 (1) 带电小球在 A 点时: $mg\sin 30^\circ - k\frac{Qq}{L^2} = ma_A$

带电小球在 B 点时: $\frac{kQq}{(\frac{L}{2})^2} - mg\sin 30^\circ = ma_B$

且 $a_A = \frac{g}{4}$, 可解得: $a_B = \frac{g}{2}$

(2) 由 A 点到 B 点应用动能定理得:

$$mg\sin 30^\circ \cdot \frac{L}{2} - qU_{BA} = 0$$

$$\text{由 } mg\sin 30^\circ - k\frac{Qq}{L^2} = ma_A = m\frac{g}{4}$$

$$\text{可得: } \frac{1}{4}mg = k\frac{Qq}{L^2}, \text{ 可求得: } U_{BA} = \frac{kQ}{L}$$

答案 (1) $\frac{g}{2}$ (2) $\frac{kQ}{L}$

第 3 讲 电容器 带电粒子在电场中的运动

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点 1	常见电容器 电容器的电压、电荷量
-------------	------------------

和电容的关系(考纲要求 I)

1. 常见电容器

(1) 组成: 由两个彼此绝缘又相互靠近的导体组成.

(2) 带电荷量: 一个极板所带电荷量的绝对值.

(3) 电容器的充、放电

充电: 使电容器带电的过程, 充电后电容器两板带上等量的异种电荷, 电容器中储存电场能.

放电: 使充电后的电容器失去电荷的过程, 放电过程中电场能转化为其他形式的能.

2. 电容

(1) 定义: 电容器所带的电荷量 Q 与电容器两极板间的电势差 U 的比值.

(2) 定义式: $C = \frac{Q}{U}$.

(3) 物理意义: 表示电容器容纳电荷本领大小的物理量.

(4) 单位: 法拉(F)

$$1 \text{ F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{ pF}$$

3. 平行板电容器

(1) 影响因素: 平行板电容器的电容与正对面积成正比, 与介质的介电常数成正比, 与两板间的距离成反比.

(2) 决定式: $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$, k 为静电力常量.

思维深化 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1) 任何两个彼此绝缘而又相互靠近的导体, 就组成了电容器, 跟这两个导体是否带电无关. ()

(2) 电容器所带的电荷量是指每个极板所带电荷量的代数和. ()

(3) 电容器的电容与电容器所带电荷量成反比. ()

(4) 一个电容器的电荷量增加 $\Delta Q = 1.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ 时, 两板间电压升高 10 V, 则电容器的电容 $C = 1.0 \times 10^{-7} \text{ F}$. ()

(5) 放电后的电容器电量为零, 电容也为零. ()

答案 (1)√ (2)× (3)× (4)√ (5)×

考点2

带电粒子在匀强电场中的运动 (考纲要求 II)

1. 带电粒子在电场中的加速

带电粒子沿与电场线平行的方向进入电场, 带电粒子将做加(减)速运动. 有两种分析方法:

(1)用动力学观点分析: $a = \frac{qE}{m}$, $E = \frac{U}{d}$, $v^2 - v_0^2 = 2ad$.

(2)用功能观点分析: 粒子只受电场力作用, 电场力做的功等于物体动能的变化, $qU = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$.

2. 带电粒子在匀强电场中的偏转

(1)条件分析: 带电粒子垂直于电场方向进入匀强电场.

(2)运动性质: 匀变速曲线运动.

(3)处理方法: 分解成相互垂直的两个方向上的直线运动, 类似于平抛运动.

(4)运动规律:

①沿初速度方向做匀速直线运动.

②沿电场方向, 做初速度为零的匀加速直线运动.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{加速度: } a = \frac{F}{m} = \frac{Eq}{m} = \frac{Uq}{md} \\ \text{运动时间} \left\{ \begin{array}{l} \text{a. 能飞出平行板电容器: } t = \frac{l}{v_0} \\ \text{b. 打在平行极板上: } y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \frac{qU}{md} t^2, \quad t = \sqrt{\frac{2mdy}{qU}} \end{array} \right. \\ \text{离开电场时的偏移量: } y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{qUl^2}{2mv_0^2d} \\ \text{离开电场时的偏转角: } \tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{qUl}{mv_0^2d} \end{array} \right.$$

考点3

示波管 (考纲要求 I)

1. 构造

①电子枪, ②偏转极板, ③荧光屏. (如图 6-3-1 所示)

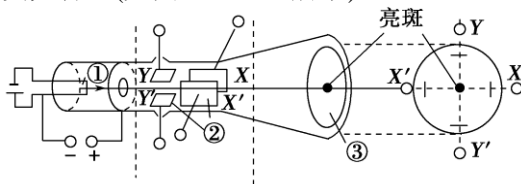


图 6-3-1

2. 工作原理

(1)YY' 上加的是待显示的信号电压, XX' 上是机器自身产生的锯齿形电压, 叫做扫描电压.

(2)观察到的现象:

①如果在偏转电极 XX' 和 YY' 之间都没有加电压, 则电子枪射出的电子沿直线运动, 打在荧光屏中心, 在那里产生一个亮斑.

②若所加扫描电压和信号电压的周期相等, 就可以在荧光屏上得到待测信号在一个周期内变化的稳定图象.

基础自测

1. (多选)有一只电容器的规格是“1.5 μF, 9 V”, 那么().

- A. 这只电容器上的电荷量不能超过 $1.5 \times 10^{-5} \text{ C}$
- B. 这只电容器上的电荷量不能超过 $1.35 \times 10^{-5} \text{ C}$
- C. 这只电容器的额定电压为 9 V
- D. 这只电容器的击穿电压为 9 V

解析 9 V 为电容器的额定电压(或工作电压), 故 C 正确; 正常工作时的带电荷量 $Q = CU = 1.5 \times 10^{-5} \text{ C}$

$\cdot 10^{-6} \times 9 \text{ C} = 1.35 \times 10^{-5} \text{ C}$ ，选项 B 亦正确。

答案 BC

2. (单选)如图 6-3-2 所示，设两极板正对面积为 S ，极板间的距离为 d ，静电计指针偏角为 θ 。实验中，极板所带电荷量不变，若()。

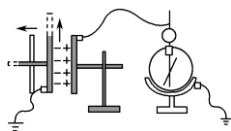


图 6-3-2

- A. 保持 S 不变，增大 d ，则 θ 变大
- B. 保持 S 不变，增大 d ，则 θ 变小
- C. 保持 d 不变，减小 S ，则 θ 变小
- D. 保持 d 不变，减小 S ，则 θ 不变

解析 静电计指针偏角反映电容器两板间电压大小。在做选项所示的操作中，电容器电荷量 Q 保持不变，由 $C = \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 知，保持 S 不变，增大 d ，则 C 减小， U 增大，偏角 θ 增大，选项 A 正确，B 错误；保持 d 不变，减小 S ，则 C 减小， U 增大，偏角 θ 也增大，故选项 C、D 均错。

答案 A

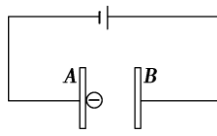


图 6-3-3

3. (单选)如图 6-3-3 所示，电子由静止开始从 A 板向 B 板运动，到达 B 板的速度为 v ，保持两板间电压不变，则()。

- A. 当减小两板间的距离时，速度 v 增大
- B. 当减小两板间的距离时，速度 v 减小
- C. 当减小两板间的距离时，速度 v 不变
- D. 当减小两板间的距离时，电子在两板间运动的时间变长

解析 由动能定理得 $eU = \frac{1}{2}mv^2$ ，当改变两极板间的距离时， U 不变， v 就不变，故选项 A、B 错误，C 正确。粒子在极板间做初速度为零的匀加速直线运动， $\bar{v} = \frac{d}{t}$ ， $\frac{v}{2} = \frac{d}{t}$ ，即 $t = \frac{2d}{v}$ ，当 d 减小时， v 不变，电子在两板间运动的时间变短，故选项 D 错误。

答案 C

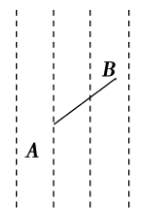


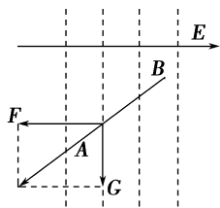
图 6-3-4

4. (多选)如图 6-3-4 所示，在等势面沿竖直方向的匀强电场中，一带负电的微粒以一定初速度射入电场，并沿直线 AB 运动，由此可知()。

- A. 电场中 A 点的电势高于 B 点的电势
- B. 微粒在 A 点时的动能大于在 B 点时的动能，在 A 点时的电势能小于在 B 点时的电势能
- C. 微粒在 A 点时的动能小于在 B 点时的动能，在 A 点时的电势能大于在 B 点时的电势能
- D. 微粒在 A 点时的动能与电势能之和等于在 B 点时的动能与电势能之和

解析 一带负电的微粒以一定初速度射入电场，并沿直线 AB 运动，其受到的电场力 F 只能垂直于等势面水平向左，则电场方向水平向右，如图所示，所以电场中 A 点的电势高于 B 点的电势，A 对；微

粒从 A 向 B 运动, 则合外力做负功, 动能减小, 电场力做负功, 电势能增加, C 错、 B 对; 微粒的动能、重力势能、电势能三种能量的总和保持不变, 所以 D 错.



答案 AB

5. (单选) 如图 6-3-5 所示, 示波器的示波管可视为加速电场与偏转电场的组合, 若已知加速电压为 U_1 , 偏转电压为 U_2 , 偏转极板长为 L , 极板间距为 d , 且电子被加速前的初速度可忽略, 则关于示波器灵敏度[即偏转电场中每单位偏转电压所引起的偏转量($\frac{y}{U_2}$)]与加速电场、偏转电场的关系, 下列说法中正确的是().

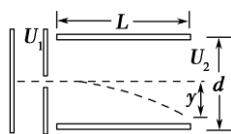


图 6-3-5

- A. L 越大, 灵敏度越高
 B. d 越大, 灵敏度越高
 C. U_1 越大, 灵敏度越高
 D. U_2 越大, 灵敏度越高

解析 偏转位移 $y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \frac{qU_2(L/v)^2}{md} = \frac{U_2 L^2}{4dU_1}$, 灵敏度 $\frac{y}{U_2} = \frac{L^2}{4dU_1}$, 故 A 正确, B 、 C 、 D 错误.

答案 A

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 平行板电容器的动态问题分析

1. 分析比较的思路

- (1) 确定不变量, 分析是电压不变还是所带电荷量不变.
- (2) 用决定式 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 分析平行板电容器电容的变化.
- (3) 用定义式 $C = \frac{Q}{U}$ 分析电容器所带电荷量或两极板间电压的变化.
- (4) 用 $E = \frac{U}{d}$ 分析电容器极板间场强的变化.

2. 平行板电容器的动态分析问题常见的类型

平行板电容器的动态分析问题有两种情况: 一是电容器始终和电源连接, 此时 U 恒定. 二是电容器充电后电源断开, 此时 Q 恒定.

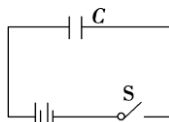


图 6-3-6

【典例 1】如图 6-3-6 所示, 先接通 S 使电容器充电, 然后断开 S . 当增大两极板间距离时, 电容器所带电荷量 Q 、电容 C 、两极板间电势差 U 、两极板间场强 E 的变化情况是().

- A. Q 变小, C 不变, U 不变, E 变小
 B. Q 变小, C 变小, U 不变, E 不变
 C. Q 不变, C 变小, U 变大, E 不变
 D. Q 不变, C 变小, U 变小, E 变小

审题指导 电容器充电后与电源断开, 则电容器所带的电荷量保持不变, 根据这个不变量可分析其他物理量的变化情况.

解析 电容器充电后再断开 S , 则电容器所带的电荷量 Q 不变, 由 $C \propto \frac{\epsilon_r S}{d}$ 可知, d 增大时, C 变小;

又 $U = \frac{Q}{C}$, 所以 U 变大; 由于 $E = \frac{U}{d}$, $U = \frac{Q}{C} = \frac{4\pi kdQ}{\epsilon_r S}$, 所以 $E = \frac{4\pi kQ}{\epsilon_r S}$, 故 d 增大时, E 不变, 选项 C 正确.

答案 C

反思总结 解电容器问题的常用技巧

(1) 在电荷量保持不变的情况下, 电场强度与板间的距离无关.

(2) 对平行板电容器的有关物理量 Q 、 E 、 U 、 C 进行讨论时, 关键在于弄清哪些是变量, 哪些是不变量, 在变量中哪些是自变量, 哪些是因变量, 抓住 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$ 、 $Q = CU$ 和 $E = \frac{U}{d}$ 进行判定即可.

【跟踪短训】

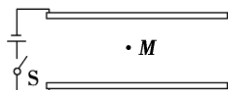


图 6-3-7

1. 如图 6-3-7 所示, 两块平行金属板正对着水平放置, 两板分别与电源正、负极相连. 当开关闭合时, 一带电液滴恰好静止在两板间的 M 点. 则().

- A. 当开关闭合时, 若减小两板间距, 液滴仍静止
- B. 当开关闭合时, 若增大两板间距, 液滴将下降
- C. 开关再断开后, 若减小两板间距, 液滴仍静止
- D. 开关再断开后, 若增大两板间距, 液滴将下降

解析 当开关闭合时, 电容器两端电压为定值, 等于电源电压, 设为 U , 两板间的距离为 d , 带电液滴处于平衡状态, 则 $mg = q\frac{U}{d}$, 当两板间的距离减小时, 带电液滴所受电场力大于其重力, 液滴将向上做匀加速运动, A 错误; 两板间的距离增大时, 带电液滴所受电场力小于重力, 液滴将向下做匀加速运动, B 正确; 当开关断开后, 电容器无法放电, 两板间的电荷量不变, 设为 Q , 此时两板间的场强大小为 $E = \frac{U}{d} = \frac{C}{d} = \frac{\frac{4\pi kdQ}{\epsilon_r S}}{d} = \frac{4\pi kQ}{\epsilon_r S}$, 可见场强大小与两板间距离无关, 即场强大小保持不变, 电场力不变, 液滴保持静止, C 正确, D 错误.

答案 BC

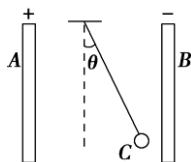


图 6-3-8

2. 给平行板电容器充电, 断开电源后 A 极板带正电, B 极板带负电. 板间一带电小球 C 用绝缘细线悬挂, 如图 6-3-8 所示. 小球静止时与竖直方向的夹角为 θ , 则().

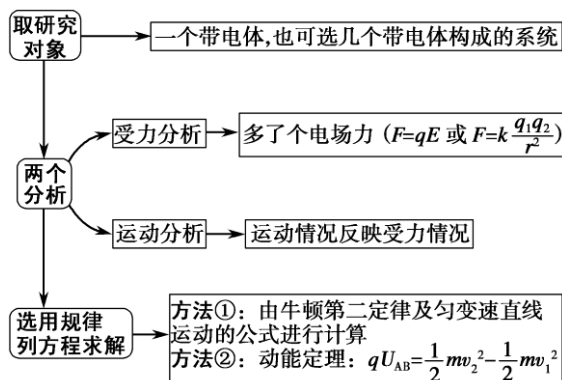
- A. 若将 B 极板向右平移少许, 电容器的电容将减小
- B. 若将 B 极板向下平移少许, A 、 B 两板间电势差将增大
- C. 若将 B 极板向下平移少许, 夹角 θ 将变大
- D. 轻轻将细线剪断, 小球将做斜抛运动

解析 平行板电容器的电容为 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$, 电容器两极板间的电压为 $U = \frac{Q}{C} = \frac{4\pi kdQ}{\epsilon_r S}$, 两极板间电场的场强大小为 $E = \frac{U}{d} = \frac{4\pi kQ}{\epsilon_r S}$. 给平行板电容器充电, 断开电源后电容器的带电荷量 Q 保持不变, B 极板向右平移少许, 两极板间的距离变大, 电容器的电容将减小, A 正确; B 极板向下平移少许, 两极板的正对面积减小, 两极板间的电势差增大, 两极板间的场强增大, 带电小球 C 所受的电场力增大, 夹角 θ 将变大, B、C 正确; 将细线剪断, 带电小球 C 受到重力和电场力的作用, 合力保持不变, 小球做直线运动, D 错误.

答案 ABC

热点二 带电粒子(带电体)在匀强电场中的直线运动问题

带电体在匀强电场中的直线运动问题的分析方法



【典例 2】 (2013 全国新课标 I, 16)一水平放置的平行板电容器的两极板间距为 d , 极板分别与电池两极相连, 上极板中心有一小孔(小孔对电场的影响可忽略不计). 小孔正上方 $\frac{d}{2}$ 处的 P 点有一带电粒子, 该粒子从静止开始下落, 经过小孔进入电容器, 并在下极板处(未与极板接触)返回. 若将下极板向上平移 $\frac{d}{3}$, 则从 P 点开始下落的相同粒子将().

- A. 打到下极板上
B. 在下极板处返回
C. 在距上极板 $\frac{d}{2}$ 处返回
D. 在距上极板 $\frac{2}{5}d$ 处返回

解析 带电粒子在重力作用下下落, 此过程中重力做正功, 当带电粒子进入平行板电容器时, 电场力对带电粒子做负功, 若带电粒子在下极板处返回, 由动能定理得 $mg\left(\frac{d}{2} + d\right) - qU = 0$; 若电容器下极板上移 $\frac{d}{3}$, 设带电粒子在距上极板 d' 处返回, 则重力做功 $W_G = mg\left(\frac{d}{2} + d'\right)$, 电场力做功 $W_{电} = -qU' = -q\left(\frac{d'}{d - \frac{d}{3}}\right)U = -q\frac{3d'}{2d}U$, 由动能定理得 $W_G + W_{电} = 0$, 联立各式解得 $d' = \frac{2}{5}d$, 选项 D 正确.

答案 D

反思总结 处理带电粒子在电场中运动的常用技巧

(1) 微观粒子(如电子、质子、 α 粒子等)在电场中的运动, 通常不必考虑其重力及运动中重力势能的变化.

(2) 普通的带电体(如油滴、尘埃、小球等)在电场中的运动, 除题中说明外, 必须考虑其重力及运动中重力势能的变化.

【跟踪短训】

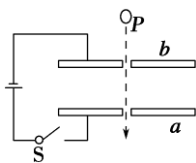


图 6-3-9

3. 如图 6-3-9 所示, 沿水平方向放置的平行金属板 a 和 b 分别与电源的正负极相连, a 、 b 板的中央沿竖直方向各有一个小孔, 闭合开关 S 后, 带正电的液滴从小孔正上方的 P 点由静止自由落下, 当液滴穿过 b 板小孔到达 a 板小孔时速度为 v_1 . 现使 a 板不动, 在开关 S 仍闭合或断开的情况下, b 板向上或向下平移一小段距离, 相同的液滴仍从 P 点自由落下, 此时液滴到达 a 板小孔时速度为 v_2 , 下列说法中正确的是().

- A. 若开关 S 保持闭合, 向下移动 b 板, 则 $v_2 > v_1$
B. 若开关 S 闭合一段时间后再断开, 向下移动 b 板, 则 $v_2 > v_1$
C. 若开关 S 保持闭合, 则无论向上或向下移动 b 板, 都有 $v_2 = v_1$

D. 若开关 S 闭合一段时间后再断开, 则无论向上或向下移动 b 板, 都有 $v_2 < v_1$

解析 若开关 S 始终闭合, 电容器两板间的电压保持不变, 令 P 到 a 板的距离为 h , 由动能定理得 $mgh - qU = \frac{1}{2}mv^2$, 所以无论向上或向下移动 b 板均有 $v_2 = v_1$, A 错、C 对; 若开关 S 闭合一段时间后再断开, 则电荷量保持不变, 由动能定理 $mgh - qU = \frac{1}{2}mv^2$ 及 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$ 和 $Q = CU$ 可知, 下移 b 板时液滴速度增大, 反之液滴速度减小, B 对、D 错.

答案 BC

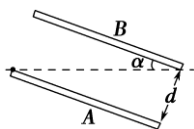
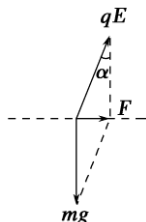


图 6-3-10

4. 如图 6-3-10 所示, 板长 $L=4$ cm 的平行板电容器, 板间距离 $d=3$ cm, 板与水平线夹角 $\alpha=37^\circ$; 两板所加电压为 $U=100$ V. 有一带负电液滴, 带电荷量为 $q=3 \times 10^{-10}$ C, 以 $v_0=1$ m/s 的水平速度自 A 板边缘水平进入电场, 在电场中仍沿水平方向并恰好从 B 板边缘水平飞出(取 $g=10$ m/s², $\sin \alpha=0.6$, $\cos \alpha=0.8$). 求:

- (1) 液滴的质量;
- (2) 液滴飞出时的速度.



解析 (1) 根据题意画出带电液滴的受力图如图所示, 由图可得: $qE \cos \alpha = mg$

$$E = \frac{U}{d}$$

$$\text{解得: } m = \frac{qU \cos \alpha}{dg}$$

代入数据得 $m = 8 \times 10^{-8}$ kg

(2) 对液滴由动能定理得:

$$qU = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2, v = \sqrt{v_0^2 + \frac{2qU}{m}}$$

$$\text{所以 } v = \frac{\sqrt{7}}{2} \text{ m/s}$$

答案 (1) 8×10^{-8} kg (2) $\frac{\sqrt{7}}{2}$ m/s

热点三 带电粒子在匀强电场中的偏转问题

求解带电粒子偏转问题的思路

在示波管模型中, 带电粒子经加速电场 U_1 加速, 再经偏转电场 U_2 偏转后, 需再经历一段匀速直线运动才会打到荧光屏上而显示亮点 P , 如图 6-3-11 所示.

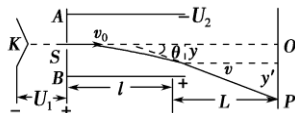
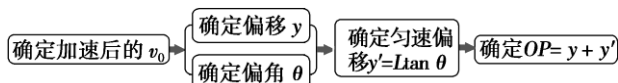


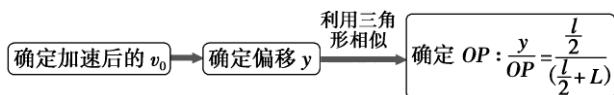
图 6-3-11

(1) 确定最终偏移距离

思路①

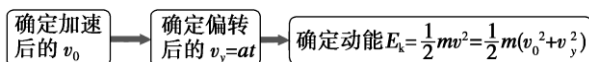


思路②



(2)确定偏转后的动能(或速度)

思路①



思路②

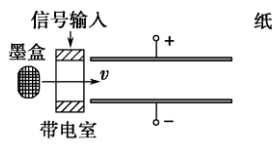
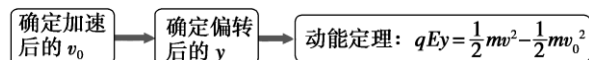


图 6-3-12

【典例 3】 (2013 广东卷, 15)喷墨打印机的简化模型如图 6-3-12 所示, 重力可忽略的墨汁微滴, 经带电室带负电后, 以速度 v 垂直匀强电场飞入极板间, 最终打在纸上, 则微滴在极板间电场中()。

- A. 向负极板偏转
- B. 电势能逐渐增大
- C. 运动轨迹是抛物线
- D. 运动轨迹与带电量无关

审题指导 (1)负电荷所受电场力的方向与_____。

(2)带电微滴进入电场后做什么运动?

(3)带电微滴在水平方向做_____

在竖直方向做_____

提示 (1)电场强度方向相反

(2)类平抛运动

(3)匀速直线运动 匀加速直线运动

解析 带负电的微滴进入电场后受到向上的静电力, 故带电微滴向正极板偏转, 选项 A 错误; 带电微滴垂直进入电场受竖直方向的静电力作用, 静电力做正功, 故墨汁微滴的电势能减小, 选项 B 错误; 根据 $x = v_0 t$, $y = \frac{1}{2} a t^2$ 及 $a = \frac{qE}{m}$, 得带电微滴的轨迹方程为 $y = \frac{qEx^2}{2mv_0^2}$, 即运动轨迹是抛物线, 与带电量有关, 选项 C 正确、D 错误。

答案 C

反思总结

1. 分析带电粒子在匀强电场中的偏转问题的关键

(1)条件分析: 不计重力, 且带电粒子的初速度 v_0 与电场方向垂直, 则带电粒子将在电场中只受电场力作用做类平抛运动。

(2)运动分析: 一般用分解的思想来处理, 即将带电粒子的运动分解为沿电场力方向上的匀加速直线运动和垂直电场力方向上的匀速直线运动。

2. 两个结论

(1)不同的带电粒子从静止开始经过同一电场加速后再从同一偏转电场射出时的偏转角度总是相同的。

(2)粒子经电场偏转后, 合速度的反向延长线与初速度延长线的交点为粒子水平位移的中点。

【跟踪短训】

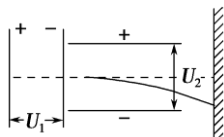


图 6-3-13

5. 如图 6-3-13 所示, 一价氢离子(${}^1_1\text{H}$)和二价氦离子(${}^4_2\text{He}$)的混合物, 经同一加速电场加速后, 垂直射入同一偏转电场中, 偏转后, 打在同一荧光屏上, 则它们().

- A. 同时到达屏上同一点
- B. 先后到达屏上同一点
- C. 同时到达屏上不同点
- D. 先后到达屏上不同点

解析 一价氢离子(${}^1_1\text{H}$)和二价氦离子(${}^4_2\text{He}$)的比荷不同, 经过加速电场的末速度不同, 因此在加速电场及偏转电场的时间均不同, 但在偏转电场中偏转距离相同, 所以会打在同一点. 选 B.

答案 B

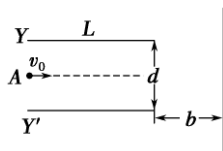
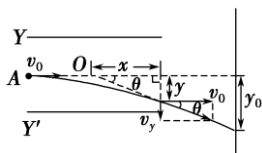


图 6-3-14

6. 如图 6-3-14 所示, 真空中水平放置的两个相同极板 Y 和 Y' 长为 L, 相距为 d, 足够大的竖屏与两板右侧相距 b. 在两板间加上可调偏转电压 $U_{YY'}$, 一束质量为 m、带电荷量为 +q 的粒子(不计重力)从两板左侧中点 A 以初速度 v_0 沿水平方向射入电场且能穿出.

- (1) 证明粒子飞出电场后的速度方向的反向延长线交于两板间的中心 O 点;
- (2) 求两板间所加偏转电压 $U_{YY'}$ 的范围;
- (3) 求粒子可能到达屏上区域的长度.



解析 (1) 设粒子在电场中的加速度大小为 a , 离开偏转电场时偏转距离为 y , 沿电场方向的速度为 v_y , 偏转角为 θ , 其反向延长线通过 O 点, O 点与板右端的水平距离为 x , 如图所示, 则有 $y = \frac{1}{2}at^2$

$$L = v_0 t$$

$$v_y = at, \tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{y}{x}, \text{ 联立解得 } x = \frac{L}{2}$$

即粒子飞出电场后的速度方向的反向延长线交于两板间的中心 O 点.

(2) 由牛顿第二定律, 得 $qE = ma$, 又 $U = Ed$

$$\text{联立解得 } y = \frac{qUL^2}{2dmv_0^2}, \text{ 当 } y = \frac{d}{2} \text{ 时, } U_{YY'} = \frac{d^2mv_0^2}{qL^2}$$

$$\text{则两板间所加电压的范围为 } -\frac{d^2mv_0^2}{qL^2} \leq U_{YY'} \leq \frac{d^2mv_0^2}{qL^2}.$$

(3) 当 $y = \frac{d}{2}$ 时, 粒子在屏上侧向偏移的距离最大, 设其大小为 y_0 , 则 $y_0 = y + b \tan \theta$, 又 $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{d}{L}$

$$\text{联立解得 } y_0 = \frac{d(L+2b)}{2L}$$

故粒子在屏上可能到达的区域的长度为

$$H = 2y_0 = \frac{d(L+2b)}{L}.$$

$$\text{答案 (1) 见解析 (2) } -\frac{d^2mv_0^2}{qL^2} \leq U_{YY'} \leq \frac{d^2mv_0^2}{qL^2}$$

$$(3) \frac{d(L+2b)}{L}$$

思想方法 10.带电粒子在交变电场中的运动问题

1. 常见的交变电场

常见的产生交变电场的电压波形有方形波、锯齿波、正弦波等.

2. 常见的试题类型

此类题型一般有三种情况:

- (1) 粒子做单向直线运动(一般用牛顿运动定律求解);
- (2) 粒子做往返运动(一般分段研究);
- (3) 粒子做偏转运动(一般根据交变电场特点分段研究).

3. 常用的分析方法

(1) 带电粒子在交变电场中的运动, 通常只讨论电压的大小不变、方向做周期性变化(如方波)且不计粒子重力的情形. 在两个相互平行的金属板间加交变电压时, 在两板中间便可获得交变电场. 此类电场从空间看是匀强的, 即同一时刻, 电场中各个位置处电场强度的大小、方向都相同; 从时间看是变化的, 即电场强度的大小、方向都随时间而变化.

① 当粒子平行于电场方向射入时, 粒子做直线运动, 其初速度和受力情况决定了粒子的运动情况, 粒子可以做周期性的运动.

② 当粒子垂直于电场方向射入时, 沿初速度方向的分运动为匀速直线运动, 沿电场方向的分运动具有周期性.

(2) 研究带电粒子在交变电场中的运动, 关键是根据电场变化的特点, 利用牛顿第二定律正确地判断粒子的运动情况. 根据电场的变化情况, 分段求解带电粒子运动的末速度、位移等.

(3) 对于锯齿波和正弦波等电压产生的交变电场, 一般来说题中会直接或间接提到“粒子在其中运动时电场为恒定电场”, 故带电粒子穿过电场时可认为是在匀强电场中运动.

【典例】 如图 6-3-15 甲所示, 长为 L 、间距为 d 的两金属板 A 、 B 水平放置, ab 为两板的中心线, 一个带电粒子以速度 v_0 从 a 点水平射入, 沿直线从 b 点射出, 若将两金属板接到如图乙所示的交变电压上, 欲使该粒子仍能从 b 点以速度 v_0 射出, 求:

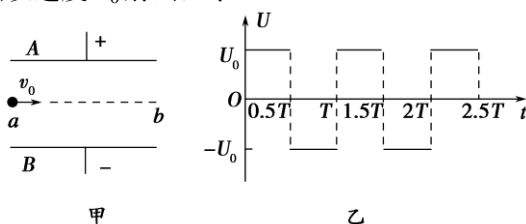


图 6-3-15

- (1) 交变电压的周期 T 应满足什么条件?
- (2) 粒子从 a 点射入金属板的时刻应满足什么条件?

审题指导 (1) 粒子在板间做什么运动? _____.

(2) 粒子沿初速度方向做 _____.

(3) 粒子在垂直初速度方向做 _____.

(4) “欲使该粒子仍能从 b 点以 v_0 射出” $\xrightarrow{\text{隐含}}$ _____.

提示 (1) 曲线运动 (2) 匀速直线运动 (3) 加速、减速, 反向加速、反向减速 (4) 粒子运动到 b 点时, 在垂直于金属板的方向上速度正好等于零 $\xrightarrow{\text{推理}}$ 粒子的运动时间等于一个周期.

解析 (1) 为使粒子仍从 b 点以速度 v_0 穿出电场, 在垂直于初速度方向上, 粒子的运动应为: 加速, 减速, 反向加速, 反向减速, 经历四个过程后, 回到中心线上时, 在垂直于金属板的方向上速度正好等于零, 这段时间等于一个周期, 故有 $L = nTv_0$, 解得 $T = \frac{L}{nv_0}$

粒子在 $\frac{1}{4}T$ 内离开中心线的距离为 $y = \frac{1}{2}a\left(\frac{1}{4}T\right)^2$

又 $a = \frac{qE}{m}$, $E = \frac{U_0}{d}$, 解得 $y = \frac{qU_0T^2}{32md}$

在运动过程中离开中心线的最大距离为 $y_m = 2y = \frac{qU_0T^2}{16md}$

粒子不撞击金属板，应有 $y_m \leq \frac{1}{2}d$

解得 $T \leq 2d\sqrt{\frac{2m}{qU_0}}$

故 $n \geq \frac{L}{2dv_0}\sqrt{\frac{qU_0}{2m}}$ ，即 n 取大于等于 $\frac{L}{2dv_0}\sqrt{\frac{qU_0}{2m}}$ 的整数。

所以粒子的周期应满足的条件为

$T = \frac{L}{nv_0}$ ，其中 n 取大于等于 $\frac{L}{2dv_0}\sqrt{\frac{qU_0}{2m}}$ 的整数。

(2) 粒子进入电场的的时间应为 $\frac{1}{4}T, \frac{3}{4}T, \frac{5}{4}T, \dots$

故粒子进入电场的的时间为 $t = \frac{2n-1}{4}T (n=1,2,3, \dots)$ 。

答案 (1) $T = \frac{L}{nv_0}$ ，其中 n 取大于等于 $\frac{L}{2dv_0}\sqrt{\frac{qU_0}{2m}}$ 的整数

(2) $t = \frac{2n-1}{4}T (n=1,2,3, \dots)$

反思总结 对于带电粒子在交变电场中的运动问题，由于不同时间内场强不同，使得带电粒子所受的电场力不同，造成带电粒子的运动情况发生变化。解决这类问题，要分段进行分析，根据题意找出满足题目要求的条件，从而分析求解。

即学即练 如图 6-3-16 甲所示，热电子由阴极飞出时的初速度忽略不计，电子发射装置的加速电压为 U_0 ，电容器板长和板间距离均为 $L=10\text{ cm}$ ，下极板接地，电容器右端到荧光屏的距离也是 $L=10\text{ cm}$ ，在电容器两极板间接一交变电压，上极板的电势随时间变化的图象如图乙所示。（每个电子穿过平行板的时间都极短，可以认为电压是不变的）求：

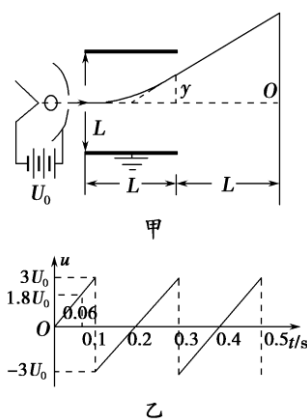


图 6-3-16

(1) 在 $t=0.06\text{ s}$ 时刻，电子打在荧光屏上的何处。

(2) 荧光屏上有电子打到的区间有多长？

解析 (1) 电子经电场加速满足 $qU_0 = \frac{1}{2}mv^2$

经电场偏转后侧移量 $y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qU_{偏}}{mL} \left(\frac{L}{v}\right)^2$

所以 $y = \frac{U_{偏}L}{4U_0}$ ，由图知 $t=0.06\text{ s}$ 时刻 $U_{偏} = 1.8U_0$ ，所以 $y = 4.5\text{ cm}$

设打在屏上的点距 O 点的距离为 Y ，满足 $\frac{Y}{y} = \frac{L + \frac{L}{2}}{\frac{L}{2}}$

所以 $Y = 13.5\text{ cm}$ 。

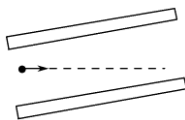
(2)由题知电子侧移量 y 的最大值为 $\frac{L}{2}$, 所以当偏转电压超过 $2U_0$, 电子就打不到荧光屏上了, 所以荧光屏上电子能打到的区间长为 $3L = 30 \text{ cm}$.

答案 (1)打在屏上的点位于 O 点上方, 距 O 点 13.5 cm

(2) 30 cm

对应高考题组

1. (2012 课标全国, 18)如图, 平行板电容器的两个极板与水平地面成一角度, 两极板与一直流电源相连. 若一带电粒子恰能沿图中所示水平直线通过电容器, 则在此过程中, 该粒子().



- A. 所受重力与电场力平衡
B. 电势能逐渐增加
C. 动能逐渐增加
D. 做匀变速直线运动

解析 带电粒子在平行板电容器之间受到两个力的作用, 一是重力 mg , 方向竖直向下; 二是电场力 $F = Eq$, 方向垂直于极板向上, 因二力均为恒力, 又已知带电粒子做直线运动, 所以此二力的合力一定在粒子运动的直线轨迹上, 根据牛顿第二定律可知, 该粒子做匀减速直线运动, 选项 D 正确, 选项 A、C 错误; 从粒子运动的方向和电场力的方向可判断出, 电场力对粒子做负功, 粒子的电势能增加, 选项 B 正确.

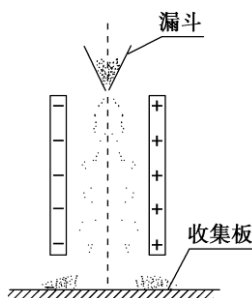
答案 BD

2. (2012 海南单科, 9)将平行板电容器两极板之间的距离、电压、电场强度大小和极板所带的电荷量分别用 d 、 U 、 E 和 Q 表示. 下列说法正确的是().

- A. 保持 U 不变, 将 d 变为原来的两倍, 则 E 变为原来的一半
B. 保持 E 不变, 将 d 变为原来的一半, 则 U 变为原来的两倍
C. 保持 d 不变, 将 Q 变为原来的两倍, 则 U 变为原来的一半
D. 保持 d 不变, 将 Q 变为原来的一半, 则 E 变为原来的一半

解析 由 $E = \frac{U}{d}$ 知, 当 U 不变, d 变为原来的两倍时, E 变为原来的一半, A 项正确; 当 E 不变, d 变为原来的一半时, U 变为原来的一半, B 项错误; 当电容器中 d 不变时, C 不变, 由 $C = \frac{Q}{U}$ 知, 当 Q 变为原来的两倍时, U 变为原来的两倍, C 项错误; Q 变为原来的一半, 则 U 变为原来的一半, E 变为原来的一半, D 项正确.

答案 AD



3. (2012 广东理综, 20)图是某种静电矿料分选器的原理示意图, 带电矿粉经漏斗落入水平匀强电场后, 分落在收集板中央的两侧. 对矿粉分离的过程, 下列表述正确的有().

- A. 带正电的矿粉落在右侧
B. 电场力对矿粉做正功
C. 带负电的矿粉电势能变大
D. 带正电的矿粉电势能变小

解析 由题图可知, 电场方向水平向左, 带正电的矿粉所受电场力方向与电场方向相同, 所以落在左侧; 带负电的矿粉所受电场力方向与电场方向相反, 所以落在右侧. 选项 A 错误; 无论矿粉所带电性如何, 矿粉均向所受电场力方向偏转, 电场力均做正功, 选项 B 正确; 电势能均减少, 选项 C 错误,

选项 D 正确 .

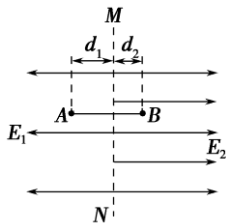
答案 BD

4. (2012 江苏单科, 2)一充电后的平行板电容器保持两极板的正对面积、间距和电荷量不变, 在两极板间插入一电介质, 其电容 C 和两极板间的电势差 U 的变化情况是().

- A. C 和 U 均增大
 B. C 增大, U 减小
 C. C 减小, U 增大
 D. C 和 U 均减小

解析 由平行板电容器电容决定式 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 知, 当插入电介质后, ϵ_r 变大, 则在 S 、 d 不变的情况下 C 增大; 由电容定义式 $C = \frac{Q}{U}$ 得 $U = \frac{Q}{C}$, 又电荷量 Q 不变, 故两极板间的电势差 U 减小, 选项 B 正确 .

答案 B



5. (2011 福建, 20)反射式速调管是常用的微波器件之一, 它利用电子团在电场中的振荡来产生微波, 其振荡原理与下述过程类似. 如图所示, 在虚线 MN 两侧分别存在着方向相反的两个匀强电场, 一带电微粒从 A 点由静止开始, 在电场力作用下沿直线在 A 、 B 两点间往返运动. 已知电场强度的大小分别是 $E_1 = 2.0 \times 10^3 \text{ N/C}$ 和 $E_2 = 4.0 \times 10^3 \text{ N/C}$, 方向如图所示. 带电微粒质量 $m = 1.0 \times 10^{-20} \text{ kg}$, 带电荷量 $q = -1.0 \times 10^{-9} \text{ C}$, A 点距虚线 MN 的距离 $d_1 = 1.0 \text{ cm}$, 不计带电微粒的重力, 忽略相对论效应. 求:

- (1) B 点距虚线 MN 的距离 d_2 ;
 (2) 带电微粒从 A 点运动到 B 点所经历的时间 t .

解析 (1) 带电微粒由 A 运动到 B 的过程中, 由动能定理有 $|q|E_1 d_1 - |q|E_2 d_2 = 0$ ①

由①式解得 $d_2 = \frac{E_1}{E_2} d_1 = 0.50 \text{ cm}$ ②

(2) 设微粒在虚线 MN 两侧的加速度大小分别为 a_1 、 a_2 , 由牛顿第二定律有 $|q|E_1 = ma_1$ ③

$|q|E_2 = ma_2$ ④

设微粒在虚线 MN 两侧运动的时间分别为 t_1 、 t_2 , 由运动学公式有 $d_1 = \frac{1}{2} a_1 t_1^2$ ⑤

$d_2 = \frac{1}{2} a_2 t_2^2$ ⑥

又 $t = t_1 + t_2$ ⑦

由②③④⑤⑥⑦式解得 $t = 1.5 \times 10^{-8} \text{ s}$

答案 (1) 0.50 cm (2) $1.5 \times 10^{-8} \text{ s}$

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 电容器、电容及动态分析

1. (多选)如图 6-3-17 所示的电路, 闭合开关, 水平放置的平行板电容器中有一个带电液滴正好处于静止状态. 为了使液滴竖直向上运动, 下列操作可行的是().

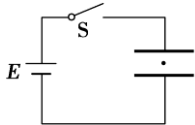


图 6-3-17

- A. 断开开关, 将两板间的距离拉大一些
 B. 断开开关, 将两板水平地向相反方向移开一些
 C. 保持开关闭合, 将两板间的距离减小一些
 D. 保持开关闭合, 以两板各自的左侧板沿为轴, 同时向上(即逆时针方向)转过一个小角度

解析 带电液滴受到竖直向下的重力和竖直向上的电场力正好处于静止状态, 有 $Eq = mg$. 两板间的电场强度 $E = \frac{U}{d}$, 保持开关闭合时, U 不变, 当两板间的距离 d 减小时, E 变大, 此时 $Eq > mg$, 液滴竖直向上运动, C 正确; 保持开关闭合, 以两板各自的左侧板沿为轴, 同时向上(即逆时针方向)转过一个小角度, E 的大小不变, 但方向变了, 此时液滴不会沿竖直方向运动, 所以 D 错误; 断开开关, 电容器的电荷量 Q 不变, E 与 d 无关, 所以断开开关, 将两板间的距离拉大一些, 仍有 $Eq = mg$, 液滴仍保持静止状态, A 错误; 断开开关, 将两板水平地向相反方向移开一些, 此时两板的正对面积 S 变小, E 变大, 此时 $Eq > mg$, 所以液滴竖直向上运动, B 正确.

答案 BC

2. (多选)如图 6-3-18 所示, 平行板电容器与电动势为 E' 的直流电源(内阻不计)连接, 下极板接地, 静电计所带电荷量很少, 可被忽略. 一带负电油滴被固定于电容器中的 P 点. 现将平行板电容器的下极板竖直向下移动一小段距离, 则().

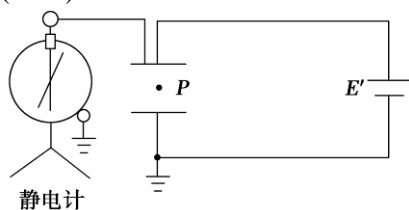


图 6-3-18

- A. 平行板电容器的电容将变小
- B. 静电计指针张角变小
- C. 带电油滴的电势能将减少
- D. 若先将上极板与电源正极的导线断开, 再将下极板向下移动一小段距离, 则带电油滴所受电场力不变

解析 将平行板电容器的下极板竖直向下移动一小段距离时, 两极板的正对面积 S 不变, 间距 d 变大, 根据关系式 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d} \propto \frac{S}{d}$ 可知, 电容 C 减小, 选项 A 正确; 因为静电计指针的变化表征了电容器两极板电势差的变化, 题中电容器两极板间的电势差 U 不变, 所以静电计指针张角不变, 选项 B 错误; U 不变, 极板间距 d 变大时, 板间场强 $E = U/d$ 减小, 带电油滴所处位置的电势 $U_p = U - Ed_1$ 增大, 其中 d_1 为油滴到上极板的距离, 又因为油滴带负电, 所以其电势能将减少, 选项 C 正确; 若先将上极板与电源正极的导线断开, 再将下极板向下移动一小段距离, 则电容器带电荷量 Q 不变, 极板间距 d 变大, 根据 $Q = CU$, $E = U/d$ 和 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知 $E \propto Q/S$, 可见, 极板间场强 E 不变, 所以带电油滴所受电场力不变, 选项 D 正确.

答案 ACD

题组二 带电粒子在电场中的直线运动问题

3. (多选)如图 6-3-19 所示, M 、 N 是在真空中竖直放置的两块平行金属板, 板间有匀强电场, 质量为 m 、电荷量为 $-q$ 的带电粒子, 以初速度 v_0 由小孔进入电场, 当 M 、 N 间电压为 U 时, 粒子刚好能到达 N 板, 如果要使这个带电粒子能到达 M 、 N 两板间距的 $\frac{1}{2}$ 处返回, 则下述措施能满足要求的是().

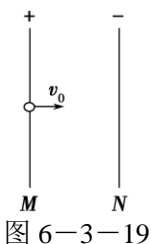


图 6-3-19

- A. 使初速度减为原来的 $\frac{1}{2}$
 B. 使 M 、 N 间电压提高到原来的 2 倍
 C. 使 M 、 N 间电压提高到原来的 4 倍
 D. 使初速度和 M 、 N 间电压都减为原来的 $\frac{1}{2}$

解析 在粒子刚好到达 N 板的过程中, 由动能定理得 $-qEd = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 所以 $d = \frac{mv_0^2}{2qE}$, 令带电粒子离开 M 板的最远距离为 x , 则使初速度减为原来的 $\frac{1}{2}$, $x = \frac{d}{4}$; 使 M 、 N 间电压提高到原来的 2 倍, 电场强度变为原来的 2 倍, $x = \frac{d}{2}$; 使 M 、 N 间电压提高到原来的 4 倍, 电场强度变为原来的 4 倍, $x = \frac{d}{4}$; 使初速度和 M 、 N 间电压都减为原来的 $\frac{1}{2}$, 电场强度变为原来的一半, $x = \frac{d}{2}$.

答案 BD

4. 如图 6-3-20 甲所示, 在真空中足够大的绝缘水平地面上, 一个质量为 $m=0.2$ kg, 带电荷量为 $q=+2.0 \times 10^{-6}$ C 的小物块处于静止状态, 小物块与地面间的动摩擦因数 $\mu=0.1$. 从 $t=0$ 时刻开始, 空间加上一个如图乙所示的场强大小和方向呈周期性变化的电场(取水平向右的方向为正方向, $g=10$ m/s^2), 求:

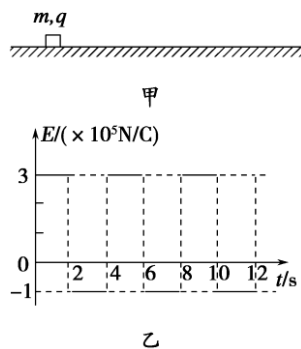


图 6-3-20

- (1) 23 s 内小物块的位移大小.
 (2) 23 s 内电场力对小物块所做的功.

解析 (1) $0 \sim 2$ s 内小物块的加速度为 a_1

由牛顿第二定律得: $E_1q = \mu mg = ma_1$ 即

$$a_1 = \frac{E_1q - \mu mg}{m} = 2 \text{ m/s}^2, \text{ 位移 } x_1 = \frac{1}{2}a_1t_1^2 = 4 \text{ m}$$

2 s 末的速度为 $v_2 = a_1t_1 = 4$ m/s

2 ~ 4 s 内小物块的加速度为 a_2 , 由牛顿第二定律得

$$E_2q + \mu mg = ma_2$$

$$\text{即 } a_2 = \frac{E_2q + \mu mg}{m} = -2 \text{ m/s}^2$$

位移 $x_2 = x_1 = 4$ m, 4 s 末小物块的速度为 $v_4 = 0$

因此小物块做周期为 4 s 的匀加速和匀减速运动

第 22 s 末的速度为 $v_{22} = 4$ m/s, 第 23 s 末的速度

$$v_{23} = v_{22} - a_2t = 2 \text{ m/s} (t = 1 \text{ s})$$

$$\text{所求位移为 } x = \frac{22}{2}x_1 + \frac{v_{22} + v_{23}}{2}t = 47 \text{ m.}$$

(2) 23 s 内, 设电场力对小物块所做的功为 W , 由动能定理得 $W - \mu mgx = \frac{1}{2}mv_{23}^2$

解得 $W = 9.8 \text{ J}$.

答案 (1)47 m (2)9.8 J

题组三 带电粒子在电场中的偏转问题

5. (多选)如图 6-3-21 所示, A 板发出的电子经加速后, 水平射入水平放置的两平行金属板间, 金属板间所加的电压为 U , 电子最终打在荧光屏 P 上, 关于电子的运动, 下列说法中正确的是().

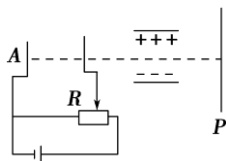


图 6-3-21

- A. 滑片向右移动, 其他不变时, 电子打在荧光屏上的位置上升
- B. 滑片向左移动, 其他不变时, 电子打在荧光屏上的位置上升
- C. 电压 U 减小, 其他不变时, 电子从发出到打在荧光屏上的时间减小
- D. 电压 U 减小, 其他不变时, 电子从发出到打在荧光屏上的时间不变

解析 滑片向右移动, 其他不变时, 加速电压增大, 电子速度增大, 则电子打在荧光屏上的位置下降, 选项 A 错误; 滑片向左移动, 其他不变时, 加速电压减小, 电子速度减小, 则电子打在荧光屏上的位置上升, 选项 B 正确; 电压 U 减小或增大, 其他不变时, 电子经加速电压后的水平速度大小不变, 从发出到打在荧光屏上的时间不变, 选项 C 错误、D 正确.

答案 BD

6. (2013 安徽卷四校联考)(单选)如图 6-3-22 所示, 两平行金属板间有一匀强电场, 板长为 L , 板间距离为 d , 在板右端 L 处有一竖直放置的光屏 M , 一带电荷量为 q , 质量为 m 的质点从两板中央射入板间, 最后垂直打在 M 屏上, 则下列结论正确的是().

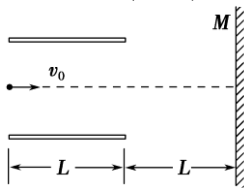


图 6-3-22

- A. 板间电场强度大小为 $\frac{mg}{q}$
- B. 板间电场强度大小为 $\frac{mg}{2q}$
- C. 质点在板间的运动时间和它从板的右端运动到光屏的时间相等
- D. 质点在板间的运动时间大于它从板的右端运动到光屏的时间

解析 根据质点垂直打在 M 屏上可知, 质点在两板中央运动时向上偏转, 在板右端运动时向下偏转, $mg < qE$, 选项 A、B 错误; 根据运动的合成和分解, 质点沿水平方向做匀速直线运动, 质点在板间的运动时间和它从板的右端运动到光屏的时间相等, 选项 C 正确, D 错误.

答案 C

7. (2013 四川攀枝花二模, 9)如图 6-3-23 所示, 虚线 PQ 、 MN 间存在如图所示的水平匀强电场, 一带电粒子质量为 $m = 2.0 \times 10^{-11} \text{ kg}$ 、电荷量为 $q = +1.0 \times 10^{-5} \text{ C}$, 从 a 点由静止开始经电压为 $U = 100 \text{ V}$ 的电场加速后, 垂直于匀强电场进入匀强电场中, 从虚线 MN 上的某点 b (图中未画出) 离开匀强电场时速度与电场方向成 30° 角. 已知 PQ 、 MN 间距离为 20 cm , 带电粒子的重力忽略不计. 求:

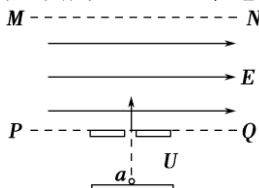


图 6-3-23

- (1)带电粒子刚进入匀强电场时的速率 v_1 ;
 (2)匀强电场的场强大小;
 (3) ab 两点间的电势差.

解析 (1)由动能定理得: $qU = \frac{1}{2}mv_1^2$

代入数据得 $v_1 = 10^4$ m/s

(2)因粒子重力不计, 则进入 PQ 、 MN 间电场中后, 做类平抛运动, 有粒子沿初速度方向做匀速直线运动: $d = v_1 t$

粒子沿电场方向做初速度为零的匀加速直线运动: $v_y = at$

由牛顿第二定律得: $qE = ma$, 由题意得: $\tan 30^\circ = \frac{v_1}{v_y}$

联立以上相关各式并代入数据得:

$$E = \sqrt{3} \times 10^3 \text{ N/C} = 1.73 \times 10^3 \text{ N/C}$$

(3)由动能定理得: $qU_{ab} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(v_1^2 + v_y^2)$

联立以上相关各式代入数据得: $U_{ab} = 400$ V

答案 (1) 10^4 m/s (2) 1.73×10^3 N/C (3)400 V

B 深化训练——提高能力技巧

8. (单选)一平行板电容器充电后与电源断开, 负极板接地. 两板间有一个正试探电荷固定在 P 点, 如图 6-3-24 所示, 以 C 表示电容器的电容、 E 表示两板间的场强、 φ 表示 P 点的电势, E_p 表示正电荷在 P 点的电势能, 若正极板保持不动, 将负极板缓慢向右平移一小段距离 l_0 的过程中, 各物理量与负极板移动距离 x 的关系图象中正确的是().

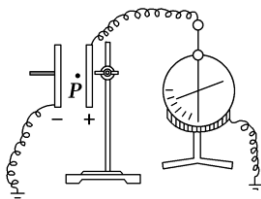
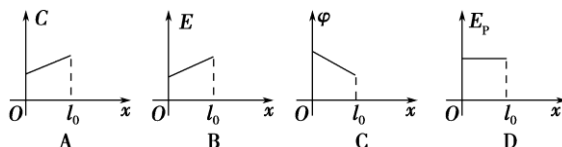


图 6-3-24



解析 由平行板电容器的电容 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知 A 错. 在电容器两极板所带电荷量一定情况下, $U = \frac{Q}{C}$, $E = \frac{U}{d} = \frac{4\pi k Q}{\epsilon_r S}$ 与 d 无关, 则 B 错. 在负极板接地的情况下, $\varphi = \varphi_0 - El_0$, 则 C 项正确. 正电荷在 P 点的电势能 $E_p = q\varphi = q(\varphi_0 - El_0)$, 显然 D 错.

答案 C

9. (单选)如图 6-3-25 甲所示, 两极板间加上如图乙所示的交变电压. 开始 A 板的电势比 B 板高, 此时两板中间原来静止的电子在电场力作用下开始运动. 设电子在运动中不与极板发生碰撞, 向 A 板运动时为速度的正方向, 则下列图象中能正确反映电子速度变化规律的是(其中 C、D 两项中的图线按正弦函数规律变化)().

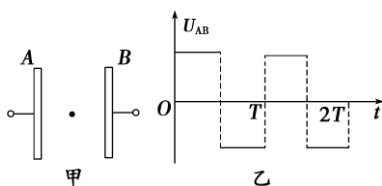
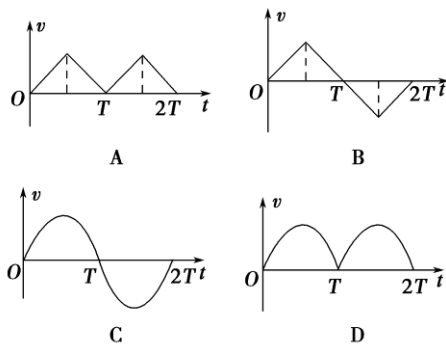


图 6-3-25



解析 电子在交变电场中所受电场力恒定，加速度大小不变，故 C、D 两项错误；从 0 时刻开始，电子向 A 板做匀加速直线运动， $\frac{1}{2}T$ 后电场力反向，电子向 A 板做匀减速直线运动，直到 $t=T$ 时刻速度变为零。之后重复上述运动，A 项正确，B 项错误。

答案 A

10. (2013 江南十校联考, 23)如图 6-3-26 所示，光滑水平轨道与半径为 R 的光滑竖直半圆轨道在 B 点平滑连接。在过圆心 O 的水平界面 MN 的下方分布有水平向右的匀强电场。现有一个质量为 m 、电荷量为 q 的带正电小球在水平轨道上的 A 点由静止释放，小球运动到 C 点离开半圆轨道后，经界面 MN 上的 P 点进入电场(P 点恰好在 A 点的正上方，小球可视为质点，小球运动到 C 点之前所带电荷量保持不变，经过 C 点后所带电荷量立即变为零)。已知 A、B 两点间的距离为 $2R$ ，重力加速度为 g 。在上述运动过程中，求：

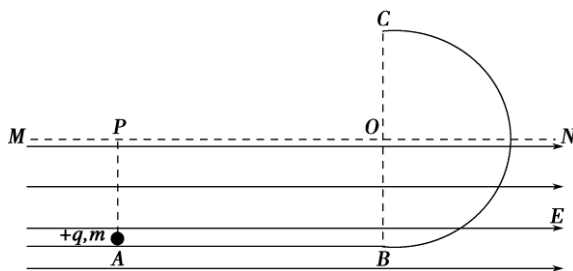


图 6-3-26

(1) 电场强度 E 的大小；

(2) 小球在半圆轨道上运动时的最大速率(计算结果用根号表示)。

解析 (1) 设小球过 C 点时的速度为 v_C ，小球从 A 点到 C 点由动能定理： $qE \cdot 3R - mg \cdot 2R = \frac{1}{2}mv_C^2$

小球离开 C 点后做平抛运动到 P 点：

$$R = \frac{1}{2}gt^2 \cdot 2R = v_C t, \text{ 得 } E = \frac{mg}{q}.$$

(2) 设小球运动到圆周 D 点时速度最大为 v ，此时 OD 与竖直线 OB 夹角设为 α ，小球从 A 运动到 D

过程，根据动能定理知 $qE(2R + R\sin \alpha) - mgR(1 - \cos \alpha) = \frac{1}{2}mv^2$

$$\text{即：} \frac{1}{2}mv^2 = mgR(\sin \alpha + \cos \alpha + 1)$$

根据数学知识可知，当 $\alpha = 45^\circ$ 时动能最大

$$\text{由此可得：} v = \sqrt{(2 + 2\sqrt{2})gR}$$

$$\text{答案 (1) } \frac{mg}{q} \quad (2) \sqrt{(2 + 2\sqrt{2})gR}$$

专题六 电场中“三类”图象的剖析及应用

在考查电场中的基本概念时，往往给出与电场分布有关的图象，如： $E-x$ 图象、 $\varphi-x$ 图象，或与粒子运动规律有关的图象，如： $v-t$ 图象，掌握各个图象的特点，理解其斜率、截距、“面积”对应的物理意义，就能顺利解决有关问题，此类问题一般以选择题的形式出现，难度中等。

一、电场中粒子运动的 $v-t$ 图象

当带电粒子只在电场力作用下运动时，如果给出了粒子运动的速度图象，则从速度图象上能确定粒

子运动的加速度方向，加速度大小变化情况，进而可将粒子运动中经历的各点的场强方向、场强大小、电势高低及电势能的变化等情况判定出来。

【典例 1】(2013 甘肃一诊, 18)如图 1 甲 M 、 N 是一条电场线上的两点，在 M 点由静止释放一个正的点电荷，点电荷仅在电场力的作用下沿着电场线从 M 点运动到 N 点，粒子的速度随时间变化的规律如图 1 乙所示。以下判断正确的是()。

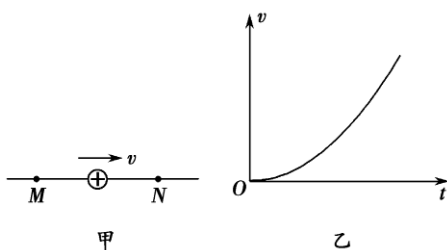


图 1

- A. 该电场可能是匀强电场
- B. M 点的电势高于 N 点的电势
- C. M 点到 N 点，点电荷的电势能逐渐减小
- D. 点电荷在 M 点所受电场力大于在 N 点所受电场力

解析 由 $v-t$ 图象知点电荷做加速度增大的加速运动，由此可知此电场不是匀强电场，A、D 错误；电场力方向由 M 指向 N ，则电场线方向也是由 M 指向 N ，故 $\varphi_M > \varphi_N$ ，B 正确；电场力做正功，电势能逐渐减小，C 正确。

答案 BC

即学即练 1 (2013 安徽联考, 18)两个等量同种点电荷固定于光滑水平面上，其连线中垂线上有 A 、 B 、 C 三点，如图 2 甲所示。一个电荷量为 $2C$ ，质量为 1 kg 的小物块从 C 点静止释放，其运动的 $v-t$ 图象如图乙所示，其中 B 点处为整条图线切线斜率最大的位置(图中标出了该切线)。则下列说法正确的是()。

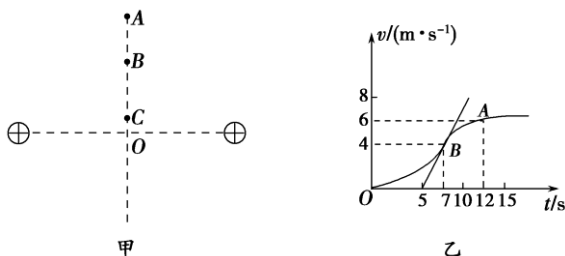


图 2

- A. B 点为中垂线上电场强度最大的点，场强 $E=2\text{ V/m}$
- B. 由 C 到 A 的过程中物块的电势能先减小后变大
- C. 由 C 到 A 的过程中，电势逐渐升高
- D. A 、 B 两点电势差 $U_{AB}=-5\text{ V}$

解析 由图乙知，小物块在 B 点时加速度最大，故 B 点场强最大，加速度大小为 2 m/s^2 ，据 $qE=ma$ 得 $E=1\text{ V/m}$ ，选项 A 错误；由 C 到 A 的过程中小物块的动能一直增大，电势能始终在减小，故电势逐渐降低，选项 B、C 错误；根据动能定理有 $qU_{AB}=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2$ ，解得： $U_{AB}=-5\text{ V}$ ，选项 D 正确。

答案 D

二、电场中的 $E-x$ 图象

在给出了电场的 $E-x$ 图象后，可以由图线确定场强的变化情况，电势的变化情况， $E-x$ 图线与 x 轴所围图形“面积”表示电势差。在与粒子运动相结合的题目中，可进一步确定粒子的电性、动能变化、电势能变化等情况。

在这类题目中，还可以由 $E-x$ 图象假设某一种符合 $E-x$ 图线的电场，利用这种已知电场的电场线分布、等势面分布或场源电荷来处理相关问题。

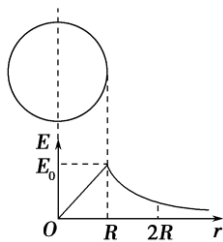


图 3

【典例 2】(2013·上海卷, 32)半径为 R , 均匀带正电荷的球体在空间产生球对称的电场; 场强大小沿半径分布如图 3 所示, 图中 E_0 已知, $E-r$ 曲线下 $O \sim R$ 部分的面积等于 $R \sim 2R$ 部分的面积.

(1) 写出 $E-r$ 曲线下面积的单位;

(2) 已知带电球在 $r \geq R$ 处的场强 $E = \frac{kQ}{r^2}$, 式中 k 为静电力常量, 该均匀带电球所带的电荷量 Q 为多大?

(3) 求球心与球表面间的电势差 ΔU ;

(4) 质量为 m , 电荷量为 q 的负电荷在球面处需具有多大的速度可以刚好运动到 $2R$ 处?

解析 (1) $E-r$ 曲线下面积的单位为伏特.

(2) 由点电荷的电场强度公式, $E_0 = \frac{kQ}{R^2}$, 解得: 该均匀带电球所带的电荷量 $Q = \frac{E_0 R^2}{k}$.

(3) 根据 $E-r$ 曲线下面积表示电势差, 球心与球表面间的电势差 $\Delta U = \frac{E_0 R}{2}$.

(4) 根据题述 $E-r$ 曲线下 $O \sim R$ 部分的面积等于 $R \sim 2R$ 部分的面积, 球体表面到 $2R$ 处的电势差 $\Delta U = \frac{E_0 R}{2}$. 由动能定理, $q\Delta U = \frac{1}{2}mv^2$, 解得 $v = \sqrt{\frac{qE_0 R}{m}}$.

答案 (1) 伏特 (2) $\frac{E_0 R^2}{k}$ (3) $\frac{E_0 R}{2}$ (4) $\sqrt{\frac{qE_0 R}{m}}$

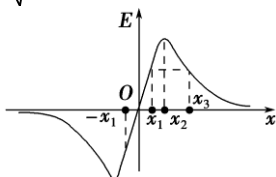


图 4

即学即练 2 空间有一沿 x 轴对称分布的电场, 其电场强度 E 随 x 变化的图象如图 4 所示. 下列说法中正确的是().

- A. O 点的电势最低
- B. x_2 点的电势最高
- C. x_1 和 $-x_1$ 两点的电势相等
- D. x_1 和 x_3 两点的电势相等

解析 由题图知, O 点两侧电场强度方向相反, 因电场强度的方向沿 x 轴, 故 O 点可能电势最低, 也可能电势最高, A 不正确; x_1 、 x_2 、 x_3 三点在同一电场线上, 由沿电场线方向电势逐渐降低可知, 无论 O 点右侧电场强度沿 x 轴向右还是向左, x_2 点电势都不是最高, x_1 、 x_3 两点的电势也不相等, 故 B、D 不正确; 由题图知, 电场强度在 O 点两侧对称, 故 x_1 、 $-x_1$ 两点电势相等, C 正确.

答案 C

三、电场中的 $\varphi-x$ 图象

在电场的 $\varphi-x$ 图象中, 除了可以直接从图中了解各点电势大小及变化情况, 还可以从图线的斜率上了解各点场强的大小及方向. 当 $\varphi-x$ 图象与粒子运动相结合时, 可以涉及的方面有粒子电性、电势能、电场力做功、动能、速度、加速度等. 也可以由 $\varphi-x$ 图线的特征先假设是某一具有相同 $\varphi-x$ 变化规律的电场, 进而解决问题.

【典例 3】两电荷量分别为 q_1 和 q_2 的点电荷放在 x 轴上的 O 、 M 两点, 两电荷连线上各点电势 φ 随 x 变化的关系如图 5 所示, 其中 A、N 两点的电势为零, ND 段中 C 点电势最高, 则().

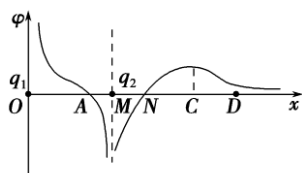


图 5

- A. C 点的电场强度大小为零
- B. A 点的电场强度大小为零
- C. NC 间场强方向沿 x 轴正方向
- D. 将一负点电荷从 N 点移到 D 点，电场力先做正功后做负功

解析 由题图可知，由 O 点到 M 点，电势一直降低，且图线在 A 点的斜率也不为零，故 A 点的电场强度大小不为零，而 C 点向 N、向 D 两个方向电势均降低，说明 C 点两侧电场方向相反，且图线在 C 点的切线斜率为零，故 C 点电场强度大小为零，故 A 正确、B 错误；由 N 到 C 电势升高，故 NC 间电场方向沿 x 轴负方向，C 错误； $W_{NC} = U_{NC} q$ ， $U_{NC} < 0$ ， $q < 0$ ，故 $W_{NC} > 0$ ，而 $W_{CD} = U_{CD} q$ ， $U_{CD} > 0$ ， $q < 0$ ，所以 $W_{CD} < 0$ ，D 正确。

答案 AD

即学即练 3 a、b 是 x 轴上两个点电荷，电荷量分别为 q_1 和 q_2 ，沿 x 轴 a、b 之间各点对应的电势高低如图 6 中曲线所示，a、p 间距离大于 p、b 间距离。从图中可以判断以下说法正确的是()。

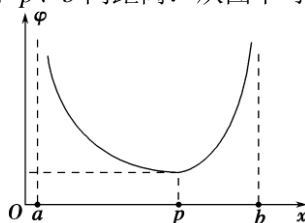


图 6

- A. a 和 b 均为负电荷且 q_1 一定大于 q_2
- B. 电势最低的 p 点的电场强度为零
- C. 将一负的检验电荷从 b 处移到 p 处，电荷电势能增加
- D. a、p 间的电场方向都指向 a 点

解析 由于从 a 到 b，电势 ϕ 先减小再增加，所以 a、b 应均为正电荷，所以选项 A 错误；由 $\phi-x$ 图象的斜率表示电场强度 E，知 B 对；由 $\epsilon_p = q\phi$ 知，C 对；a、p 间的电场方向应都指向 p 点，D 错误。

答案 BC

专题强化练六

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 电场中粒子运动的 $v-t$ 图象

1. (多选)如图 7 甲所示，A、B 是一条电场线上的两点，若在 A 点释放一初速为 0 的电子，电子仅受电场力作用，并沿电场线从 A 运动到 B，其速度随时间变化的规律如图乙所示。设 A、B 两点的电场强度分别为 E_A 、 E_B ，电势分别为 ϕ_A 、 ϕ_B ，则()。

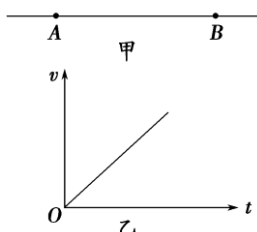


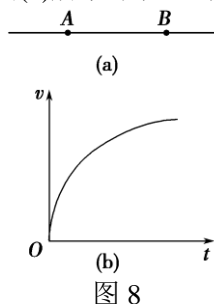
图 7

- A. $E_A = E_B$
- B. $E_A < E_B$
- C. $\phi_A = \phi_B$
- D. $\phi_A < \phi_B$

解析 由图乙可知,电子做匀加速直线运动,故该电场为匀强电场,即 $E_A = E_B$.电子受力方向与电场线的方向相反,故电场线的方向由 B 指向 A ,根据沿着电场线的方向是电势降低的方向,故 $\varphi_A < \varphi_B$,选项 A、D 正确.

答案 AD

2. (单选)如图 8(a)所示, AB 是某电场中的一条电场线,若将一负电荷从 A 点处自由释放,负电荷沿电场线从 A 到 B 运动过程中的速度图线如图(b)所示,则 A 、 B 两点的电势高低和场强大小关系是().



- A. $\varphi_A > \varphi_B, E_A > E_B$
- B. $\varphi_A > \varphi_B, E_A < E_B$
- C. $\varphi_A < \varphi_B, E_A > E_B$
- D. $\varphi_A < \varphi_B, E_A < E_B$

解析 由图(b)可知,负电荷从 A 向 B 加速运动且加速度逐渐减小,故其所受外力 $qE = ma$ 逐渐减小,所经历各点的场强减小,即 $E_B < E_A$, B、D 错误.关于电势高低的判定有如下几种方法:

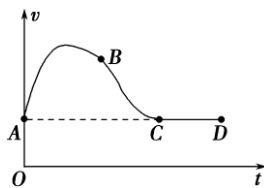
法一:由电场线方向判定.因负电荷从 A 向 B 加速运动,其所受电场力由 A 指向 B ,则电场线方向是由 B 指向 A 的.沿电场线方向电势是降低的,故 $\varphi_A < \varphi_B$, A 错误, C 正确.

法二:由电场力做功来判定.负电荷是在电场力作用下移动的,电场力做正功,则其是由低电势向高电势运动,故 $\varphi_A < \varphi_B$, A 错误, C 正确.

法三:根据电势能判定.电荷在运动中只有电场力做功,其动能与电势能之和保持不变,由 A 到 B 其动能增加,故其电势能减少,而电荷带负电,负电荷在电势高处电势能小,故 $\varphi_A < \varphi_B$, A 错误, C 正确.

答案 C

3. (多选)一带正电的粒子仅在电场力作用下从 A 点经 B 、 C 点运动到 D 点,其 $v-t$ 图象如图 9 所示,则下列说法中正确的是().



- A. A 点的电场强度一定大于 B 点的电场强度
- B. 粒子在 A 点的电势能一定大于在 B 点的电势能
- C. CD 间各点电场强度和电势都为零
- D. AB 两点间的电势差大于 CB 两点间的电势差

解析 由题图可知粒子在 A 点的加速度大于在 B 点的加速度,因 $a = \frac{qE}{m}$,所以 $E_A > E_B$, A 对;粒子从 A 点到 B 点动能增加,由动能定理知电场力做正功,电势能减小, B 对;同理由动能定理可知 A 、 C 两点的电势相等, $U_{AB} = U_{CB}$, D 错;仅受电场力作用的粒子在 CD 间做匀速运动,所以 CD 间各点电场强度均为零,但电势是相对于零势点而言的,可以不为零, C 错.

答案 AB

4. (多选)如图 10 甲所示, 两个点电荷 Q_1 、 Q_2 固定在 x 轴上距离为 L 的两点, 其中 Q_1 带正电位于原点 O , a 、 b 是它们连线延长线上的两点, 其中 b 点与 O 点相距 $3L$. 现有一带正电的粒子 q 以一定的初速度沿 x 轴从 a 点开始经 b 点向远处运动(粒子只受电场力作用), 设粒子经过 a 、 b 两点时的速度分别为 v_a 、 v_b , 其速度随坐标 x 变化的图象如图乙所示, 则以下判断正确的是().

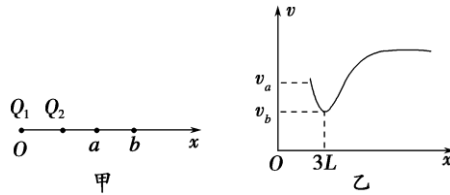


图 10

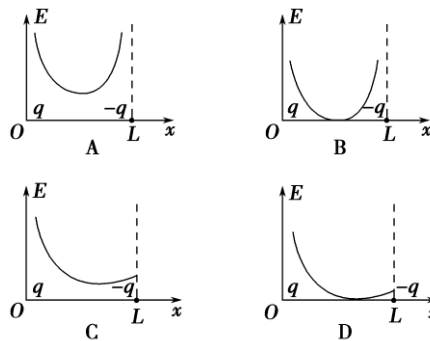
- A. Q_2 带负电且电荷量小于 Q_1
- B. b 点的场强一定为零
- C. a 点的电势比 b 点的电势高
- D. 粒子在 a 点的电势能比 b 点的电势能小

解析 由 $v-t$ 图象知, 粒子从 a 点向 b 点运动时速度减小, 电场力做负功, 从 b 点再向右运动速度又变大, 电场力做正功, 说明 b 点左右两侧电场方向相反, b 点处场强为 0, B 项正确; 粒子从 a 点到 b 点电场力做负功, 电势能增加, D 项正确. 根据点电荷场强公式和电场的叠加知识得 Q_2 带负电且电荷量小于 Q_1 , A 项正确; 根据粒子受力方向知 b 点左侧场强向左, 故 a 点电势比 b 点低, C 项错.

答案 ABD

题组二 电场中的 $E-x$ 图象问题

5. (单选)两带电荷量分别为 q 和 $-q$ 的点电荷放在 x 轴上, 相距为 L , 能正确反映两电荷连线上场强大小 E 与 x 关系的图是().



解析 越靠近两电荷的地方场强越大, 两等量异种点电荷连线的中点处场强最小, 但不是零, B、D 错; 两电荷的电荷量大小相等, 场强大小关于中点对称分布, C 错, 应选 A.

答案 A

6. (单选)两带电荷量分别为 $q_1(q_1>0)$ 和 q_2 的点电荷放在 x 轴上, 相距为 l , 两电荷连线上电场强度 E 与 x 的关系如图 11 所示, 则下列说法正确的是().

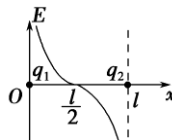


图 11

- A. $q_2>0$ 且 $q_1=q_2$
- B. $q_2<0$ 且 $q_1=|q_2|$
- C. $q_2>0$ 且 $q_1>q_2$
- D. $q_2<0$ 且 $q_1<|q_2|$

解析 由题图知, 当 $x = \frac{l}{2}$ 时, $E=0$, 则 q_1 和 q_2 必为同种电荷, 且电荷量相等, 故选项 A 正确.

答案 A

7. (多选)空间存在一沿 x 轴方向的静电场, 电场强度 E 随 x 变化的关系如图 12 所示, 图线关于坐标原点对称, A 、 B 是 x 轴上关于原点对称的两点. 下列说法正确的是().

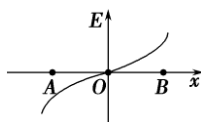


图 12

- A. 取无穷远处电势为零，则 O 点处电势为零
- B. 电子在 A 、 B 两点的电势能相等
- C. 电子在 A 、 B 两点的加速度方向相反
- D. 电子从 A 点由静止释放后的运动轨迹可能是曲线

解析 由 $E-x$ 图象特征可以假定图象是等量同种电荷连线上的电场强度的分布，取无穷远处电势为零，则 O 点处电势不为零， A 错误；由于 A 、 B 是 x 轴上关于原点对称的两点， A 、 B 两处电势相等，所以电子在 A 、 B 两点的电势能相等， B 正确； A 、 B 两点电场强度大小相等，方向相反，根据牛顿第二定律可知，电子在 A 、 B 两点的加速度方向相反， C 正确；电子从 A 点由静止释放后的运动轨迹是直线，做往复运动， D 错误。

答案 BC

题组三 电场中的 $\varphi-x$ 图象

8. (单选)真空中有一半径为 r_0 的带电金属球壳，通过其球心的一直线上各点的电势 φ 分布如图 13 所示， r 表示该直线上某点到球心的距离， r_1 、 r_2 分别是该直线上 A 、 B 两点离球心的距离。下列说法中正确的是()。

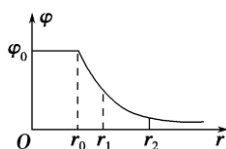


图 13

- A. A 点的电势低于 B 点的电势
- B. A 点的电场强度小于 B 点的电场强度
- C. A 点的电场强度大于 B 点的电场强度
- D. 正电荷沿直线从 A 移到 B 的过程中，电场力做负功

解析 A 点的电势高于 B 点的电势，选项 A 错误； A 点的电场强度大于 B 点的电场强度，选项 B 错误、 C 正确；正电荷沿直线从 A 移到 B 的过程中，电场力做正功，选项 D 错误。

答案 C

9. (多选)空间某一静电场的电势 φ 在 x 轴上分布如图 14 所示， x 轴上两点 B 、 C 的电场强度在 x 方向上的分量分别是 E_{Bx} 、 E_{Cx} 。下列说法正确的有()。

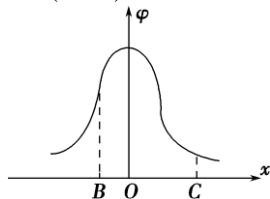


图 14

- A. E_{Bx} 的大小大于 E_{Cx} 的大小
- B. E_{Bx} 的方向沿 x 轴正方向
- C. 电荷在 O 点受到的电场力在 x 方向上的分量最大
- D. 负电荷沿 x 轴从 B 移到 C 的过程中，电场力先做正功，后做负功

解析 在 $\varphi-x$ 图象中，图线斜率表示场强大小。结合题中图象特点可知 $E_{Bx} > E_{Cx}$ ， $E_{Ox} = 0$ ，故 A 项正确， C 错误。根据电场中沿着电场线的方向电势逐渐降低可知 E_{Bx} 沿 x 轴负方向， B 项错误。负电荷在正 x 轴上受电场力沿 x 轴负方向，在负 x 轴上受电场力沿 x 轴正方向，故可判断负电荷从 B 移到 C 的过程中，电场力先做正功后做负功， D 项正确。

答案 AD

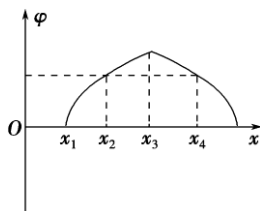


图 15

10. (单选)某空间存在一静电场,其沿 x 轴方向的电势 φ 随 x 变化的情况如图 15 所示,图形关于过 x_3 垂直 x 轴的直线对称,图中 $Ox_1 = x_1x_2 = x_2x_3 = x_3x_4$,则下列说法中正确的是().

- A. $0 \sim x_1$ 区域内电场强度一定为零
- B. 正电荷沿 x 轴从 x_1 移到 x_2 的过程中,电势能逐渐增大
- C. 沿 x 轴方向上, x_3 处的电场强度最大
- D. 沿 x 轴方向上,正电荷从 x_2 移到 x_4 电场力做功不为零

解析 在 $\varphi - x$ 图象中,图线的斜率表示电场强度,在 $0 \sim x_1$ 区域内,沿 x 轴方向上不存在电场, x_3 处的电场强度不是最大, C 错;而在 $0 \sim x_1$ 区域内,可能存在垂直于 x 轴方向上的电场, A 错;由电势能 $E_p = q\varphi$ 及图知 B 对;由电场力做功 $W = qU$ 知沿 x 轴方向,正电荷从 x_2 移到 x_4 电场力做功为零, D 错.

答案 B

B 深化训练——提高能力技巧

11. (2013 山东泰安质检, 19)(多选)图 16 中甲是匀强电场,乙是孤立的正点电荷形成的电场,丙是等量异种点电荷形成的电场(a 、 b 位于两点电荷连线上,且 a 位于连线的中点),丁是等量正点电荷形成的电场(a 、 b 位于两点电荷连线的中垂线,且 a 位于连线的中点).有一个正检验电荷仅在电场力作用下分别从电场中的 a 点由静止释放,动能 E_k 随位移 x 变化的关系图象如图 17 中的①②③图线所示,其中图线①是直线.下列说法正确的是().

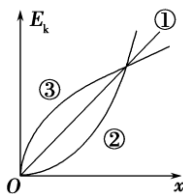


图 17

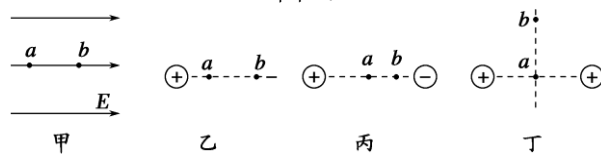


图 16

- A. 甲对应的图线是①
- B. 乙对应的图线是②
- C. 丙对应的图线是②
- D. 丁对应的图线是③

解析 正检验电荷仅在电场力作用下,由静止开始运动,其中甲、乙、丙中正检验电荷沿电场方向运动,丁中正检验电荷静止不动.电场力对正检验电荷做功改变其动能,有 $Eqx = E_k$,动能 E_k 随 x 的变化率 $\frac{E_k}{x} \propto E$,而电场强度 E 随 x 的变化情况是:甲中 E 为常数,乙图中 E 减小,丙图中 E 增大,所以 A、C 选项正确, B、D 选项错误.

答案 AC

12. (2013 哈尔滨二模)(多选)两个点电荷 Q_1 、 Q_2 固定于 x 轴上,将一带正电的试探电荷从足够远处沿 x 轴负方向移近 Q_2 (位于坐标原点 O)的过程中,试探电荷的电势能 E_p 随位置变化的关系如图 18 所示,则下列判断正确的是().

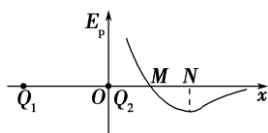


图 18

- A. M 点电势为零, N 点场强为零
- B. M 点场强为零, N 点电势为零
- C. Q_1 带负电, Q_2 带正电, 且 Q_2 电荷量较小
- D. Q_1 带正电, Q_2 带负电, 且 Q_2 电荷量较小

解析 由 E_p-x 图象可知, 由无穷远到 N 的过程中, 电势能减小, 电场力做正功, 试探电荷为正, N 点右侧场强方向向左, 同理 MN 间场强方向向右, 所以 $E_N=0$, 而 $E_{pM}=\varphi_M q=0$, 所以 $\varphi_M=0$, 故 A 正确, B 错误. 根据场强分布可知 Q_1 带负电, Q_2 带正电, 且 $|Q_2|<|Q_1|$, 故 C 正确, D 错误.

答案 AC

章末定时练六

(时间: 60 分钟)

一、选择题(在每小题给出的四个选项中, 第 1~6 题只有一项符合题目要求, 第 7~9 题有多项符合题目要求).

1. (2013 上海卷, 10) 两异种点电荷电场中的部分等势面如图 1 所示, 已知 A 点电势高于 B 点电势. 若位于 a 、 b 处点电荷的电荷量大小分别为 q_a 和 q_b , 则().

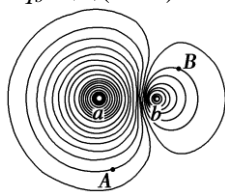


图 1

- A. a 处为正电荷, $q_a < q_b$
- B. a 处为正电荷, $q_a > q_b$
- C. a 处为负电荷, $q_a < q_b$
- D. a 处为负电荷, $q_a > q_b$

解析 根据 A 点电势高于 B 点电势可知, a 处为正电荷, $q_a > q_b$, 选项 B 正确.

答案 B

2. (2013 陕西西安模拟) 如图 2 所示, 在真空中, ab 、 cd 是圆 O 的两条直径, 在 a 、 b 两点分别固定有电荷量为 $+Q$ 和 $-Q$ 的点电荷, 下列说法正确的是().

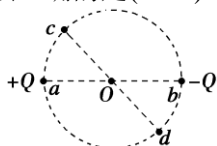


图 2

- A. c 、 d 两点的电场强度相同, 电势也相同
- B. c 、 d 两点的电场强度不同, 但电势相同
- C. 将一个正试探电荷从 c 点沿直线移动到 d 点, 电场力做功为零
- D. 一个正试探电荷在 c 点的电势能大于它在 d 点的电势能

解析 由对称性可知, c 、 d 两点的电场强度相同, 但是电势不相同, 选项 A、B 错误; 将一个正试探电荷从 c 点沿直线移动到 d 点, 电场力做正功, 选项 C 错误; 一个正试探电荷在 c 点的电势能大于它在 d 点的电势能, 选项 D 正确.

答案 D

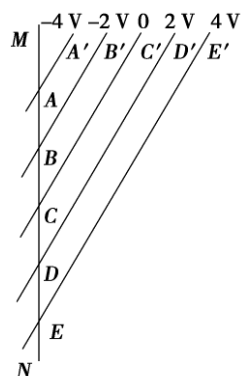
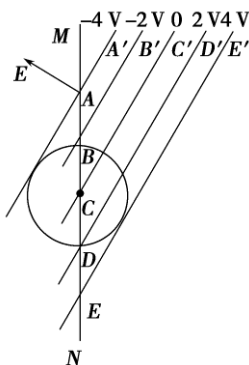


图 3

3. 如图 3 所示, 平行直线 AA' 、 BB' 、 CC' 、 DD' 、 EE' , 分别表示电势 -4 V 、 -2 V 、 0 V 、 2 V 、 4 V 的等势面, 若 $AB=BC=CD=DE=2\text{ cm}$, 且与直线 MN 成 30° 角, 则()。

- A. 该电场是匀强电场, 场强垂直于 AA' , 且指向右下
- B. 该电场是匀强电场, 场强大小为 $E=2\text{ V/m}$
- C. 该电场是匀强电场, 距 C 点距离为 2 cm 的所有点中, 最高电势为 4 V , 最低电势为 -4 V
- D. 该电场是匀强电场, 距 C 点距离为 2 cm 的所有点中, 最高电势为 2 V , 最低电势为 -2 V



解析 由图中几何特点看出, 等差等势面平行, 应为匀强电场. 其电场线应垂直于等势面, 且由高电势指向低电势, 即垂直于 AA' 并指向左上, 如图中 E , 故不选 A.

由几何关系知: 相邻等势面间的距离为 $d=0.01\text{ m}$ 、电势差为 $U=2\text{ V}$. 则场强为 $E=\frac{U}{d}=200\text{ V/m}$, 故不选 B.

在图中以 C 点为圆心作半径为 2 cm 的圆, 由几何关系知该圆恰好与 -4 V 、 4 V 的两个等势面相切, 故选 C, 不选 D.

答案 C

4. (2013 沈阳二中测试) 在空间中水平面 MN 的下方存在竖直向下的匀强电场, 质量为 m 的带电小球由 MN 上方的 A 点以一定初速度水平抛出, 从 B 点进入电场, 到达 C 点时速度方向恰好水平, A 、 B 、 C 三点在同一直线上, 且 $AB=2BC$, 如图 4 所示. 由此可见()。

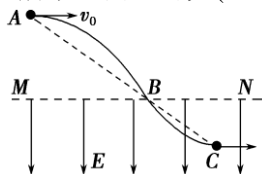


图 4

- A. 电场力为 $2mg$
- B. 小球带正电
- C. 小球从 A 到 B 与从 B 到 C 的运动时间相等
- D. 小球从 A 到 B 与从 B 到 C 的速度变化量的大小相等

解析 设 AC 与竖直方向的夹角为 θ , 对带电小球从 A 到 C , 电场力做负功, 小球带负电, 由动能

定理， $mg AC \cos \theta - qE BC \cos \theta = 0$ ，解得电场力为 $qE = 3mg$ ，选项 A、B 错误。小球在水平方向做匀速直线运动，从 A 到 B 的运动时间是从 B 到 C 的运动时间的 2 倍，选项 C 错误；小球在竖直方向先加速后减速，小球从 A 到 B 与从 B 到 C 竖直方向的速度变化量的大小相等，水平速度不变，小球从 A 到 B 与从 B 到 C 的速度变化量的大小相等，选项 D 正确。

答案 D

5. (2013 皖南八校卷联考)如图 5 所示，质量相等的两个带电液滴 1 和 2 从水平方向的匀强电场中自 O 点自由释放后，分别抵达 B、C 两点，若 $AB=BC$ ，则它们带电荷量之比 $q_1 : q_2$ 等于()。

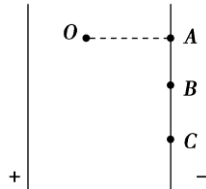


图 5

- A. 1:2 B. 2:1 C. $1:\sqrt{2}$ D. $\sqrt{2}:1$

解析 竖直方向有 $h = \frac{1}{2}gt^2$ ，水平方向有 $l = \frac{qE}{2m}t^2$ ，联立可得 $q = \frac{mgl}{Eh}$ ，所以有 $\frac{q_1}{q_2} = \frac{2}{1}$ ，B 对。

答案 B

6. 在光滑绝缘水平面的 P 点正上方 O 点固定了一电荷量为 +Q 的正点电荷，在水平面上的 N 点，由静止释放质量为 m，电荷量为 -q 的负检验电荷，该检验电荷经过 P 点时速度为 v，图 6 中 $\theta = 60^\circ$ ，规定电场中 P 点的电势为零。则在 +Q 形成的电场中()。

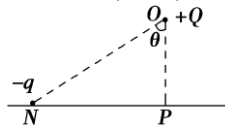


图 6

- A. N 点电势高于 P 点电势
 B. N 点电势为 $-\frac{mv^2}{2q}$
 C. P 点电场强度大小是 N 点的 2 倍
 D. 检验电荷在 N 点具有的电势能为 $-\frac{1}{2}mv^2$

解析 在 +Q 形成的电场中，N 点电势低于 P 点电势，选项 A 错误；负检验电荷的机械能与电势能之和保持不变，负检验电荷在 N 点电势能等于 $\frac{mv^2}{2}$ ，N 点电势为 $-\frac{mv^2}{2q}$ ，选项 B 正确、D 错误；由图中几何关系， $ON = 2OP$ ，由点电荷电场强度公式，P 点电场强度大小是 N 点的 4 倍，选项 C 错误。

答案 B

7. 一带电粒子仅在电场力作用下以初速度 v_0 从 $t=0$ 时刻开始运动，其 $v-t$ 图象如图 7 所示。如粒子在 $2t_0$ 时刻运动到 A 点， $5t_0$ 时刻运动到 B 点。以下说法中正确的是()。

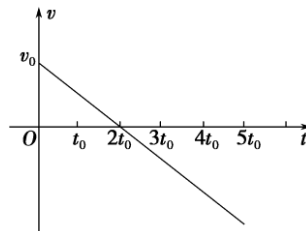


图 7

- A. A、B 两点的电场强度大小关系为 $E_A = E_B$
 B. A、B 两点的电势关系为 $\varphi_A > \varphi_B$
 C. 粒子从 A 点运动到 B 点时，电场力做的总功为正
 D. 粒子从 A 点运动到 B 点时，电势能先减少后增加

解析 由速度图象可知粒子在 A、B 两点加速度相同，受力相同，故 A、B 两点的电场强度大小关

系为 $E_A = E_B$ ，A 正确；由速度图象可知粒子在 A 点速度为零，在 B 点速度不为零，故粒子从 A 点运动到 B 点时，电场力做正功，电势能减少，C 正确，D 错误；对负电荷，当电势能减少时电势升高，B 错误。

答案 AC

8. 如图 8 所示，平行金属板 A、B 之间有匀强电场，A、B 间电压为 600 V，A 板带正电并接地，A、B 两板间距为 12 cm，C 点离 A 板 4 cm，下列说法正确的是()。

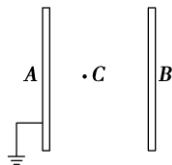


图 8

A. $E = 2\,000\text{ V/m}$, $\varphi_C = 200\text{ V}$

B. $E = 5\,000\text{ V/m}$, $\varphi_C = -200\text{ V}$

C. 电子在 C 点具有的电势能为 -200 eV ，把一个电子从 C 点移动到 B 板，电场力做的功为 -400 eV

D. 电子在 C 点具有的电势能为 200 eV ，把一个电子从 C 点移动到 B 板，电场力做的功为 -400 eV

解析 A 接地，则其电势为零，又 A、B 间电压为 600 V，所以 B 处电势为 -600 V ，由此知 C 点电势为负值，A、B 间电场的场强大小为 $E = \frac{U}{d} = \frac{600\text{ V}}{12\text{ cm}} = 50\text{ V/cm} = 5\,000\text{ V/m}$ ，则 $\varphi_C = Ed_C = 50\text{ V/cm} \times (-4\text{ cm}) = -200\text{ V}$ ，B 正确，A 错误；电子在 C 点具有的电势能为 200 eV ，把一个电子从 C 点移动到 B 板，电场力做的功为 -400 eV ，C 错误，D 正确。

答案 BD

9. 如图 9 所示，用长 $L = 0.50\text{ m}$ 的绝缘轻质细线，把一个质量 $m = 1.0\text{ g}$ 带电小球悬挂在均匀带等量异种电荷的平行金属板之间，平行金属板间的距离 $d = 5.0\text{ cm}$ ，两板间电压 $U = 1.0 \times 10^3\text{ V}$ 。静止时，绝缘细线偏离竖直方向 θ 角，小球偏离竖直线的距离 $a = 1.0\text{ cm}$ 。取 $g = 10\text{ m/s}^2$ 。则下列说法正确的是()。

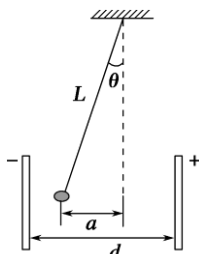


图 9

A. 两板间电场强度的大小为 $2.0 \times 10^4\text{ V/m}$

B. 小球带的电荷量为 $1.0 \times 10^{-8}\text{ C}$

C. 若细线突然被剪断，小球在板间将做类平抛运动

D. 若细线突然被剪断，小球在板间将做匀加速直线运动

解析 设两板间的电场强度为 E ，根据匀强电场的场强和电势差的关系得 $E = \frac{U}{d} = \frac{1.0 \times 10^3}{5.0 \times 10^{-2}}\text{ V/m} = 2.0 \times 10^4\text{ V/m}$ ，A 项正确；小球静止时受力平衡，由平衡条件得 $qE = mg \tan \theta$ ，解得 $q = \frac{mg \tan \theta}{E}$ 。因为 θ 角很小，所以 $\tan \theta \approx \sin \theta = \frac{a}{L} = \frac{1}{50}$ ，解得 $q = 1.0 \times 10^{-8}\text{ C}$ ，B 项正确；细线剪断时，由于小球受到重力和电场力的合力为恒力，且小球初速度为零，故小球做初速度为零的匀加速直线运动，C 项错、D 项正确。

答案 ABD

二、非选择题

10. 如图 10 所示，水平放置的平行板电容器，原来 AB 两板不带电，B 极板接地，它的极板长 $l = 0.1\text{ m}$ ，两板间距离 $d = 0.4\text{ cm}$ ，现有一微粒质量 $m = 2.0 \times 10^{-6}\text{ kg}$ ，带电荷量 $q = +1.0 \times 10^{-8}\text{ C}$ ，以一定

初速度从两板中央平行于极板射入，由于重力作用微粒恰好能落到 A 板的中点 O 处，取 $g=10 \text{ m/s}^2$ 。试求：

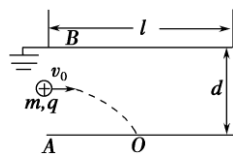


图 10

(1) 带电粒子入射初速度 v_0 的大小：

(2) 现使电容器带上电荷，使带电微粒能从平行板电容器的右侧射出，则带电后 A 板的电势为多少？

解析 (1) 电容器不带电时，微粒做平抛运动，则有 $\frac{l}{2} = v_0 t$ ， $\frac{d}{2} = \frac{1}{2} g t^2$ ，联立两式得 $v_0 = \frac{l}{2} \sqrt{\frac{g}{d}}$ ，代入

数据得： $v_0 = 2.5 \text{ m/s}$ 。

(2) 若使微粒能从电容器右侧射出，则要求 A 板的电势大于 0，且 B 板接地电势等于 0，则有 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \varphi_A$ ，A 板电势最小时，微粒刚好从 A 板右侧边缘射出，则有 $l = v_0 t_1$ ， $\frac{d}{2} = \frac{1}{2} a_1 t_1^2$ ，且 $mg - q \frac{\varphi_{Amin}}{d} = ma_1$ ，联立以上各式得 $\varphi_{Amin} = 6 \text{ V}$ ，A 板电势最大时，微粒刚好从 B 板右侧边缘射出，则有 $q \frac{\varphi_{Amax}}{d} - mg = ma_2$ ，且有 $a_2 = a_1$ ，代入数据解得 $\varphi_{Amax} = 10 \text{ V}$ ，综合可得 $6 \text{ V} \leq \varphi_A \leq 10 \text{ V}$ 。

答案 (1) 2.5 m/s (2) $6 \text{ V} \leq \varphi_A \leq 10 \text{ V}$

11. 两块水平平行放置的导体板如图 11 甲所示，大量电子(质量为 m 、电荷量为 e)由静止开始，经电压为 U_0 的电场加速后，连续不断地沿平行板的方向从两板正中间射入两板之间。当两板均不带电时，这些电子通过两板之间的时间为 $3t_0$ ；当在两板间加如图乙所示的周期为 $2t_0$ 、幅值恒为 U_0 的周期性电压时，恰好能使所有电子均从两板间通过(不计电子重力)。问：

(1) 这些电子通过两板之间后，侧向位移(垂直于射入速度方向上的位移)的最大值和最小值分别是多少？

(2) 侧向位移分别为最大值和最小值的情况下，电子在刚穿出两板之间时的动能之比是多少？

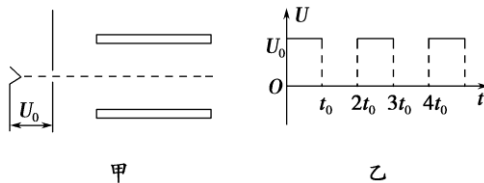
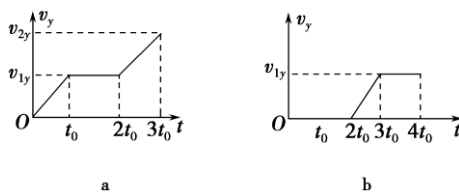


图 11

解析 以电场力的方向为 y 轴正方向，画出电子在 $t=0$ 时和 $t=t_0$ 时进入电场后沿电场力方向的速度 v_y 随时间 t 变化的 v_y-t 图象分别如图 a 和图 b 所示，设两平行板之间的距离为 d 。



(1) 图中， $v_{1y} = \frac{eU_0}{md} t_0$ ， $v_{2y} = \frac{eU_0}{md} 2t_0 = \frac{2eU_0 t_0}{md}$

由图 a 可得电子的最大侧向位移为

$$s_{y\max} = 2\left(\frac{1}{2}v_{1y}t_0 + v_{1y}t_0\right) = 3v_{1y}t_0 = \frac{3eU_0 t_0^2}{md}$$

而 $s_{y\max} = \frac{d}{2}$ ，解得 $d = t_0 \sqrt{\frac{6eU_0}{m}}$

由图 b 可得电子的最小侧向位移为

$$s_{y\min} = \frac{1}{2}v_{1y}t_0 + v_{1y}t_0 = 1.5v_{1y}t_0 = \frac{3eU_0 t_0^2}{2md} = \frac{d}{4}$$

$$\text{所以 } s_{y\max} = \frac{d}{2} = \frac{t_0}{2} \sqrt{\frac{6eU_0}{m}}, \quad s_{y\min} = \frac{d}{4} = \frac{t_0}{4} \sqrt{\frac{6eU_0}{m}}$$

$$(2) v_{1y}^2 = \left(\frac{eU_0 t_0}{md}\right)^2 = \frac{eU_0}{6m}, \quad v_{2y}^2 = \left(\frac{eU_0}{md} 2t_0\right)^2 = \frac{2eU_0}{3m}$$

$$\text{电子经电压 } U_0 \text{ 加速: } \frac{1}{2}mv_0^2 = eU_0$$

$$\text{所以 } \frac{E_{k\max}}{E_{k\min}} = \frac{\frac{1}{2}mv_2^2}{\frac{1}{2}mv_1^2} = \frac{\frac{1}{2}m(v_0^2 + v_{2y}^2)}{\frac{1}{2}m(v_0^2 + v_{1y}^2)} = \frac{eU_0 + \frac{eU_0}{3}}{eU_0 + \frac{eU_0}{12}} = \frac{16}{13}$$

$$\text{答案 (1) } \frac{t_0}{2} \sqrt{\frac{6eU_0}{m}} \quad \frac{t_0}{4} \sqrt{\frac{6eU_0}{m}} \quad (2) \frac{16}{13}$$

12. (2013 浙江卷, 24) “电子能量分析器”主要由处于真空中的电子偏转器和探测板组成. 偏转器是由两个相互绝缘、半径分别为 R_A 和 R_B 的同心金属半球面 A 和 B 构成, A 、 B 为电势值不等的等势面, 其过球心的截面如图 12 所示. 一束电荷量为 e 、质量为 m 的电子以不同的动能从偏转器左端 M 板正中间小孔垂直入射, 进入偏转电场区域, 最后到达偏转器右端的探测板 N , 其中动能为 E_{k0} 的电子沿等势面 C 做匀速圆周运动到达 N 板的正中间. 忽略电场的边缘效应.

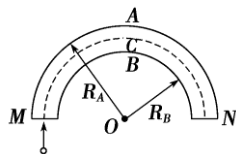


图 12

- (1) 判断半球面 A 、 B 的电势高低, 并说明理由;
- (2) 求等势面 C 所在处电场强度 E 的大小;
- (3) 若半球面 A 、 B 和等势面 C 的电势分别为 φ_A 、 φ_B 和 φ_C , 则到达 N 板左、右边缘处的电子, 经过偏转电场前、后的动能改变量 $\Delta E_{k\text{左}}$ 和 $\Delta E_{k\text{右}}$ 分别为多少?
- (4) 比较 $|\Delta E_{k\text{左}}|$ 与 $|\Delta E_{k\text{右}}|$ 的大小, 并说明理由.

解析 (1) 电子(带负电)做圆周运动, 电场力方向指向球心, 电场方向从 B 指向 A , 半球面 B 的电势高于 A .

(2) 据题意, 电子在电场力作用下做圆周运动, 考虑到圆轨道上的电场强度 E 大小相同, 有:

$$eE = m \frac{v^2}{R}, \quad E_{k0} = \frac{1}{2}mv^2, \quad R = \frac{R_A + R_B}{2}$$

$$\text{联立解得 } E = \frac{2E_{k0}}{eR} = \frac{4E_{k0}}{e(R_A + R_B)}$$

(3) 电子运动时只有电场力做功, 根据动能定理, 有

$$\Delta E_k = qU$$

对到达 N 板左边缘的电子, 电场力做正功, 动能增加, 有

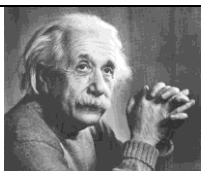
$$\Delta E_{k\text{左}} = e(\varphi_B - \varphi_C)$$

对到达 N 板右边缘的电子, 电场力做负功, 动能减小, 有

$$\Delta E_{k\text{右}} = e(\varphi_A - \varphi_C)$$

(4) 根据电场线特点, 等势面 B 与 C 之间的电场强度大于 C 与 A 之间的电场强度, 考虑到等势面间距相等, 有 $|\varphi_B - \varphi_C| > |\varphi_A - \varphi_C|$, 即 $|\Delta E_{k\text{左}}| > |\Delta E_{k\text{右}}|$.

答案 见解析



创造并非逻辑推理之结果，逻辑推理只是用来验证已有的创造设想。

——艾伯特·爱因斯坦(1879—1955，美国物理学家)

学校要求老师在教育过程中要像艺术家那样，创造性地劳动。首先，老师应该自己就曾在这样的学校中成长。其次，老师应该有极大的自由去选择教授内容和教授方法。——爱因斯坦

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

第七章 恒定电流 ⑧

选修3-1

第七章 恒定电流

第1讲 欧姆定律 电阻定律 电功率 焦耳定律

考点1

欧姆定律 (考纲要求 II)

1. 电流

(1) 定义：自由电荷的定向移动形成电流。

(2) 方向：规定为正电荷定向移动的方向。

(3)三个公式

①定义式: $I = \frac{q}{t}$;

②决定式: $I = \frac{U}{R}$;

③微观式: $I = neSv$.

2. 欧姆定律

(1)内容: 导体中的电流 I 跟导体两端的电压 U 成正比, 跟导体的电阻 R 成反比.

(2)公式: $I = \frac{U}{R}$.

(3)适用条件: 适用于金属和电解液导电, 适用于纯电阻电路.

考点2	电阻定律 (考纲要求 I)
------------	---------------

1.电阻

(1)定义式: $R = \frac{U}{I}$.

(2)物理意义: 导体的电阻反映了导体对电流阻碍作用的大小, R 越大, 阻碍作用越大.

2. 电阻定律

(1)内容: 同种材料的导体, 其电阻跟它的长度成正比, 与它的横截面积成反比, 导体的电阻还与构成它的材料有关.

(2)表达式: $R = \rho \frac{l}{S}$.

3. 电阻率

(1)计算式: $\rho = R \frac{S}{l}$.

(2)物理意义: 反映导体的导电性能, 是导体材料本身的属性.

(3)电阻率与温度的关系

金属: 电阻率随温度升高而增大;

半导体: 电阻率随温度升高而减小.

思维深化 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1)电流是矢量, 电荷定向移动的方向为电流的方向. ()

(2)比值 $\frac{U}{I}$ 反映了导体阻碍电流的性质, 即电阻 $R = \frac{U}{I}$. ()

(3)由 $I = \frac{U}{R}$ 知道, 通过同一段导体的电流跟加在它两端的电压成正比. ()

(4)由 $\rho = \frac{RS}{l}$ 知, 导体电阻率与导体的电阻和横截面积的乘积 RS 成正比, 与导体的长度 l 成反比. ()

(5)电阻率是由导体材料本身决定的. ()

答案 (1)× (2)√ (3)√ (4)× (5)√

考点3	电功率、焦耳定律 (考纲要求 I)
------------	-------------------

1.电功

(1)定义: 导体中的自由电荷在电场力作用下定向移动, 电场力做的功称为电功.

(2)公式: $W = qU = IUt$.

(3)电流做功的实质: 电能转化成其他形式能的过程.

2. 电功率

(1)定义: 单位时间内电流做的功, 表示电流做功的快慢.

(2)公式: $P = \frac{W}{t} = IU$.

3. 焦耳定律

(1)电热: 电流流过一段导体时产生的热量.

(2)计算式: $Q = I^2Rt$.

4. 热功率

(1)定义: 单位时间内的发热量.

(2)表达式: $P = \frac{Q}{t} = I^2 R$.

基础自测

1. (单选)导体的电阻是导体本身的一种性质,对于同种材料的导体,下列表述正确的是().

- A. 横截面积一定,电阻与导体的长度成正比
- B. 长度一定,电阻与导体的横截面积成正比
- C. 电压一定,电阻与通过导体的电流成正比
- D. 电流一定,电阻与导体两端的电压成反比

解析 对于同种材料的导体,电阻率是个定值,根据电阻定律 $R = \rho \frac{l}{S}$ 可知 A 对、B 错. 导体的电阻不随电流或电压的变化而变化. 故 C、D 错.

答案 A

2. (单选)学习完电阻的概念和电阻定律后,你认为下列说法正确的是().

- A. 由 $R = \frac{U}{I}$ 可知,导体的电阻与导体两端电压成正比,与流过导体的电流成反比
- B. 由 $R = \rho \frac{l}{S}$ 可知,导体的电阻与导体的长度成正比,与导体的横截面积成反比
- C. 由 $\rho = \frac{RS}{l}$ 可知,导体的电阻率与导体的横截面积成正比,与导体的长度成反比
- D. 导体的电阻率只由材料的种类决定,跟温度无关

解析 导体的电阻是导体本身的性质,与其两端的电压和流过导体的电流无关, A 错、B 对; 电阻率是材料本身的性质,只与材料和温度有关,与导体的长度和横截面积无关, C、D 错.

答案 B

3. (单选)有 I、II 两根不同材料的电阻丝,长度之比为 $l_1 : l_2 = 1 : 5$,横截面积之比为 $S_1 : S_2 = 2 : 3$,电阻之比为 $R_1 : R_2 = 2 : 5$,外加电压之比为 $U_1 : U_2 = 1 : 2$,则它们的电阻率之比为().

- A. 2 : 3
- B. 4 : 3
- C. 3 : 4
- D. 8 : 3

解析 设两根电阻丝电阻率分别为 ρ_1 、 ρ_2 ,由电阻定律 $R = \rho \frac{l}{S}$,故 $\rho = \frac{RS}{l}$,所以 $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{R_1 \frac{S_1}{l_1}}{R_2 \frac{S_2}{l_2}} = \frac{4}{3}$, B 正确.

答案 B

4. (单选)关于电功 W 和电热 Q 的说法正确的是().

- A. 在任何电路中都有 $W = UIt$ 、 $Q = I^2 Rt$,且 $W = Q$
- B. 在任何电路中都有 $W = UIt$ 、 $Q = I^2 Rt$,但 W 不一定等于 Q
- C. $W = UIt$ 、 $Q = I^2 Rt$ 均只有在纯电阻电路中才成立
- D. $W = UIt$ 在任何电路中成立, $Q = I^2 Rt$ 只在纯电阻电路中成立

解析 $W = UIt$ 、 $Q = I^2 Rt$ 适用于一切电路,但在纯电阻电路中 $W = Q$,在非纯电阻电路中 $W > Q$, B 对, A、C、D 错.

答案 B

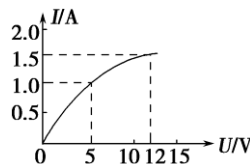


图 7-1-1

5. (多选)某导体中的电流随其两端电压的变化如图 7-1-1 所示,则下列说法中正确的是().

- A. 加 5 V 电压时,导体的电阻约是 5 Ω
- B. 加 11 V 电压时,导体的电阻约是 1.4 Ω
- C. 由图可知,随着电压的增大,导体的电阻不断减小

D. 由图可知, 随着电压的减小, 导体的电阻不断减小

解析 对某些导体, 其伏安特性曲线不是直线, 但曲线上某一点的 $\frac{U}{I}$ 值仍表示该点所对应的电阻值. 本题中给出的导体加 5 V 电压时, $\frac{U}{I}$ 值为 5, 所以此时电阻为 5 Ω , A 正确; 当电压增大时, $\frac{U}{I}$ 值增大, 即电阻增大, 综合判断可知 B、C 错误, D 正确.

答案 AD

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 电阻定律、欧姆定律的理解与应用

1. 电阻与电阻率的区别

电阻是反映导体对电流阻碍作用大小的物理量, 电阻大的导体对电流的阻碍作用大.

电阻率是反映制作导体的材料导电性能好坏的物理量, 电阻率小的材料导电性能好.

2. 电阻的决定式和定义式的区别

公式	$R = \rho \frac{l}{S}$	$R = \frac{U}{I}$
区别	电阻的决定式	电阻的定义式
	说明了电阻的决定因素	提供了一种测定电阻的方法, 并不说明电阻与 U 和 I 有关
	只适用于粗细均匀的金属导体和浓度均匀的电解液	适用于任何纯电阻导体

【典例 1】两根完全相同的金属裸导线, 如果把其中的一根均匀拉长到原来的 2 倍, 把另一根对折后绞合起来, 然后给它们分别加上相同电压后, 则在相同时间内通过它们的电荷量之比为().

A. 1:4 B. 1:8 C. 1:16 D. 16:1

解析 本题应根据电阻定律 $R = \rho \frac{l}{S}$ 、欧姆定律 $I = \frac{U}{R}$ 和电流定义式 $I = \frac{q}{t}$ 求解. 对于第一根导线, 均匀拉长到原来的 2 倍, 则其横截面积必然变为原来的 $\frac{1}{2}$, 由电阻定律可得其电阻变为原来的 4 倍, 第二根导线对折后, 长度变为原来的 $\frac{1}{2}$, 横截面积变为原来的 2 倍, 故其电阻变为原来的 $\frac{1}{4}$. 给上述变化后的裸导线加上相同的电压, 由欧姆定律得: $I_1 = \frac{U}{4R}$, $I_2 = \frac{U}{R/4} = \frac{4U}{R}$, 由 $I = \frac{q}{t}$ 可知, 在相同时间内, 电荷量之比 $q_1:q_2 = I_1:I_2 = 1:16$.

答案 C

反思总结 导体形变后电阻的分析方法

某一导体的形状改变后, 讨论其电阻变化应抓住以下三点:

- (1) 导体的电阻率不变.
- (2) 导体的体积不变, 由 $V = lS$ 可知 l 与 S 成反比.
- (3) 在 ρ 、 l 、 S 都确定之后, 应用电阻定律 $R = \rho \frac{l}{S}$ 求解.

【跟踪短训】

1. 对于常温下一根阻值为 R 的均匀金属丝, 下列说法中正确的是().

A. 常温下, 若将金属丝均匀拉长为原来的 10 倍, 则电阻变为 10R

B. 常温下, 若将金属丝从中点对折起来, 电阻变为 $\frac{1}{4}R$

C. 给金属丝加上的电压逐渐从零增大到 U_0 , 则任一状态下的 $\frac{U}{I}$ 比值不变

D. 金属材料的电阻率随温度的升高而增大

解析 当 $l' = 10l$, $S' = \frac{1}{10}S$ 时, 由 $R = \rho \frac{l}{S}$ 知 $R' = 100R$. 故 A 错; 若将金属丝从中点对折, $l' = \frac{1}{2}l$,

$S' = 2S, R' = \frac{1}{4}R$, 故 B 对; 给金属丝加的电压逐渐增大时, 其电阻率会随温度升高而增大, 电阻值也增大, 故 C 错、D 对.

答案 BD

2. 用电器距离电源为 L , 线路上的电流为 I , 为使在线路上的电压降不超过 U , 已知输电线的电阻率为 ρ . 那么, 输电线的横截面积的最小值为().

- A. $\rho L/R$ B. $2\rho LI/U$
C. $U/(\rho LI)$ D. $2UL/(I\rho)$

解析 输电线的总长为 $2L$, 由公式 $R = \frac{U}{I}, R = \rho \frac{l}{S}$ 得 $S = \frac{2\rho LI}{U}$, 故 B 正确.

答案 B

热点二 电功、电热、电功率和热功率

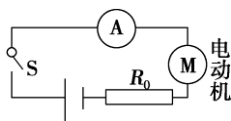
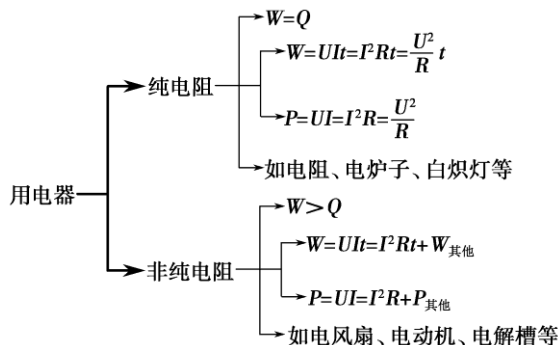


图 7-1-2

【典例 2】 在如图 7-1-2 所示电路中, 电源电动势为 12 V , 电源内阻为 $1.0\ \Omega$, 电路中的电阻 R_0 为 $1.5\ \Omega$, 小型直流电动机 M 的内阻为 $0.5\ \Omega$. 闭合开关 S 后, 电动机转动, 电流表的示数为 2.0 A . 则以下判断中正确的是().

- A. 电动机的输出功率为 14 W
B. 电动机两端的电压为 7.0 V
C. 电动机的发热功率为 4.0 W
D. 电源输出的电功率为 24 W

审题指导 (1)如何计算电源的输出功率?

(2)如何计算电动机的发热功率?

(3)如何计算电动机的输出功率?

提示 (1) $P_{\text{电源}} = IU$

(2) $P_{\text{机热}} = I^2 r$

(3) $P_{\text{机出}} = IU_{\text{机}} - I^2 r$

解析 由部分电路欧姆定律知电阻 R_0 两端电压为 $U = IR_0 = 3.0\text{ V}$, 电源内电压为 $U_{\text{内}} = Ir = 2.0\text{ V}$, 所以电动机两端电压为 $U_{\text{机}} = E - U - U_{\text{内}} = 7.0\text{ V}$, B 对; 电动机的发热功率和总功率分别为 $P_{\text{热}} = I^2 r_1 = 2\text{ W}$ 、 $P_{\text{总}} = U_{\text{机}} I = 14\text{ W}$, C 错; 电动机的输出功率为 $P_{\text{出}} = P_{\text{总}} - P_{\text{热}} = 12\text{ W}$, A 错; 电源的输出功率为 $P = U_{\text{端}} I = 20\text{ W}$, D 错.

答案 B

反思总结 电功和电热的处理方法

无论在纯电阻电路还是在非纯电阻电路中，发热功率都是 I^2r 。处理非纯电阻电路的计算问题时，要善于从能量转化的角度出发，紧紧围绕能量守恒定律，利用“电功 = 电热 + 其他能量”寻找等量关系求解。

【跟踪短训】

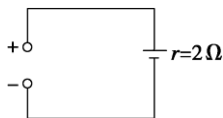


图 7-1-3

3. 如图 7-1-3 所示，用输出电压为 1.4 V，输电电流为 100 mA 的充电器对内阻为 2 Ω 的镍氢电池充电。下列说法正确的是()。

- A. 电能转化为化学能的功率为 0.12 W
- B. 充电器输出的电功率为 0.14 W
- C. 充电时，电池消耗的热功率为 0.12 W
- D. 充电器把 0.14 W 的功率储存在电池内

解析 充电器对电池的充电功率为 $P_{总} = UI = 0.14 \text{ W}$ ，电池充电时的热功率为 $P_{热} = I^2r = 0.02 \text{ W}$ ，所以转化为化学能的功率为 $P_{化} = P_{总} - P_{热} = 0.12 \text{ W}$ ，因此充电器把 0.12 W 的功率储存在电池内，故 A、B 正确，C、D 错误。

答案 AB

4. 一只电饭煲和一台洗衣机并联接在输出电压 220 V 的交流电源上(其内电阻可忽略不计)，均正常工作。用电流表分别测得通过电饭煲的电流是 5.0 A，通过洗衣机电动机的电流是 0.50 A，则下列说法中正确的是()。

- A. 电饭煲的电阻为 44 Ω，洗衣机电动机线圈的电阻为 440 Ω
- B. 电饭煲消耗的电功率为 1 555 W，洗衣机电动机消耗的电功率为 155.5 W
- C. 1 min 内电饭煲消耗的电能为 $6.6 \times 10^4 \text{ J}$ ，洗衣机电动机消耗的电能为 $6.6 \times 10^3 \text{ J}$
- D. 电饭煲发热功率是洗衣机电动机发热功率的 10 倍

解析 一只电饭煲和一台洗衣机并联接在输出电压为 220 V 的电源上，电饭煲可视为纯电阻，电饭煲的电阻为 $R = U/I = 44 \text{ Ω}$ ，洗衣机主要元件是电动机，不能利用欧姆定律计算线圈的电阻，选项 A 错误；电饭煲消耗的电功率为 $P = UI = 220 \times 5 \text{ W} = 1 100 \text{ W}$ ，洗衣机电动机消耗的电功率为 $P = UI = 110 \text{ W}$ ，选项 B 错误；1 min 内电饭煲消耗的电能为 $Pt = 1 100 \text{ W} \times 60 \text{ s} = 6.6 \times 10^4 \text{ J}$ ，洗衣机电动机消耗的电能为 $Pt = 110 \text{ W} \times 60 \text{ s} = 6.6 \times 10^3 \text{ J}$ ，选项 C 正确。电饭煲发热功率是 $I^2R = 5^2 \times 44 \text{ W} = 1 100 \text{ W}$ ，根据题述不能计算出洗衣机电动机内阻和发热功率，选项 D 错误。

答案 C

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

思想方法 11. 欧姆定律 $I = \frac{U}{R}$ 、电功率 $P = IU$ 和热功率 $P = I^2R$ 的使用

1. 欧姆定律 $I = \frac{U}{R}$ 的使用

对于纯电阻，适合欧姆定律，即纯电阻两端的电压满足 $U = IR$ 。

对于非纯电阻，不适合欧姆定律，因 $P_{电} = UI = P_{热} + P_{其他} = I^2R + P_{其他}$ ，所以 $UI > I^2R$ ，即非纯电阻两端的电压满足 $U > IR$ 。

【典例 1】 有一家用电风扇，电风扇两端的电压为 220 V，工作电流为 0.5 A，则下列说法中，正确的是()。

- A. 电扇线圈的电阻为 440 Ω
- B. 电扇线圈的电阻大于 440 Ω

- C. 电扇线圈的电阻小于 $440\ \Omega$
 D. 电风扇线圈的电阻满足欧姆定律

答案 CD

反思总结 在解答这类问题时，很多同学没有辨明用电器是纯电阻还是非纯电阻，就直接用欧姆定律求解，导致错误。

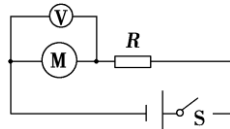


图 7-1-4

即学即练 1 有一提升重物的直流电动机，工作时电路如图 7-1-4 所示，内阻为 $r=0.6\ \Omega$ ， $R=10\ \Omega$ ，直流电压为 $U=160\ \text{V}$ ，电压表两端的示数为 $110\ \text{V}$ ，则通过电动机的电流是多少？电动机的输入功率为多少？电动机在 $1\ \text{h}$ 内产生的热量是多少？

解析 电动机正常工作时，电动机两端的电压不满足欧姆定律，故不能直接用欧姆定律来求流过电动机的电流。因电动机和电阻串联，所以流过电动机的电流等于流过电阻的电流。

$$I = \frac{U}{R} = \frac{160 - 110}{10}\ \text{A} = 5\ \text{A}$$

$$P_{\text{输入}} = UI = 110 \times 5\ \text{W} = 550\ \text{W}$$

$$Q = I^2 r t = 5^2 \times 0.6 \times 3600\ \text{J} = 5.4 \times 10^4\ \text{J}$$

答案 $5\ \text{A}$ $550\ \text{W}$ $5.4 \times 10^4\ \text{J}$

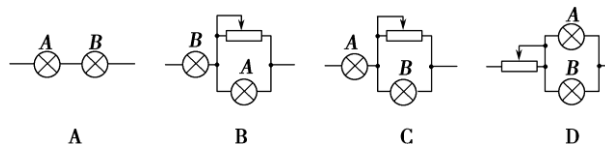
2. 电功率 $P=UI$ 和热功率 $P=I^2R$ 的使用

不论纯电阻还是非纯电阻，电流的电功率均为 $P_{\text{电}}=UI$ ，热功率均为 $P_{\text{热}}=I^2R$ 。

对于纯电阻而言： $P_{\text{电}}=P_{\text{热}}=UI=I^2R=\frac{U^2}{R}$

对于非纯电阻而言： $P_{\text{电}}=UI=P_{\text{热}}+P_{\text{其他}}=I^2R+P_{\text{其他}} \neq \frac{U^2}{R}+P_{\text{其他}}$

【典例 2】 额定电压都是 $110\ \text{V}$ ，额定功率 $P_A=100\ \text{W}$ ， $P_B=40\ \text{W}$ 的电灯两盏，若接入电压是 $220\ \text{V}$ 的下列电路上，则使两盏电灯均能正常发光，且电路中消耗的电功率最小的电路是()。



解析 判断灯泡能否正常发光，就要判断电压是否为额定电压，或电流是否为额定电流。

由 $P = \frac{U^2}{R}$ 和已知条件可知， $R_A < R_B$ 。

对于 A 电路，由于 $R_A < R_B$ ，所以 $U_B > 110\ \text{V}$ ，B 灯被烧坏，两灯不能正常发光。

对于 B 电路，由于 $R_A < R_B$ ，A 灯与变阻器并联，并联电阻更小于 R_B ， $U_B > 110\ \text{V}$ ，B 灯被烧坏，两灯不能正常发光。

对于 C 电路，B 灯与变阻器并联电阻可能等于 R_A ，所以可能 $U_A = U_B = 110\ \text{V}$ ，两灯可以正常发光。

对于 D 电路，若变阻器的有效电阻等于 A、B 的并联电阻，则 $U_A = U_B = 110\ \text{V}$ ，两灯可以正常发光。

比较 C、D 两个电路，由于 C 电路中变阻器功率为 $(I_A - I_B) \times 110\ \text{V}$ ，而 D 电路中变阻器功率为 $(I_A + I_B) \times 110\ \text{V}$ ，所以 C 电路消耗的功率最小。选 C。

答案 C

反思总结 此类问题的分析思路分两步：先分清哪个电路的灯泡能正常发光，这里可以从电压、电流、电功率三个量中任意挑选一个使其达到其额定值，其余两个也达到额定值；确定了正常发光的电路后，再比较哪一个的实际功率小，可以用计算的方法比较，也可以用定性分析的方法比较。

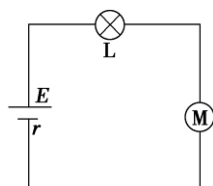


图 7-1-5

即学即练 2 如图 7-1-5 所示, 电源电动势 $E=8\text{ V}$, 内阻为 $r=0.5\ \Omega$, “3 V, 3 W” 的灯泡 L 与电动机 M 串联接在电源上, 灯泡刚好正常发光, 电动机刚好正常工作, 电动机的线圈电阻 $R_0=1.5\ \Omega$. 下列说法中正确的是().

- A. 通过电动机的电流为 1.6 A
- B. 电源的输出功率是 8 W
- C. 电动机消耗的电功率为 3 W
- D. 电动机的输出功率为 3 W

解析 “3 V, 3 W” 的灯泡 L 与电动机 M 串联, 说明通过灯泡与电动机的电流相等, 其电流大小为 $I_L = \frac{P_L}{U_L} = \frac{3\text{ W}}{3\text{ V}} = 1\text{ A}$; 路端电压 $U = E - I_L r = 8\text{ V} - 1\text{ A} \times 0.5\ \Omega = 7.5\text{ V}$, 电源的输出功率 $P_{\text{出}} = UI_L = 7.5\text{ V} \times 1\text{ A} = 7.5\text{ W}$; 电动机消耗的功率为 $P_M = P_{\text{出}} - P_L = 7.5\text{ W} - 3\text{ W} = 4.5\text{ W}$; 电动机的热功率为 $P_{\text{热}} = I_L^2 R_0 = 1.5\ \Omega \times (1\text{ A})^2 = 1.5\text{ W}$; 电动机的输出功率为 $P_M - P_{\text{热}} = 4.5\text{ W} - 1.5\text{ W} = 3\text{ W}$.

答案 D

附: 对应高考题组(PPT 课件文本, 见教师用书)

1. (2011 全国卷) 通常一次闪电过程历时约 0.2~0.3 s, 它由若干个相继发生的闪击构成. 每个闪击持续时间仅 40~80 μs , 电荷转移主要发生在第一个闪击过程中. 在某一次闪电前云地之间的电势差约为 $1.0 \times 10^9\text{ V}$, 云地间距离约为 1 km; 第一个闪击过程中云地间转移的电荷量约为 6 C, 闪击持续时间约为 60 μs . 假定闪电前云地间的电场是均匀的. 根据以上数据, 下列判断正确的是().

- A. 闪电电流的瞬时值可达到 $1 \times 10^5\text{ A}$
- B. 整个闪电过程的平均功率约为 $1 \times 10^{14}\text{ W}$
- C. 闪电前云地间的电场强度约为 $1 \times 10^6\text{ V/m}$
- D. 整个闪电过程向外释放的能量约为 $6 \times 10^6\text{ J}$

解析 根据题意, 第一个闪击过程中转移电荷量 $Q=6\text{ C}$, 时间约为 $t=60\ \mu\text{s}$, 故平均电流为 $I_{\text{平}} = \frac{Q}{t} = 1 \times 10^5\text{ A}$, 闪电过程中的瞬时值可达到 $1 \times 10^5\text{ A}$, 故 A 对; 第一次闪击过程中电功约为 $W = QU = 6 \times 10^9\text{ J}$, 第一个闪击过程的平均功率 $P = \frac{W}{t} = 1 \times 10^{14}\text{ W}$, 由于一次闪电过程的电荷转移主要发生在第一个闪击过程中, 但整个闪电过程的时间远大于 60 μs , 故 B 错; 闪电前云地间的电场强度约为 $E = \frac{U}{d} = \frac{1.0 \times 10^9}{1000}\text{ V/m} = 1 \times 10^6\text{ V/m}$, C 对; 整个闪电过程向外释放的能量约为 $W = 6 \times 10^9\text{ J}$, D 错.

答案 AC

2. (2012 浙江卷, 17) 功率为 10 W 的发光二极管(LED 灯) 的亮度与功率为 60 W 的白炽灯相当. 根据国家节能战略, 2016 年前普通白炽灯应被淘汰. 假设每户家庭有 2 只 60 W 的白炽灯, 均用 10 W 的 LED 灯替代, 估算出全国一年节省的电能最接近().

- A. $8 \times 10^8\text{ kW h}$
- B. $8 \times 10^{10}\text{ kW h}$
- C. $8 \times 10^{11}\text{ kW h}$
- D. $8 \times 10^{13}\text{ kW h}$

解析 按每户一天亮灯 5 小时计算, 每户一年节省的电能为 $(2 \times 60 - 2 \times 10) \times 10^{-3} \times 5 \times 365\text{ kW h} = 182.5\text{ kW h}$, 假设全国共有 4 亿户家庭, 则全国一年节省的电能为 $182.5 \times 4 \times 10^8\text{ kW h} = 7.3 \times 10^{10}\text{ kW h}$, 最接近于 B 选项, 故选项 B 正确, 选项 A、C、D 错误.

答案 B

3. (2012 上海卷, 13) 当电阻两端加上某一稳定电压时, 通过该电阻的电荷量为 0.3 C, 消耗的电能为 0.9 J. 为在相同时间内使 0.6 C 的电荷量通过该电阻, 在其两端需加的电压和消耗的电功分别是().

- A. 3 V 1.8 J
- B. 3 V 3.6 J

C. 6 V 1.8 J D. 6 V 3.6 J

解析 设两次加在电阻 R 上的电压分别为 U_1 和 U_2 , 通电的时间都为 t . 由公式 $W_1 = U_1 q_1$ 和 $W_1 = \frac{U_1^2}{R} t$ 可得:
 $U_1 = 3 \text{ V}$, $\frac{t}{R} = 0.1$. 再由 $W_2 = U_2 q_2$ 和 $W_2 = \frac{U_2^2}{R} t$ 可求出: $U_2 = 6 \text{ V}$, $W_2 = 3.6 \text{ J}$, 故选项 D 正确.

答案 D

4. (2012 四川卷, 23) 四川省“十二五”水利发展规划指出, 若按现有供水能力测算, 我省供水缺口极大, 蓄引提水是目前解决供水问题的重要手段之一. 某地要把河水抽高 20 m, 进入蓄水池, 用一台电动机通过传动效率为 80% 的皮带, 带动效率为 60% 的离心水泵工作. 工作电压为 380 V, 此时输入电动机的电功率为 19 kW, 电动机的内阻为 0.4Ω . 已知水的密度为 $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 重力加速度取 10 m/s^2 . 求:

(1) 电动机内阻消耗的热功率;

(2) 将蓄水池蓄入 864 m^3 的水需要的时间(不计进、出水口的水流速度).

解析 (1) 设电动机的电功率为 P , 则 $P = UI$,

设电动机内阻 r 上消耗的热功率为 P_r , 则 $P_r = I^2 r$,

代入数据解得 $P_r = 1 \times 10^3 \text{ W}$.

(2) 设蓄水总质量为 M , 所用抽水时间为 t . 已知抽水高度为 h , 容积为 V , 水的密度为 ρ , 则 $M = \rho V$,

设质量为 M 的河水增加的重力势能为 ΔE_p , 则

$$\Delta E_p = Mgh,$$

设电动机的输出功率为 P_0 , 则 $P_0 = P - P_r$,

根据能量守恒定律得 $P_0 t \times 60\% \times 80\% = \Delta E_p$,

代入数据解得 $t = 2 \times 10^4 \text{ s}$.

答案 (1) $1 \times 10^3 \text{ W}$ (2) $2 \times 10^4 \text{ s}$

活页·作业

知能分级练

对应学生

用书 P273

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 欧姆定律、电阻定律的应用

1. (单选) 有一段长 1 m 的电阻丝, 电阻是 10Ω , 现把它均匀拉伸到长为 5 m, 则电阻变为().

A. 10Ω B. 50Ω C. 150Ω D. 250Ω

解析 电阻丝无论怎样拉长其体积不变, 但随着长度增加, 截面面积在减小, 即满足 $V = Sl$ 关系式. 把电阻丝由 1 m 均匀拉伸到 5 m 时, 截面面积变成原来的 $\frac{1}{5}$, 由电阻定律 $R = \rho \frac{l}{S}$ 可知电阻变成原来的 25 倍,

D 正确.

答案 D

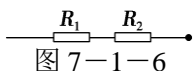


图 7-1-6

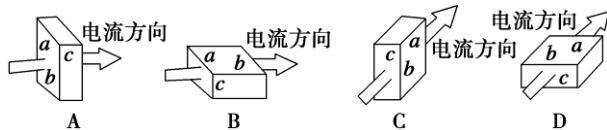
2. (单选) R_1 和 R_2 分别标有“ $2 \Omega, 1.0 \text{ A}$ ”和“ $4 \Omega, 0.5 \text{ A}$ ”, 将它们串联后接入电路中, 如图 7-1-6 所示, 则此电路中允许消耗的最大功率为().

A. 1.5 W B. 3.0 W
C. 5.0 W D. 6.0 W

解析 R_1 和 R_2 串联后的总电阻为 $R = R_1 + R_2 = 6 \Omega$, 电路中的电流不能超过 R_2 的额定电流, 即 0.5 A . 则 $P = I^2 R = 1.5 \text{ W}$, 故 A 正确.

答案 A

3. (单选)欧姆不仅发现了欧姆定律,还研究了电阻定律.有一个长方体金属电阻,材料分布均匀,边长分别为 a 、 b 、 c ,且 $a > b > c$.电流沿以下方向流过该金属电阻,其中电阻阻值最小的是().



解析 根据电阻定律 $R = \rho \frac{l}{S}$,导线越短、横截面积越大,电阻越小,A正确.

答案 A

4. (2013 汕头高三模拟)(多选) R_1 和 R_2 是材料相同、厚度相同、上下表面都为正方形的导体,但 R_1 的尺寸比 R_2 大得多,把它们分别连接在如图7-1-7所示的电路的A、B两端,接 R_1 时电压表的读数为 U_1 ,接 R_2 时电压表的读数为 U_2 ,则下列判断正确的是().

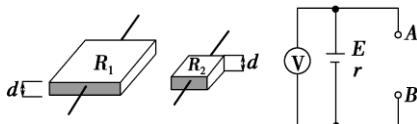


图 7-1-7

- A. $R_1 = R_2$ B. $R_1 > R_2$
C. $U_1 < U_2$ D. $U_1 = U_2$

解析 电流从导体的横截面流过,由电阻定律 $R = \rho \frac{L}{S} = \rho \frac{a}{ad} = \frac{\rho}{d}$,可见电阻与边长 a 无关,A对;因外电阻相同,故路端电压相等,D正确.

答案 AD

题组二 $I-U$ 的图象的理解及应用

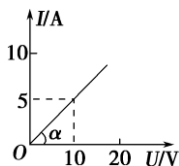


图 7-1-8

5. (多选)如图7-1-8所示是电阻 R 的 $I-U$ 图象,图中 $\alpha = 45^\circ$,由此得出().

- A. 通过电阻的电流与两端电压成正比
B. 电阻 $R = 0.5 \Omega$
C. 因 $I-U$ 图象的斜率表示电阻的倒数,故 $R = 1/\tan \alpha = 1.0 \Omega$
D. 在 R 两端加上 6.0 V 的电压时,每秒通过电阻横截面的电荷量是 3.0 C

解析 由 $I-U$ 图象可知,图线是一条过原点的倾斜直线,即 I 和 U 成正比,A正确;而电阻 $R = \frac{U}{I} = \frac{10}{5} \Omega = 2 \Omega$,B错误;由于纵横坐标的标度不一样,故不能用 $\tan \alpha$ 计算斜率表示电阻的倒数,C项错误;在 R 两端加上 6.0 V 电压时 $I = \frac{U}{R} = \frac{6.0}{2} \text{ A} = 3.0 \text{ A}$,每秒通过电阻横截面的电荷量 $q = It = 3.0 \times 1 \text{ C} = 3.0 \text{ C}$,

选项 D 正确.

答案 AD

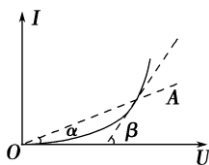


图 7-1-9

6. (单选)某种材料的导体,其 $I-U$ 图象如图7-1-9所示,图象上 A 点与原点的连线与横轴成 α 角, A 点的切线与横轴成 β 角.下列说法正确的是().

- A. 导体的电功率随电压 U 的增大而增大
B. 导体的电阻随电压 U 的增大而增大

- C. 在 A 点, 导体的电阻为 $\tan \alpha$
 D. 在 A 点, 导体的电阻为 $\tan \beta$

解析 由题图知, U 增大时, 电功率 $P = UI$ 增大, 所以 A 正确; 由电阻 $R = U/I$ 知, $I-U$ 曲线上某点对应的电阻为该点与原点连线的斜率的倒数, 即 A 点导体的电阻为 $\cot \alpha$, 所以 C、D 均错; 由 $I-U$ 图象知, 曲线切线的斜率随 U 的增大而不断增大, 即电阻越来越小, B 错误.

答案 A

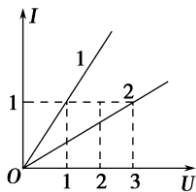


图 7-1-10

7. (2013 商丘高三模拟)(多选)如图 7-1-10 所示, 图线 1 表示的导体的电阻为 R_1 , 图线 2 表示的导体的电阻为 R_2 , 则下列说法正确的是().

- A. $R_1 : R_2 = 1 : 3$
 B. 把 R_1 拉长到原来的 3 倍长后电阻等于 R_2
 C. 将 R_1 与 R_2 串联后接于电源上, 则功率之比 $P_1 : P_2 = 1 : 3$
 D. 将 R_1 与 R_2 并联后接于电源上, 则电流比 $I_1 : I_2 = 1 : 3$

解析 根据 $I-U$ 图象知, 图线的斜率表示电阻的倒数, 所以 $R_1 : R_2 = 1 : 3$, A 正确; 根据公式 $R = \rho \frac{l}{S}$ 可得, 把 R_1 拉长到原来的 3 倍长后, 横截面积减小为原来的 $\frac{1}{3}$, 所以电阻变为原来的 9 倍, B 错误; 串联电路电流相等, 所以将 R_1 与 R_2 串联后接于电源上, 电流比 $I_1 : I_2 = 1 : 1$, 根据公式 $P = I^2 R$ 可得, 功率之比 $P_1 : P_2 = 1 : 3$, C 正确; 并联电路电压相等, 电流比等于电阻之反比, 所以将 R_1 与 R_2 并联后接于电源上, 电流比 $I_1 : I_2 = 3 : 1$, D 错误.

答案 AC

题组三 电功、电功率

8. (多选)一台电动机的线圈电阻与一只电炉的电阻相同, 都通过相同的电流, 在相同时间内().

- A. 电炉放热与电动机放热相等
 B. 电炉两端电压小于电动机两端电压
 C. 电炉两端电压等于电动机两端电压
 D. 电动机消耗的功率大于电炉的功率

解析 电炉属于纯电阻, 电动机属于非纯电阻, 对于电炉有: $U = IR$, 放热 $Q = I^2 R t$, 消耗功率 $P = I^2 R$, 对于电动机有: $U > IR$, 放热 $Q = I^2 R t$, 消耗功率 $P = UI > I^2 R$.

答案 ABD

9. (多选)下列关于电功、电功率和焦耳定律的说法中正确的是().

- A. 电功率越大, 电流做功越快, 电路中产生的焦耳热一定越多
 B. $W = UIt$ 适用于任何电路, 而 $W = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t$ 只适用于纯电阻的电路
 C. 在非纯电阻的电路中, $UI > I^2 R$
 D. 焦耳热 $Q = I^2 R t$ 适用于任何电路

解析 电功率公式 $P = \frac{W}{t}$, 功率越大, 表示电流做功越快. 对于一段电路, 有 $P = IU$, $I = \frac{P}{U}$, 焦耳热 $Q = \left(\frac{P}{U}\right)^2 R t$, 可见 Q 与 P 、 U 、 t 都有关. 所以, P 越大, Q 不一定越大, A 不对. $W = UIt$ 是电功的定义式, 适用于任何电路, 而 $I = \frac{U}{R}$ 只适用于纯电阻的电路, B 对. 在非纯电阻的电路中, 电流所做的功 = 焦耳热 + 其他形式的能, 所以 $W > Q$, 即 $UI > I^2 R$, C 正确. $Q = I^2 R t$ 是焦耳热的定义式, 适用于任何电路中

产生的焦耳热，D 正确。

答案 BCD

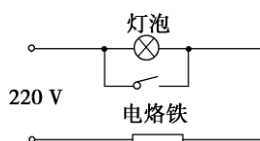


图 7-1-11

10. (单选)电子产品制作车间里常常使用电烙铁焊接电阻器和电容器等零件，技术工人常将电烙铁和一个灯泡串联使用，灯泡还和一只开关并联，然后再接到市电上(如图 7-1-11 所示)，下列说法正确的是()。

A. 开关接通时比开关断开时消耗的总电功率大

B. 开关接通时，灯泡熄灭，只有电烙铁通电，可使消耗的电功率减小

C. 开关断开时，灯泡发光，电烙铁也通电，消耗的总功率增大，但电烙铁发热较少

D. 开关断开时，灯泡发光，可供在焊接时照明使用，消耗总功率不变

解析 开关接通时，灯泡被短路，灯泡熄灭，电路的总电阻变小，电路的总功率 $P = \frac{U^2}{R}$ 变大，电烙铁的功率变大。

答案 A

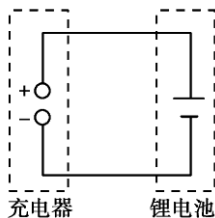


图 7-1-12

11. (多选)锂电池因能量密度高、绿色环保而广泛使用在手机等电子产品中。现用充电器为一手机锂电池充电，等效电路如图 7-1-12 所示，充电器电源的输出电压为 U ，输出电流为 I ，手机电池的内阻为 r ，下列说法正确的是()。

A. 电能转化为化学能的功率为 $UI - I^2r$

B. 充电器输出的电功率为 $UI + I^2r$

C. 电池产生的热功率为 I^2r

D. 充电器的充电效率为 $\frac{Ir}{U} \times 100\%$

解析 充电器将电能转化为锂电池的化学能和内能，即 $UIt = E_{\text{化}} + I^2rt$ ，充电器输出的电功率为 UI ，电

池产生的热功率为 I^2r ，据此可知，电能转化为化学能的功率为 $UI - I^2r$ ，充电器的充电效率为 $\frac{U - Ir}{U}$

$\times 100\%$ ，所以选项 A、C 正确。

答案 AC

B 深化训练——提高能力技巧

12. (多选)一辆电动观光车蓄电池的电动势为 E ，内阻不计，当空载的电动观光车以大小为 v 的速度匀速行驶时，流过电动机的电流为 I ，电动车的质量为 m ，电动车受到的阻力是车重的 k 倍，忽略电动观光车内部的摩擦，则()。

A. 电动机的内阻为 $R = \frac{E}{I}$

B. 电动机的内阻为 $R = \frac{E}{I} - \frac{kmgv}{I^2}$

C. 电动车的工作效率 $\eta = \frac{kmgv}{EI}$

D. 电动机的发热效率 $\eta = \frac{EI - kmgv}{EI}$

解析 根据能量守恒定律, $EI = I^2R + kmgv$, 所以电动机的内阻为 $R = \frac{E}{I} - \frac{kmgv}{I^2}$, 选项 A 错误、B 正确;

电动车的工作效率等于输出功率与总功率之比, 即 $\eta = \frac{kmgv}{EI}$, 所以 C 正确; 电动机的发热效率 $\eta =$

$\frac{EI - kmgv}{EI}$, D 正确.

答案 BCD

13. (单选)在如图 7-1-13 甲所示的电路中, 电源电动势为 3.0 V, 内阻不计, 灯 L_1 、 L_2 、 L_3 为三个相同规格的小灯泡, 这种小灯泡的伏安特性曲线如图乙所示. 当开关闭合后, 下列说法正确的是().

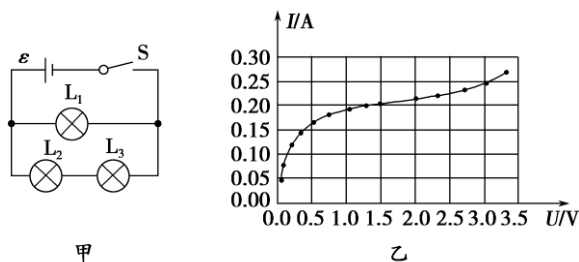


图 7-1-13

- A. 灯泡 L_1 的电流为灯泡 L_2 电流的 2 倍
- B. 灯泡 L_1 的电阻为 7.5 Ω
- C. 灯泡 L_2 消耗的电功率为 0.75 W
- D. 灯泡 L_3 消耗的电功率为 0.30 W

解析 由于小灯泡 L_2 、 L_3 串联后与 L_1 并联, 所以 L_1 两端电压是 L_2 或 L_3 两端电压的 2 倍, L_2 或 L_3 两端电压是 1.5 V, 由小灯泡的伏安特性曲线可知灯泡 L_2 中的电流是 0.20 A; 灯泡 L_1 两端的电压是 3 V, 灯泡 L_1 中的电流是 0.25 A, A 错误; 由欧姆定律可得灯泡 L_1 的电阻为 $R = U_1/I_1 = 12 \Omega$, B 错误; 由 $P = UI$ 得灯泡 L_2 (或 L_3) 消耗的电功率 $P_2 = U_2I_2 = 1.5 \times 0.20 \text{ W} = 0.30 \text{ W}$, C 错误, D 正确.

答案 D

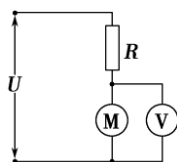


图 7-1-14

14. 如图 7-1-14 所示是一提升重物用的直流电动机工作时的电路图. 电动机内电阻 $r = 0.8 \Omega$, 电路中另一电阻 $R = 10 \Omega$, 直流电压 $U = 160 \text{ V}$, 电压表示数 $U_V = 110 \text{ V}$. 试求:

- (1) 通过电动机的电流;
- (2) 输入电动机的电功率;
- (3) 若电动机以 $v = 1 \text{ m/s}$ 匀速竖直向上提升重物, 求该重物的质量? (g 取 10 m/s^2)

解析 (1) 由电路中的电压关系可得电阻 R 的分压 $U_R =$

$U - U_V = (160 - 110) \text{ V} = 50 \text{ V}$, 流过电阻 R 的电流 $I_R = \frac{U_R}{R} = \frac{50}{10} \text{ A} = 5 \text{ A}$, 即通过电动机的电流 $I_M = I_R = 5 \text{ A}$.

(2) 电动机的分压 $U_M = U_V = 110 \text{ V}$, 输入电动机的功率 $P_{\text{电}} = I_M U_M = 550 \text{ W}$.

(3) 电动机的发热功率 $P_{\text{热}} = I_M^2 r = 20 \text{ W}$, 电动机输出的机械功率 $P_{\text{出}} = P_{\text{电}} - P_{\text{热}} = 530 \text{ W}$, 又因 $P_{\text{出}} = mgv$,

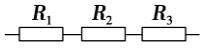
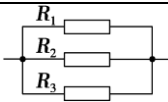
所以 $m = \frac{P_{\text{出}}}{gv} = 53 \text{ kg}$.

答案 (1) 5 A (2) 550 W (3) 53 kg

考点1

电阻的串、并联 (考纲要求 I)

串、并联电路的特点

	串联电路	并联电路
电路		
电流	$I=I_1=I_2=\dots=I_n$	$I=I_1+I_2+\dots+I_n$
电压	$U=U_1+U_2+\dots+U_n$	$U=U_1=U_2=\dots=U_n$
总电阻	$R_{\text{总}}=R_1+R_2+\dots+R_n$	$\frac{1}{R_{\text{总}}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\dots+\frac{1}{R_n}$
功率分配	$\frac{P_1}{R_1}=\frac{P_2}{R_2}$ $P_{\text{总}}=P_1+P_2+\dots+P_n$	$\frac{P_1}{R_1}=\frac{P_2}{R_2}$ $P_{\text{总}}=P_1+P_2+\dots+P_n$

考点2

电源的电动势和内阻 (考纲要求 I)

1. 电动势

(1) 电源：电源是通过非静电力做功把其它形式的能转化成电势能的装置。

(2) 电动势：非静电力搬运电荷所做的功与搬运的电荷量的比值， $E=\frac{W}{q}$ ，单位：V。

(3) 电动势的物理含义：电动势表示电源把其它形式的能转化成电势能本领的大小，在数值上等于电源没有接入电路时两极间的电压。

2. 内阻：电源内部也是由导体组成的，也有电阻 r ，叫做电源的内阻，它是电源的另一重要参数。

思维深化 1 判断正误，正确的划“√”，错误的划“×”。

(1) 电路中 某电阻大，该电阻的功率不一定大。()

(2) 电压与电动势的单位都是伏特，所以电动势与电压是同一物理量的不同叫法。()

(3) 电动势公式 $E=\frac{W}{q}$ 中的 W 与电压 $U=\frac{W}{q}$ 中的 W 是一样的，都是静电力所做的功。()

(4) 电动势是反映电源把其他形式的能转化为电能本领强弱的物理量。()

答案 (1)√ (2)× (3)× (4)√

考点3

闭合电路的欧姆定律 (考纲要求 II)

1. 闭合电路欧姆定律

(1) 内容：

闭合电路里的电流跟电源的电动势成正比，跟内、外电阻之和成反比。

(2) 公式：

① $I=\frac{E}{R+r}$ (只适用于纯电阻电路)；

② $E=U_{\text{外}}+Ir$ (适用于所有电路)。

2. 路端电压与外电阻的关系：

一般情况	$U=IR=\frac{E}{R+r}$ $R=\frac{E}{1+\frac{r}{R}}$ ，当 R 增大时， U 增大
特殊情况	(1) 当外电路断路时， $I=0$ ， $U=E$ (2) 当外电路短路时， $I_{\text{短}}=\frac{E}{r}$ ， $U=0$

思维深化 2 判断正误，正确的划“√”，错误的划“×”。

- (1)闭合电路中的短路电流无限大。()
 (2)闭合电路中外电阻越大,路端电压越大。()
 (3)外电阻越大,电源的输出功率越大。()
 (4)电源的输出功率越大,电源的效率越高。()

答案 (1)× (2)√ (3)× (4)×

基础自测

1. (单选)下列关于电动势的说法正确的是()。

- A. 电源的电动势跟电源内非静电力做的功成正比,跟通过的电荷量成反比
 B. 电动势的单位跟电压的单位一致,所以电动势就是两极间的电压
 C. 非静电力做的功越多,电动势就越大
 D. $E = \frac{W}{q}$ 只是电动势的定义式而非决定式,电动势的大小是由电源内非静电力的特性决定的

解析 电动势的定义式 $E = \frac{W}{q}$ 中, E 与 W 、 q 无关, E 反映的是电源的属性,由电源内部非静电力的特性决定,故 A、C 错误, D 正确;电动势的单位虽然与电压单位相同,但两者有本质的不同, B 错误。

答案 D

2. (单选)将一电源电动势为 E , 内电阻为 r 的电池与外电路连接,构成一个闭合电路,用 R 表示外电路电阻, I 表示电路的总电流,下列说法正确的是()。

- A. 由 $U_{\text{外}} = IR$ 可知,外电压随 I 的增大而增大
 B. 由 $U_{\text{内}} = Ir$ 可知,电源两端的电压随 I 的增大而增大
 C. 由 $U = E - Ir$ 可知,电源输出电压随输出电流 I 的增大而减小
 D. 由 $P = IU$ 可知,电源的输出功率 P 随输出电流 I 的增大而增大

解析 根据闭合电路欧姆定律 $I = E/(R+r)$ 知,外电路中电流 I 随外电阻 R 的变化而变化,所以选项 A 错误; $U_{\text{内}} = Ir$ 是电源内电阻上的电压,不是电源两端的电压,选项 B 错误;电源电动势 E 和内电阻 r 不变,由 $U = E - Ir$ 可知,电源输出电压随输出电流 I 的增大而减小,选项 C 正确;当 U 不变时,电源的输出功率 P 随输出电流 I 的增大而增大,选项 D 错误。

答案 C

3. (单选)电阻 R_1 与 R_2 并联在电路中,通过 R_1 与 R_2 的电流之比为 1:2,则当 R_1 与 R_2 串联后接入电路中时, R_1 与 R_2 两端电压之比 $U_1:U_2$ 为()。

- A. 1:2 B. 2:1 C. 1:4 D. 4:1

解析 根据串、并联电路的特点, R_1 与 R_2 的比值为 2:1,当串联接入电路中时,电压之比为电阻之比, B 选项正确。

答案 B

4. (单选)飞行器在太空飞行,主要靠太阳能电池提供能量.若一太阳能电池板,测得它的开路电压为 800 mV,短路电流为 40 mA.若将该电池板与一阻值为 20 Ω 的电阻器连成一闭合电路,则它的路端电压是()。

- A. 0.10 V B. 0.20 V C. 0.30 V D. 0.40 V

由闭合电路欧姆定律得短路电流 $I_{\text{短}} = \frac{E}{r}$,所以电源内阻 $r = \frac{E}{I_{\text{短}}} = \frac{800 \times 10^{-3}}{40 \times 10^{-3}} \Omega = 20 \Omega$,该电源与 20 Ω 的

电阻连成闭合电路时,电路中电流 $I = \frac{E}{R+r} = \frac{800}{20+20} \text{ mA} = 20 \text{ mA}$,所以路端电压 $U = IR = 400 \text{ mV} = 0.4$

V, D 项正确。

答案 D

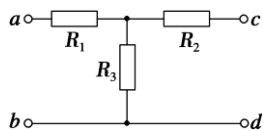
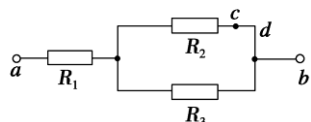


图 7-2-1

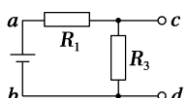
5. (多选)一个 T 形电路如图 7-2-1 所示, 电路中的电阻 $R_1=10\ \Omega$, $R_2=120\ \Omega$, $R_3=40\ \Omega$. 另有一测试电源, 电动势为 $100\ \text{V}$, 内阻忽略不计. 则().

- A. 当 cd 端短路时, ab 之间的等效电阻是 $40\ \Omega$
- B. 当 ab 端短路时, cd 之间的等效电阻是 $40\ \Omega$
- C. 当 ab 两端接通测试电源时, cd 两端的电压为 $80\ \text{V}$
- D. 当 cd 两端接通测试电源时, ab 两端的电压为 $80\ \text{V}$

解析 当 cd 端短路时, 等效电路如图(1)所示, $R_{123} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 40\ \Omega$, A 正确, 同理 B 错误.



图(1)



图(2)

当 a 、 b 两端接通测试电源时, 等效电路如图(2)所示, 根据欧姆定律得: $I = \frac{E}{R_1 + R_3} = \frac{100}{10 + 40}\ \text{A} = 2\ \text{A}$,

所以 $U_{cd} = IR_3 = 80\ \text{V}$, 故 C 正确, 同理 D 错误.

答案 AC

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 电路的动态分析(模型演示见 PPT 课件)

1. 判定总电阻变化情况的规律(记一记)

- (1)当外电路的任何一个电阻增大(或减小)时, 电路的总电阻一定增大(或减小).
- (2)若开关的通、断使串联的用电器增多时, 电路的总电阻增大; 若开关的通、断使并联的支路增多时, 电路的总电阻减小.

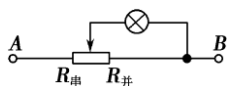
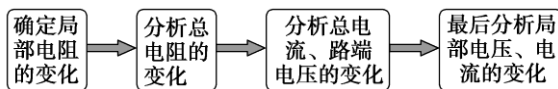


图 7-2-2

(3)在如图 7-2-2 所示分压电路中, 滑动变阻器可视为由两段电阻构成, 其中一段 $R_{并}$ 与用电器并联, 另一段 $R_{串}$ 与并联部分串联. A 、 B 两端的总电阻与 $R_{串}$ 的变化趋势一致.

2. 分析思路



【典例 1】

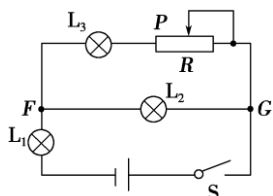
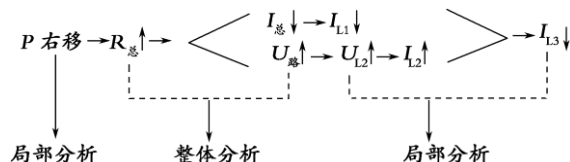


图 7-2-3

图 7-2-3 所示的电路, L_1 、 L_2 、 L_3 是 3 只小电灯, R 是滑动变阻器, 开始时, 它的滑片 P 位于中点位置. 当 S 闭合时, 3 只小电灯都发光. 现使滑动变阻器的滑片 P 向右移动时, 则小电灯 L_1 、 L_2 、 L_3 的变化情况().

- A. L_1 变亮 B. L_2 变亮
- C. L_3 变暗 D. L_1 、 L_2 、 L_3 均变亮

思路指导



解析 当滑动变阻器的滑片向右移动时, 变阻器的有效电阻变大, 导致外电路的总电阻增大. 由闭合电路的欧姆定律 $I = \frac{E}{R+r}$ 知, 总电流减小, 路端电压 $U = E - Ir$ 将增大. 因此, 通过 L_1 灯的电流变小, L_1 灯变暗. $U = U_{L1} + U_{FG}$, 得 L_2 灯两端的电压变大, L_2 灯变亮. 而 $I_{L1} = I_{L2} + I_{L3}$, 通过 L_1 灯的电流 I_{L1} 变小, 通过 L_2 灯的电流 I_{L2} 变大, 则通过 L_3 灯的电流 I_{L3} 变小, L_3 灯变暗. 由以上分析可知, 选项 B、C 正确.

答案 BC

反思总结 分析此类问题要注意以下三点:

- (1) 闭合电路欧姆定律 $E = U + Ir$ (E 、 r 不变) 和部分电路欧姆定律 $U = IR$ 联合使用.
- (2) 局部电阻增则总电阻增, 反之总电阻减; 支路数量增则总电阻减, 反之总电阻增.
- (3) 两个关系: 外电压等于外电路上串联各分电压之和; 总电流等于各支路电流之和.

【跟踪短训】

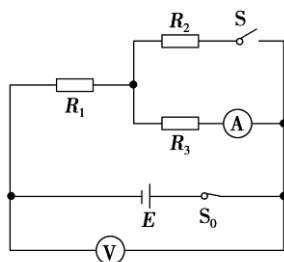


图 7-2-4

1. 如图 7-2-4 所示, E 为内阻不能忽略的电池, R_1 、 R_2 、 R_3 为定值电阻, S_0 、 S 为开关, V 与 A 分别为电压表与电流表. 初始时 S_0 与 S 均闭合, 现将 S 断开, 则().

- A. V 的读数变大, A 的读数变小
 B. V 的读数变大, A 的读数变大
 C. V 的读数变小, A 的读数变小
 D. V 的读数变小, A 的读数变大

解析 当 S 断开后, 闭合电路的总电阻增加, 根据闭合电路欧姆定律可知, 总电流减小, 故路端电压 $U = E - Ir$ 增加, 即 V 的读数变大; 由于定值电阻 R_1 两端的电压减小, 故 R_3 两端的电压增加, 通过 R_3 的电流增加, 即 A 的读数变大; 选项 B 正确.

答案 B

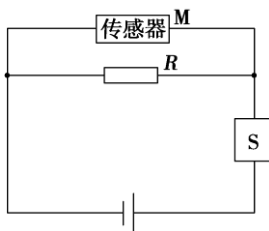


图 7-2-5

2. (2013 江苏卷, 4) 在输液时, 药液有时会从针口流出体外, 为了及时发现, 设计了一种报警装置, 电路如图 7-2-5 所示. M 是贴在针口处的传感器, 接触到药液时其电阻 R_M 发生变化, 导致 S 两端电压 U 增大, 装置发出警报, 此时().

- A. R_M 变大, 且 R 越大, U 增大越明显

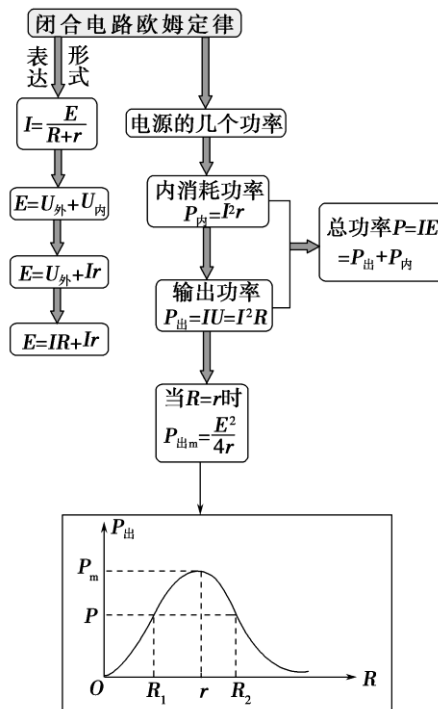
- B. R_M 变大, 且 R 越小, U 增大越明显
 C. R_M 变小, 且 R 越大, U 增大越明显
 D. R_M 变小, 且 R 越小, U 增大越明显

解析 当 R_M 变大时, 回路的总电阻 $R_{总}$ 变大, 根据 $I_{总} = \frac{E}{R_{总}}$, 得干路中的电流变小, S 两端的电压 $U = I_{总} R_S$ 变小, 故选项 A、B 错误; 当 R_M 变小时, 回路的总电阻 $R_{总} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_M}} + R_S$ 变小, 根据 $I_{总} = \frac{E}{R_{总}}$,

得干路中的电流变大, S 两端的电压 $U = I_{总} R_S$ 变大, 而且 R 越大, R_M 变小时, 对回路的总电阻变化的影响越明显, 故选项 C 正确, 选项 D 错误.

答案 C

热点二 闭合电路欧姆定律的应用及电源的功率



【典例 2】如图 7-2-6 所示, 电源电动势 $E=12\text{ V}$, 内阻 $r=3\ \Omega$, $R_0=1\ \Omega$, 直流电动机内阻 $R_0'=1\ \Omega$, 当调节滑动变阻器 R_1 时可使甲电路输出功率最大, 调节 R_2 时可使乙电路输出功率最大, 且此时电动机刚好正常工作(额定输出功率为 $P_0=2\text{ W}$), 则 R_1 和 R_2 的值分别为()。

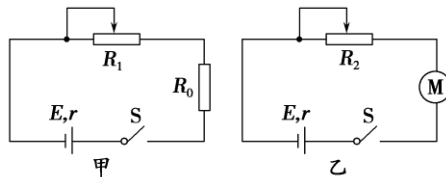


图 7-2-6

- A. $2\ \Omega$, $2\ \Omega$ B. $2\ \Omega$, $1.5\ \Omega$
 C. $1.5\ \Omega$, $1.5\ \Omega$ D. $1.5\ \Omega$, $2\ \Omega$

审题指导 (1)首先认识电路的结构及组成元件.

(2)甲电路输出功率最大 $\xrightarrow{\text{隐含}}$ _____.

(3)题中乙电路是非纯电阻电路, 如何求电源的输出功率?

_____.

(4)在乙电路中，电流 $I = \underline{\hspace{2cm}}$ A 时，输出功率最大

提示 (2)外电阻与电源的内阻相等。

(3)输出功率应根据 $P = IU = I(E - Ir)$ 确定。

(4)由 $P = IU = I(E - Ir)$ 得出： $I = 2$ A 时，输出功率有最大值。

解析 因为题中甲电路是纯电阻电路，当外电阻与电源内阻相等时，电源的输出功率最大，所以 $R_1 = 2 \Omega$ ；而乙电路是含电动机电路，欧姆定律不适用，电路的输出功率 $P = IU = I(E - Ir)$ ，当 $I = \frac{E}{2r} = 2$ A 时，输出功率 P 有最大值，此时电动机的输出功率为 2 W，发热功率为 4 W，所以电动机的输入功率为 6 W，电动机两端的电压为 3 V，电阻 R_2 两端的电压为 3 V，所以 $R_2 = 1.5 \Omega$ ，选项 B 正确。

答案 B

反思总结 对闭合电路功率的两点认识

(1)闭合电路是一个能量转化系统，电源将其他形式的能转化为电能，内外电路将电能转化为其他形式的能， $EI = P_{\text{内}} + P_{\text{外}}$ 就是能量守恒定律在闭合电路中的体现。

(2)外电阻的阻值向接近内阻的阻值方向变化时，电源的输出功率变大。

【跟踪短训】

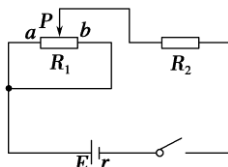


图 7-2-7

3. 如图 7-2-7 所示电路，电源电动势为 E ，串联的固定电阻为 R_2 ，滑动变阻器的总电阻为 R_1 ，电阻大小关系为 $R_1 = R_2 = r$ ，则在滑动触头从 a 端移动到 b 端的过程中，下列描述中正确的是()。

- A. 电路中的总电流先减小后增大
- B. 电路的路端电压先增大后减小
- C. 电源的输出功率先增大后减小
- D. 滑动变阻器 R_1 上消耗的功率先减小后增大

解析 在滑动触头从 a 端移动到 b 端的过程中， R_1 接入电路的电阻(实际上是 R_{ap} 与 R_{bp} 的并联电阻)先增大后减小，所以电路中的总电流先减小后增大，电路的路端电压先增大后减小，A、B 正确；题中 $R_{\text{外}}$ 总大于电源内阻，外电路电阻 $R_{\text{外}}$ 越接近电源内阻，电源输出功率越大，滑动触头从 a 端移动到 b 端的过程中， R_1 接入电路的电阻先增大后减小，电源的输出功率先减小后增大，C 错误；将 $R_2 + r$ 视为电源内阻，在滑动触头从 a 端移动到 b 端的过程中，外电阻 R_1 接入电路的电阻先增大后减小，滑动变阻器 R_1 上消耗的功率先增大后减小，D 错误。

答案 AB

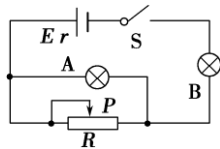


图 7-2-8

4. 如图 7-2-8 所示，闭合开关 S 后，A 灯与 B 灯均发光，当滑动变阻器的滑片 P 向左滑动时，以下说法中正确的是()。

- A. A 灯变亮
- B. B 灯变亮
- C. 电源的输出功率可能减小
- D. 电源的总功率增大

解析 滑动变阻器的滑片 P 向左滑动， R 的阻值增大，外电路的总电阻增大，由闭合电路欧姆定律知，

干路的电流 $I = \frac{E}{R_{\text{外}} + r}$ 减小, 则 B 灯变暗, 路端电压 $U = E - Ir$ 增大, 灯泡 A 两端的电压 $U_A = U - U_B$ 增

大, A 灯变亮, 则 A 选项正确, B 选项错误; 电源的输出功率 $P_{\text{外}} = \frac{E^2}{R_{\text{外}} + 2r + \frac{r^2}{R_{\text{外}}}}$ 可能减小, 电源的总

功率 $P = EI$ 减小, 则 C 选项正确、D 选项错误.

答案 AC

热点三 电源的 $U-I$ 图象的应用

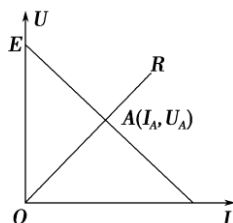


图 7-2-9

1. 根据 $U = E - Ir$ 可知, 电源的 $U-I$ 图线是如图 7-2-9 所示的一条倾斜的直线.

(1) 直线斜率的绝对值表示电源的内阻 r , 纵轴的截距为电源电动势 E .

(2) 直线上任何一点 A 与原点 O 的连线的斜率表示对应的外电路电阻 R .

(3) 图线上每一点的坐标的乘积为对应情况下电源的输出功率, 对于图中的 A 点有 $P_A = U_A I_A$.

2. 对于 $U-I$ 图线中纵坐标 (U) 不从零开始的情况, 图线与横坐标的交点坐标小于短路电流, 但直线斜率的绝对值仍等于电源的内阻.

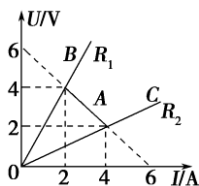


图 7-2-10

【典例 3】如图 7-2-10 所示, 直线 A 为电源的 $U-I$ 图线, 直线 B 和 C 分别为电阻 R_1 、 R_2 的 $U-I$ 图线, 用该电源分别与 R_1 、 R_2 组成闭合电路时, 电源的输出功率分别为 P_1 、 P_2 , 电源的效率分别为 η_1 、 η_2 , 则().

A. $P_1 > P_2$ B. $P_1 = P_2$

C. $\eta_1 > \eta_2$ D. $\eta_1 < \eta_2$

解析 由直线 A 可知, $E = 6 \text{ V}$, $r = 1 \Omega$, 由直线 B 、 C 可知, $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 0.5 \Omega$, $P_1 = \left(\frac{E}{r + R_1}\right)^2 R_1 = 8 \text{ W}$,

$\eta_1 = \frac{R_1}{r + R_1} = \frac{2}{3}$, $P_2 = \left(\frac{E}{r + R_2}\right)^2 R_2 = 8 \text{ W}$, $\eta_2 = \frac{R_2}{r + R_2} = \frac{1}{3}$, 故有: $P_1 = P_2$, $\eta_1 > \eta_2$, 只有 B、C 正确.

答案 BC

反思总结 $U-I$ 图象的一般分析思路

(1) 明确纵、横坐标的物理意义.

(2) 明确图象的截距、斜率及交点的意义.

(3) 找出图线上对应状态的参量或关系式.

(4) 结合相关概念或规律进行分析、计算.

【跟踪短训】

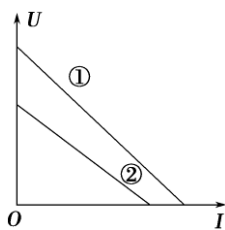
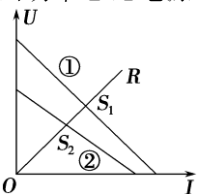


图 7-2-11

5. 如图 7-2-11 所示为两电源的 $U-I$ 图象, 则下列说法正确的是().
- A. 电源①的电动势和内阻均比电源②大
 - B. 当外接同样的电阻时, 两电源的输出功率可能相等
 - C. 当外接同样的电阻时, 两电源的效率可能相等
 - D. 不论外接多大的相同电阻, 电源①的输出功率总比电源②的输出功率大



解析 图线在 U 坐标轴上的截距等于电源电动势, 图线斜率的绝对值等于电源的内阻, 因此 A 正确; 作外接电阻 R 的伏安特性曲线分别交电源①、②的伏安特性曲线于 S_1 、 S_2 两点(如图所示), 交点横、纵坐标的乘积 $IU = P$ 为电源的输出功率, 由图可知, 无论外接多大电阻, 两交点 S_1 、 S_2 横、纵坐标的乘积

不可能相等, 且电源①的输出功率总比电源②的输出功率大, 故 B 错误、D 正确; 电源的效率 $\eta = \frac{P_{\text{出}}}{P_{\text{总}}}$

$\frac{I^2 R}{I^2(R+r)} = \frac{R}{R+r}$, 因此电源内阻不同则电源效率不同, C 错误.

答案 AD

6. 如图 7-2-12 所示, 图中直线①表示某电源的路端电压与电流的关系图象, 图中曲线②表示该电源的输出功率与电流的关系图象, 则下列说法正确的是().

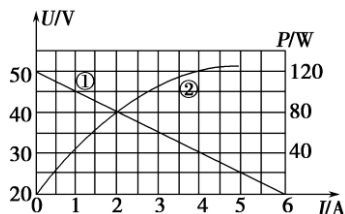


图 7-2-12

- A. 电源的电动势为 50 V
- B. 电源的内阻为 $\frac{25}{3} \Omega$
- C. 电流为 2.5 A 时, 外电路的电阻为 15 Ω
- D. 输出功率为 120 W 时, 输出电压是 30 V

解析 电源的输出电压和电流的关系为: $U = E - Ir$, 显然直线①的斜率的绝对值等于 r , 纵轴的截距为电源的电动势, 从题图中看出截距为 50 V, 斜率的大小等于 $r = \frac{50 - 20}{6 - 0} \Omega = 5 \Omega$, A 正确, B 错误; 当

电流为 $I_1 = 2.5$ A 时, 由回路中电流 $I_1 = \frac{E}{r + R_{\text{外}}}$, 解得外电路的电阻 $R_{\text{外}} = 15 \Omega$, C 正确; 当输出功率为

120 W 时, 由题图中 $P-I$ 关系图线中看出对应干路电流为 4 A, 再从 $U-I$ 图线中读取对应的输出电压为 30 V, D 正确.

答案 ACD

思想方法 12. “等效电源法”的应用

1. 方法概述

等效法是把复杂的物理现象、物理过程转化为简单的物理现象、物理过程来研究和处理的一种科学思想方法.

2. 常见类型

- (1)物理量的等效:如等效电阻、等效电源、等效长度、等效力等.
 (2)过程的等效:如平抛运动可等效为水平方向的匀速直线运动和竖直方向上的自由落体运动.

3. 解题思路

- (1)分析所研究的问题是否属于等效问题.
 (2)确定该问题属于哪一类等效问题.
 (3)分析问题等效后的求解思路.

【典例】

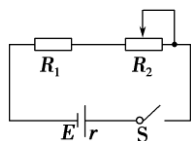


图 7-2-13

如图 7-2-13 所示,已知电源电动势 $E=5\text{ V}$, 内阻 $r=2\ \Omega$, 定值电阻 $R_1=0.5\ \Omega$, 滑动变阻器 R_2 的阻值范围为 $0\sim 10\ \Omega$.

- (1)当滑动变阻器的阻值为多大时,电阻 R_1 消耗的功率最大?最大功率是多少?
 (2)当滑动变阻器的阻值为多大时,滑动变阻器消耗的功率最大?最大功率是多少?
 (3)当滑动变阻器的阻值为多大时,电源的输出功率最大?最大输出功率是多少?

审题指导 求解定值电阻消耗的最大功率时,根据 $P=I^2R$ 可知,只要电流最大即可;求解可变电阻消耗的最大功率时,不能套用上述方法,因为电流随电阻的变化而变化,此时,可以利用电源的输出功率与外电阻的关系进行求解.

解析 (1)定值电阻 R_1 消耗的电功率为 $P_1=I^2R_1=\frac{E^2R_1}{(R_1+R_2+r)^2}$, 可见当滑动变阻器的阻值 $R_2=0$ 时, R_1

消耗的功率最大,最大功率为 $P_{1m}=\frac{E^2R_1}{(R_1+r)^2}=2\text{ W}$.

(2)将定值电阻 R_1 看做电源内阻的一部分,则电源的等效内阻 $r'=R_1+r=2.5\ \Omega$, 故当滑动变阻器的阻值 $R_2=r'=2.5\ \Omega$ 时,滑动变阻器消耗的功率最大,最大功率为 $P_{2m}=\frac{E^2}{4r'}=2.5\text{ W}$

(3)由电源的输出功率与外电阻的关系可知,当 $R_1+R_2=r$, 即 $R_2=r-R_1=(2-0.5)\ \Omega=1.5\ \Omega$ 时,电源有最大输出功率,为 $P_{\text{出}m}=\frac{E^2}{4r}=3.125\text{ W}$.

答案 (1)0 2 W (2)2.5 Ω 2.5 W (3)1.5 Ω

3. 125 W

反思总结 对于电源输出的最大功率问题,可以采用数学中求极值的方法,也可以采用电源的输出功率随外电阻的变化规律来求解.但应当注意的是,当待求的最大功率对应的电阻值不能等于等效电源的内阻时,此时的条件是当电阻值最接近等效电源的内阻时,电源的输出功率最大.

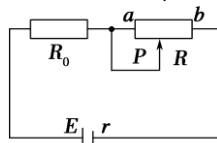


图 7-2-14

即学即练 如图 7-2-14 所示,电动势为 E 、内阻为 r 的电池与定值电阻 R_0 、滑动变阻器 R 串联,已知 $R_0=r$, 滑动变阻器的最大阻值是 $2r$.当滑动变阻器的滑片 P 由 a 端向 b 端滑动时,下列说法中正确的

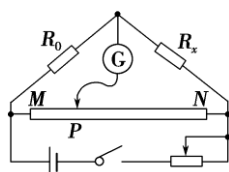
是().

- A. 电路中的电流变大
- B. 电源的输出功率先变大后变小
- C. 滑动变阻器消耗的功率变小
- D. 定值电阻 R_0 上消耗的功率先变大后变小

解析 当滑动变阻器的滑片 P 由 a 端向 b 端滑动时, 外电路电阻减小, 电路中的电流变大, 电源的输出功率变大, 选项 A 正确、B 错误; 把定值电阻 R_0 看成电源内阻, 当滑动变阻器的滑片 P 由 a 端向 b 端滑动时, 滑动变阻器消耗的功率变小, 定值电阻 R_0 上消耗的功率变大, 选项 C 正确、D 错误.

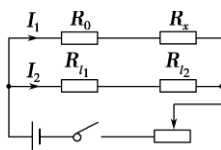
答案 AC

附: 对应高考题组(PPT 课件文本, 见教师用书)



1. (2013 安徽卷, 19)用图示的电路可以测量电阻的阻值. 图中 R_x 是待测电阻, R_0 是定值电阻, G 是灵敏度很高的电流表, MN 是一段均匀的电阻丝. 闭合开关, 改变滑动头 P 的位置, 当通过电流表 G 的电流为零时, 测得 $MP=l_1$, $PN=l_2$, 则 R_x 的阻值为().

- A. $\frac{l_1}{l_2}R_0$
- B. $\frac{l_1}{l_1+l_2}R_0$
- C. $\frac{l_2}{l_1}R_0$
- D. $\frac{l_2}{l_1+l_2}R_0$



解析 电流表 G 中的电流为零, 表示电流表 G 两端电势差为零(即电势相等), 则 R_0 与 R_{l1} 两端电压相等, R_x 与 R_{l2} 两端电压相等, 其等效电路图如图所示. $I_1R_0 = I_2R_{l1}$ ①

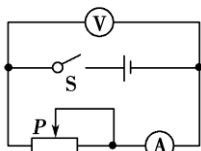
$$I_1R_x = I_2R_{l2} \text{ ②}$$

$$\text{由公式 } R = \rho \frac{l}{S} \text{ 知 } R_{l1} = \rho \frac{l_1}{S} \text{ ③}$$

$$R_{l2} = \rho \frac{l_2}{S} \text{ ④}$$

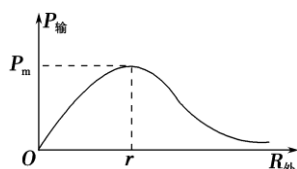
由①②③④式得 $\frac{R_0}{R_x} = \frac{l_1}{l_2}$, 由 $R_x = \frac{l_2}{l_1}R_0$. 选项 C 正确.

答案 C



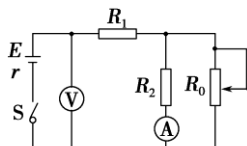
2. (2012 上海卷, 17)直流电路如图所示, 在滑动变阻器的滑片 P 向右移动时, 电源的().

- A. 总功率一定减小
- B. 效率一定增大
- C. 内部损耗功率一定减小
- D. 输出功率一定先增大后减小



解析 滑片 P 向右移动时外电路电阻 $R_{\text{外}}$ 增大，由闭合电路欧姆定律知总电流减小，由 $P_{\text{总}} = EI$ 可得 $P_{\text{总}}$ 减小，故选项 A 正确。根据 $\eta = \frac{R_{\text{外}}}{R_{\text{外}} + r} = \frac{1}{1 + \frac{r}{R_{\text{外}}}}$ 可知选项 B 正确。由 $P_{\text{损}} = I^2 r$ 可知，选项 C 正确。由 $P_{\text{输}} - R_{\text{外}}$ 图象，如图，因不知道 $R_{\text{外}}$ 的初始值与 r 的关系，所以无法判断 $P_{\text{输}}$ 的变化情况，选项 D 错误。

答案 ABC

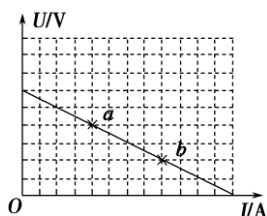


3. (2011 北京理综, 17) 如图所示电路，电源内阻不可忽略。开关 S 闭合后，在变阻器 R_0 的滑动端向下滑动的过程中()。

- A. 电压表与电流表的示数都减小
- B. 电压表与电流表的示数都增大
- C. 电压表的示数增大，电流表的示数减小
- D. 电压表的示数减小，电流表的示数增大

解析 变阻器 R_0 的滑动端向下滑动的过程中，变阻器 R_0 接入电路中的电阻变小，从而使整个电路中的外电阻变小，干路电流变大，内阻 r 分得的电压 $U_{\text{内}} = Ir$ 变大， $U_{\text{外}}$ 变小，电压表示数变小。由 $U_1 = IR_1$ 知 U_1 变大，因 $U_{\text{外}} = U_1 + U_2$ ，故 U_2 变小，由于 $I_2 = \frac{U_2}{R_2}$ ，所以流过 R_2 的电流变小，电流表示数变小，选项 A 正确。

答案 A



4. (2010 课标全国, 19) 电源的效率 η 定义为外电路电阻消耗的功率与电源的总功率之比。在测电源电动势和内阻的实验中得到的实验图线如图所示，图中 U 为路端电压， I 为干路电流， a 、 b 为图线上的两点，相应状态下电源的效率分别为 η_a 、 η_b 。由图可知 η_a 、 η_b 的值分别为()。

- A. $\frac{3}{4}$ 、 $\frac{1}{4}$
- B. $\frac{1}{3}$ 、 $\frac{2}{3}$
- C. $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{2}$
- D. $\frac{2}{3}$ 、 $\frac{1}{3}$

解析 本题考查电路的 $U - I$ 图象以及电源的效率。设电源电动势为 E ， $U - I$ 图象纵轴单位电压为 U_0 ，则可知电源的电动势 E 为 $6U_0$ ，则 a 、 b 两点处对应的路端电压分别为 $4U_0$ 、 $2U_0$ ，电源的效率 $\eta = \frac{UI}{EI} = \frac{U}{E}$ ，所以 $\eta_a = \frac{U_1}{E} = \frac{2}{3}$ ， $\eta_b = \frac{U_2}{E} = \frac{1}{3}$ ，正确选项为 D。

答案 D

活页·作业

知能分级练

题组一 电路的动态分析

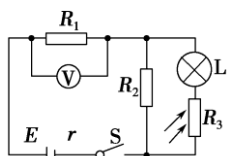


图 7-2-15

1. (单选)在如图 7-2-15 所示的电路中, E 为电源, 其内阻为 r , L 为小灯泡(其灯丝电阻可视为不变), R_1 、 R_2 为定值电阻, R_3 为光敏电阻, 其阻值大小随所受照射光强度的增大而减小, V 为理想电压表. 若将照射 R_3 的光的强度减弱, 则().

- A. 电压表的示数变大 B. 小灯泡消耗的功率变小
C. 通过 R_2 的电流变小 D. 电源内阻的电压变大

解析 若将照射 R_3 的光的强度减弱, 则 R_3 的电阻将增大, 电路中的总电阻将增大, 总电流减小, 故电压表的示数变小, 内电压也减小, A、D 错误; 而电阻 R_2 两端的电压将变大, 通过 R_2 的电流变大, 而总电流减小, 所以通过小灯泡的电流减小, 小灯泡消耗的功率变小, B 正确, C 错误.

答案 B

2. (多选)如图 7-2-16 所示, 四个电表均为理想电表, 当滑动变阻器的滑动触头 P 向左端移动时, 下列说法中正确的是().

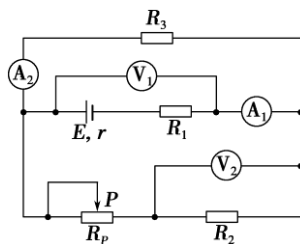


图 7-2-16

- A. 电压表 V_1 的读数减小, 电流表 A_1 的读数增大
B. 电压表 V_1 的读数增大, 电流表 A_1 的读数减小
C. 电压表 V_2 的读数减小, 电流表 A_2 的读数增大
D. 电压表 V_2 的读数增大, 电流表 A_2 的读数减小

解析 当滑动变阻器的滑动触头 P 向左端移动时, 滑动变阻器接入电路的电阻增大, 电路中的总电阻增大, 由闭合电路欧姆定律可知, 干路上的电流减小, 内阻及 R_1 分担的电压减小, 电压表 V_1 的读数增大, 电流表 A_1 的读数减小, 选项 A 错误, B 正确; 由于电压表 V_1 的读数增大, 由部分电路欧姆定律可得通过 R_3 的电流增大, 则电流表 A_2 的读数增大, 由 $I_1 = I_{R_3} + I_{R_2}$ 可知通过 R_2 的电流减小, 则电压表 V_2 的读数减小, 选项 C 正确, D 错误.

答案 BC

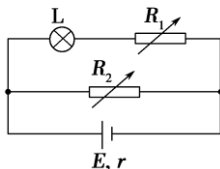


图 7-2-17

3. (多选)在如图 7-2-17 所示的电路中, E 为电源的电动势, r 为电源的内阻, R_1 、 R_2 为可变电阻. 在下列操作中, 可以使灯泡 L 变暗的是().

- A. 仅使 R_1 的阻值增大
B. 仅使 R_1 的阻值减小
C. 仅使 R_2 的阻值增大
D. 仅使 R_2 的阻值减小

解析 若仅使 R_1 的阻值增大, 可得总电阻增大, 干路电流减小, 路端电压增大, R_2 分流增大, 则灯泡 L 分流减小, 灯泡 L 变暗, A 正确; 若仅使 R_1 的阻值减小, 可得总电阻减小, 干路电流增大, 路端电压减小, R_2 分流减小, 则灯泡 L 分流增大, 灯泡 L 变亮, B 错误; 若仅使 R_2 的阻值增大, 可得总电阻增大, 干路电流减小, 路端电压增大, 则灯泡 L 分流增大, 灯泡 L 变亮, C 错误; 若仅使 R_2 的阻值减小, 可得总电阻减小, 干路电流增大, 路端电压减小, 则灯泡 L 分流减小, 灯泡 L 变暗, D 正确.

答案 AD

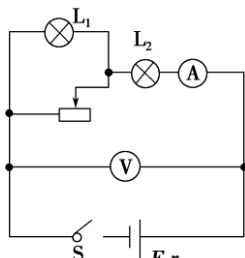


图 7-2-18

4. (多选)如图 7-2-18 所示, 电源电动势为 E , 内阻为 r , 不计电压表和电流表内阻对电路的影响, 当电键闭合后, 两小灯泡均能发光. 在将滑动变阻器的触片逐渐向右滑动的过程中, 下列说法正确的是 ().

- A. 小灯泡 L_1 、 L_2 均变暗
- B. 小灯泡 L_1 变亮, 小灯泡 L_2 变暗
- C. 电流表 A 的读数变小, 电压表 V 的读数变大
- D. 电流表 A 的读数变大, 电压表 V 的读数变小

解析 滑动触片向右滑动的过程中, 滑动变阻器接入电路部分的阻值变大, 电路中的总电阻变大, 总电流变小, 路端电压变大, 故电流表 A 的读数变小, 电压表 V 的读数变大, 小灯泡 L_2 变暗, L_1 两端电压变大, 小灯泡 L_1 变亮, B、C 正确.

答案 BC

题组二 电路的串、并联及图象问题

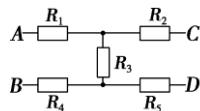


图 7-2-19

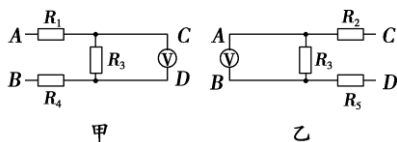
5. (单选)图 7-2-19 所示的电路中, $R_1=20\ \Omega$, $R_2=40\ \Omega$, $R_3=60\ \Omega$, $R_4=40\ \Omega$, $R_5=4\ \Omega$, 下面说法中, 正确的是 ().

- A. 若 $U_{AB}=140\ \text{V}$, C 、 D 端开路, $U_{CD}=84\ \text{V}$
- B. 若 $U_{AB}=140\ \text{V}$, C 、 D 端开路, $U_{CD}=140\ \text{V}$
- C. 若 $U_{CD}=104\ \text{V}$, A 、 B 端开路, $U_{AB}=84\ \text{V}$
- D. 若 $U_{CD}=104\ \text{V}$, A 、 B 端开路, $U_{AB}=60\ \text{V}$

解析 当 C 、 D 两端开路时, R_2 、 R_5 无电流通过, 可以看成是导线, 所以等效电路图为图甲, 测得的电压等于 R_3 两端的电压, 即 $U_{CD} = \frac{R_3}{R_1 + R_4 + R_3} U = 70\ \text{V}$

同理, 当 A 、 B 端开路时, R_1 、 R_4 可以看成是导线, 所以等效电路图为图乙, 测得的电压等于 R_3 两端的电压, 即 $U_{AB} = \frac{R_3}{R_3 + R_2 + R_5} U = 60\ \text{V}$

所以选 D.



答案 D

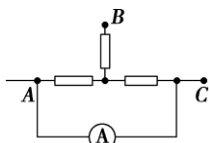
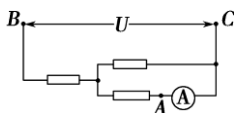


图 7-2-20

6. (单选)如图 7-2-20 所示的电路中, 各个电阻都是 $2\ \Omega$, 电流表内阻不计, 在 B 、 C 两点间加 $6\ \text{V}$ 电压时, 则电流表的示数为().

- A. $0.5\ \text{A}$ B. $1\ \text{A}$
C. $1.5\ \text{A}$ D. $2\ \text{A}$



解析 将电路简化为关系明朗的串并联电路, 如图所示, BC 间的等效电阻为 $R_{BC} = 2\ \Omega + 1\ \Omega = 3\ \Omega$, B 、 C 间的总电流 $I_{BC} = \frac{6}{3}\ \text{A} = 2\ \text{A}$, 由并联电路的电流分配规律得电流表的示数为 $1\ \text{A}$, B 项正确.

答案 B

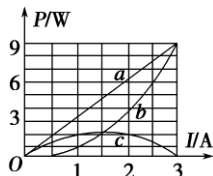


图 7-2-21

7. (多选)如图 7-2-21 所示, 直线 a 、抛物线 b 和曲线 c 分别为某一稳恒直流电源在纯电阻电路中的总功率 P 、电源内部发热功率 P_r 、输出功率 P_R 随电流 I 变化的图象, 根据图象可知().

- A. 电源的电动势为 $9\ \text{V}$, 内阻为 $3\ \Omega$
B. 电源的电动势为 $3\ \text{V}$, 内阻为 $1\ \Omega$
C. 图象中任意电流值对应的 P 、 P_r 、 P_R 间的关系为 $P > P_r + P_R$
D. 电路中的总电阻为 $2\ \Omega$ 时, 外电阻上消耗的功率最大且为 $2.25\ \text{W}$

解析 因为 $P = EI$, $P_r = I^2 r$, $P_R = I^2 R$, 根据直线 a 和抛物线 b 可分别求出, 电源的电动势 $E = 3\ \text{V}$, 内阻 $r = 1\ \Omega$, 选项 A 错误, B 正确; 图象中任意电流值对应的 P 、 P_r 、 P_R 间的关系为 $P = P_r + P_R$, 选项 C 错误; 当电路中的总电阻为 $2\ \Omega$ 时, 外电阻的阻值为 $1\ \Omega$, 即等于电源内阻, 此时干路电流为 $1.5\ \text{A}$, 根据图象, 此时外电阻上消耗的功率最大, 为 $P_R = 1.5^2 \times 1\ \text{W} = 2.25\ \text{W}$, 选项 D 正确.

答案 BD

8. (2013 广东六校联考)(多选)如图 7-2-22 甲所示, 其中 R 两端电压 u 随通过该电阻的直流电流 I 的变化关系如图乙所示, 电源电动势为 $7.0\ \text{V}$ (内阻不计), 且 $R_1 = 1\ 000\ \Omega$ (不随温度变化). 若改变 R_2 , 使 AB 与 BC 间的电压相等, 这时().

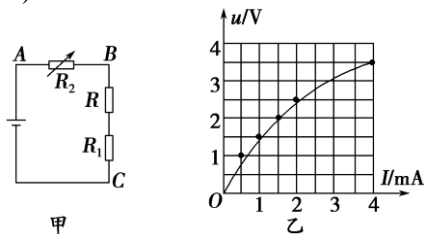
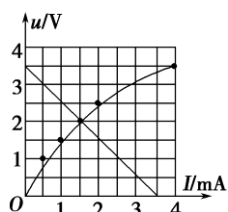


图 7-2-22

- A. R 的阻值为 $1\ 000\ \Omega$
B. R 的阻值为 $1\ 300\ \Omega$
C. 通过 R 的电流为 $1.5\ \text{mA}$
D. 通过 R 的电流为 $2.0\ \text{mA}$



解析 要使 AB 与 BC 间的电压相等, 即有 $E = U_{AB} + U_{BC}$, $U_{AB} = U_{BC}$, 解得 $U_{BC} = 3.5 \text{ V}$. 而 $U_{BC} = U + IR_1$, 联立解得: $U = U_{BC} - IR_1$, 将 $U_{BC} = 3.5 \text{ V}$, $R_1 = 1000 \Omega$ 代入得 $U = 3.5 - 1000I$, 在题给图象中作出函数关系 $U = 3.5 - 1000I$ 的图象, 两图象的交点对应的横纵坐标 $I = 1.5 \text{ mA}$, $U = 2 \text{ V}$ 即为公共解, 由 $IR = U$ 解得 $R = \frac{U}{I} = 1300 \Omega$.

答案 BC

题组三 电路故障分析及含电容器电路分析

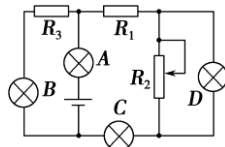


图 7-2-23

9. (单选)如图 7-2-23 所示电路中, 由于某处出现了故障, 导致电路中的 A 、 B 两灯变亮, C 、 D 两灯变暗, 故障的原因可能是().

- A. R_1 短路
- B. R_2 断路
- C. R_2 短路
- D. R_3 短路

解析 A 灯在干路上, A 灯变亮, 说明电路中总电流变大, 由闭合电路欧姆定律可知电路的外电阻减小, 这就说明电路中只会出现短路而不会出现断路, 选项 B 被排除. 因为短路部分的电阻变小, 分压作用减小, 与其并联的用电器上的电压降低, C 、 D 两灯变暗, A 、 B 两灯变亮, 这说明发生短路的电阻与 C 、 D 两灯是并联的, 而与 A 、 B 两灯是串联的. 观察电路中电阻的连接形式, 只有 R_3 短路符合条件. 故应选 D.

答案 D

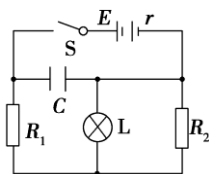


图 7-2-24

10. (多选)在如图 7-2-24 所示的电路中, 电源的电动势 E 和内阻 r 恒定, 闭合开关 S 后灯泡能够发光, 经过一段时间后灯泡突然变亮, 则出现这种现象的原因可能是().

- A. 电阻 R_1 短路
- B. 电阻 R_2 断路
- C. 电阻 R_2 短路
- D. 电容器 C 断路

解析 若 R_1 短路, 则 $R_{总}$ 变小, $I_{总}$ 变大, 通过灯泡 L 的电流变大, 灯泡变亮, A 正确; 若 R_2 断路, 则 $R_{总}$ 变大, $I_{总}$ 变小, $U_{内} = I_{总}r$ 变小, $U_{外}$ 变大, $U_L = U_{外} - U_1$ 变大, 灯泡变亮, 故 B 正确; 若 R_2 短路, 则电流不经过灯泡, 灯泡不亮, C 错误; 若电容器断路, 则总电阻不变, 故灯泡亮度不变, D 错误.

答案 AB

11. (单选)如图 7-2-25 所示, C 为两极板水平放置的平行板电容器, 闭合开关 S , 当滑动变阻器 R_1 、

R_2 的滑片处于各自的中点位置时,悬在电容器 C 两极板间的带电尘埃 P 恰好处于静止状态. 要使尘埃 P 向下加速运动, 下列方法中可行的是().

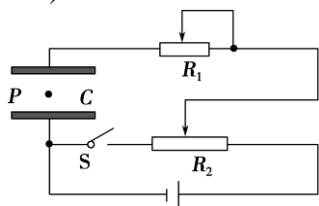


图 7-2-25

- A. 把 R_2 的滑片向左移动 B. 把 R_2 的滑片向右移动
C. 把 R_1 的滑片向左移动 D. 把开关 S 断开

解析 若尘埃 P 处于静止状态, 则重力与电场力平衡. 若尘埃向下加速运动, 则电场力减小, 电容器两极板间的电压减小, 故向左移动 R_2 的滑片可以实现这种变化. 故 A 正确、B 错. 由于稳定时 R_1 支路无电流, 故无论如何移动 R_1 , 电容器两极板间的电压都不会改变, 故尘埃仍平衡, 故 C 错. 断开开关 S, 电容器两极板间电压增大, 这种情况与 B 选项效果相同, 故 D 错.

答案 A

B 深化训练——提高能力技巧

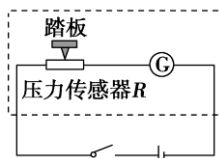


图 7-2-26

12. (多选)有一种测量人体重的电子秤, 其原理图如图 7-2-26 中的虚线所示, 它主要由三部分构成: 踏板、压力传感器 R (是一个阻值可随压力大小而变化的电阻器)、显示体重的仪表 G (实质是理想电流表). 设踏板的质量可忽略不计, 已知理想电流表的量程为 $0 \sim 3 \text{ A}$, 电源电动势为 12 V , 内阻为 2Ω , 电阻 R 随压力变化的函数式为 $R = 30 - 0.02F$ (F 和 R 的单位分别是 N 和 Ω). 下列说法正确的是().

- A. 该秤能测量的最大体重是 1400 N
B. 该秤能测量的最大体重是 1300 N
C. 该秤零刻度线(即踏板空载时的刻度线)应标在电流表 G 刻度盘 0.375 A 处
D. 该秤零刻度线(即踏板空载时的刻度线)应标在电流表 G 刻度盘 0.400 A 处

解析 电路中允许的最大电流为 3 A , 因此根据闭合电路欧姆定律, 压力传感器的最小电阻应满足 $R + 2 \Omega = \frac{12}{3} \Omega$, R 最小为 2Ω , 代入 $R = 30 - 0.02F$, 求出最大 $F = 1400 \text{ N}$, A 项正确, B 项错误; 当 $F = 0$ 时, $R = 30 \Omega$, 这时电路中的电流 $I = \frac{12}{30 + 2} \text{ A} = 0.375 \text{ A}$, C 项正确, D 项错误.

答案 AC

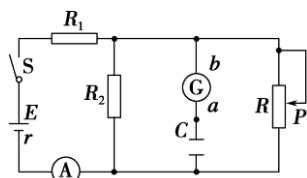


图 7-2-27

13. (2013 肇庆市一模)(单选)在如图 7-2-27 所示的电路中, 电源的电动势为 E , 内阻为 r , 平行板电容器 C 的两金属板水平放置, R_1 和 R_2 为定值电阻, P 为滑动变阻器 R 的滑动触头, G 为灵敏电流表, A 为理想电流表. 开关 S 闭合后, C 的两板间恰好有一质量为 m 、电荷量为 q 的油滴处于静止状态. 在 P 向上移动的过程中, 下列说法正确的是().

- A. A 表的示数变大

- B. 油滴向上加速运动
 C. G 中有由 $a \rightarrow b$ 的电流
 D. 电源的输出功率一定变大

解析 油滴静止时, 它所受的重力等于向上的电场力 $F = qE = \frac{qU_C}{d}$, 在 P 向上移动的过程中, 滑动变阻器的有效电阻变大, 电路的总电阻变大, 由闭合电路欧姆定律, 知电路的总电流 I 变小, 路端电压 $U_{外}$ 变大, 选项 A 错误; 而电阻 R_1 两端的电压 $U_1 = IR_1$ 变小, 由 $U_{外} = U_1 + U_{并}$, 知 $U_{并}$ 变大, $U_C = U_{并}$ 变大, 油滴所受电场力变大, 将向上加速运动, $Q_C = CU_{并}$ 变大, 电容器 C 充电, 电流方向由 $b \rightarrow a$, 则选项 B 正确, C 错误; 电源的输出功率变化不确定, 选项 D 错误.

答案 B

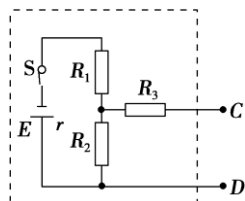


图 7-2-28

14. (多选)如图 7-2-28 所示电路中, 电源电动势 $E = 12 \text{ V}$, 内阻 $r = 2 \Omega$, $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 6 \Omega$, $R_3 = 3 \Omega$. 若在 C 、 D 间连接一个电表或用电器, 则有().
- A. 若在 C 、 D 间连一个理想电压表, 其读数是 6 V
 B. 若在 C 、 D 间连一个理想电压表, 其读数是 8 V
 C. 若在 C 、 D 间连一个理想电流表, 其读数是 2 A
 D. 若在 C 、 D 间连一个“ $6 \text{ V}, 3 \text{ W}$ ”的小灯泡, 则小灯泡的实际功率是 1.33 W

解析 若在 C 、 D 间连一个理想电压表, 根据闭合电路欧姆定律, 有: $I_1 = \frac{E}{R_1 + R_2 + r} = 1 \text{ A}$, 故理想电压表读数为 $U_V = I_1 R_2 = 6 \text{ V}$, A 正确、B 错误; 若在 C 、 D 间连一个理想电流表, 这时电阻 R_2 与 R_3 并联,

并联电阻 $R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 2 \Omega$, 根据闭合电路欧姆定律, 有 $I = \frac{E}{R_1 + R_{23} + r} = 1.5 \text{ A}$, 理想电流表读数为 I'

$= \frac{R_2}{R_2 + R_3} I = 1 \text{ A}$, C 错误; 因为小灯泡的电阻 $R_A = \frac{U_0^2}{P_0} = 12 \Omega$, 将小灯泡连在 C 、 D 之间, R_2 两端的电压

$U_2 = \frac{ER_{23}'}{R_1 + R_{23}' + r} = 5 \text{ V}$, 流过小灯泡的电流大小为 $I_3 = \frac{U_2}{R_A + R_3} = \frac{1}{3} \text{ A}$, 小灯泡的实际功率为 $P' = I_3^2 R_A$

$= \left(\frac{1}{3}\right)^2 \times 12 = 1.33 \text{ W}$, D 正确.

答案 AD

实验七 测定金属的电阻率
 (同时练习使用螺旋测微器)

基本实验要求

必考必会 必记必做

一、螺旋测微器

1. 构造: 如图 1 所示是常用的螺旋测微器. 它的测砧 A 和固定刻度 B 固定在尺架 C 上, 旋钮 D 、微调旋钮 D' 和可动刻度 E 、测微螺杆 F 连在一起, 通过精密螺纹套在 B 上.

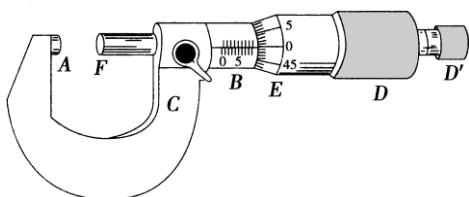


图 1

2. 原理：测微螺杆 F 与固定刻度 B 之间的精密螺纹的螺距为 0.5 mm ，即旋钮 D 每旋转一周， F 前进或后退 0.5 mm ，而可动刻度 E 上的刻度为 50 等份，每转动一小格， F 前进或后退 0.01 mm 。即螺旋测微器的精确度为 0.01 mm 。读数时误差出现在毫米的千分位上，因此，螺旋测微器又叫千分尺。

3. 读数：测量时被测物体长度的整毫米数由固定刻度读出，小数部分由可动刻度读出。

测量值(mm)=固定刻度数(mm)(注意半毫米刻度线是否露出)+可动刻度数(估读一位) $\times 0.01$ (mm)。

温馨提示

螺旋测微器需要估读

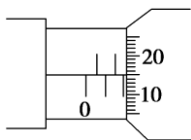


图 2

最后一位数字为估计数字，读数和记数时估计位为有效数字的最后一位。

例如 如图 2 所示，固定刻度示数为 2.0 mm ，不足半毫米从可动刻度上读的示数为 15.0 ，最后的读数为：

$$2.0\text{ mm} + 15.0 \times 0.01\text{ mm} = 2.150\text{ mm}.$$

二、游标卡尺

1. 构造：如图 3 所示，主尺、游标尺(主尺和游标尺上各有一个内外测量爪)、游标尺上还有一个深度尺，尺身上还有一个紧固螺钉。

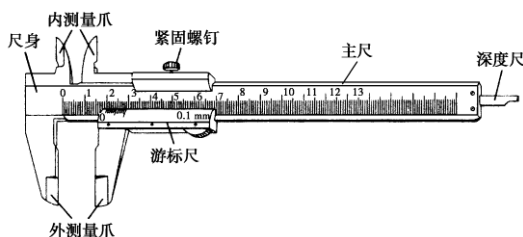


图 3

2. 用途：测量厚度、长度、深度、内径、外径。

3. 原理：利用主尺的最小分度与游标尺的最小分度的差值制成。

不管游标尺上有多少个小等分刻度，它的刻度部分的总长度比主尺上的同样多的小等分刻度少 1 mm 。常见的游标卡尺的游标尺上小等分刻度有 10 个的、 20 个的、 50 个的，其读数见下表：

刻度格数 (分度)	刻度总长度	每小格与 1 mm 的差值	精确度(可准确到)
10	9 mm	0.1 mm	0.1 mm
20	19 mm	0.05 mm	0.05 mm
50	49 mm	0.02 mm	0.02 mm

4. 读数：若用 x 表示由主尺上读出的整毫米数， K 表示从游标尺上读出与主尺上某一刻线对齐的游标的格数，则记录结果表达为 $(x + K \times \text{精确度})\text{ mm}$ 。

三、常用电表的读数

对于电压表和电流表的读数问题，首先要弄清电表量程，即指针指到最大刻度时电表允许通过的最大电压或电流值，然后根据表盘总的刻度数确定精确度，按照指针的实际位置进行读数即可。

(1) $0\sim 3\text{ V}$ 的电压表和 $0\sim 3\text{ A}$ 的电流表读数方法相同，此量程下的精确度是 0.1 V 或 0.1 A ，看清楚指针的实际位置，读到小数点后面两位。

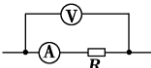
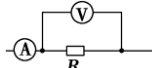
(2) 对于 $0\sim 15\text{ V}$ 量程的电压表，精确度是 0.5 V ，在读数时只要求读到小数点后面一位，即读到 0.1 V 。

(3) 对于 0.6 A 量程的电流表，精确度是 0.02 A ，在读数时只要求读到小数点后面两位，这时要求“半格估读”，即读到最小刻度的一半 0.01 A 。

四、伏安法测电阻

1. 电流表、电压表测电阻两种方法的比较

	电流表内接法	电流表外接法
--	--------	--------

电路图		
误差原因	电流表分压 $U_{\text{测}} = U_x + U_A$	电压表分流 $I_{\text{测}} = I_x + I_V$
电阻测量值	$R_{\text{测}} = \frac{U_{\text{测}}}{I_{\text{测}}} = R_x + R_A > R_x$ 测量值大于真实值	$R_{\text{测}} = \frac{U_{\text{测}}}{I_{\text{测}}} = \frac{R_x R_V}{R_x + R_V} < R_x$ 测量值小于真实值
适用条件	$R_A \ll R_x$	$R_V \gg R_x$
口诀	大内偏大(大电阻用内接法测量, 测量值偏大)	小外偏小(小电阻用外接法测量, 测量值偏小)

2. 伏安法测电阻的电路选择

(1) 阻值比较法: 先将待测电阻的估计值与电压表、电流表的内阻进行比较, 若 R_x 较小, 宜采用电流表外接法; 若 R_x 较大, 宜采用电流表内接法。

(2) 临界值计算法:

$\frac{R_V}{R_x} > \frac{R_x}{R_A}$ 时, 用电流表外接法。

$\frac{R_x}{R_A} > \frac{R_V}{R_x}$ 时, 用电流表内接法。

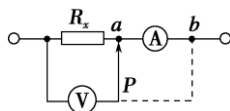
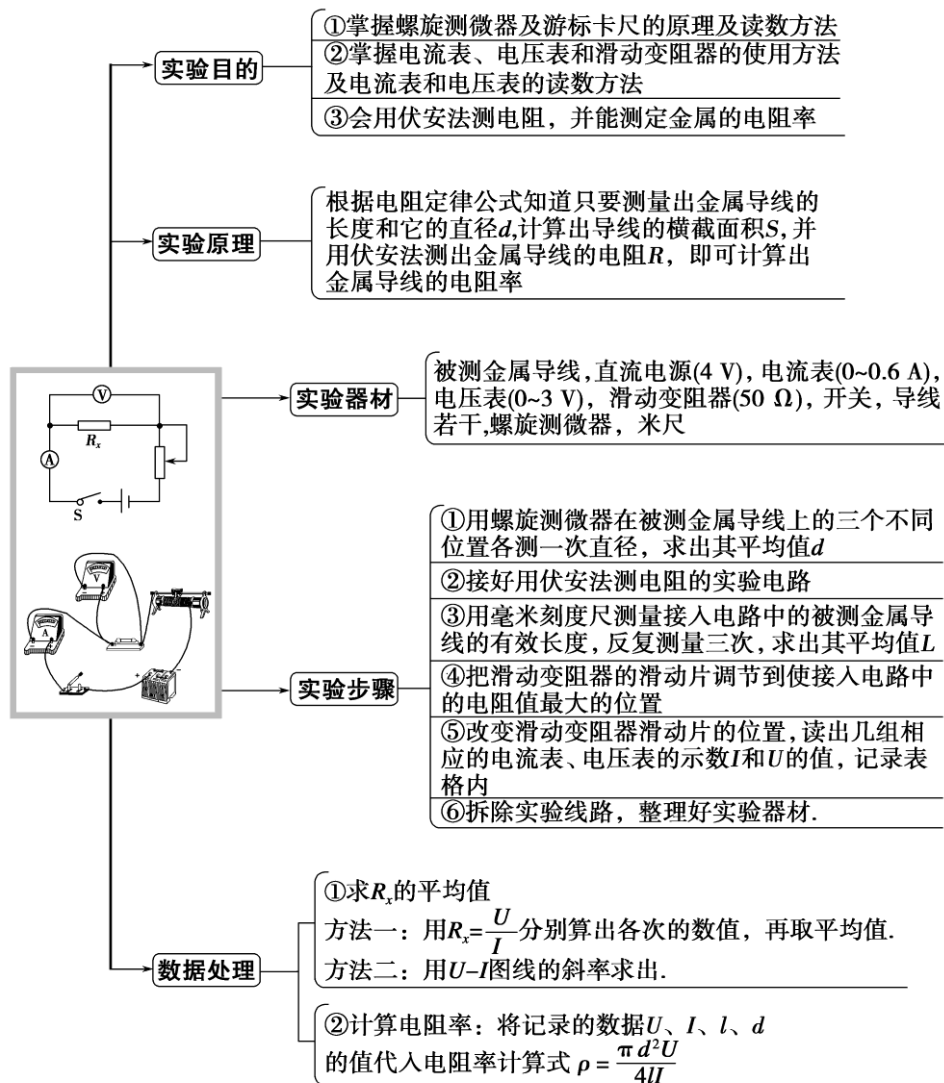


图 4

(3) 实验试探法: 按图 4 接好电路, 让电压表接线柱 P 先后与 a 、 b 处接触一下, 如果电压表的示数有较大的变化, 而电流表的示数变化不大, 则可采用电流表外接法; 如果电流表的示数有较大的变化, 而电压表的示数变化不大, 则可采用电流表内接法。

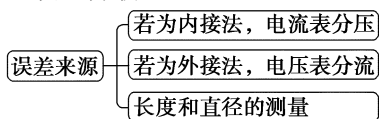
五、测定金属的电阻率



注意事项

1. **先测直径，再连电路**：为了方便，测量直径时应在金属丝连入电路之前测量。
2. **电流表外接法**：本实验中被测金属丝的阻值较小，故采用电流表外接法。
3. **电流控制**：电流不宜过大，通电时间不宜过长，以免金属丝温度过高，导致电阻率在实验过程中变大。

误差分析



热点一 测量仪器、仪表的读数

【典例 1】(1)如图 5 所示的两把游标卡尺, 它们的游标尺从左至右分别为 9 mm 长 10 等分、19 mm 长 20 等分, 它们的读数依次为 _____ mm, _____ mm.

(2)使用螺旋测微器测量两个金属丝的直径, 示数如图 6 所示, 则 a 、 b 金属丝的直径分别为 _____ mm, _____ mm.

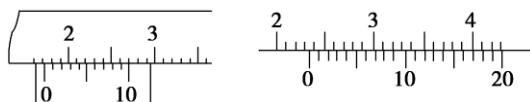


图 5

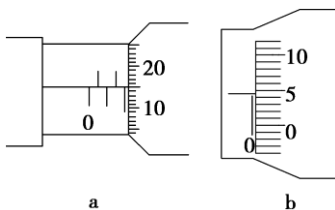


图 6

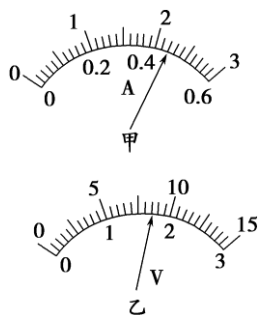


图 7

(3)①图 7 甲用 0.6 A 量程时, 对应刻度盘上每一小格代表 _____ A, 表针的示数是 _____ A; 当使用 3 A 量程时, 对应刻度盘上每一小格代表 _____ A, 图中表针示数为 _____ A.

②图 7 乙使用较小量程时, 每小格表示 _____ V, 图中指针的示数为 _____ V. 若使用的是较大量程, 则这时表盘刻度每小格表示 _____ V, 图中表针指示的是 _____ V.

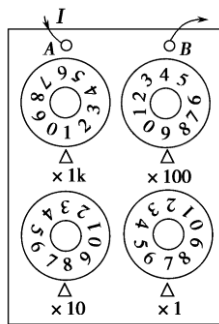


图 8

(4)旋钮式电阻箱如图 8 所示, 电流从接线柱 A 流入, 从 B 流出, 则接入电路的电阻为 _____ Ω . 今欲将接入电路的电阻改为 2087 Ω , 最简单的操作方法是 _____. 若用两个这样的电阻箱, 则可得到的电阻值范围为 _____.

解析 (1)最上面图读数 整毫米是 17, 不足 1 毫米数是 $7 \times 0.1 \text{ mm} = 0.7 \text{ mm}$, 最后结果是 $17 \text{ mm} + 0.7 \text{ mm} = 17.7 \text{ mm}$.

题中右图读数: 整毫米是 23, 不足 1 毫米数是 $17 \times 0.05 \text{ mm} = 0.85 \text{ mm}$, 最后结果是 $23 \text{ mm} + 0.85 \text{ mm} = 23.85 \text{ mm}$.

(2)对图 a: 固定刻度示数为 2.0 mm, 不足半毫米的从可动刻度上读的示数为 15.0, 最后的读数为 2.0 mm

$+ 15.0 \times 0.01 \text{ mm} = 2.150 \text{ mm}.$

对图 b : b 金属丝的直径为 $4.8 \times 0.01 \text{ mm} = 0.048 \text{ mm}.$

(3)①使用 0.6 A 量程时，刻度盘上的每一小格为 0.02 A，指针的示数为 0.44 A；当换用 3 A 量程时，每一小格为 0.1 A，指针示数为 2.20 A.

②电压表使用 3 V 量程时，每小格表示 0.1 V，指针示数为 1.70 V；使用 15 V 量程时，每小格为 0.5 V，指针示数为 8.5 V.

(4)电阻为 1 987 Ω .最简单的操作方法是将“ $\times 1 \text{ k}$ ”旋钮调到 2，再将“ $\times 100$ ”旋钮调到 0.每个电阻箱的最大阻值是 999 Ω ，用这样两个电阻箱串联可得到的最大电阻 $2 \times 999 \text{ } \Omega = 1998 \text{ } \Omega$.故两个这样的电阻箱，则可得到的电阻值范围为 0~1998 Ω .

答案 (1)17.7; 23.85 (2)2.150 0.048 (3)①0.02 0.44 0.1 2.20 ②0.1 1.70 0.5 8.5 (4)1 987 将“ $\times 1 \text{ k}$ ”旋钮调到 2，再将“ $\times 100$ ”旋钮调到 0 0~1998 Ω

反思总结 游标卡尺的读数应注意以下几点：

(1)看清精确度

例如(如图 9 所示)

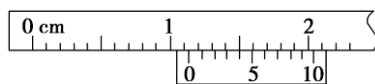


图 9

易错读成 $11 + 4 \times 0.1 \text{ mm} = 11.40 \text{ mm}$

正确的应为 11.4 mm，游标卡尺不需估读，后面不能随意加零，也不能随意去零.

例如(如图 10 所示)

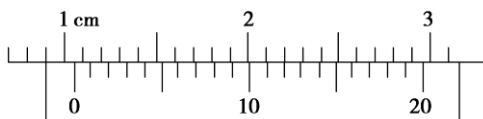


图 10

易错读成 $10 + 12 \times 0.05 \text{ mm} = 10.6 \text{ mm}$ ，正确的应为 10.60 mm.

(2)区分零刻度与标尺最前端

例如(如图 11 所示)

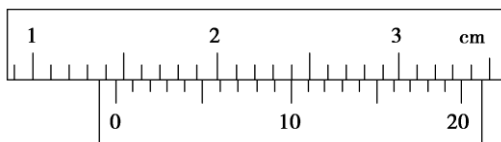


图 11

易错读成 $13 + 10 \times 0.05 \text{ mm} = 13.50 \text{ mm}$

正确读数为 $14 + 10 \times 0.05 \text{ mm} = 14.50 \text{ mm}$

【跟踪短训】

1. 完成下列读数

(1)电流表量程一般有两种——0~0.6 A,0~3 A；电压表量程一般有两种——0~3 V,0~15 V. 如图 12 所示：

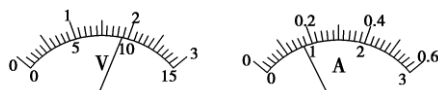
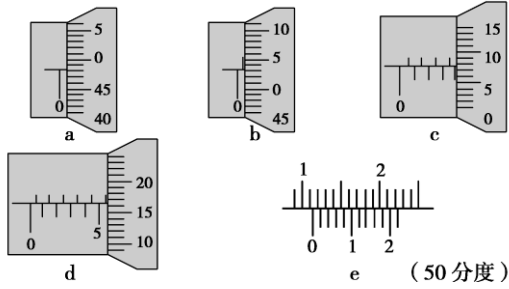


图 12

- ①接 0~3 V 量程时读数为_____ V.
- ②接 0~15 V 量程时读数为_____ V.
- ③接 0~3 A 量程时读数为_____ A.
- ④接 0~0.6 A 量程时读数为_____ A.

(2)



a. _____ mm b. _____ mm c. _____ mm
 d. _____ mm e. _____ mm.

答案 (1)①1.88 ②9.4 ③0.82 ④0.16

(2)a.0.484 b. 0.532 c. 4.078 d. 5.666 e. 11.14

热点二 器材的选择、实验操作及误差分析

【典例 2】 (2013 北京卷, 21)某同学通过实验测定一个阻值约为 $5\ \Omega$ 的电阻 R_x 的阻值.

(1)现有电源(4 V, 内阻可不计)、滑动变阻器($0\sim 50\ \Omega$, 额定电流 2 A)、开关和导线若干, 以及下列电表:

A. 电流表($0\sim 3\ \text{A}$, 内阻约 $0.025\ \Omega$)

B. 电流表($0\sim 0.6\ \text{A}$, 内阻约 $0.125\ \Omega$)

C. 电压表($0\sim 3\ \text{V}$, 内阻约 $3\ \text{k}\Omega$)

D. 电压表($0\sim 15\ \text{V}$, 内阻约 $15\ \text{k}\Omega$)

为减小测量误差, 在实验中, 电流表应选用_____, 电压表应选用_____ (选填器材前的字母); 实验电路应采用图 13 中的_____ (选填“甲”或“乙”).

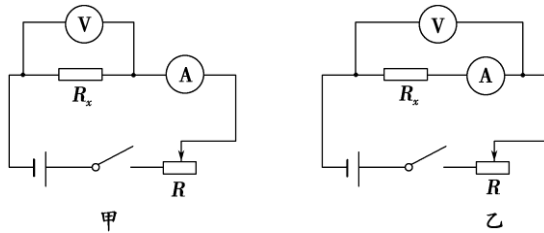


图 13

(2)图 14 是测量 R_x 的实验器材实物图, 图中已连接了部分导线. 请根据在(1)问中所选的电路图, 补充完成图 14 中实物间的连线.

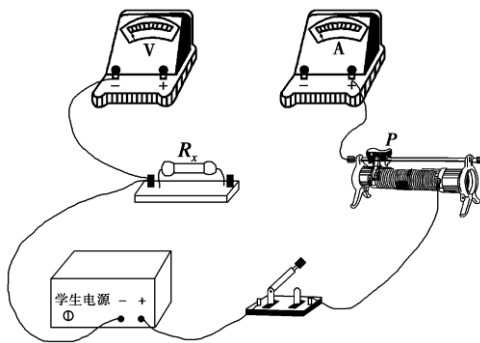


图 14

(3)接通开关, 改变滑动变阻器滑片 P 的位置, 并记录对应的电流表示数 I 、电压表示数 U . 某次电表示数如图 15 所示, 可得该电阻的测量值 $R_x = \frac{U}{I} =$ _____ Ω (保留两位有效数字).

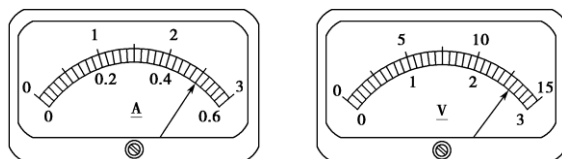


图 15

(4)若在(1)问中选用甲电路, 产生误差的主要原因是_____ ; 若在(1)问中选用乙电路, 产生误差的主要原因是_____ . (选填选项前的字母)

- A. 电流表测量值小于流经 R_x 的电流值
- B. 电流表测量值大于流经 R_x 的电流值
- C. 电压表测量值小于 R_x 两端的电压值
- D. 电压表测量值大于 R_x 两端的电压值

(5)在不损坏电表的前提下,将滑动变阻器滑片 P 从一端滑向另一端,随滑片 P 移动距离 x 的增加,被测电阻 R_x 两端的电压 U 也随之增加,下列反映 $U-x$ 关系的示意图中正确的是_____.

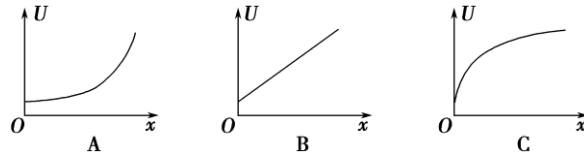
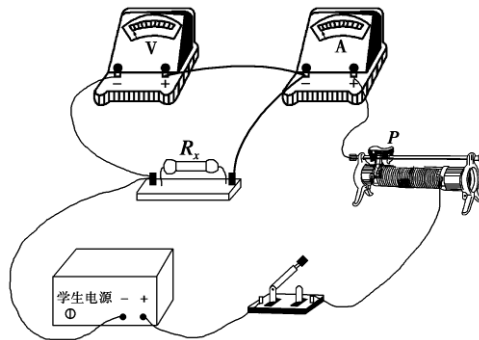


图 16

解析 (1)为了减小误差,应使电流表读数为量程的 $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$,因电源电动势为 4 V ,故电压表应选 C.因此通过被测电阻 R_x 的最大电流 $I_m = \frac{3}{5}\text{ A} = 0.6\text{ A}$,故电流表应选 B,本题测的是一个小电阻,即 $\frac{R_V}{R} > \frac{R}{R_A}$,所以应采用电流表外接法,故采用图甲.

(2)电路连接如图所示



(3)由题图中可读出电流表的读数为 0.50 A ,电压表的读数为 2.6 V ,故 $R_x = \frac{U}{I} = 5.2\ \Omega$.

(4)甲图中引起误差的原因主要是电压表的分流作用,即电流表的测量值大于流经 R_x 的电流值,选项 B 正确.乙图中引起误差的原因主要是电流表的分压作用,即电压表的测量值大于 R_x 两端的电压值,选项 D 正确.

(5)因闭合开关前,滑动变阻器的滑片应处于最大阻值处,设滑动变阻器的总阻值为 R ,两端总长度为 L 则接入电路的阻值为 $R' = \frac{R}{L}(L-x)$,故被测电阻两端的电压 $U = \frac{R_x E}{R_x + \frac{R}{L}(L-x)}$,故选项 A 正确.

答案 (1)B C 甲 (2)如解析图所示 (3)5.2 (4)B D (5)A

反思总结

1. 仪器选择的基本思路

(1)优先考虑安全因素:

各电表的实际读数不能超过其量程,电阻类元件中的实际电流(或电压)不能超过其允许的最大电流(或电压)

(2)考虑读数误差因素:

一般要求各电表的实际读数不小于其量程的 $\frac{1}{3}$,以减小读数误差.

(3)仪器选择的一般步骤:

- ① 首先选择唯一性的器材;
- ② 粗画电路图(暂不接电流表和电压表);

③估算回路中电流和电压的最大值，在电表的指针有较大幅度的偏转但不超过其量程的情况下，结合已知器材的规格，确定实验电路和实验器材。

2. 控制电路的选择

(1)滑动变阻器两种接法的对比

方式 内容	限流接法	分压接法
两种接法电路图		
负载 R 上电压调节范围	$\frac{RE}{R+R_0} \leq U \leq E$	$0 \leq U \leq E$
负载 R 上电流调节范围	$\frac{E}{R+R_0} \leq I \leq \frac{E}{R}$	$0 \leq I \leq \frac{E}{R}$
闭合 S 前触头位置	b 端	a 端

(2)分压和限流电路的选择原则

在下列情况下应选用分压式接法：

- ①待测电阻的阻值远大于滑动变阻器的最大阻值。
- ②题中要求待测电阻上电压变化范围大，且要求从零开始连续调节。
- ③若选用限流式接法，电路中的最小电流仍超过用电器的额定电流。

【跟踪短训】

2. 有一待测的电阻器 R_x ，其阻值在 $40 \sim 50 \Omega$ 之间，实验室准备用来测量该电阻器阻值的实验器材有：

电压表 V(量程 $0 \sim 10 \text{ V}$ ，内阻约 $20 \text{ k}\Omega$)；

电流表 A_1 (量程 $0 \sim 300 \text{ mA}$ ，内阻约 20Ω)；

电流表 A_2 (量程 $0 \sim 800 \text{ mA}$ ，内阻约 4Ω)；

滑动变阻器 R_1 (最大阻值为 10Ω ，额定电流为 2 A)；

滑动变阻器 R_2 (最大阻值为 250Ω ，额定电流为 0.1 A)；

直流电源 E(电动势为 9 V ，内阻约为 0.5Ω)；

开关及若干导线。

实验要求电表读数从零开始变化，并能多测出几组电流、电压值，以便画出 $U-I$ 图线。

(1)电流表应选用_____ (填写器材代号)。

(2)滑动变阻器应选用_____ (填写器材代号)。

(3)请在如图 17 甲所示的方框内画出实验电路图，并将图乙中的器材连接成符合要求的电路。

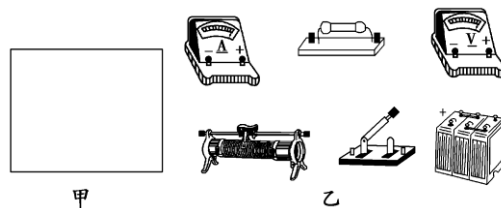
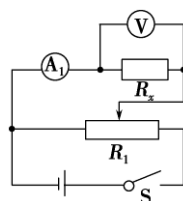


图 17

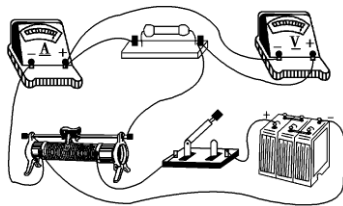
解析 (1)加在待测电阻器上的电压最大值约等于电源的电动势，即为 9 V ，而待测电阻器 R_x 的阻值在 $40 \sim 50 \Omega$ 之间，此时通过待测电阻器的最大电流约为 225 mA ，故电流表应选用 A_1 。



甲

(2)实验要求电表读数从零开始变化,所以滑动变阻器应采用分压式接法,为了调节方便,滑动变阻器选用最大阻值较小的,即 R_1 。

(3)由于待测电阻阻值较小,所以电流表采用外接法,滑动变阻器采用分压式接法,设计的电路图如解析图甲所示,实物连接图如图乙所示。



乙

答案 (1) A_1 (2) R_1 (3)实验电路图如解析图甲所示;实物连接图如解析图乙所示。

拓展创新实验

创新拓展 自主探究

探究高考命题视角

通过对近几年的高考实验试题的研究发现,高考电学实验试题有三个显著的特点:第一,基于教材中的电学实验,着重考查实验原理的改进、实验步骤、误差分析;第二,重视电学的实验方法,问题设置结合科技、生产、生活的实际;第三,基本仪器的使用是考查的热点,实验的器材选择、实际操作是考查的重点,设计型实验是考查的难点,实验的基本原理和思想方法是考查的核心。

视角1 基本仪器的使用及读数(如螺旋测微器、游标卡尺、电压表、电流表及多用电表的读数)

视角2 实验仪器的选择、测量电路、控制电路的选择

视角3 完善基本操作过程

视角4 根据题目给出的实验器材,用所学知识解决实际问题,设计新的实验方案

【典例3】 [2013·重庆卷,6(2)]某同学对有故障的电热毯进行探究.图18是电热毯的电路示意图,其中电热线和导线通过金属接线片连接.图19为测试电路实物图,A、B为测试表笔,电压表内阻很大,可视为理想电表。

①请在下面虚线框内画出与图19对应的电路图。

②断开 K_1 ,用上述测试电路在1和1'之间检测得知电热线无故障,然后测得电热线的 $U-I$ 曲线如图20所示,已知电热线材料的电阻率为 $2.8 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$,电热线的直径为 0.200 mm .可求得此电热线的电阻为 $\underline{\quad}$ $\text{k}\Omega$,总长度为 $\underline{\quad}$ m . (结果均保留两位有效数字)

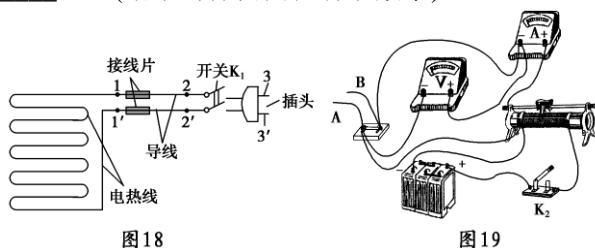


图18

图19

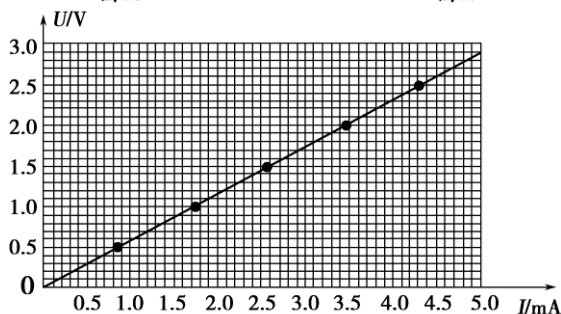


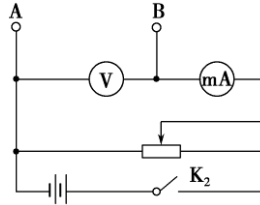
图20

③为了进一步检查故障,该同学闭合开关 K_1 和 K_2 ,用表笔 A 和 B 分别对图18中所示的各点进行测试,部分测试结果如下表所示.由此测试结果可判断出电路有断路,位置在 $\underline{\quad}$ 之间(在“1和2”、

“1' 和 2' ”、“2 和 3”、“2' 和 3' ”中选填一项).

测试点		3 和 3'	1 和 1'	1 和 3	1 和 2'	2' 和 3'
电表指针 有无偏转	电压表	有	有	无	有	无
	电流表	无	有	有	无	有

解析 ① 电路图如下图所示



② $U-I$ 图象可得电热线的电阻为 $R = \frac{U}{I} = \frac{2.5}{4.3 \times 10^{-3}} \Omega \approx 5.8 \times 10^2 \Omega = 0.58 \text{ k}\Omega$, 由电阻定律得 $R = \rho \frac{L}{S} =$

$$\rho \frac{L}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2}, \text{ 所以 } L = \frac{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 R}{\rho}, \text{ 代入已知数据得 } L \approx 65 \text{ m}.$$

③ 根据测试结果判断出断路位置在 1' 和 2' 之间.

答案 ① 电路图见解析图 ② 0.58(0.57 到 0.59 之间均可) 65(64 到 66 均可) ③ 1' 和 2'

【探究跟踪】

某课题组通过实验测量河水的电阻率. 现备有一根均匀的长玻璃管(两端各有一个可移动圆形电极, 可装入样品水, 接触电阻不计)、直尺、待测的水样品. 电路器材如表一, 他们用伏安法多次测量的数据如表二(为实验处理方便, 实验时每次都把电流表示数调到相同); 实验中还用 10 分度的游标卡尺测量了玻璃管的内径, 结果如图 21 甲所示.

表一

器材编号	器材名称	规格
1	电流表	200 μA , 内阻约 10 Ω
2	电压表	12 V, 内阻约 100 k Ω
3	电池组	12 V, 内阻不计
4	滑动变阻器	10 Ω , 1 A
5	开关	
6	导线	若干
7	定值电阻	100 Ω

表二

序号	水柱长度/cm	电压表示数/V	电流表示数/ μA
1	10	2	100
2	20	4	100
3	30	6	100
4	40	8	100
5	50	10	100

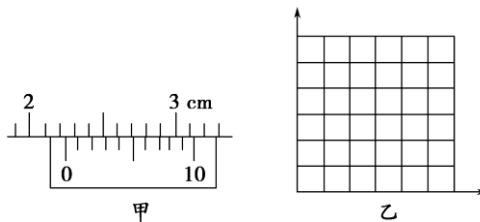


图 21

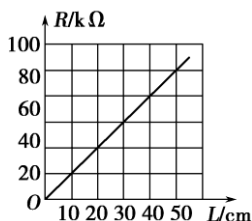
(1) 玻璃管内径 d 的测量值为 _____ cm.

(2) 根据表一器材和表二数据确定测量电路中电流表应该 _____ (填“内接”或“外接”), 电路的连接方式应该采用 _____ (填“分压电路”或“限流电路”).

(3) 用水柱长度 L 与计算出的水柱电阻 R 在图乙中描点, 画出 $R-L$ 图象(要求标出坐标轴的物理量、单

位和对应的数值).

(4)计算出所测水的电阻率为_____Ω·m.



解析 (1)由游标卡尺直接读数得玻璃管内径为 2.26 cm.

(2)电流表内阻 R_A 与电压表内阻 R_V 的乘积远小于待测电阻的平方 R^2 , 故电流表采用内接法, 待测电阻较大, 滑动变阻器阻值较小, 为操作方便, 应该采用分压电路.

(3)由题表二中数据可以计算出不同长度水柱的电阻, $R_1 = \frac{2}{100 \times 10^{-6}} \Omega = 20 \text{ k}\Omega$ 、 $R_2 = 40 \text{ k}\Omega$ 、 $R_3 = 60 \text{ k}\Omega$ 、

$R_4 = 80 \text{ k}\Omega$ 、 $R_5 = 100 \text{ k}\Omega$, 在坐标系中描点得到 $R - L$ 图线如图所示.

(4)取 $L = 30 \text{ cm}$ 时, $R_3 = 60 \text{ k}\Omega$, $d = 2.26 \text{ cm}$, 由电阻定律 $R = \rho \frac{L}{S}$ 得 $\rho = \frac{RS}{L} = \frac{\pi R d^2}{4L}$, 代入数据解得 $\rho = 80.2 \text{ }\Omega \cdot \text{m}$

答案 (1)2.26 (2)内接 分压电路 (3)如解析图所示

(4)80.2

随堂达标演练

通关达标 技能提升

1. (2013 安徽卷, 21 II)(1)在测定一根粗细均匀合金丝电阻率的实验中, 利用螺旋测微器测定合金丝直径的过程如图 22 所示, 校零时的读数为_____mm, 合金丝的直径为_____mm.



图 22

(2)为了精确测量合金丝的电阻 R_x , 设计出如图 23 甲所示的实验电路图, 按照该电路图完成图乙中的实物电路连接.

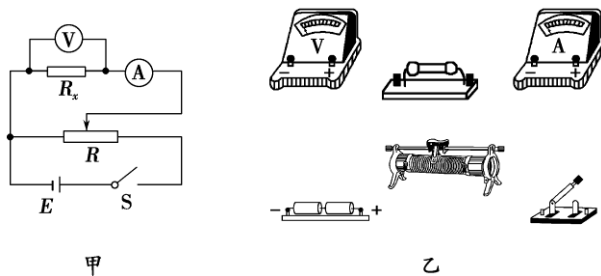
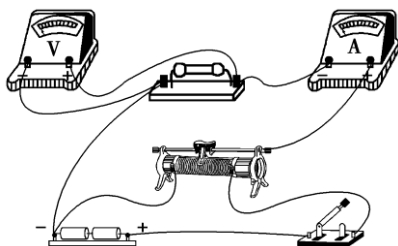


图 23

解析 (1)按照螺旋测微器的读数原则, 校零时的读数为 0.007 mm, 合金丝的直径为 $0.645 \text{ mm} - 0.007 \text{ mm} = 0.638 \text{ mm}$ (在 $0.636 \text{ mm} \sim 0.640 \text{ mm}$ 都算正确).

(2)连线如下图所示.



答案 (1)0.007 0.638(在 0.636 mm~0.640 mm 都算正确) (2)见解析图

2. 某学习小组用伏安法测量一未知电阻 R_x 的阻值, 给定器材及规格为:

电流表 A(量程为 0~5 mA, 内阻约为 10 Ω);

电压表 V(量程为 0~3 V, 内阻约为 3 k Ω);

最大阻值约为 100 Ω 的滑动变阻器;

电源 E(电动势约为 3 V); 开关 S、导线若干.

(1)由于不知道未知电阻的阻值范围, 先采用如图 24 甲所示的电路试测, 读得电压表示数大约为 2.5 V, 电流表示数大约为 5 mA, 则未知电阻 R_x 的阻值大约为 _____ Ω .

(2)经分析, 该电路测量误差较大, 需改进. 请直接在图甲上改画: ①在不需要的连线上画“ \times ”表示, ②补画上需要添加的连线.

(3)对改进的电路进行测量, 并根据测量数据画出了如图乙所示的 $U-I$ 图象, 得 $R_x =$ _____ Ω . (结果保留三位有效数字)

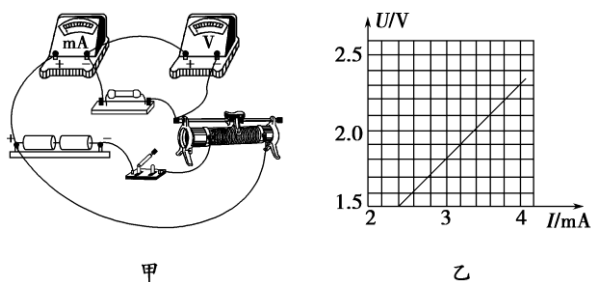


图 24

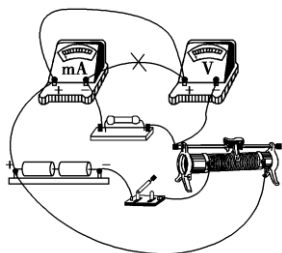
解析 (1)根据图甲测量数据及欧姆定律可得:

$$R_x = \frac{U}{I} = \frac{2.5}{5 \times 10^{-3}} \Omega = 500 \Omega.$$

(2)待测电阻 R_x 约为 500 Ω , 而电压表的内阻约为 3 k Ω , 是待测电阻的 6 倍左右, 电流表的内阻约为 10 Ω , 待测电阻是电流表内阻的 50 倍左右, 显然用电流表外接法电压表的分流比较大, 应该改用电流表内接法.

(3)待测电阻 R_x 的大小就等于图乙中图线的斜率, 即 $R_x = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{2.3 - 1.8}{(4 - 3) \times 10^{-3}} \Omega = 500 \Omega$.

答案 (1)500 (2)如下图所示 (3)500



3. 科学实验是人们认识自然的重要手段. 电学实验中经常需要测量某负载的电阻.

(1)测电阻的方法有多种, 现在有一只标有“220 V, 100 W”的灯泡, 它正常工作时的电阻为 _____ Ω . 若用多用电表的欧姆挡来测量这只灯泡的电阻, 则测出的电阻应 _____ 灯泡正常工作时的电阻(填“大于”、“等于”或“小于”). 这是因为 _____.

(2)请你用下列器材设计一个实验, 测定灯泡正常工作时的电阻.

A. 220 V 交流电源

B. 单刀双掷开关一个

C. 电阻箱一个(0~999 Ω , 额定电流 1 A)

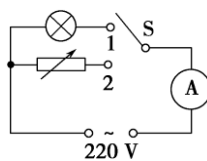
D. 交流电流表一个(0~0.6 A)

E. 导线若干

请画出电路原理图.

解析 (1)根据灯泡的铭牌“220 V, 100 W”得灯泡电阻 $R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{100} \Omega = 484 \Omega$, 因为灯泡电阻随温度变化

而变化，温度越高，电阻越大，所以用多用电表在常温下测量电阻，测出的灯泡电阻一定比灯泡正常工作时的电阻小。



(2)当灯泡正常发光时，其额定电流为 $I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} \text{ A} = \frac{5}{11} \text{ A}$ ，首先让灯泡与电流表串联，灯泡正常发光后，记下电流表指针的位置；然后让电阻箱与电流表串联，调节电阻箱的阻值，直到电流表的读数与上次标记的位置相同，此时电阻箱所显示的阻值就是灯泡正常工作时的阻值，电路原理图如图所示。

答案 (1)484 小于 灯泡电阻随温度变化而变化，温度越高电阻越大 (2)电路原理图见解析

4. 为了测量一只量程为 $0 \sim 3 \text{ V}$ 、内阻值为数千欧的电压表的内阻，可采用一只电流表与它串联后接入电路。

(1)本实验测量电压表内阻依据的公式是_____。

(2)若提供的实验器材有：

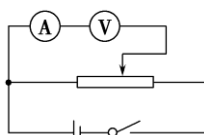
- A. 待测电压表；
- B. 电流表 A_1 ($0 \sim 0.6 \text{ A}$ ，内阻约 0.2Ω)；
- C. 电流表 A_2 ($0 \sim 100 \text{ mA}$ ，内阻约 2Ω)；
- D. 电流表 A_3 ($0 \sim 10 \text{ mA}$ ，内阻约 50Ω)；
- E. 滑动变阻器($0 \sim 50 \Omega$ ，额定电流 0.5 A)；
- F. 直流电源(输出电压 6 V)；
- G. 开关、导线。

为减小读数误差，多次测量取平均值。为顺利完成实验，应选用的实验器材为_____ (填英文序号)。

(3)画出实验电路图

解析 测量电压表内阻依据的实验原理是部分电路欧姆定律，可得 $R_V = \frac{U}{I}$ ；根据电压表的量程和大约阻值，可估算最大电流值，故选电流表 A_3 ，滑动变阻器的总阻值远小于电压表内阻，故应采用分压式接法。

答案 (1) $R_V = \frac{U}{I}$ (2)A、D、E、F、G (3)如下图所示



5. 实际电流表有内阻，可等效为理想电流表与电阻的串联。测量实际电流表 G_1 内阻 r_1 的电路如图 25 所示。供选择的仪器如下：

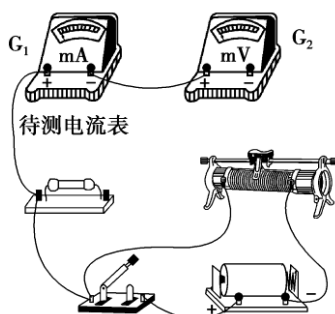


图 25

- ①待测电流表 G_1 ($0 \sim 5 \text{ mA}$ ，内阻约 300Ω)；
- ②电流表 G_2 ($0 \sim 10 \text{ mA}$ ，内阻约 100Ω)；
- ③定值电阻 R_1 (300Ω)；
- ④定值电阻 R_2 (10Ω)；
- ⑤滑动变阻器 R_3 ($0 \sim 1\,000 \Omega$)；
- ⑥滑动变阻器 R_4 ($0 \sim 20 \Omega$)；

⑦干电池(1.5 V);

⑧电键 S 及导线若干.

(1)定值电阻应选_____，滑动变阻器应选_____。(填写序号)

(2)将实物图连接完整.

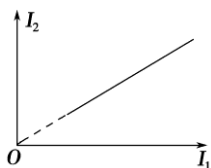


图 26

(3)补全实验步骤: ①连接好实验电路, 将滑动触头移至最_____端(填“左”或“右”);

②闭合电键 S, 移动滑动触头至某一位置, 记录 G₁、G₂ 的读数 I₁、I₂;

③多次移动滑动触头, 记录相应的 G₁、G₂ 读数 I₁、I₂;

④以 I₂ 为纵坐标, I₁ 为横坐标, 作出相应图线, 如图 26 所示.

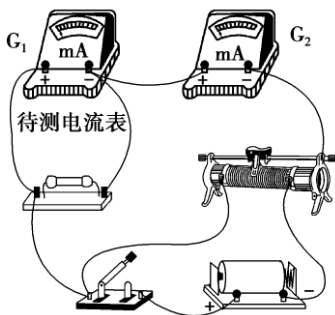
(4)根据 I₂ - I₁ 图线的斜率 k 及定值电阻, 写出待测电流表内阻的表达式:

解析 根据实验原理, 待测电阻 $r_1 = \frac{I_2 - I_1}{I_1} R$, 因为两电流表的量程之差与待测电流表的量程相当, 所以与 G₁ 并联的定值电阻的阻值与 r₁ 差不多, 约为 300 Ω, 故定值电阻选 R₁; 滑动变阻器用的是分压式接

法, 应选用阻值较小的变阻器, 选 R₄. 由 $r_1 = \frac{I_2 - I_1}{I_1} R_1 = (k - 1) R_1$, 解得 $r_1 = (k - 1) R_1$.

答案 (1)③ ⑥ (2)如下图所示 (3)左

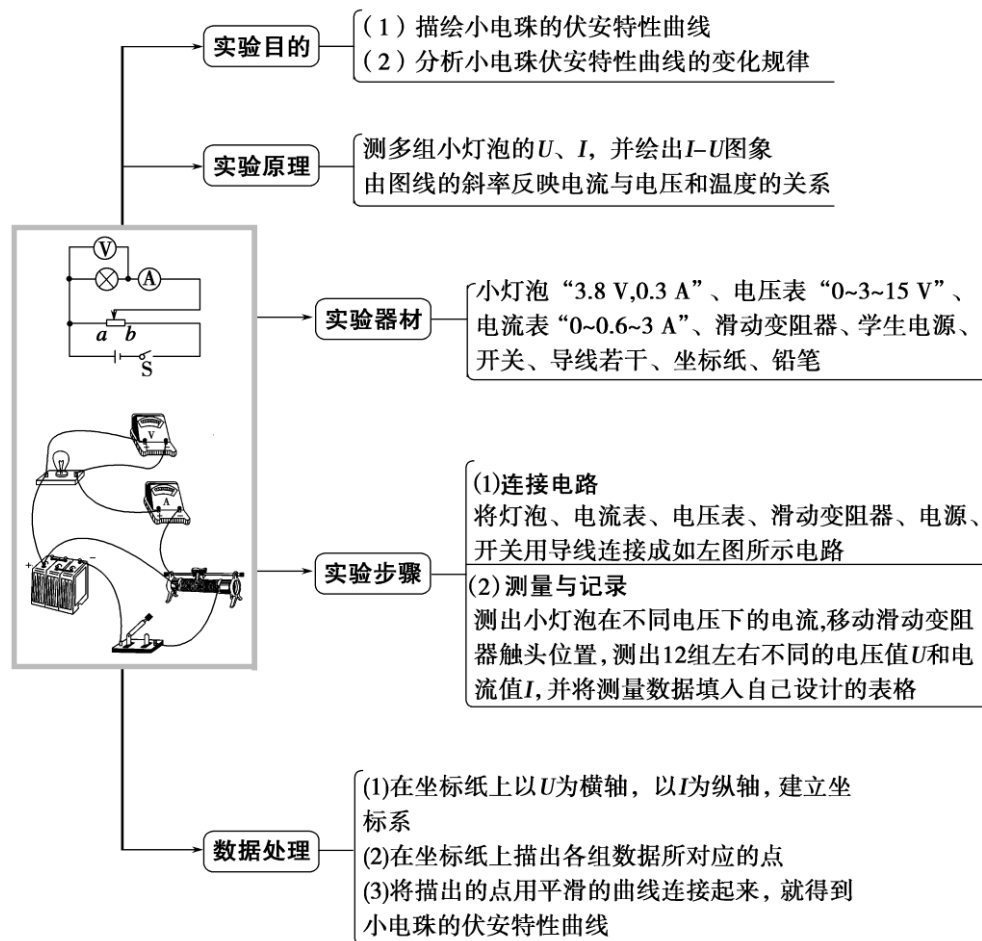
(4) $r_1 = (k - 1) R_1$



实验八 描绘小电珠的伏安特性曲线

基本实验要求

必考必会 必记必做



注意事项

1. **电流表外接法**：本实验中被测小灯泡灯丝的电阻值较小，因此测量电路必须采用电流表外接法。
2. **滑动变阻器应采用分压式连接**
本实验要作出 $U-I$ 图线，要求测出一组包括零在内的电流、电压值，故控制电路必须采用分压接法。
3. **保护元件安全**：为保护元件不被烧毁，开关闭合前变阻器滑片应位于图中的 a 端。加在小电珠两端的电压不要超过其额定电压。

误差分析

1. 由于电压表不是理想电表，内阻并非无穷大，对电路的影响会带来误差，电流表外接，由于电压表的分流，使测得的电流值大于真实值。
2. 测量时读数带来误差。
3. 在坐标纸上描点、作图带来误差

实验热点聚焦

考向预测 热点聚焦

热点一 对实验原理及注意事项的考查

【典例 1】(2012 安徽卷, 21 II) 图 1 为“测绘小灯泡伏安特性曲线”实验的实物电路图，已知小灯泡额定电压为 2.5 V。

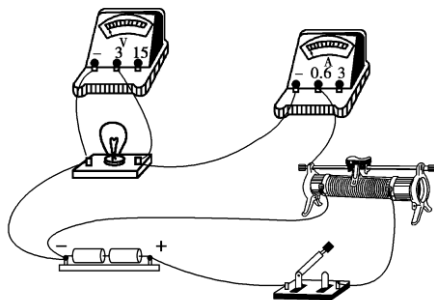
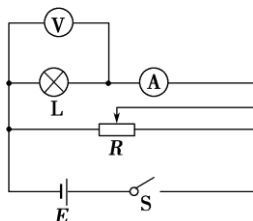


图 1

(1)完成下列实验步骤:

- ①闭合开关前, 调节滑动变阻器的滑片, _____;
 - ②闭合开关后, 逐渐移动变阻器的滑片, _____;
 - ③断开开关, ……根据实验数据在方格纸上作出小灯泡灯丝的伏安特性曲线.
- (2)在虚线框中画出与实物电路相应的电路图.

解析



(1)滑动变阻器为分压式接法, 故闭合开关前, 灯泡两端的电压为零, 调节滑动变阻器的滑片, 使它靠近滑动变阻器左端的接线柱. 闭合开关后, 逐渐移动滑动变阻器的滑片, 增加小灯泡两端的电压, 记录电流表和电压表的多组读数, 直至电压达到额定电压.

(2)与实物电路相应的电路图如图所示.

答案 (1)①使它靠近滑动变阻器左端的接线柱 ②增加小灯泡两端的电压, 记录电流表和电压表的多组读数, 直至电压达到其额定电压 (2)如解析图所示

【跟踪短训】

1. 某同学在探究规格为“6 V, 3 W”的小电珠伏安特性曲线实验中:

(1)在小电珠接入电路前, 使用多用电表直接测量小电珠的电阻, 则应将选择开关旋至_____挡进行测量. (填选项前的字母)

- A. 直流电压 10 V B. 直流电流 5 mA
C. 欧姆 $\times 100$ D. 欧姆 $\times 1$

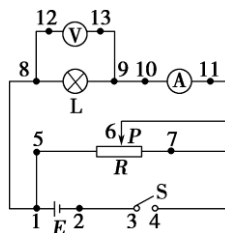


图 2

(2)该同学采用图 2 所示的电路进行测量. 图中 R 为滑动变阻器(阻值范围 $0 \sim 20 \Omega$, 额定电流 1.0 A), L 为待测小电珠, V 为电压表(量程 6 V, 电阻 $20 \text{ k}\Omega$), A 为电流表(量程 0.6 A, 内阻 1Ω), E 为电源(电动势 8 V, 内阻不计), S 为开关.

- I. 在实验过程中, 开关 S 闭合前, 滑动变阻器的滑片 P 应置于最_____端; (填“左”或“右”)
- II. 在实验过程中, 已知各元件均无故障, 但闭合开关 S 后, 无论如何调节滑片 P , 电压表和电流表的示数总是调不到零, 其原因是_____点至_____点的导线没有连接好; (图中的黑色小圆点表示接线点, 并用数字标记, 空格中请填写图 2 中的数字)

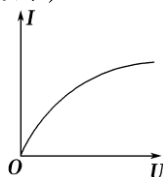


图 3

III. 该同学描绘出小电珠的伏安特性曲线示意图如图 3 所示, 则小电珠的电阻值随工作电压的增大而_____。(填“不变”、“增大”或“减小”)

解析 (1)因小电珠正常发光时的电阻 $R = \frac{U^2}{P} = \frac{36}{3} \Omega = 12 \Omega$, 小电珠未接入电路的电阻要比正常发光时小

得多(因温度的影响), 故用多用电表测未接入电路的小电珠的电阻, 应选 D.

(2)I. 在实验时, 闭合开关前, 应使用电器的电压、电流为最小值, 故应使滑片 P 置于最左端.

II. 若 1 点到 5 点未接好, 则电路成为滑动变阻器的限流式电路.

III. 在 $I-U$ 图象中的每一点与 O 点连线的斜率逐渐减小, 即电阻的倒数减小, 所以电阻增大.

答案 (1)D (2)I. 左 II. 1 5(或 5 1) III. 增大

热点二 对电路的连接和实验数据处理的考查

【典例 2】在做“描绘小灯泡的伏安特性曲线”的实验时, 所用器材有: 电动势为 6 V 的电源, 额定电压为 2.5 V 的小灯泡, 以及符合实验要求的滑动变阻器、电流表、电压表、开关和导线, 要求能测出尽可能多的数据, 图 4 甲所示是没有连接完的实物电路. (已连接好的导线有 a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 六根)

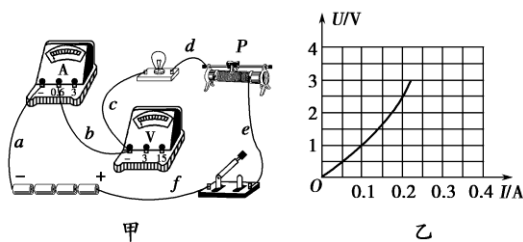


图 4

(1)请你用笔画线代替导线, 将实物电路连接完整.

(2)连好电路, 闭合开关, 移动滑片 P 到某处, 电压表的示数为 2.2 V , 若要测量小灯泡的额定功率, 应将滑片 P 向_____ (填“左”或“右”)端滑动.

(3)通过移动滑片 P , 分别记下了多组对应的电压表和电表示数, 并绘制成了如图乙所示的 $U-I$ 图线, 根据 $U-I$ 图线提供的信息, 可计算出小灯泡的额定功率为_____ W .

(4)小灯泡的 $U-I$ 图线是曲线而不是过原点的直线, 原因是_____.

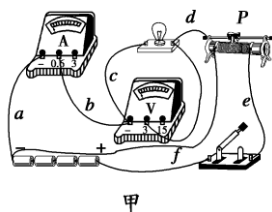
解析 (1)小灯泡的电阻很小, 因此采用电流表外接法; 实验时, 要求小灯泡两端电压从 0 逐渐增大到额定电压, 滑动变阻器应采用分压式接法. 实物电路如答案图所示.

(2)将滑片 P 向右端滑动, 可以增大灯泡两端的电压.

(3)根据 $U-I$ 图象可知, $U=2.5\text{ V}$ 时, $I=0.2\text{ A}$, 所以小灯泡的额定功率为 $P=UI=0.5\text{ W}$.

(4) $U-I$ 图线上各点与原点连线的斜率表示灯丝的电阻, 图线是曲线而不是过原点的直线, 这是因为灯丝的电阻会随温度的升高而增大.

答案 (1)如图所示 (2)右 (3)0.5 (4)灯丝的电阻会随温度的升高而增大



甲

反思总结 实物连线的原则

1. 先串后并, 接线到柱, 注意量程和正负.

2. 对限流电路, 用笔画线代替导线, 从电源正极开始, 把电源、开关、滑动变阻器、“伏安法”四部分依次串联起来即可(注意电表的正负接线柱和量程, 滑动变阻器应调到阻值最大处).

3. 对分压电路, 应该先把电源、开关和滑动变阻器的全部电阻丝三部分用导线连接起来, 然后在滑动变阻器电阻丝两端之中任选一个接头, 比较该接头和滑动触头两点的电势高低, 根据“伏安法”部分电表正负接线柱的情况, 将“伏安法”部分接入该两点间.

【跟踪短训】

2. 在“描绘小电珠的伏安特性曲线”实验中, 所用器材有: 小电珠(2.5 V , 0.6 W), 滑动变阻器, 多用电

表, 电流表, 学生电源, 开关, 导线若干.

(1)粗测小电珠的电阻, 应选择多用电表_____倍率的电阻挡(请填写“ $\times 1$ ”“ $\times 10$ ”或“ $\times 100$ ”); 调零后, 将表笔分别与小电珠的两极连接, 示数如图 5 甲所示, 结果为_____ Ω .

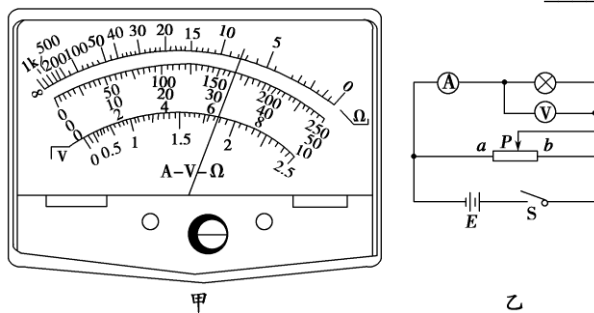


图 5

(2)实验中使用多用电表测量电压, 请根据实验原理图乙完成实物图 6 中的连线.

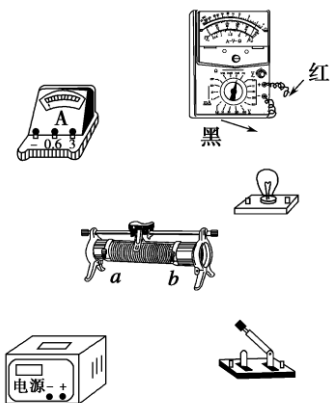


图 6

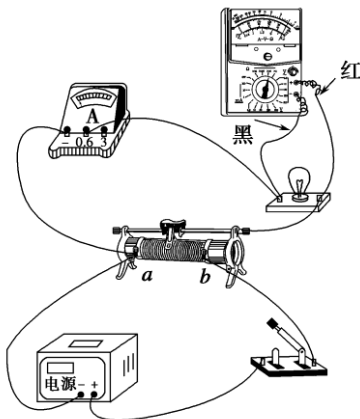
(3)开关闭合前, 应将滑动变阻器的滑片 P 置于_____端. 为使小电珠亮度增加, P 应由中点向_____端滑动.

(4)下表为电压等间隔变化测得的数据, 为了获得更准确的实验图象, 必须在相邻数据点_____间多测几组数据(请填写“ ab ”“ bc ”“ cd ”“ de ”或“ ef ”).

数据点	a	b	c	d	e	f
U/V	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
I/A	0.000	0.122	0.156	0.185	0.216	0.244

解析 (1)因为小电珠的电阻比较小, 故应该选“ $\times 1$ ”倍率, 由题图读得电阻为 7.5Ω .

(2)因为小电珠的电阻比较小, 故伏安法测量时应该用电流表外接法, 测量的电压应该从零开始, 故滑动变阻器要用分压式接法, 实物连接如图所示.



(3)开关闭合前滑片 P 应置于 a 端, 为了使小电珠亮度增加, 应使滑片从中点向 b 端滑动.

(4) ab 之间的电流增加了 $0.122 A$, 其他段电流依次增加了 $0.03 A$ 左右, 所以需要在 ab 之间将电流分为

0.030 A、0.060 A、0.090 A，分别测出相应的电压值。

答案 (1)×1 7.5 (2)见解析图 (3)a b (4)ab

拓展创新实验

创新拓展 自主探究

探究高考命题视角

以本实验为背景，通过改变实验条件、实验仪器设置题目，不脱离教材而又不拘泥教材，体现开放性、探究性等特点。

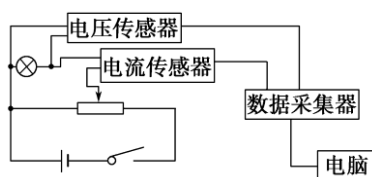
视角1 以实验原理及实验方法为基础，探究小灯泡功率与电压的关系，如典例3。

视角2 图象法处理数据及实物连线

视角3 实验仪器的选择及控制电路的选择

视角4 数据处理方式的改进

采用“DIS”数字化实验系统进行实验数据的采集和处理。



【典例3】(2013 江苏卷, 10)为探究小灯泡的电功率 P 和电压 U 的关系, 小明测量小灯泡的电压 U 和电流 I , 利用 $P=UI$ 得到电功率. 实验所使用的小灯泡规格为“3.0 V, 1.8 W”, 电源为 12 V 的电池, 滑动变阻器的最大阻值为 10 Ω .

(1)准备使用的实物电路如图 7 所示. 请将滑动变阻器接入电路的正确位置.(用笔画线代替导线)

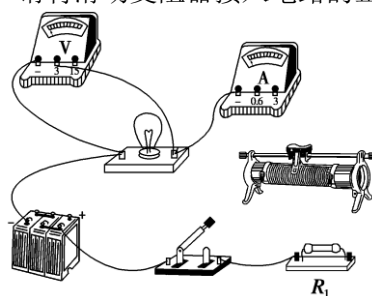


图 7

(2)现有 10 Ω 、20 Ω 和 50 Ω 的定值电阻, 电路中的电阻 R_1 应选 _____ Ω 的定值电阻.

(3)测量结束后, 应先断开开关, 拆除 _____ 两端的导线, 再拆除其他导线, 最后整理好器材.

(4)小明处理数据后将 P 、 U^2 描点在坐标纸上, 并作出了一条直线, 如图 8 所示. 请指出图象中不恰当的地方.

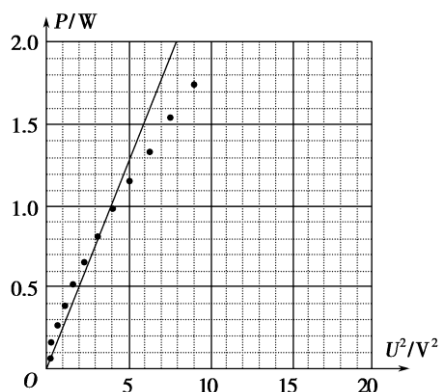


图 8

解析 (1)从 $P - U^2$ 图象上描出的点可知, 小灯泡两端的电压从 0 开始逐渐增大, 故滑动变阻器采用分压

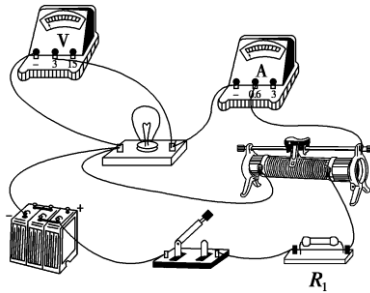
电路. 根据 $P=IU$ 知, 通过小灯泡的最大电流 $I=\frac{P}{U}=0.6\text{ A}$, 故电流表选 $0\sim 0.6\text{ A}$ 的量程. 实物电路如答案中图所示.

(2)由小灯泡规格可知, 小灯泡允许通过的最大电流为 0.6 A , 故要求接入 R_1 后, 电路中的总电流要不小于 0.6 A , 根据 $I=\frac{E}{R}$ 得总电阻 $R=\frac{E}{I}=\frac{12}{0.6}\ \Omega=20\ \Omega$, 故 R_1 应选 $10\ \Omega$ 的定值电阻.

(3)为了实验仪器的安全, 防止电源短路及误将电源与其他电路接通, 所以断开开关后, 先拆除电池两端的导线, 再拆除其他导线.

(4)从坐标纸上所描点可以看出这些点不近似在一条直线上, 应为曲线, 小明作出了一条直线不合适. 作图时应使这些点占据整个坐标纸, 而小明的横坐标只用了一半, 所以小明横坐标的标度选择不合适.

答案 (1)如图所示 (2)10 (3)电池



(4)图线不应画为直线, 横坐标的标度选择不合适.

【探究跟踪】

某同学测绘标有“ $4.8\text{ V}, 0.3\text{ A}$ ”字样的小灯泡的电功率 P 随电压 U 变化的图象, 要使小灯泡两端的电压从 0 到 4.8 V 连续变化, 为了使测量尽可能准确, 除了导线和开关外, 可供选择的仪器还有:

- A. 电流表(量程为 0.6 A , 内阻约为 $1\ \Omega$)
- B. 电流表(量程为 3 A , 内阻约为 $0.2\ \Omega$)
- C. 电压表(量程为 6 V , 内阻约为 $2\text{ k}\Omega$)
- D. 电压表(量程为 15 V , 内阻约为 $4.5\text{ k}\Omega$)
- E. 滑动变阻器(阻值范围为 $0\sim 20\ \Omega$, 额定电流为 2 A)
- F. 滑动变阻器(阻值范围为 $0\sim 2\text{ k}\Omega$, 额定电流为 0.5 A)
- G 电池组(电动势为 6 V , 内阻约为 $1\ \Omega$)

(1)选用的器材代号为_____.

(2)在图 9 甲所示的虚线框中画出实验电路图.

(3)根据实验测量的数据描出 $P-U$ 图象, 如图乙所示, 小灯泡在 1.5 V 电压下的阻值为_____ Ω .

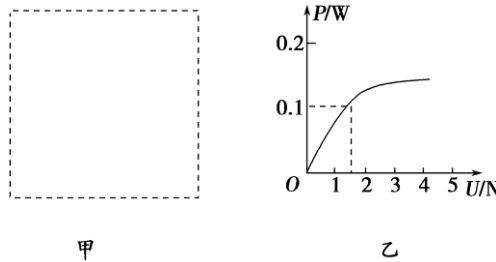
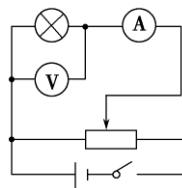


图 9



解析 (1)依题意可知, 实验要求小灯泡两端的电压从 0 到 4.8 V 连续变化, 所以滑动变阻器采用分压式

接法；又因小灯泡的电阻 $R = \frac{U}{I} = \frac{4.8}{0.3} \Omega = 16 \Omega$ ，所以滑动变阻器选用阻值范围较小的 E 即可；因电池组电动势为 6 V，为保证电压表读数的准确性，电压表应选量程为 6 V 的 C；因小灯泡的额定电流为 0.3 A，为保证电流表读数的准确性，电流表应选量程为 0.6 A 的 A；电池组只能选 G，故选用的器材代号为 ACEG。

(2) 根据第(1)问的分析可知，滑动变阻器采用分压式接法，电流表采用外接法。

(3) 由题图乙可知，当加在小灯泡两端的电压为 1.5 V 时，其消耗的功率为 0.1 W，将以上两个数据代入 $R = \frac{U^2}{P}$ 得 $R = 22.5 \Omega$ 。

答案 (1)ACEG (2)如解析图所示 (3)22.5

随堂达标演练

通关达标 技能提升

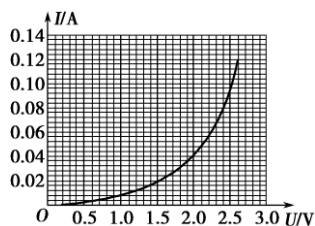


图 10

1. 某研究性学习小组为了制作一种传感器，需要选用一电器元件。如图 10 所示为该电器元件的伏安特性曲线，有同学对其提出质疑，先需进一步验证该伏安特性曲线，实验室备有下列器材：

器材(代号)	规格
电流表(A ₁)	量程 0~50 mA，内阻约为 50 Ω
电流表(A ₂)	量程 0~200 mA，内阻约为 10 Ω
电压表(V ₁)	量程 0~3 V，内阻约为 10 kΩ
电压表(V ₂)	量程 0~15 V，内阻约为 25 kΩ
滑动变阻器(R ₁)	阻值范围 0~15 Ω，允许最大电流 1 A
滑动变阻器(R ₂)	阻值范围 0~1 kΩ，允许最大电流 100 mA
直流电源(E)	输出电压 6 V，内阻不计
电键(S)、导线若干	

(1) 为提高实验结果的准确程度，电流表应选用_____；电压表应选用_____；滑动变阻器应选用_____。(以上均填器材代号)

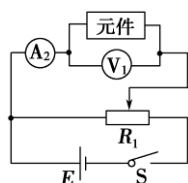
(2) 为达到上述目的，请在虚线框内画出正确的实验电路原理图，并标明所用器材的代号。



解析 (1) 图象中电流在 0~0.14 A 之间，电流表选 A₂；电源电压为 6 V，但图象只要求电压在 0~3 V 之间调整，为了测量准确，电压表选 V₁；由于绘制图象的需要，要求电压在 0~3 V 之间调整，所以滑动变阻器只能采用分压式接法，为了便于调节电压，滑动变阻器应选用最大阻值较小的 R₁。

(2) 该元件约几十欧， $R_V \gg R$ ，电压表的分流作用可以忽略，所以采用电流表外接法。

答案 (1)A₂ V₁ R₁ (2)如图所示



2. 某同学使用了如下器材：电源 E(电动势 12 V)；电压表 V(量程 15 V，内阻约 15 kΩ)；电流表 A(量程

100 mA, 内阻约 $10\ \Omega$); 滑动变阻器(最大电阻为 $50\ \Omega$); 开关; 导线若干. 测出了一个小灯泡的伏安特性曲线如图 11 甲所示, 已知小灯泡的额定电压为 $12\ \text{V}$.

(1)请在图乙所示的虚线框中画出此实验电路.

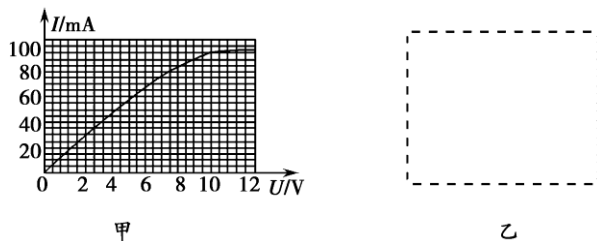


图 11

(2)根据设计的电路图在图 12 的实物上连线.

(3)由小灯泡的伏安特性曲线可知小灯泡的额定功率为 $P_{\text{额}} = \underline{\hspace{2cm}}$ W, 小灯泡电阻的变化特性为

_____.

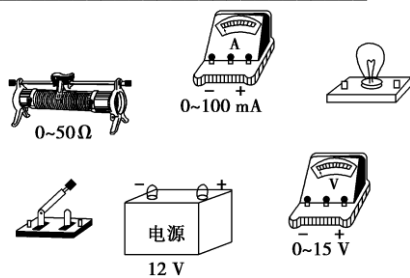


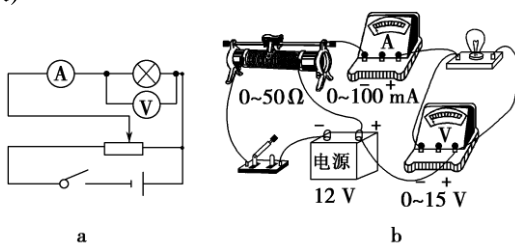
图 12

解析 (1)测定小灯泡的伏安特性曲线需要测量较多的数据, 从伏安特性曲线图可以看出, 数据需要从零开始测量, 故要采用滑动变阻器的分压式接法; 又由于小灯泡的电阻较小, 与电流表内阻的差距不如与电压表内阻的差距大, 故采用电流表的外接法.

(2)先连接干路、再连接支路, 注意电源的正、负极和电表的正、负极接线柱的连接.

(3)从伏安特性曲线图读出在小灯泡额定电压 $12\ \text{V}$ 下的电流值约为 $96\ \text{mA}$, 所以小灯泡的额定功率为 $P_{\text{额}} = UI = 12 \times 0.096\ \text{W} = 1.15\ \text{W}$.

答案 (1)实验电路如图 a 所示 (2)实物连接如图 b 所示 (3)1.15(1.15~1.18 均可) 灯泡电阻随电压升高而增大(或随温度升高而增大)



3. [2013 天津卷, 9(3)]要测绘一个标有“ $3\ \text{V}, 0.6\ \text{W}$ ”小灯泡的伏安特性曲线, 灯泡两端的电压需要由零逐渐增加到 $3\ \text{V}$, 并便于操作. 已选用的器材有:

电池组(电动势为 $4.5\ \text{V}$, 内阻约 $1\ \Omega$);

电流表(量程为 $0\sim 250\ \text{mA}$, 内阻约 $5\ \Omega$);

电压表(量程为 $0\sim 3\ \text{V}$, 内阻约 $3\ \text{k}\Omega$);

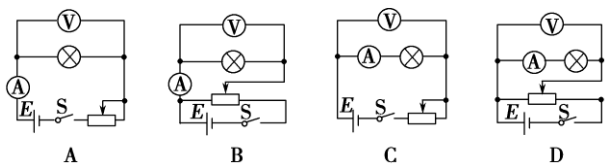
电键一个、导线若干.

①实验中所用的滑动变阻器应选下列中的 _____ (填字母代号).

A. 滑动变阻器(最大阻值 $20\ \Omega$, 额定电流 $1\ \text{A}$)

B. 滑动变阻器(最大阻值 $1\ 750\ \Omega$, 额定电流 $0.3\ \text{A}$)

②实验的电路图应选用下列的图 _____ (填字母代号).



③实验得到小灯泡的伏安特性曲线如图 13 所示. 如果将这个灯泡接到电动势为 1.5 V, 内阻为 $5\ \Omega$ 的电源两端, 小灯泡消耗的功率是_____ W.

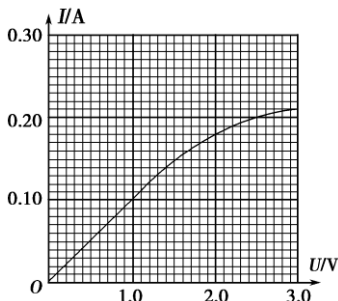
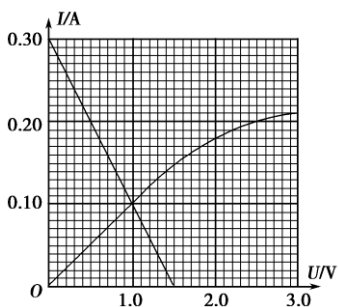


图 13

解析 ①为便于操作实验, 滑动变阻器应选择总阻值小的滑动变阻器, 故选 A.



②因为灯泡两端的电压由零逐渐增加到 3 V, 故滑动变阻器应采用分压接法. 小灯泡的电阻 $R = \frac{U^2}{P} = 15\ \Omega$, 与电流表的内阻 $5\ \Omega$ 相差不大, 因此电流表采用外接法. 故 B 图正确.

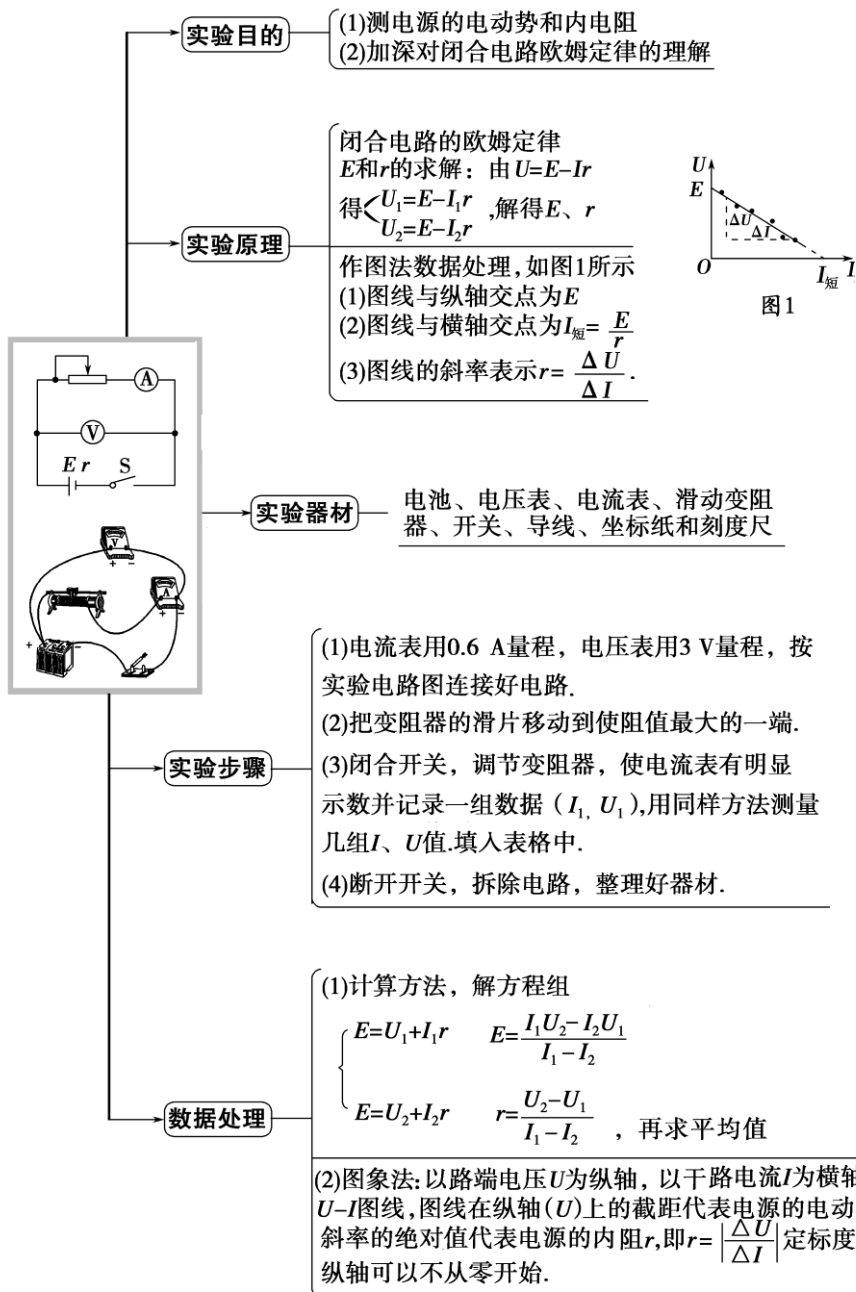
③在小灯泡的伏安特性曲线图上作出电源的伏安特性曲线(如图), 由两曲线的交点的电流 $I = 0.10\ \text{A}$, 电压 $U = 1.0\ \text{V}$, 得小灯泡消耗的功率 $P = IU = 0.10 \times 1.0\ \text{W} = 0.1\ \text{W}$.

答案 ①A ②B ③0.1

实验九 测定电源的电动势和内阻

基本实验要求

必考必会 必记必做



， 注意事项

1. 可选用旧电池：为了使电路的路端电压变化明显，电池的内阻宜大些，可选用已使用过一段时间的 1 号干电池。
2. 电流不要过大，读数要快：干电池在大电流放电时，电动势 E 会明显下降，内阻 r 会明显增大，故长时间放电不宜超过 0.3 A，短时间放电不宜超过 0.5 A。因此，实验中不要将 I 调得过大，读电表要快，每次读完立即断电。
3. 计算法求 E 、 r ：要测出不少于 6 组 I 、 U 数据，且变化范围要大些，用方程组求解时，要将测出的 I 、 U 数据中，第 1 和第 4 为一组、第 2 和第 5 为一组、第 3 和第 6 为一组，分别解出 E 、 r 值再求平均值。
4. 合理选择标度：为使图线分布空间大，如图 2 所示，纵坐标可以不从零开始，则图线和横轴的交点不再是短路电流，电源的内阻不能用 $r = \frac{E}{I_{\text{短}}}$ 确定，应根据 $r = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|$ 确定。

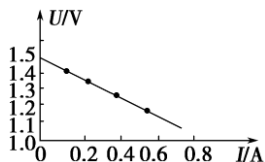


图 2

误差分析

- ①用图象法求 E 和 r 时作图不准确.
- ②由于电流表或电压表的分压或分流存在系统误差.
- 本实验中测量结果是: $E_{\text{测}} < E_{\text{真}}$, $r_{\text{测}} < r_{\text{真}}$.

实验热点聚焦

考向预测 热点聚焦

热点一 伏安法测电源电动势和内阻

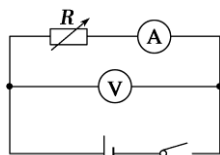


图 3

【典例 1】(2013 浙江卷, 22)采用如图 3 所示的电路“测定电池的电动势和内阻”.
(1)除了选用照片中的部分器材外, _____(填选项):

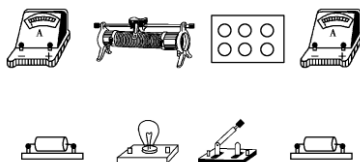


图 4

- A. 还需要电压表 B. 还需要电流表
- C. 还需要学生电源 D. 不再需要其他器材

(2)测量所得数据如下:

测量次数 物理量	1	2	3	4	5	6
R/Ω	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2
I/A	0.60	0.70	0.80	0.89	1.00	1.20
U/V	0.90	0.78	0.74	0.67	0.62	0.43

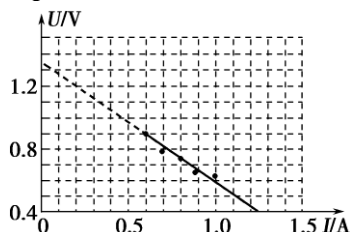
用作图法求得电池的内阻 $r = \underline{\hspace{2cm}}$;

(3)根据第 5 次所测得的实验数据, 求得电流表内阻 $R_A = \underline{\hspace{2cm}}$.

解析 (1)照片中已有电流表、电阻箱和干电池, 还缺少电压表, 故选 A.

(2)作出 $U-I$ 图象, 由图象斜率可求得 $r = (0.75 \pm 0.10)\Omega$.

(3)由欧姆定律得: $R + R_A = \frac{U}{I}$, 得 $R_A = \frac{U}{I} - R = 0.22\Omega$.



答案 (1)A (2) $(0.75 \pm 0.10)\Omega$ (3) 0.22Ω

【跟踪短训】

1. (2012 重庆卷, 22(2))某中学生课外科技活动小组利用铜片、锌片和家乡盛产的柑橘制作了果汁电池, 他们测量这种电池的电动势 E 和内阻 r , 并探究电极间距对 E 和 r 的影响. 实验器材如图 5 所示.

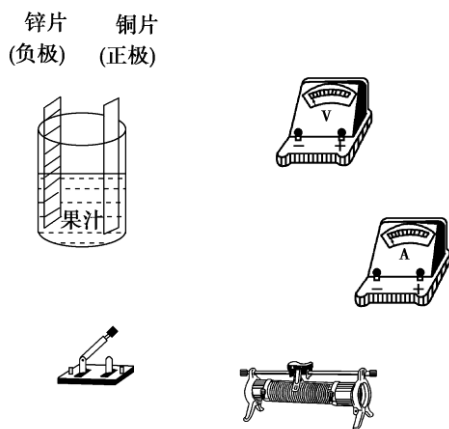


图 5

①测量 E 和 r 的实验方案为：调节滑动变阻器，改变电源两端的电压 U 和流过电源的电流 I ，依据公式 _____，利用测量数据作出 $U-I$ 图象，得出 E 和 r 。

②将电压表视为理想表，要求避免电流表分压作用对测量结果的影响，请在图 5 中用笔画线代替导线连接电路。

③实验中依次减小铜片与锌片的间距，分别得到相应果汁电池的 $U-I$ 图象如图 6 中(a)、(b)、(c)、(d) 所示，由此可知：

在该实验中，随电极间距的减小，电源电动势 _____(填“增大”、“减小”或“不变”)，电源内阻 _____(填“增大”、“减小”或“不变”)。

曲线(c)对应的电源电动势 $E=$ _____ V，内阻 $r=$ _____ Ω 。当外电路总电阻为 $2\ 500\ \Omega$ 时，该电源的输出功率 $P=$ _____ mW。(均保留三位有效数字)

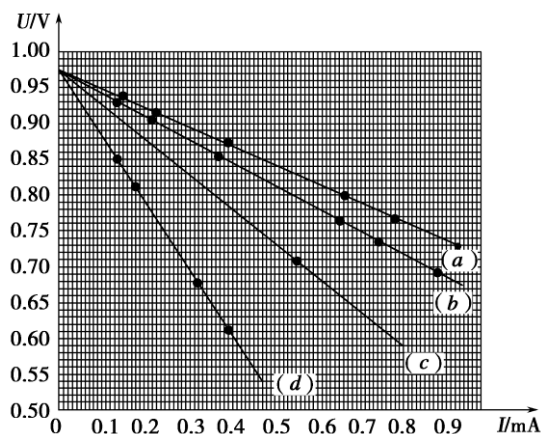


图 6

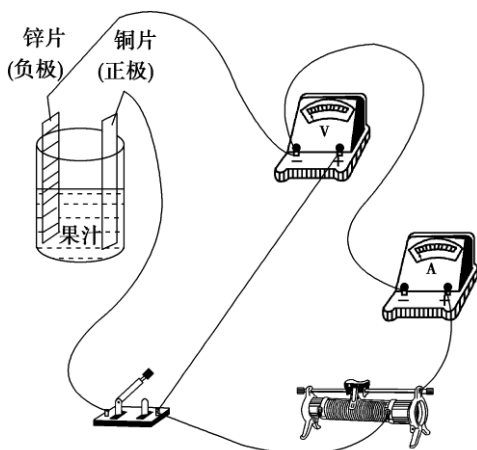
解析 ①本题是利用伏安法测电源电动势和内阻，由 $E = U + Ir$ 得 $U = E - Ir$ 。

②连图要从电源正极出发，先连接串联部分，最后再进行并联，并注意电压表、电流表的正、负接线柱，以防接反。

③在电源的 $U - I$ 图象中，纵轴截距表示电源电动势，斜率绝对值表示电源的内阻，由图象可得，电极间距减小时，电源电动势不变，内阻增大。对图线(c)，由图得： $E = 0.975\ \text{V}$ ，内阻 $r = |k| = \frac{\Delta U}{\Delta I} = 478\ \Omega$ 。

当 $R = 2\ 500\ \Omega$ 时， $P = I^2 R = \frac{E^2}{(R + r)^2} R$ ，代入数据可得： $P \approx 0.268\ \text{mW}$ 。

答案 ① $U = E - Ir$ ② 如图所示 ③ 不变 增大
0. 975 478 0.268



热点二 测定电源电动势和内阻的其他方法

电源的电动势和内阻测量方法一般为伏安法，另外还有以下几种方法：

1. **安阻法**：用一个电流表和电阻箱测量，电路如图 7 甲所示，测量原理为： $E=I_1(R_1+r)$ ， $E=I_2(R_2+r)$ ，由此可求出 E 和 r ，此种方法使测得的电动势无偏差，但内阻偏大。

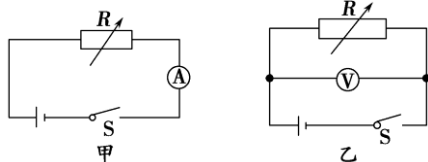


图 7

2. **伏阻法**：用一个电压表和电阻箱测量，电路如图 7 乙所示，测量原理为： $E=U_1+\frac{U_1}{R_1}r$ ， $E=U_2+\frac{U_2}{R_2}r$ ，由此可求出 r 和 E ，此种方法测得的电动势和内阻均偏小。

3. **粗测法**：用一只电压表粗测电动势，直接将电压表接在电源两端，所测值近似认为是电源电动势，此时 $U=\frac{ER_V}{R_V+r}\approx E$ ，需满足 $R_V\gg r$ 。

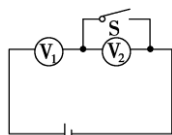


图 8

4. **双伏法**：用两个电压表可测得电源的电动势，电路如图 8 所示。测量方法为：断开 S，测得 V_1 、 V_2 的示数分别为 U_1 、 U_2 ，此时， $E=U_1+U_2+\frac{U_1}{R_V}r$ ， R_V 为 V_1 的内阻；再闭合 S， V_1 的示数为 U_1' ，此时 $E=U_1'+\frac{U_1'}{R_V}r$ ，解方程组可求得 E 和 r 。

【典例 2】 (2013 安徽卷, 21 III) 根据闭合电路欧姆定律，用图 9 所示电路可以测定电池的电动势和内电阻。图中 R_0 是定值电阻，通过改变 R 的阻值，测出 R_0 两端的对应电压 U_{12} ，对所得的实验数据进行处理，就可以实现测量目的。根据实验数据在 $\frac{1}{U_{12}}-R$ 坐标系中描出坐标点，如图 10 所示。已知 $R_0=150\ \Omega$ ，请完成以下数据分析和处理。

(1) 图 10 中电阻为 _____ Ω 的数据点应剔除；

(2) 在坐标纸上画出 $\frac{1}{U_{12}}-R$ 的关系图线；

(3) 图线的斜率是 _____ ($V^{-1}\cdot\Omega^{-1}$)，由此可得电池电动势 $E_x=_____ V$ 。

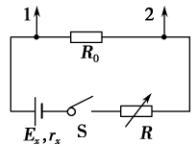


图9

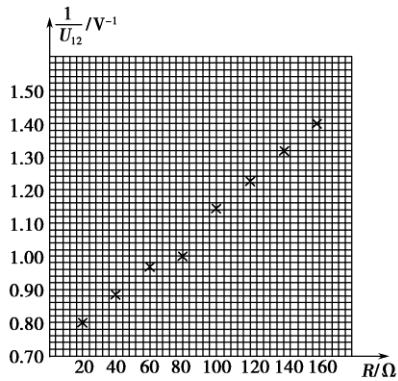


图10

解析 (1)由闭合电路欧姆定律得

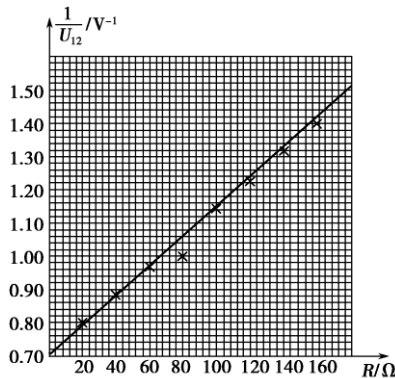
$$E_x = U_{12} + I(R + r_x)$$

把 $I = \frac{U_{12}}{R_0}$ 代入上式得 $E_x = U_{12} + \frac{U_{12}}{R_0}(R + r_x)$

变形得 $\frac{1}{U_{12}} = \frac{1}{E_x} + \frac{r_x}{R_0 E_x} + \frac{1}{R_0 E_x} R$

从上式看出 $\frac{1}{U_{12}}$ 和 R 是线性关系, 图象是直线, 应剔除 $R = 80.0 \Omega$ 的数据点. 根据所描点画出的 $\frac{1}{U_{12}} - R$ 图线是直线(大多数点落在直线上), 如图所示, 图线的斜率 $k = \frac{1}{R_0 E_x}$. 由图象取两点(0,0.71)和(180,1.51),

得出 $k = \frac{1.51 - 0.71}{180 - 0} \text{ V}^{-1} \cdot \Omega^{-1} \approx 4.44 \times 10^{-3} \text{ V}^{-1} \cdot \Omega^{-1}$, $E_x = \frac{1}{k R_0} = \frac{1}{4.44 \times 10^{-3} \times 150} \text{ V} \approx 1.50 \text{ V}$.



答案 (1)80.0 (2)见解析图所示 (3) 4.44×10^{-3}

1. 50

反思总结 在利用作出的图象求解未知量时, 应特别注意直线的斜率、截距. 为了明确斜率、截距的意义, 要先写出两个量的函数关系, 然后从数学表达式中找到斜率、截距的意义.

【跟踪短训】

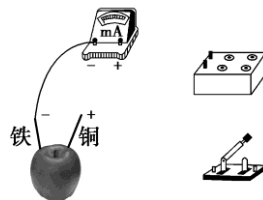


图 11

2. 某同学把较粗的铜丝和铁丝相隔较近插入苹果中, 制成一个苹果电池, 用如下器材研究苹果电池的电动势与内阻: 开关、电阻箱(最大阻值为 999Ω)、毫安表(量程 $I_g = 1 \text{ mA}$, 内阻忽略不计)、导线若干.

(1)在图 11 中用实线连接成实验电路.

(2)闭合开关, 改变电阻箱的阻值 R , 记录多组 I 、 R 的数据, 作出 $R - \frac{1}{I}$ 图象如图 12 直线 a . 由此可知此

时苹果电池的电动势 $E = \underline{\hspace{2cm}}$ V, 内阻 $r = \underline{\hspace{2cm}}$ Ω .

(3) 增大铜丝和铁丝的插入深度, 重复上述步骤进行实验, 作出的 $R - \frac{1}{I}$ 图线如图 12 直线 b . 由此可知, 电极插入的深度增大, 电池电动势 $\underline{\hspace{2cm}}$, 内阻 $\underline{\hspace{2cm}}$ (选填“增大”、“减小”或“不变”).

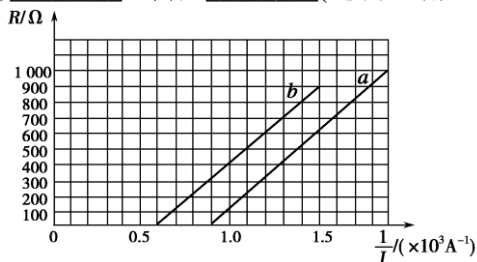


图 12

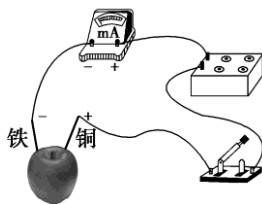
解析 (1) 由于实验给出电流表和电阻箱, 电阻箱和电流表串联可代替电压表, 利用闭合电路欧姆定律可求出电源电动势和内电阻, 连接实物图如答案图所示.

(2) 由 $R - \frac{1}{I}$ 图象可以看出图象斜率为电源电动势, 则 $E_1 = \frac{\Delta R}{\Delta \frac{1}{I}} = \frac{1\ 000}{1.0 \times 10^3}$ V = 1.0 V, 图象的横轴截距表

示电阻箱连入电路的电阻为零, 则 $r = \frac{E_1}{I} = 900\ \Omega$.

(3) 由于图象斜率不变, 所以电源电动势不变, 图象的横轴截距变小, 表示短路电流的倒数变小, 短路电流变大, 故内阻变小.

答案 (1) 如图所示 (2) 1.0 900 (3) 不变 变小



拓展创新实验

创新拓展 自主探究

探究高考命题视角

以本实验为背景, 通过改变实验条件、实验仪器设置题目, 不脱离教材而又不拘泥教材, 体现开放性、探究性、设计性等特点.

视角 1 实验方法、方案的选择

根据题目所给仪器 \rightarrow 确定实验方案(伏安法、安阻法、伏阻法等).

视角 2 实验器材的灵活选用

如: ①定值电阻可以作为保护电阻

②定值电阻可以当电压表使用

③定值电阻可以当电流表使用

④电压表可以当小量程的电流表使用

视角 3 图象法处理数据, 并巧用数形结合得到实验所要测量的物理量

【典例 3】为了测定电源电动势 E 、内电阻 r 的大小并同时描绘出小灯泡的伏安特性曲线, 某同学设计了如图 13 甲所示的电路. 闭合开关, 调节电阻箱的阻值, 同时记录电阻箱的阻值 R , 电压表 V_1 的示数 U_1 , 电压表 V_2 的示数 U_2 . 根据记录数据计算出流过电阻箱的电流 I , 分别描绘了 a 、 b 两条 $U-I$ 图线, 如图乙所示. 请回答下列问题:

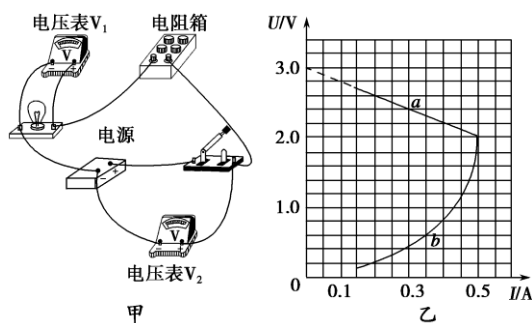


图 13

(1) 写出流过电阻箱的电流 I 的表达式: _____;

(2) 小灯泡两端电压随电流变化的图象是 _____ (选填“a”或“b”);

(3) 根据图乙可以求得电源的电动势 $E =$ _____ V, 内电阻 $r =$ _____ Ω , 该电路中小灯泡消耗的最大功率为 _____ W.

解析 (1) 首先要明白电路的组成: 电源、开关、电阻箱、灯泡串联成闭合回路, 电压表 V_1 测灯泡两端电压, 电压表 V_2 测路端电压. 电阻箱两端电压为 $U = U_2 - U_1$, 电阻箱阻值为 R , 所以流过电阻箱的电流

$$I = \frac{U_2 - U_1}{R}.$$

(2) 小灯泡两端电压随电流的增大而增大, 所以选图线 b ; 图线 a 为电源路端电压随电路中电流变化的关系图线.

(3) 图线 a 与纵轴的交点为电源的电动势 3.0 V, 图线 a 的斜率的绝对值为电源的内阻 $r = 2.0 \Omega$, 图线 a 、 b 的交点表示电阻箱的阻值为 0, 此时小灯泡消耗的功率最大, $P = UI = 1.0 \text{ W}$.

答案 (1) $I = \frac{U_2 - U_1}{R}$ (2) b (3) 3.0 2.0 1.0

【探究跟踪】

在测定一节干电池的电动势和内电阻的实验中, 备有下列器材:

- A. 干电池 E (电动势约为 1.5 V、内电阻大约为 1.0 Ω)
- B. 电压表 V (0~15 V)
- C. 电流表 A (0~0.6 A、内阻 0.1 Ω)
- D. 电流表 G (满偏电流 3 mA、内阻 $R_g = 10 \Omega$)
- E. 滑动变阻器 R_1 (0~10 Ω 、10 A)
- F. 滑动变阻器 R_2 (0~100 Ω 、1 A)
- G. 定值电阻 $R_3 = 990 \Omega$
- H. 开关、导线若干

(1) 为了方便且能较准确地进行测量, 其中应选用的滑动变阻器是 _____ (填写“ R_1 ”或“ R_2 ”);

(2) 请在线框内画出你所设计的实验电路图, 并在图中标上你所选用器材的符号;

(3) 如图 14 所示为某一同学根据他设计的实验, 绘出的 $I_1 - I_2$ 图线 (I_1 为电流表 G 的示数, I_2 为电流表 A 的示数), 由图线可求得被测电池的电动势 $E =$ _____ V, 内电阻 $r =$ _____ Ω .

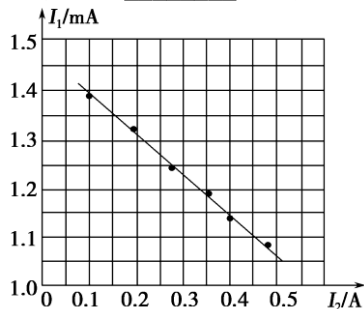
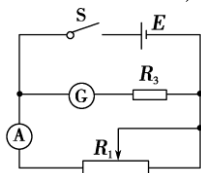


图 14

解析 从实验操作方便和安全角度出发, 滑动变阻器选小阻值, 大额定电流的 R_1 ; 所给器材中电压表量

程过大，不能选用，需要把电流表 G 与 R_3 串联，被测量电源的内阻很小，电流表相对电源用外接法；图象与纵轴的截距为 1.47 mA ，为断路时通过 G 的电流。断路电流乘以 $(R_3 + R_g)$ 等于 1.47 V ，为电源电动势；图线的斜率为电源内阻 $r = 0.83 \Omega$ 。

答案 (1) R_1 (2)电路图如图所示 (3) $1.47(1.46 \sim 1.48 \text{ 均对})$ $0.83(0.81 \sim 0.85 \text{ 均对})$



随堂达标演练

通关达标 技能提升

1. (2013 长春一调)用 DIS 测量干电池的电动势和内电阻的实验电路如图 15 甲所示，已知干电池允许的最大供电电流为 0.5 A 。

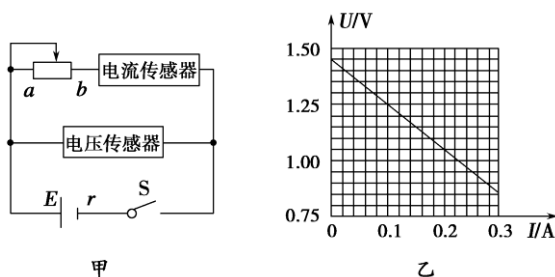


图 15

(1)实验时应选用下列哪种滑动变阻器_____。

- A. $1\ 000 \Omega$, 0.1 A B. 50Ω , 2.0 A
C. 10Ω , 2.0 A D. 50Ω , 0.1 A

(2)根据实验得到的图象如图乙所示，可求得干电池的内电阻为 $r = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ 。

解析 (1)因干电池允许的最大供电电流为 0.5 A ，因此排除选项 A 和 D；为便于调节，选用最大阻值为 10Ω 的滑动变阻器即可。(2)图乙中， $U - I$ 图线斜率的绝对值等于电池的内电阻阻值，即 $r = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right| =$

$$\left| \frac{1.05 - 1.45}{0.2 - 0} \right| \Omega = 2.0 \Omega.$$

答案 (1)C (2)2.0

2. 电动自行车具有环保、节能、便捷等优点，但电动自行车的电瓶用久以后性能会下降，表现之一为电池的电动势变小，内阻变大。某兴趣小组将一辆旧电动自行车充满电，取下四块电池，分别标为 A、B、C、D，测量它们的电动势和内阻。

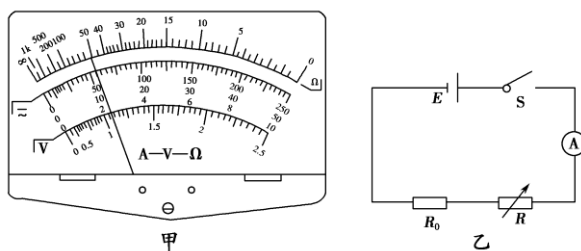


图 16

(1)用多用电表直流电压“ 50 V ”挡测量每块电池的电动势。测量电池 A 时，多用电表的指针如图 16 甲所示，其读数为_____ V。

(2)用图乙所示的电路测量 A、B、C、D 四块电池的电动势 E 和内阻 r ，图中 R_0 为保护电阻，其阻值为 5

Ω 改变电阻箱的阻值 R ，测出对应的电流 I ，根据测量数据分别作出 A 、 B 、 C 、 D 四块电池的 $\frac{1}{I}-R$ 图线，如图 17 所示。由图线 C 可知电池 C 的电动势 $E=$ _____ V，内阻 $r=$ _____ Ω 。

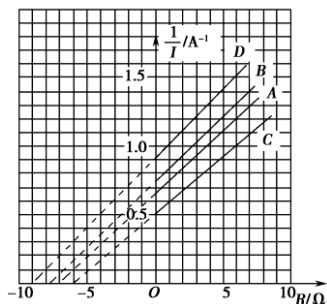


图 17

(3)分析图 17 可知，电池 _____ (选填“ A ”、“ B ”、“ C ”或“ D ”)较优。

解析 (2)由图象 C 可以看出，当电阻箱连入电路中电阻为 0 时对应电流为 2 A，图象 C 的延长线与横轴交点为 $R_0+r=6 \Omega$ ，故电源电动势为 12 V，内阻为 1 Ω 。(3)图象的延长线与横轴的交点离原点越远表示电源内阻越大，图象 C 的延长线与横轴的交点离坐标原点最近，所以电源 C 较优。

答案 (1)11.0(答“11”也对) (2)12 1 (3) C

3. 某同学对实验室的一个多用电表中的电池进行更换时，发现里面除了一节 1.5 V 的干电池外，还有一个方形的层叠电池。为了测定层叠电池的电动势和内阻，实验室中提供了如下器材：

- A. 电流表 A_1 (满偏电流 10 mA，内阻 10 Ω)
- B. 电流表 A_2 (0~0.6 A~3 A，内阻未知)
- C. 滑动变阻器 R_0 (0~100 Ω ，1.0 A)
- D. 定值电阻 R (阻值 990 Ω)
- E. 开关 S 与导线若干

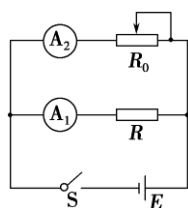


图 18

(1)该同学根据现有的实验器材，设计了如图 18 所示的电路。请你按照电路图在图 19 中完成实物连线。

(2)该同学根据上述设计的实验电路测出多组数据，绘出如图 20 所示的 I_1-I_2 图线(I_1 为电流表 A_1 的示数， I_2 为电流表 A_2 的示数)，则由图线可以得到被测电池的电动势 $E=$ _____ V，内阻 $r=$ _____ Ω 。(保留两位有效数字)

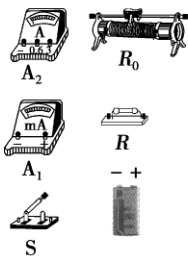


图 19

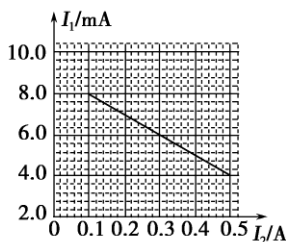
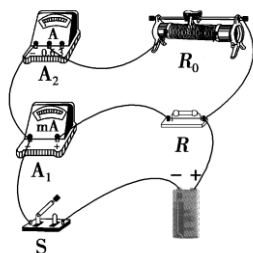


图 20

解析 由闭合电路的欧姆定律可得： $E = (I_1 \times 10^{-3} + I_2)r + I_1(10 + 990) \times 10^{-3}$ ， $E = I_1 \times 10^{-3}r + I_2r + I_1$ ，其表达式中的 $I_1 \times 10^{-3}r$ 非常小，表达式可近似处理为以下形式： $I_1 = E - I_2r$ ，参照图 24 结合数学知识不难得出图象纵轴的截距大小为电源电动势，其斜率的绝对值表示内阻，延长图象与纵轴相交，得电动势

$$E = 9.0 \text{ V}; \text{ 由图象可求得内阻为 } r = |k| = \frac{8.0 - 4.0}{0.5 - 0.1} \Omega = 10 \Omega.$$

答案 (1)实物连接如下图所示 (2)9.0 10



实验十 练习使用多用电表

基本实验要求

必考必会 必记必做

实验目的

1. 了解多用电表的构造和原理, 掌握多用电表的使用方法.
2. 会使用多用电表测电压、电流及电阻.
3. 会用多用电表探索黑箱中的电学元件.

实验原理

1. 外部构造(如图 1 所示)

- (1)转动选择开关可以使用多用电表测量电流、电压、电阻等.
- (2)表盘的上部为表头, 用来表示电流、电压和电阻的多种量程.

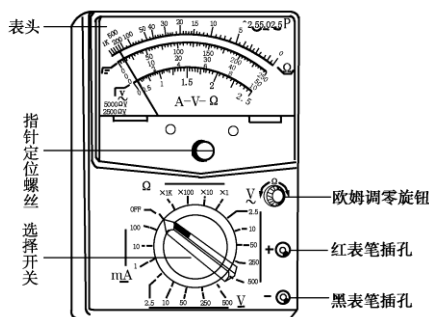


图 1

2. 欧姆表原理

- (1)内部电路简化如图 2 所示.

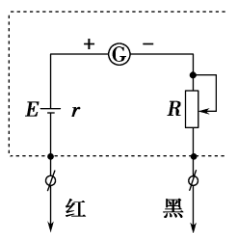


图 2

- (2)根据闭合电路欧姆定律

- ①当红、黑表笔短接时, $I_g = \frac{E}{R_g + R + r}$,

- ②当被测电阻 R_x 接在红、黑表笔两端时, $I = \frac{E}{R_g + R + r + R_x}$,

- ③当 $I_{\text{中}} = \frac{1}{2}I_g$ 时, 中值电阻 $R_{\text{中}} = R_g + R + r$.

实验器材

多用电表、电学黑箱、直流电源、开关、导线若干、小电珠、二极管、定值电阻(大、中、小)三个.

实验步骤

1. **机械调零:** 检查多用电表的指针是否停在表盘刻度左端的零位置. 若不指零, 则可用小螺丝刀进行

机械调零.

2. 将红、黑表笔分别插入“+”、“-”插孔.

3. 测量小灯泡的电压和电流

(1)按如图 3 甲所示连好电路,将多用电表选择开关置于直流电压挡,测小灯泡两端的电压.

(2)按如图 3 乙所示连好电路,将选择开关置于直流电流挡,测量通过小灯泡的电流.

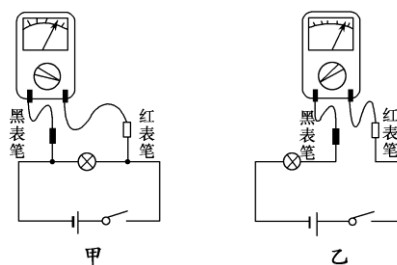


图 3

4. 测量定值电阻

用多用电表测电阻的步骤:

(1)调整定位螺丝,使指针指向电流的零刻度.

(2)选择开关置于“ Ω ”挡的“ $\times 1$ ”,短接红、黑表笔,调节欧姆调零旋钮,然后断开表笔,再使指针指向 ∞ .


(3)将两表笔分别接触阻值为几十欧的定值电阻两端,读出指示的电阻值,然后断开表笔,再与标定值进行比较.

(4)选择开关改置“ $\times 100$ ”挡,重新进行欧姆调零.

(5)再将两表笔分别接触标定值为几千欧的电阻两端,读出指示的电阻值,然后断开表笔,与标定值进行比较.

(6)测量完毕,将选择开关置于交流电压最高挡或“OFF”挡.

5. 测量二极管的正、反向电阻

(1)二极管常用半导体材料制成,它有两个极,一个正极,一个负极,符号为 .

(2)将多用电表的选择开关拨到欧姆挡,红、黑表笔接到二极管的两极上,当黑表笔接“正”极,红表笔接“负”极时,电阻示数较小,电路导通.反之电阻示数很大,电路截止.(如图 4 所示)由此可判断出二极管的正、负极.

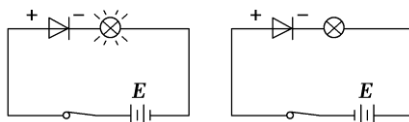


图 4

(3)测正、反向电阻

①测正向电阻:用多用电表的电阻挡,量程拨到“ $\times 10$ ”的位置上,将红表笔插入“+”插孔,黑表笔插入“-”插孔,然后两表笔短接进行欧姆调零后,将黑表笔接触二极管正极,红表笔接触二极管负极,稳定后读取示数乘上倍率求出正向电阻 R_1 .

②测反向电阻:将多用电表的选择开关旋至高倍率的欧姆挡,方法同上.

6. 探索黑箱内的电学元件

探究项目	应用挡位	现象
电源	电压挡	两接线柱正、反接时均无示数说明无电源
电阻	欧姆挡	两接线柱正、反接时示数相同
二极管	欧姆挡	正接时示数很小,反接时示数很大
电容器	欧姆挡	指针先指向某一小阻值,后逐渐增大到“ ∞ ”,且指针摆动越来越慢
电感线圈	欧姆挡	示数由“ ∞ ”逐渐减小到某一较小固定示数

注意事项

多用电表使用的“七大注意”

(1)使用前要机械调零.

(2)两表笔在使用时,电流总是“红入”“黑出”.

- (3)选择开关的功能区域，要分清是测电压、电流、电阻，还要分清是交流还是直流。
 (4)电压、电流挡为量程范围挡，欧姆挡为倍率挡。
 (5)刻度线有三条：上为电阻专用，中间为电压、交流、直流共用，下为交流 2.5 V 专用。
 (6)测电阻时：①待测电阻与电路、电源一定要断开。②两手一定不要同时接触两笔金属杆。③指针指中值附近较准，否则换挡。④每换一挡必须重新欧姆调零。⑤读出示数要乘以倍率。
 (7)使用完毕，选择开关要置于“OFF”挡或交流电压最高挡，长期不用应取出电池。

实验热点聚焦

考向预测 热点聚焦

热点一 考查多用电表的使用及读数

【典例 1】(2013 全国新课标 I, 23)某学生实验小组利用图 5 所示电路，测量多用电表内电池的电动势和电阻“ $\times 1\text{ k}$ ”挡内部电路的总电阻。使用的器材有：

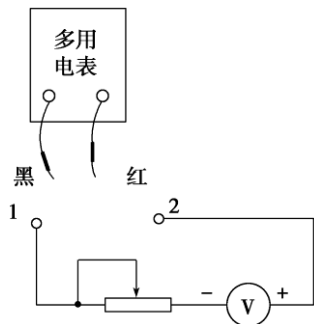


图 5

多用电表；电压表：量程 5 V，内阻十几千欧；滑动变阻器：最大阻值 5 k Ω ；导线若干。

回答下列问题：

- (1)将多用电表挡位调到电阻“ $\times 1\text{ k}$ ”挡，再将红表笔和黑表笔_____，调零点。
 (2)将图 5 中多用电表的红表笔和_____ (选填“1”或“2”)端相连，黑表笔连接另一端。
 (3)将滑动变阻器的滑片调到适当位置，使多用电表的示数如图 6 所示，这时电压表的示数如图 7 所示。多用电表和电压表的读数分别为_____ k Ω 和_____ V。

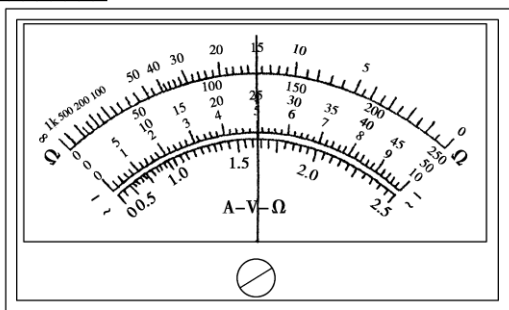


图 6

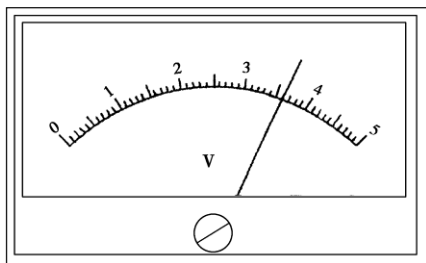


图 7

- (4)调节滑动变阻器的滑片，使其接入电路的阻值为零。此时多用电表和电压表的读数分别为 12.0 k Ω 和 4.00 V。从测量数据可知，电压表的内阻为_____ k Ω 。

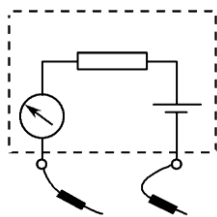


图 8

(5)多用电表电阻挡内部电路可等效为由一个无内阻的电池、一个理想电流表和一个电阻串联而成的电路，如图 8 所示。根据前面的实验数据计算可得，此多用电表内电池的电动势为_____V，电阻“×1 k”挡内部电路的总电阻为_____kΩ。

解析 (1)使用多用电表测电阻前，应首先将红、黑表笔短接进行欧姆调零。

(2)多用电表电流为“红进黑出”，题图 5 中外电路电流由 2 到 1，所以红表笔应连 1 端。

(3)多用电表挡位为×1 k，指针指 15，则 $R = 15.0 \times 1 \text{ k} = 15.0 \text{ k}\Omega$ ，由图 7 知电压表读数为 3.60 V。

(4)当滑动变阻器连入电路的阻值为零时，多用电表所测电阻为外电路电阻，即电压表内阻，所以电压表内阻为 12.0 kΩ。

(5)15.0 kΩ 为多用电表电阻挡的中值电阻，中值电阻阻值即内电路阻值，所以电阻“×1 k”挡内部电路的总电阻为 15.0 kΩ，设内电路电池电动势为 E ，则当电压表示数为 4.00 V 时， $\frac{E}{15.0 + 12.0} = \frac{4}{12.0}$ ，解得：

$$E = 9.00 \text{ V}.$$

答案 (1)短接 (2)1 (3)15.0 3.60 (4)12.0

(5)9.00 15.0

反思总结 欧姆表刻度盘特点及多用电表读数技巧

1. 欧姆表刻度盘不同于电压、电流刻度盘

(1)左∞右 0：电阻无限大与电流、电压零刻度重合，电阻零与电流、电压最大刻度重合。

(2)刻度不均匀：左密右疏。

(3)欧姆挡是倍率挡，即读出的示数应再乘以该挡的倍率。电流、电压挡是量程范围挡。

在不知道待测电阻的估计值时，应先从小倍率开始，熟记“小倍率小角度偏，大倍率大角度偏”（因为欧姆挡的刻度盘上越靠左读数越大，且测量前指针指在左侧“∞”处）。

2. 读数技巧

(1)欧姆表的读数

①为了减小读数误差，指针应指在表盘 $\frac{1}{3}$ 到 $\frac{2}{3}$ 的部分，即中央刻度附近。

②除非指针所在刻度盘处每个小格表示 1 Ω 时，要估读到下一位，其余情况都不用估读。

③电阻值等于指针示数与所选倍率的乘积。

(2)测电压、电流时的读数，要注意其量程，根据量程确定精确度，精确度是 1、0.1、0.01 时要估读到下一位，精确度是 2、0.02、5、0.5 时，不用估读到下一位。

【跟踪短训】

1. 如图 9 所示为多用电表的刻度盘。若选用倍率为“×100”的电阻挡测电阻时，表针指示如图所示，则：

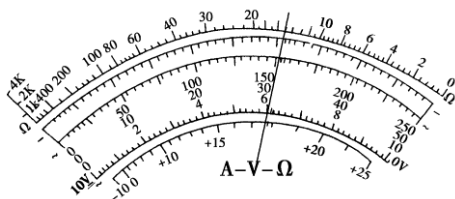


图 9

(1)所测电阻的阻值为_____Ω; 如果要用此多用电表测量一个阻值约为 $2.0 \times 10^4 \Omega$ 的电阻, 为了使测量结果比较精确, 应选用的欧姆挡是_____(选填“ $\times 10$ ”、“ $\times 100$ ”或“ $\times 1 k$ ”).

(2)用此多用电表进行测量, 当选用量程为 50 mA 的电流挡测量电流时, 表针指于图示位置, 则所测电流为_____ mA; 当选用量程为 250 mA 的电流挡测量电流时, 表针指于图示位置, 则所测电流为_____ mA.

(3)当选用量程为 10 V 的电压挡测量电压时, 表针也指于图示位置, 则所测电压为_____ V.

解析 (1)欧姆表读数: 对应最上一行刻度值为 15, 倍率为“ $\times 100$ ”, 读数为 $1.5 \times 10^3 \Omega$; 测 $2.0 \times 10^4 \Omega$ 电阻时应选“ $\times 1 k$ ”的欧姆挡.

(2)选 50 mA 直流电流挡, 则每一大格表示 10 mA, 每一小格表示 1 mA, 测量的精确度为 1 mA, 应估读到 0.1 mA(此时为 $\frac{1}{10}$ 估读), 指针对应的读数为 30.8 mA; 选择量程为 250 mA 的电流挡, 则每一大格表示 50 mA, 每一小格表示 5 mA, 测量的精确度为 5 mA, 应估读到 1 mA(此时为 $\frac{1}{5}$ 估读), 指针对应的

读数为 154 mA.

(3)选择 10 V 电压挡, 则每一大格表示 2 V, 每一小格表示 0.2 V, 测量的精确度为 0.2 V, 应估读到 0.1 V(此时应为 $\frac{1}{2}$ 估读), 指针对应的读数为 6.2 V.

答案 (1) $1.5 \times 10^3 \times 1 k$ (2)30.8(30.7~30.9 都正确) 154 (3)6.2

热点二 用多用电表探索黑箱内的电学元件

【典例 2】(2012 江苏卷, 10)如图 10 甲所示的黑箱中有三只完全相同的电学元件, 小明使用多用电表对其进行探测.

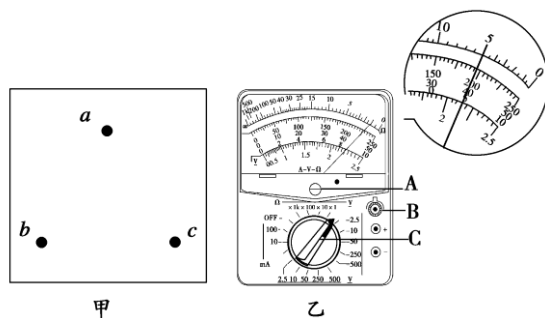


图 10

(1)在使用多用电表前, 发现指针不在左边“0”刻度线处, 应先调整图乙中多用电表的_____(选填“A”、“B”或“C”).

(2)在用多用电表的直流电压挡探测黑箱 a 、 b 接点间是否存在电源时, 一表笔接 a , 另一表笔应_____(选填“短暂”或“持续”)接 b , 同时观察指针偏转情况.

(3)在判定黑箱中无电源后, 将选择开关旋至“ $\times 1$ ”挡, 调节好多用电表, 测量各接点间的阻值. 测量中发现, 每对接点间正反向阻值均相等, 测量记录如下表. 两表笔分别接 a 、 b 时, 多用电表的示数如图乙所示.

请将记录表补充完整, 并在黑箱图中画出一一种可能的电路.

两表笔接的接点	多用电表的示数
a 、 b	_____ Ω
a 、 c	10.0 Ω
b 、 c	15.0 Ω

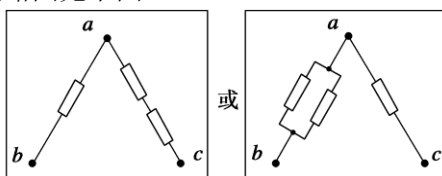
解析 (1)多用电表使用前应进行机械调零, 机械调零装置为 A.

(2)使用多用电表进行测量时, 为保证电表不被损坏往往要进行试触, 即让两表笔进行短暂接触, 观察指针偏转情况, 若持续接触则有可能损坏电表.

(3)黑箱中无电源且每对接点间正反阻值相等, 由多用电表读数可知所缺数据为 5.0Ω , 由 a 、 b 间电阻为 5Ω , a 、 c 间为 10Ω , b 、 c 间为 15Ω 知, 电路为 a 、 b 间 5Ω 的电阻与 a 、 c 间 10Ω 电阻串联而成, 电

路图如答案图所示。

答案 (1)A (2)短暂 (3)5.0 电路图见下图



【跟踪短训】

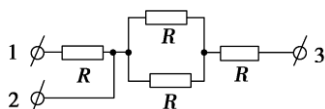
2. (2012 大纲全国卷, 22)在黑箱内有一由四个阻值相同的电阻构成的串并联电路, 黑箱面板上有三个接线柱 1、2 和 3.用欧姆表测得 1、2 接线柱之间的电阻为 $1\ \Omega$, 2、3 接线柱之间的电阻为 $1.5\ \Omega$, 1、3 接线柱之间的电阻为 $2.5\ \Omega$.

(1)在虚线框中画出黑箱中的电阻连接方式;

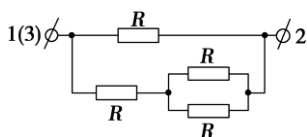


(2)如果将 1、3 接线柱用导线连接起来, 1、2 接线柱之间的电阻为 _____ Ω .

解析 (1)根据已知 1、2 间电阻为 $1\ \Omega$, 2、3 间电阻为 $1.5\ \Omega$, 1、3 间电阻为 $2.5\ \Omega$, 可画出电阻的连接方式如下:



(2)若将 1、3 用导线连接起来, 则等效电路图为:



故 $R_{12} = \frac{1 \times 1.5}{1 + 1.5}\ \Omega = 0.6\ \Omega$.

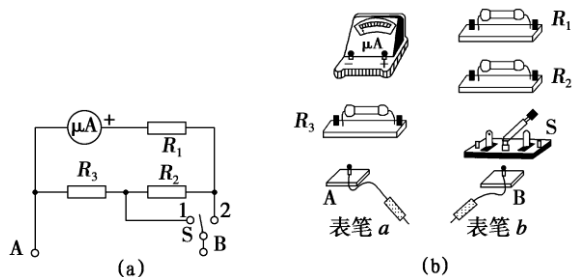
答案 (1)见解析 (2)0.6

拓展创新实验

创新拓展 自主探究

【典例 3】 (2013 海南卷, 12)某同学将量程为 $200\ \mu\text{A}$ 、内阻为 $500\ \Omega$ 的表头 μA 改装成量程为 $1\ \text{mA}$ 和 $10\ \text{mA}$ 的双量程电流表, 设计电路如图 11(a)所示. 定值电阻 $R_1=500\ \Omega$, R_2 和 R_3 的值待定, S 为单刀双掷开关, A、B 为接线柱. 回答下列问题:

- (1)按图(a)在图(b)中将实物连线;
- (2)表笔 a 的颜色为 _____ 色; (填“红”或“黑”)
- (3)将开关 S 置于“1”挡时, 量程为 _____ mA;
- (4)定值电阻的阻值 $R_2=$ _____ Ω . $R_3=$ _____ Ω . (结果取三位有效数字)
- (5)利用改装的电流表进行某次测量时, S 置于“2”挡, 表头指示如图(c)所示, 则所测量电流的值为 _____ mA.



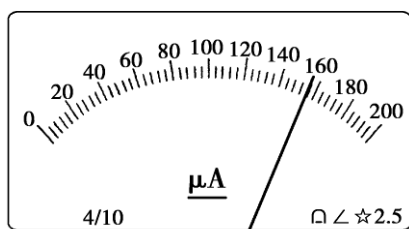


图 c

图 11

解析 (1)实物连线图见答案 .

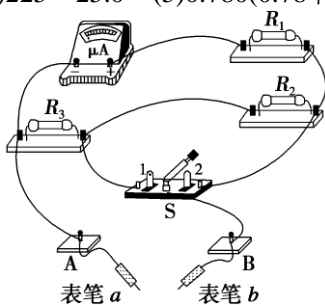
(2)红表笔接电源的正极, 电流由红表笔流入, 由电路图(a)可看出表头右侧为正极, 故表笔 a 为黑表笔 .

(3)将开关 S 置于“1”挡时, 表头跟 R_1 、 R_2 串联后再跟 R_3 并联, 将开关 S 置于“2”挡时, 表头跟 R_1 串联后再跟 R_2 、 R_3 并联, 故前者的量程较大, 故开关 S 置于“1”挡时, 量程为 10 mA.

(4)由(3)问的分析, 结合欧姆定律可知开关 S 置于“1”挡时, 有 $I_g(R_g + R_1 + R_2) = (I_1 - I_g)R_3$, 开关 S 置于“2”挡时, 有 $I_g(R_g + R_1) = (I_2 - I_g)(R_2 + R_3)$, 代入已知数据可得 $R_2 = 225 \Omega$, $R_3 = 25.0 \Omega$.

(5) S 置于“2”挡时, 量程为 1 mA, 表头示数为 $156 \mu\text{A}$, 故所测量电流的值为 $\frac{156}{200} \times 1 \text{ mA} = 0.780 \text{ mA}$.

答案 (1)如图所示 (2)黑 (3)10 (4)225 25.0 (5)0.780(0.78 同样也行)

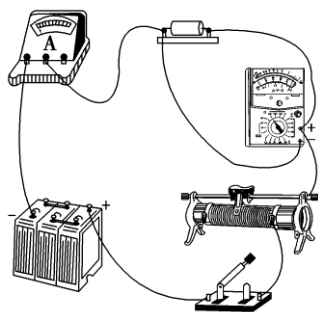


【探究跟踪】

(2013 上海卷, 27)为确定某电子元件的电气特性, 做如下测量.



a



b

图 12

(1)用多用表测量该元件的电阻, 选用“ $\times 100$ ”倍率的电阻挡测量, 发现多用表指针偏转过大, 因此需选择_____倍率的电阻挡(填: “ $\times 10$ ”或“ $\times 1 \text{ k}$ ”), 并_____再进行测量, 多用表的示数如图 12(a)所示, 测量结果为_____ Ω .

(2)将待测元件(额定电压 9 V)、蓄电池、滑动变阻器、电流表、多用表、电键及若干导线连接成电路如图(b)所示. 添加连线, 使电路能测量该元件完整的伏安特性.

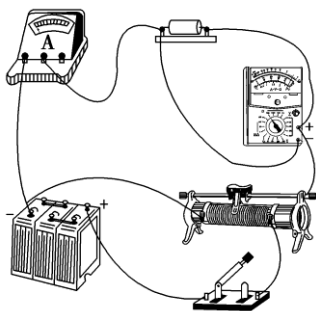
本实验中使用多用表测电压，多用表的选择开关应调到_____挡(填：“直流电压 10 V”或“直流电压 50 V”).

解析 (1)用多用表测量该元件的电阻，选用“ $\times 100$ ”倍率的电阻挡测量，发现多用表指针偏转过大，说明电阻较小，因此需选择 $\times 10$ 倍率的电阻挡，并欧姆调零后进行测量，多用表的示数如图(a)所示，测量结果为 70Ω .

(2)要测量该元件完整的伏安特性，必须连接成分压电路. 本实验中使用多用表测电压，多用表的选择开关应调到直流电压 10 V 挡.

答案 (1) $\times 10$ 欧姆调零 70

(2)电路如图 直流电压 10 V



随堂达标演练

通关达标 技能提升

1. 若多用电表的电阻挡有三个倍率，分别是 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$.用 $\times 10$ 挡测量某电阻 R_x 时，操作步骤正确，发现表头指针偏转角度过小，为了较准确地进行测量，则应：

- ①将选择开关置于_____；
- ②将红、黑表笔短接进行_____；
- ③将待测电阻 R_x 接在_____进行测量.

若按照以上①②③步骤正确操作后，表盘的示数如图 13 所示，则该电阻的阻值是_____ Ω .

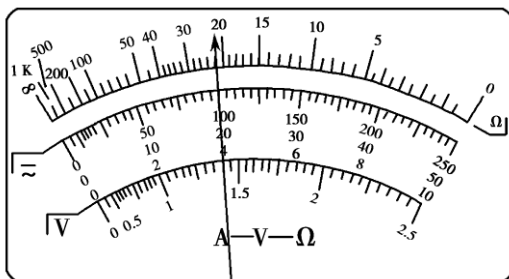


图 13

解析 表头指针偏转角度过小，说明选择挡位太小，因此应换用较高的挡位，即选用 $\times 100$ 挡；换成 $\times 100$ 挡后应重新进行欧姆挡调零；最后将红、黑表笔接触待测电阻 R_x 两端进行测量. 图中所显示的待测电阻阻值为 $2\ 200 \Omega$.

答案 ① $\times 100$ 挡 ②欧姆挡调零 ③红、黑表笔之间 $2\ 200$

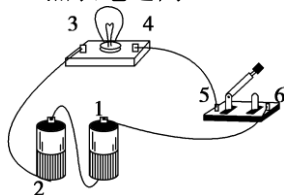


图 14

2. 如图 14 所示的电路中，1、2、3、4、5、6 为连接点的标号，开关闭合后，发现小灯泡不亮，现用多用表检查电路故障，需要检测的有电源、开关、小灯泡、3 根导线以及电路中的各连接点.

- (1)为了检测小灯泡以及3根导线,在连接点1、2(电源中的连线完好)已接好的情况下,应当选用多用电表的_____挡.在连接点1、2同时断开的情况下,应当选用多用电表的_____挡.
 (2)在开关闭合的情况下,若测得5、6两点间的电压接近电源的电动势,则表明_____可能有故障.
 (3)将小灯泡拆离电路,写出用多用电表检测该小灯泡是否有故障的具体步骤.

解析 (1)检测小灯泡以及3根导线,在连接点1、2(电源中的连线完好)已接好时,应选用电压挡,在连接点1、2同时断开时应选用欧姆挡.

(2)因5、6两点间的电压接近电源的电动势,说明开关或连接点5、6可能断开.

(3)先进行机械调零,然后选用多用电表的“欧姆挡”,进行欧姆调零,再测量小灯泡的电阻,若电阻“无穷大”,则小灯泡开路.

答案 (1)电压 欧姆 (2)开关或连接点5、6 (3)见解析

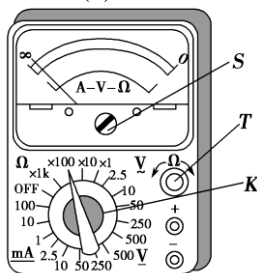


图 15

3. 用如图 15 所示的多用电表测量电阻,要用到选择开关 K 和两个部件 S 、 T .请根据下列步骤完成电阻测量.

- (1)旋动部件_____,使指针对准电流的“0”刻线.
- (2)将 K 旋转到电阻挡“ $\times 100$ ”的位置.
- (3)将插入“+”、“-”插孔的表笔短接,旋动部件_____,使指针对准电阻的_____(选填“0刻线”或“ ∞ 刻线”).
- (4)将两表笔分别与待测电阻相接,发现指针偏转角度过小.为了得到比较准确的测量结果,请从下列选项中挑出合理的步骤,并按_____的顺序进行操作,再完成读数测量.
 - A. 将 K 旋转到电阻挡“ $\times 1\text{ k}$ ”的位置
 - B. 将 K 旋转到电阻挡“ $\times 10$ ”的位置
 - C. 将两表笔的金属部分分别与待测电阻的两根引线相接
 - D. 将两表笔短接,旋动合适部件,对电表进行校准
- (5)选用倍率为“ $\times 100$ ”的电阻挡测电阻时,表针指示如图 16 所示,则:

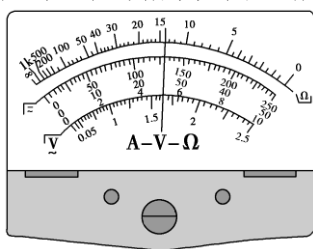


图 16

- ①所测电阻的阻值为_____Ω;如果要用此多用电表测量一个阻值约为 $2.0 \times 10^4 \Omega$ 的电阻,为了使测量结果比较准确,应选用的电阻挡是_____(选填“ $\times 10$ ”、“ $\times 100$ ”或“ $\times 1\text{ k}$ ”).
- ②用此多用电表进行测量,当选用量程为 50 mA 的电流挡测量电流时,表针位于图 16 所示位置,则所测电流为_____mA;当选用量程为 250 mA 的电流挡测量电流时,表针位于图 16 所示位置,则所测电流为_____mA.
- ③当选用量程为 10 V 的直流电压挡测量电压时,表针也位于图示位置,则所测电压为_____V.

解析 (1)机械调零需调节 S .(3)欧姆调零需调节调零旋钮 T .(4)指针偏转角度过小,说明该电阻是一个大电阻,需换用较大的电阻挡来测量才准确,换挡之后需要重新进行欧姆调零.故正确顺序应为 ADC.(5)

①欧姆表读数:在表盘上读出的刻度值为 14,倍率为“ $\times 100$ ”,读数为 $1.4 \times 10^3 \Omega$.为使欧姆表的示数

在表盘中值附近，测量阻值约为 $2.0 \times 10^4 \Omega$ 的电阻应选用的电阻挡是“ $\times 1 \text{ k}$ ”。②选 50 mA 的电流挡测量电流时，每一大格表示 10 mA，每一小格表示 1 mA，测量的精确度为 1 mA，应估读到 0.1 mA，指针对应的读数为 26.0 mA；选择量程为 250 mA 的电流挡测量电流时，每一大格表示 50 mA，每一小格表示 5 mA，测量的精确度为 5 mA，应估读到 1 mA，指针对应的读数为 130 mA。③选择 10 V 的直流电压挡测量电压时，每一大格表示 2 V，每一小格表示 0.2 V，测量的精确度为 0.2 V，应估读到 0.1 V，指针对应的读数为 5.2 V。

答案 (1)S (3)T 0 刻线 (4)ADC (5)① 1.4×10^3 $\times 1 \text{ k}$ ②26.0 130 ③5.2

4. 多用电表是常用的电学仪表。

(1)用多用电表研究热敏电阻的阻值与温度的关系。

①应将多用电表的选择开关置于_____挡(选填“电压”、“电流”或“欧姆”)；

②多用电表使用时，将红表笔插入_____接线孔(选填“+”或“-”)；

③正确选择多用电表的挡位后，将一热敏电阻接在多用电表两表笔上，把热敏电阻放入盛有温度为 100 摄氏度热水的杯子中，表针的偏角为 θ ；若向杯子中加入冷水，发现表针的偏角减小，这说明热敏电阻的阻值随温度降低而_____ (选填“增大”、“减小”或“不变”)；

④多用电表使用后，应将选择开关置于_____挡(选填“电流”、“直流电压”、“欧姆”或“交流电压最高”)。

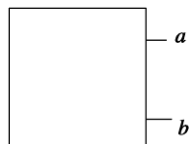


图 17

(2)如图 17 所示为一黑箱装置，黑箱内可能有直流电源、电容器、电阻器、二极管等元件， a 、 b 是黑箱上的两个输出端。为了探测黑箱，下列操作，你认为首先应该采取的是_____。

A. 用多用电表的欧姆挡测量 a 、 b 之间的电阻

B. 用多用电表的直流电压挡测量 a 、 b 之间的输出电压

C. 用多用电表的电流挡测量 a 、 b 之间的输出电流

D. 用多用电表的交流电压挡测量 a 、 b 之间的输出电压

解析 (1)用多用电表研究热敏电阻的阻值与温度的关系实质是测量不同温度下热敏电阻的阻值，所以应将多用电表的选择开关置于欧姆挡。多用电表使用时，将红表笔插入“+”接线孔，黑表笔插入“-”接线孔。由多用电表的原理可知，表针的偏角越大，通过电表的电流越大，待测电阻的阻值越小。向杯子中加入冷水，发现表针的偏角减小，这说明热敏电阻的阻值增大，热敏电阻的阻值随温度降低而增大。多用电表使用后，应将选择开关置于交流电压最高挡或 OFF 挡。(2)探测黑箱，应该先用多用电表的直流电压挡测量两输出端的输出电压，判断黑箱内是否有电源。若电压为零，才可用欧姆挡测量两输出端之间的电阻。

答案 (1)①欧姆 ②+ ③增大 ④交流电压最高 (2)B

5. (2013 全国新课标 II, 23)某同学用量程为 1 mA、内阻为 120Ω 的表头按图 18(a)所示电路改装成量程分别为 1 V 和 1 A 的多用电表。图中 R_1 和 R_2 为定值电阻，S 为开关。回答下列问题：

(1)根据图(a)所示的电路，在图(b)所示的实物图上连线。

(2)开关 S 闭合时，多用电表用于测量_____ (填“电流”、“电压”或“电阻”)；开关 S 断开时，多用电表用于测量_____ (填“电流”、“电压”或“电阻”)。

(3)表笔 A 应为_____色(填“红”或“黑”)。

(4)定值电阻的阻值 $R_1 =$ _____ Ω ， $R_2 =$ _____ Ω 。(结果取三位有效数字)

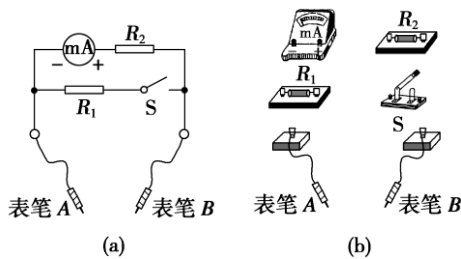
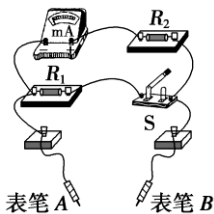


图 18



解析 将表头改装成电压表时，需串联一电阻进行分压，而改装成电流表时则需并联一电阻分流，因此闭合开关后，并联上 R_1 改装成一电流表，断开开关，表头与 R_2 串联则改装成一电压表。多用电表内部表头的正极在右侧，即电流应从表笔 B 流入，从表笔 A 流出，则表笔 A 为黑色。当断开 S 时， $I_g(R_2 + r) = U_m$ ，解得 $R_2 = 880 \Omega$ 。

当闭合 S 时， $I_g(R_2 + r) = (I - I_g)R_1$ ，解得 $R_1 \approx 1.00 \Omega$ 。

答案 (1)如解析图所示 (2)电流 电压 (3)黑

(4)1.00 880

6. 使用多用电表测量电阻时，多用电表内部的电路可以等效为一个直流电源(一般为电池)、一个电阻和一表头相串联，两个表笔分别位于此串联电路的两端。现需要测量多用电表内电池的电动势，给定的器材有：待测多用电表，量程为 60 mA 的电流表，电阻箱，导线若干。实验时，将多用电表调至 $\times 1 \Omega$ 挡，调好零点；电阻箱置于适当数值。完成下列填空：

(1)仪器连线如图 19 所示(a 和 b 是多用电表的两个表笔)。若两电表均正常工作，则表笔 a 为_____ (填“红”或“黑”)色；

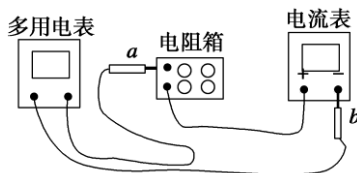


图 19

(2)若适当调节电阻箱后，图 19 中多用电表、电流表与电阻箱的示数分别如图 20(a)、(b)、(c)所示，则多用电表的读数为_____ Ω ，电流表的读数为_____ mA ，电阻箱的读数为_____ Ω ；

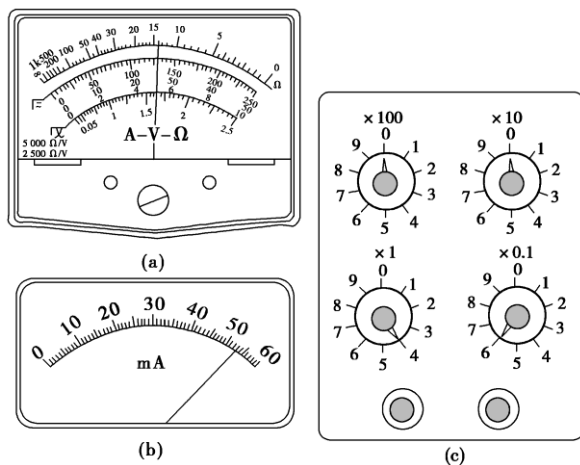


图 20

- (3)将图 19 中多用电表的两表笔短接,此时流过多用电表的电流为_____mA(保留三位有效数字).
 (4)计算得到多用电表内电池的电动势为_____V(保留三位有效数字).

解析 (1)由多用电表电流“红表笔进,黑表笔出”,电流表“+”接线柱电流流进,“-”接线柱电流流出知, a 表笔为黑色表笔.

(2)根据题图读数,多用电表读数为 $14.0\ \Omega$,电流表读数为 $53.0\ \text{mA}$,电阻箱读数为 $4\times 1\ \Omega + 6\times 0.1\ \Omega = 4.6\ \Omega$.

(3)从多用电表表盘来看,指针指在电流表“130”处时实际电流为 $53\ \text{mA}$,故指针指到最右端“250”处时,实际电流为 $53\times \frac{250}{130}\ \text{mA}\approx 102\ \text{mA}$.

(4)由闭合电路欧姆定律 $E = IR + Ir$ 知,

$$E = 14\times 0.053 + 0.053r, \frac{E}{r} = 0.102, \text{得 } E\approx 1.54\ \text{V}.$$

答案 (1)黑 (2)14.0 53.0 4.6 (3)102 (4)1.54

章末定时练七

(时间:60分钟)

一、选择题(1、2为单项选择题,3、4、5为多项选择题)

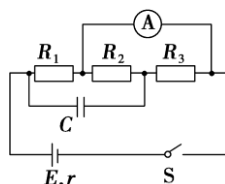


图 1

1. 如图 1 所示,电源电动势为 $4\ \text{V}$,内阻为 $1\ \Omega$,电阻 $R_1=3\ \Omega$, $R_2=R_3=4\ \Omega$,电流表的内阻不计,闭合 S ,电路达到稳定状态后,电容器两极间电压为().

- A. 0 B. $2.3\ \text{V}$
 C. $3\ \text{V}$ D. $3.2\ \text{V}$

解析 由于电流表的内阻不计,故电阻 R_2 、 R_3 被短路,根据闭合电路欧姆定律可得 $I = \frac{E}{R_1 + r}$,解得 $I = 1$

A,故电容器两极间电压为 $U = IR_1 = 3\ \text{V}$,选项 C 正确.

答案 C

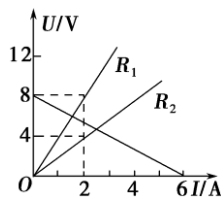


图 2

2. 某电源的路端电压与总电流的关系和电阻 R_1 、 R_2 的电压与电流的关系如图 2 所示.用此电源和电阻 R_1 、 R_2 组成电路. R_1 、 R_2 可以同时接入电路,也可以单独接入电路.为使电源输出功率最大,可采用的接法是().

- A. 将 R_1 单独接到电源两端
 B. 将 R_2 单独接到电源两端
 C. 将 R_1 、 R_2 串联后接到电源两端
 D. 将 R_1 、 R_2 并联后接到电源两端

解析 根据 $U-I$ 图象可知,电源电动势 $E = 8\ \text{V}$,电源内阻 $r = \frac{4}{3}\ \Omega$, $R_1 = 4\ \Omega$, $R_2 = 2\ \Omega$,设外电路电阻

为 R ，则电源的输出功率 $P_{\text{出}} = I^2 R = \frac{RE^2}{(r+R)^2} = \frac{E^2}{\frac{(R-r)^2}{R} + 4r}$ ，可见，当外电路电阻 $R=r$ 时，电源的输出功

率最大。将 R_1 、 R_2 并联后接到电源两端时，外电路电阻 $R = \frac{4 \times 2}{4+2} \Omega = \frac{4}{3} \Omega$ ，刚好等于电源内阻，因此，

电源的输出功率最大。

答案 D

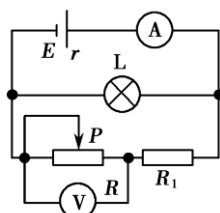


图 3

3. (2013 江苏盐城模拟)如图 3 所示的电路中，电源的电动势 E 和内阻 r 恒定不变，滑片 P 在变阻器正中央位置时，电灯 L 正常发光，现将滑片 P 移到右端，则()。

- A. 电压表的示数变大
- B. 电流表的示数变大
- C. 电灯 L 消耗的功率变小
- D. 电阻 R_1 消耗的功率变小

解析 将滑片 P 移到右端，变阻器接入电路中的电阻 R 变小，总电阻变小，由闭合电路欧姆定律可以判断电路中总电流变大，电流表示数变大，选项 B 正确。由 $U=IR$ 可以判断内电压变大，则路端电压变小，电灯 L 消耗的功率变小，选项 C 正确。流过 R_1 的电流 $I_1 = I_{\text{总}} - I_L$ 变大，电阻 R_1 消耗的功率变大， U_{R1} 变大，选项 D 错误。电压表示数 $U_V = U_L - U_{R1}$ 变小，选项 A 错误。

答案 BC

4. (2013 大连四校联考)如图 4 所示，甲、乙两电路中电源完全相同，内阻不能忽略，电阻 $R_1 > R_2$ 。图中电压表为理想表。当在两电路中通过相同的电荷量 q 的过程中，下列关于两电路的比较正确的是()。

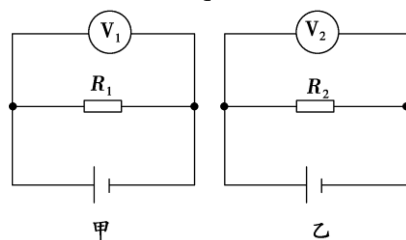


图 4

- A. R_1 上产生的热量比 R_2 上产生的热量多
- B. 电源内部产生热量较多的是甲电路
- C. 电压表 V_1 示数大于电压表 V_2 示数
- D. 甲、乙两电路电源输出功率可能相等

解析 由焦耳定律可得 $Q = I^2 R t = I t \times I R = q U$ ，由于两电路电源相同， $R_1 > R_2$ ，由串联分压与电阻成正比，得 $U_1 > U_2$ ，所以 $Q_1 > Q_2$ ，A、C 正确；电源内部产生的热量 $Q_r = I^2 r t = I t \times I r = q(E - U)$ ，由于 $U_1 > U_2$ ，故 $Q_{r1} < Q_{r2}$ ；B 错误；由于电源的内阻与负载电阻的大小关系未知，由输出功率与负载电阻的关系可知，甲、乙两电路电源输出功率可能相等，D 正确。

答案 ACD

5. 如图 5 甲所示， R 为电阻箱 ($0 \sim 99.9 \Omega$)，置于阻值最大位置， R_x 为未知电阻。(1)断开 K_2 ，闭合 K_1 ，逐渐减小电阻箱的阻值，得到多组 R 、 I 值，并依据 R 、 I 值作出了如图乙所示的 $R - \frac{1}{I}$ 图线。(2)断开 K_2 ，闭合 K_1 ，当 R 调至某一位置时，电流表的示数 $I_1 = 1.0 \text{ A}$ ；保持电阻箱的位置不变，断开 K_1 ，闭合 K_2 ，

此时电流表的示数为 $I_2=0.8\text{ A}$ 。根据以上数据可知()。

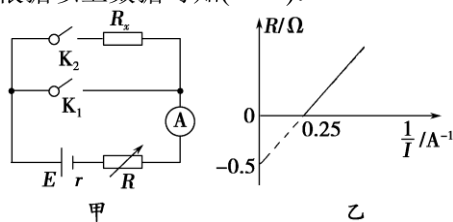


图 5

- A. 电源电动势为 3.0 V
- B. 电源内阻为 $0.5\ \Omega$
- C. R_x 的阻值为 $0.5\ \Omega$
- D. K_1 断开、 K_2 闭合时，随着 R 的减小，电源输出功率减小

解析 由 $I = \frac{E}{R+r}$ 得 $R = \frac{E}{I} - r$ ，则 $R - \frac{1}{I}$ 图象的斜率 $k = E = 2.0\text{ V}$ ，A 选项错误。R 轴截距的绝对值等于内

阻 r ，即 $r = 0.5\ \Omega$ ，B 选项正确。 K_2 断开、 K_1 闭合时， $R+r = \frac{E}{I_1}$ ； K_1 断开、 K_2 闭合时， $R_x + R + r = \frac{E}{I_2}$ ，

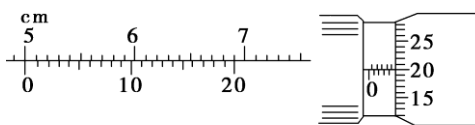
所以 $R_x = \frac{E}{I_2} - \frac{E}{I_1} = 0.5\ \Omega$ ，C 选项正确。因 $R_x = r$ ，所以电路中的外电阻大于内阻，随着 R 的减小，电源输出功率增大，当 $R=0$ 时，电源的输出功率最大，D 选项错误。

答案 BC

二、非选择题

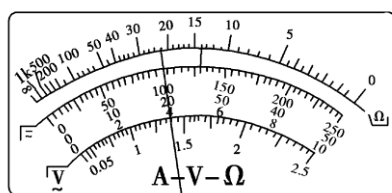
6. 某同学要测量一均匀新材料制成的圆柱体的电阻率 ρ 。

用游标为 20 分度的游标卡尺测量其长度如图 6 甲所示，由图甲可知其长度为_____mm；用螺旋测微器测量其直径如图乙，由图乙可知其直径为_____mm；用多用电表的电阻“ $\times 10$ ”挡，按正确的操作步骤测此圆柱体的电阻，表盘的示数如图丙，该电阻的阻值约为_____ Ω ，则该圆柱体的电阻率 $\rho =$ _____ $\Omega \cdot \text{m}$ 。



甲

乙



丙

图 6

解析 游标卡尺的读数为 $(50 + 0.05 \times 3)\text{ mm} = 50.15\text{ mm}$ ，螺旋测微器的读数为 $(4.5 + 0.01 \times 20.0)\text{ mm} = 4.700\text{ mm}$ ，多用电表的读数为 $22.0 \times 10\ \Omega = 220\ \Omega$

答案 50.15 4.700 220 7.6×10^{-2}

7. 在做测量一只蓄电池(电动势约为 2.2 V ，内阻很小)的电动势和内阻的实验时，备有下列器材供选用：

- A. 定值电阻(阻值已知为 $R_1=1\ \Omega$ ，额定功率约 5 W)
- B. 定值电阻(阻值已知为 $R_2=10\ \Omega$ ，额定功率约 10 W)
- C. 直流电流表(量程 $0\sim 0.6\text{ A}\sim 3\text{ A}$ ，内阻不能忽略)
- D. 直流电压表(量程 $0\sim 3\text{ V}\sim 15\text{ V}$ ，内阻较大)
- E. 滑动变阻器(阻值范围 $0\sim 10\ \Omega$)
- F. 滑动变阻器(阻值范围 $0\sim 1\ 000\ \Omega$)
- G. 电键

H. 导线若干

(1)为防止电源短路,用作保护电阻的定值电阻选用_____ (填“A”或“B”);滑动变阻器选用_____ (填“E”或“F”).

(2)某同学将选定的器材在实物图 7 上连线完成了实验电路,闭合电键后无论怎样移动滑片 P ,发现电压表示数约为 2.2 V 不变,电流表的示数几乎为零,若电路中只有一处故障,则电路故障可能是下述中的_____.

- A. b 、 c 间断路 B. a 、 b 间某点电阻丝断路
C. P 与电阻丝未接通 D. 保护电阻断路

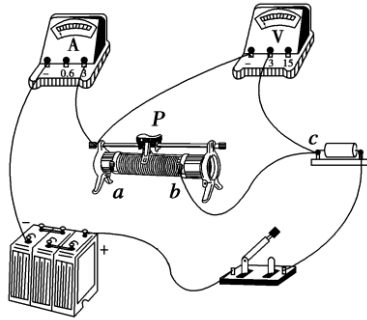


图 7

(3)排除故障后,某小组讨论发现图中有一条导线连接错误,请在错误导线上画上“×”,并画出正确接线.

(4)改正错误后按正确操作完成实验,根据实验记录,将测量数据描点如图 8,请在图上作出相应图象.则待测蓄电池的电动势 E 为_____ V ,内阻 r 为_____ Ω . (结果均保留三位有效数字)

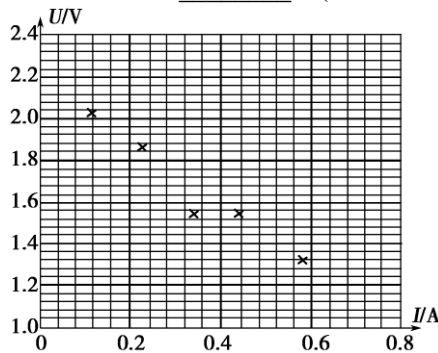


图 8

解析 (1)如用 $R_2 = 10\ \Omega$ 的定值电阻,则电流过小,与 $U - I$ 图象不符,无法完成实验,因此应选 A. 滑动变阻器应选 E, 因为滑动变阻器 F 阻值过大,不易调节.

(2)电压表有示数约为 2.2 V 且不变,说明 a 、 c 之间断路,选项 A、C 正确.

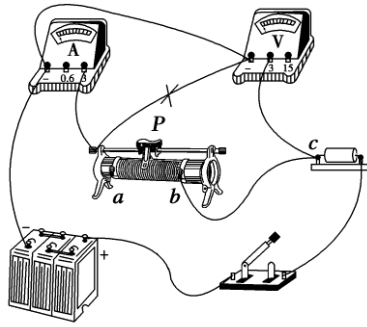
(3)由于电源内阻很小,电流表一定内接.

(4)根据作出的图象知,纵轴截距为电动势 $E = 2.20\text{ V}$, ($2.10\text{ V} \sim 2.30\text{ V}$ 皆可)

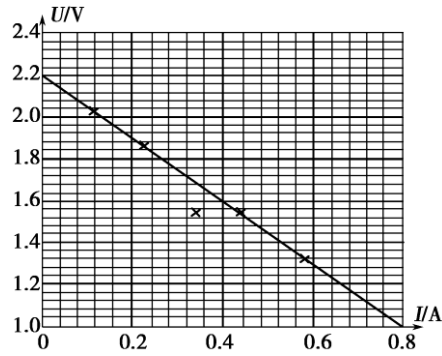
$$k = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right| = R_1 + r, \text{ 所以 } r = 0.500\ \Omega (0.400\ \Omega \sim 0.600\ \Omega \text{ 皆可}).$$

答案 (1)A E (2)AC

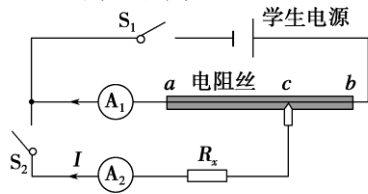
(3)图线如图所示



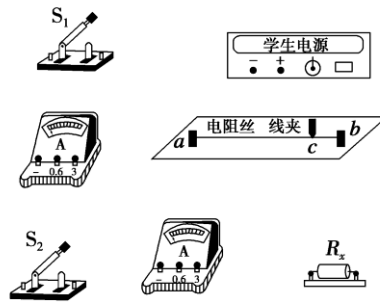
(4) 2.20(2.10~2.30) 0.500(0.400~0.600)



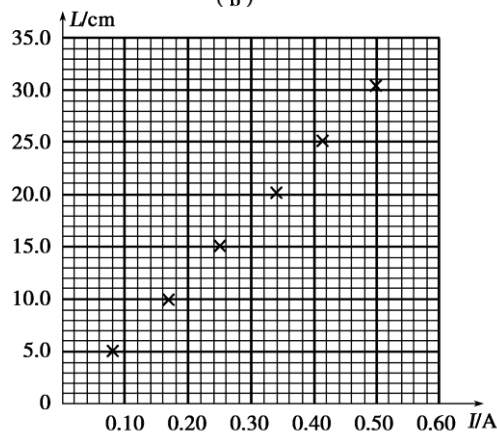
8. (2013 广东卷, 34(2))图 9(a)是测量电阻 R_x 的原理图, 学生电源输出电压可调, 电流表量程选 0.6 A(内阻不计), 标有长度刻度的均匀电阻丝 ab 的总长为 30.0 cm.



(a)



(b)



(c)

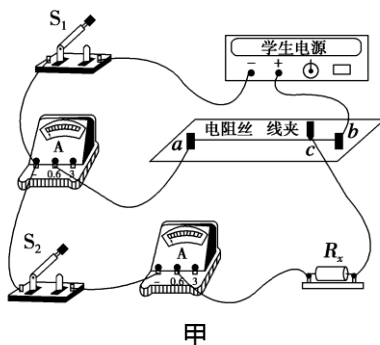
图 9

(1)根据原理图连接图(b)的实物图.

(2)断开 S_2 , 合上 S_1 ; 调节电源输出电压为 3.0 V 时, 单位长度电阻丝的电压 $u = \underline{\hspace{2cm}}$ V/cm, 记录此时电流表 A_1 的示数.

(3)保持 S_1 闭合, 合上 S_2 ; 滑动 c 点改变 ac 的长度 L , 同时调节电源输出电压, 使电流表 A_1 的示数与步骤②记录的值相同, 记录长度 L 和 A_2 的示数 I , 测量 6 组 L 和 I 值, 测量数据已在图(c)中标出, 写出 R_x 与 L 、 I 、 u 的关系式 $R_x = \underline{\hspace{2cm}}$; 根据图(c)用作图法算出 $R_x = \underline{\hspace{2cm}}$ Ω .

解析 (1)根据原理图, 实物连接如图甲所示.

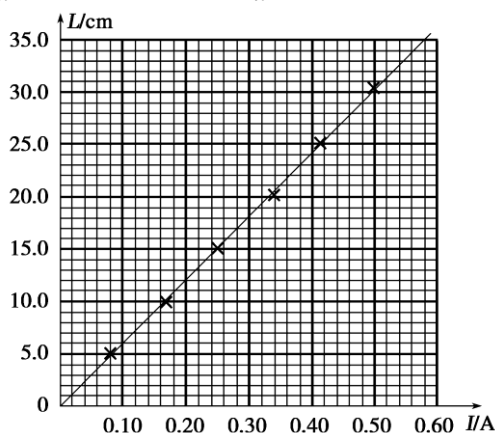


(2)由于电阻丝均匀, 故单位长度电阻丝的电压

$$u = \frac{3.0}{30.0} \text{ V/cm} = 0.1 \text{ V/cm}.$$

(3)调节电源输出电压, 使电流表 A_1 的示数与步骤(2)记录的值相同, 即通过电阻丝 ac 段的电流恒定, 则 R_x 两端的电压与电阻丝的长度成正比, 即 $U = uL$, 根据欧姆定律得 R_x 的表达式 $R_x = \frac{U}{I} = \frac{uL}{I}$.

L 、 I 图象如图乙所示. 根据 $L = \frac{R_x}{u}I$ 知图象的斜率 $k = \frac{R_x}{u}$. 由图象知, 斜率为 $k = 60 \text{ cm/A}$, 故 $R_x = ku = 6.0 \Omega$.



答案 (1)见解析图所示 (2)0.1 (3) $\frac{uL}{I}$ 6

9. [2013 福建卷, 19(2)]硅光电池在无光照时不产生电能, 可视为一电子元件. 某实验小组设计如图 10 甲所示电路, 给硅光电池加反向电压(硅光电池负极接高电势点, 正极接低电势点), 探究其在无光照时的反向伏安特性. 图中电压表 V_1 量程选用 3 V, 内阻为 6.0 k Ω ; 电压表 V_2 量程选用 15 V, 内阻约为 30 k Ω ; R_0 为保护电阻; 直流电源电动势 E 约为 12 V, 内阻不计.

①根据图甲, 用笔画线代替导线, 将图乙连接成完整电路.

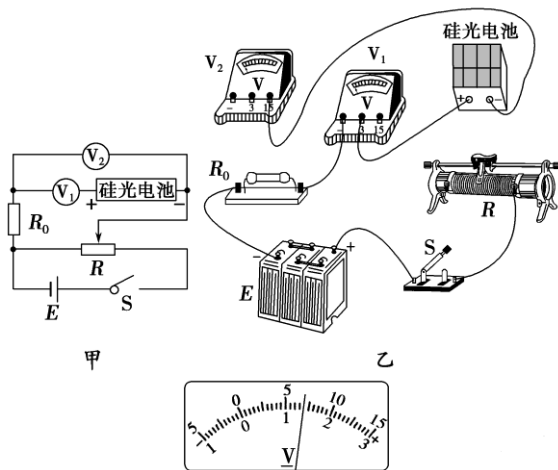
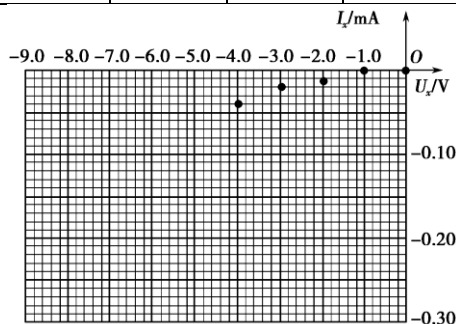


图 10

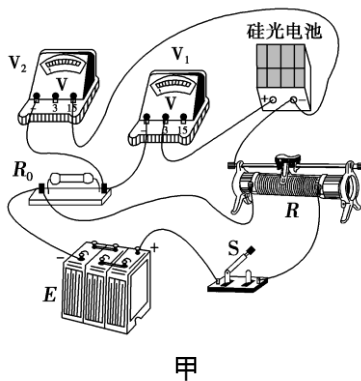
- ②用遮光罩罩住硅光电池，闭合开关 S，调节变阻器 R，读出电压表 V_1 、 V_2 的示数 U_1 、 U_2 。
- (i) 某次测量时，电压表 V_1 示数如图丙，则 $U_1 = \underline{\quad\quad}$ V，可算出通过硅光电池的反向电流大小为 $\underline{\quad\quad}$ mA(保留两位小数)。
- (ii) 该小组测出大量数据，筛选出下表所示的 9 组 U_1 、 U_2 数据，算出相应的硅光电池两端反向电压 U_x 和通过的反向电流 I_x (表中“—”表示反向)，并在坐标纸上建立 I_x-U_x 坐标系，标出了与表中前 5 组 U_x 、 I_x 数据对应的 5 个坐标点，请你标出余下的 4 个坐标点，并绘出 I_x-U_x 图线。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U_1/V	0.00	0.00	0.06	0.12	0.24	0.42	0.72	1.14	1.74
U_2/V	0.0	1.0	2.1	3.1	4.2	5.4	6.7	8.1	9.7
U_x/V	0.0	-1.0	-2.0	-3.0	-4.0	-5.0	-6.0	-7.0	-8.0
I_x/mA	0.00	0.00	-0.01	-0.02	-0.04	-0.07	-0.12	-0.19	-0.29



- (iii) 由 I_x-U_x 图线可知，硅光电池无光照下加反向电压时， I_x 与 U_x 成 $\underline{\quad\quad}$ (填“线性”或“非线性”) 关系。

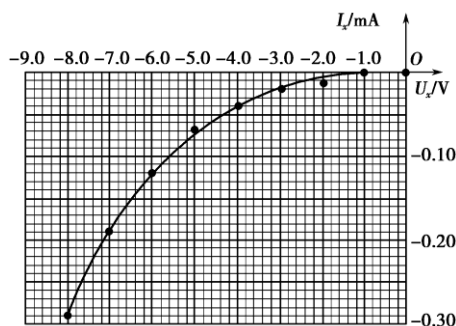
解析 ①实物图如图甲所示。



- ②(i) 由题图知，电压表读数为 1.40 V，通过硅光电池的反向电流也等于通过电压表 V_1 的电流，故 $I = \frac{U_1}{RV_1}$

$$= \frac{1.40}{6.0 \times 10^3} \text{ A} \approx 0.23 \text{ mA}.$$

(ii) 先在坐标纸上描点，然后用平滑的曲线将其连接起来，如图乙所示。



乙

(iii) 因 $I_x - U_x$ 图线为曲线，故 I_x 与 U_x 成非线性关系。

答案 ①如解析图甲所示 ②(i) 1.40 0.23 (ii) 如解析图乙所示 (iii) 非线性

第八章 磁场 ⑧

选修3-1

第八章 磁场

第1讲 磁场的描述及磁场对电流的作用

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点1

磁场、磁感应强度 (考纲要求 I)

1. 磁场

(1) 基本特性：磁场对处于其中的磁体、电流和运动电荷有磁场力的作用。

(2) 方向：小磁针的 N 极所受磁场力的方向。

2. 磁感应强度

(1) 物理意义：描述磁场的强弱和方向。

(2) 大小： $B = \frac{F}{IL}$ (通电导线垂直于磁场)。

(3) 方向：小磁针静止时 N 极 的指向。

(4) 单位：特斯拉(T)。

3. 匀强磁场

(1)定义：磁感应强度的大小处处相等、方向处处相同的磁场称为匀强磁场。

(2)特点

匀强磁场中的磁感线是疏密程度相同、方向相同的平行直线。

思维深化 1 判断正误，正确的划“√”，错误的划“×”。

(1)通电导线在某处所受安培力为零时，此处的磁感应强度一定为零。()

(2)小磁针在磁场中 N 极的受力方向为该处磁场的方向。()

(3)磁场中某点磁感应强度的大小，跟放在该点的试探电流元的情况有关。()

(4)磁场中某点磁感应强度的方向，跟放在该点的试探电流元所受磁场力的方向一致。()

答案 (1)× (2)√ (3)× (4)×

考点 2	磁感线 通电直导线和通电线圈周围
-------------	------------------

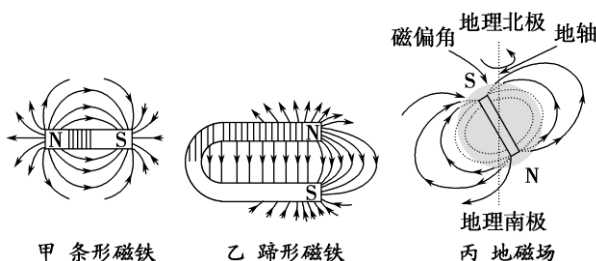
磁场的方向 (考纲要求 I)

1. 磁感线

在磁场中画出一些有方向的曲线，使曲线上各点的切线方向跟这点的磁感应强度方向一致。

2. 几种常见的磁场

(1)常见磁体的磁场



(2)电流的磁场

	通电直导线	通电螺线管	环形电流
安培定则			
立体图			
横截面图			
纵截面图			

考点 3	安培力、安培力的方向 (考纲要求 I)
-------------	---------------------

匀强磁场中的安培力 (考纲要求 II)

1. 安培力的大小

当磁感应强度 B 的方向与导线方向成 θ 角时， $F = BIL \sin \theta$. 这是一般情况下的安培力的表达式，以下是两种特殊情况：

(1)磁场和电流垂直时： $F = BIL$.

(2)磁场和电流平时时： $F = 0$.

2. 安培力的方向

- (1)用左手定则判定：伸开左手，使拇指与其余四个手指垂直，并且都与手掌在同一个平面内。让磁感线从掌心进入，并使四指指向电流的方向，这时拇指所指的方向就是通电导线在磁场中所受安培力的方向。
 (2)安培力的方向特点： $F \perp B$ ， $F \perp I$ ，即 F 垂直于 B 和 I 决定的平面。

思维深化 2 判断正误，正确的划“√”，错误的划“×”。

- (1)磁感线是为了形象地描述磁场而人为引入的曲线，并不是客观存在着的线。()
 (2)磁感线越密，磁场越强。()
 (3)通电导线放入磁场中，若不受安培力，说明该处磁感应强度为零。()
 (4)安培力一定不做功。()

答案 (1)√ (2)√ (3)× (4)×

基础自测

1. (单选)关于磁感应强度 B ，下列说法中正确的是()。

- A. 根据磁感应强度定义 $B = \frac{F}{IL}$ ，磁场中某点的磁感应强度 B 与 F 成正比，与 I 成反比
 B. 磁感应强度 B 是标量，没有方向
 C. 磁感应强度 B 是矢量，方向与 F 的方向相反
 D. 在确定的磁场中，同一点的磁感应强度 B 是确定的，不同点的磁感应强度 B 可能不同，磁感线密集的地方磁感应强度 B 大些，磁感线稀疏的地方磁感应强度 B 小些

解析 磁感应强度是磁场本身的性质，与放入磁场中的导体的电流或受力大小 F 无关，A 错误；磁感应强度 B 是矢量，其方向与 F 总是垂直的，电流方向与 F 也总是垂直的，B、C 错误；在确定的磁场中，同一点的磁感应强度 B 是确定的，由磁场本身决定，与其他外来的一切因素无关，用磁感线的疏密程度表示磁场的强弱，D 正确。

答案 D

2. (单选)一根容易形变的弹性导线，两端固定。导线中通有电流，方向如右图中箭头所示。当没有磁场时，导线呈直线状态；当分别加上方向竖直向上、水平向右或垂直于纸面向外的匀强磁场时，描述导线状态的四个图示中正确的是()。



解析 通电导线在磁场中受安培力时，可用左手定则判断安培力的方向。

答案 D

3. (单选)在赤道上，地磁场可以看作是沿南北方向并且与地面平行的匀强磁场，磁感应强度是 5×10^{-5} T。如果赤道上有一条沿东西方向的直导线，长 40 m，载有 20 A 的电流，地磁场对这根导线的作用力大小是()。

- A. 4×10^{-8} N B. 2.5×10^{-5} N C. 9×10^{-4} N D. 4×10^{-2} N

解析 磁场方向是南北方向，电流方向是东西方向，它们相互垂直，可以利用公式 $F = BIL$ 来计算此安培力的大小。

答案 D

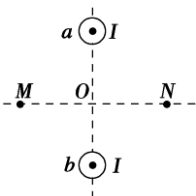


图 8-1-1

4. (单选)两根长直导线 a 、 b 平行放置，如图 8-1-1 所示为垂直于导线的截面图，图中 O 点为两根导线连线 ab 的中点， M 、 N 为 ab 的中垂线上的两点且与 a 、 b 等距，两导线中通有等大、同向的恒定电流，

已知直线电流在某点产生的磁场的磁感应强度 B 的大小跟该点到通电导线的距离 r 成反比, 则下列说法中正确的是().

- A. M 点和 N 点的磁感应强度大小相等, 方向相同
- B. M 点和 N 点的磁感应强度大小相等, 方向相反
- C. 在线段 MN 上各点的磁感应强度都不可能为零
- D. 若在 N 点放一小磁针, 静止时其北极沿 NO 由 N 点指向 O 点

解析 由安培定则、通电直导线周围磁场特点及矢量的合成知 B_M 垂直 MN 向下, B_N 垂直 MN 向上, 且 $B_M = B_N$; 而 O 点的磁感应强度 $B_O = 0$, B 对, A、C 错; 若在 N 点放一小磁针, 静止时其北极垂直 MN 向上.

答案 B

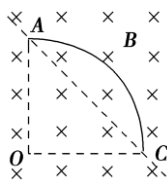


图 8-1-2

5. (单选)如图 8-1-2 所示, AC 是一个用长为 L 的导线弯成的、以 O 为圆心的四分之一圆弧, 将其放置在与平面 AOC 垂直的磁感应强度为 B 的匀强磁场中. 当在该导线中通以由 C 到 A , 大小为 I 的恒定电流时, 该导线受到的安培力的大小和方向是().

- A. BIL , 平行于 OC 向左
- B. $\frac{2\sqrt{2}BIL}{\pi}$, 平行于 OC 向右
- C. $\frac{2\sqrt{2}BIL}{\pi}$, 垂直 AC 的连线指向左下方
- D. $2\sqrt{2}BIL$, 垂直 AC 的连线指向左下方

解析 由 L 为 $\frac{1}{4}$ 圆弧, 所以 $\frac{2\pi R}{4} = L$, 即 $R = \frac{2L}{\pi}$, \overline{AC} 的有效长度为 $l = \sqrt{2}R = \frac{2\sqrt{2}L}{\pi}$, 安培力为 $F_A = BIl = \frac{2\sqrt{2}BIL}{\pi}$, 方向由左手定则判断, 垂直 AC 的连线指向左下方, 因此选项 C 正确.

答案 C

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 磁场的叠加和安培定则的应用

1. 磁场的叠加: 磁感应强度为矢量, 合成与分解遵循平行四边形定则.
2. 不同情况下安培定则的应用

		安培定则(右手螺旋定则)	
作用		判断电流的磁场方向	
内容	具体情况	直线电流	环形电流或通电螺线管
	条件(电流方向)	大拇指指向电流的方向	四根手指弯曲方向指向电流的环绕方向
	结果(磁场方向)	四根手指弯曲方向表示磁感线的方向	大拇指指向表示轴线上的磁感线方向

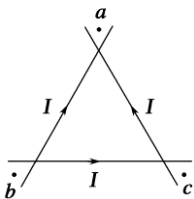


图 8-1-3

【典例 1】(2013 海南卷, 9)三条在同一平面(纸面)内的长直绝缘导线组成一等边三角形, 在导线中通

过的电流均为 I ，方向如图 8-1-3 所示。 a 、 b 和 c 三点分别位于三角形的三个顶角的平分线上，且到相应顶点的距离相等。将 a 、 b 和 c 处的磁感应强度大小分别记为 B_1 、 B_2 和 B_3 ，下列说法正确的是()。

- A. $B_1=B_2<B_3$
- B. $B_1=B_2=B_3$
- C. a 和 b 处磁场方向垂直于纸面向外， c 处磁场方向垂直于纸面向里
- D. a 处磁场方向垂直于纸面向外， b 和 c 处磁场方向垂直于纸面向里

解析 本题考查磁场的叠加，由于通过三条导线的电流大小相等，结合右手定则可判断出三条导线在 a 、 b 处产生的合磁感应强度垂直纸面向外，在 c 处垂直纸面向里，且 $B_1=B_2<B_3$ ，故选项 A、C 正确。

答案 AC

反思总结 求解有关磁感应强度问题的关键

- (1)磁感应强度——由磁场本身决定。
- (2)合磁感应强度——等于各磁场的磁感应强度的矢量和(满足平行四边形定则)
- (3)牢记判断电流的磁场的方法——安培定则，并能熟练应用，建立磁场的立体分布模型(记住 5 种常见磁场的立体分布图)。

【跟踪短训】

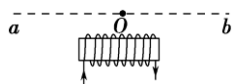
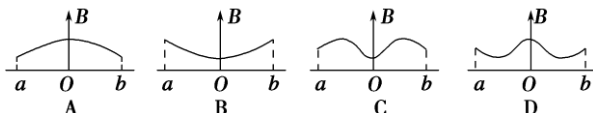


图 8-1-4

1. (2013·上海卷，13)如图 8-1-4 所示，足够长的直线 ab 靠近通电螺线管，与螺线管平行。用磁传感器测量 ab 上各点的磁感应强度 B ，在计算机屏幕上显示的大致图象是()。



解析 通电螺线管外部中间处的磁感应强度最小，所以用磁传感器测量 ab 上各点的磁感应强度 B ，在计算机屏幕上显示的大致图象是 C。

答案 C

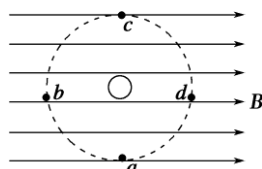


图 8-1-5

2. 如图 8-1-5 所示，一根通电直导线放在磁感应强度 $B=1\text{ T}$ 的匀强磁场中，在以导线为圆心，半径为 r 的圆周上有 a 、 b 、 c 、 d 四个点，若 a 点的实际磁感应强度为 0，则下列说法中正确的是()。

- A. 直导线中电流方向垂直纸面向里
- B. c 点的实际磁感应强度也为 0
- C. d 点实际磁感应强度为 $\sqrt{2}\text{ T}$ ，方向斜向右下方，与 B 的夹角为 45°
- D. 以上均不正确

解析 题中的磁场是由直导线电流的磁场和匀强磁场共同形成的，磁场中任一点的磁感应强度应为两磁场分别产生的磁感应强度的矢量和。 a 处磁感应强度为 0，说明直导线电流在该处产生的磁感应强度大小与匀强磁场的磁感应强度大小相等、方向相反，可得直导线中电流方向应是垂直纸面向里。在圆周上任一点，由直导线电流产生的磁场的磁感应强度大小均为 $B=1\text{ T}$ ，方向沿圆周切线方向，可知 c 点的磁感应强度大小为 2 T ，方向向右， d 点的磁感应强度大小为 $\sqrt{2}\text{ T}$ ，方向与 B 成 45° 角斜向右下方。

答案 AC

热点二 安培力作用下导体的平衡问题

通电导体在磁场中受到的安培力

- (1)方向：根据左手定则判断

F 、 B 、 I 三者间方向关系：已知 B 、 I 的方向(B 、 I 不平行时)，可用左手定则确定 F 的唯一方向。 $F \perp B$ ， $F \perp I$ ，则 F 垂直于 B 和 I 所构成的平面，但已知 F 和 B 的方向，不能唯一确定 I 的方向。

(2)大小：由公式 $F=BIL$ 计算，且其中的 L 为导线在磁场中的有效长度。如弯曲通电导线的有效长度 L 等于连接两端点的直线的长度，相应的电流方向沿两端点连线由始端流向末端，如图8-1-6所示。

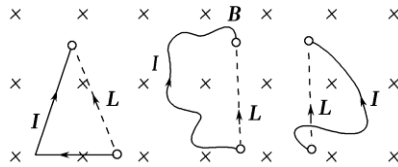


图 8-1-6

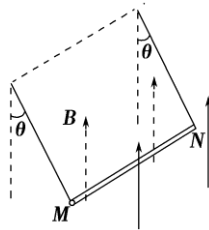


图 8-1-7

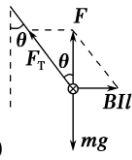
【典例 2】 (2012 天津卷, 2)如图 8-1-7 所示，金属棒 MN 两端由等长的轻质细线水平悬挂，处于竖直向上的匀强磁场中，棒中通以由 M 向 N 的电流，平衡时两悬线与竖直方向夹角均为 θ 。如果仅改变下列某一个条件， θ 角的相应变化情况是()。

- A. 棒中的电流变大， θ 角变大
- B. 两悬线等长变短， θ 角变小
- C. 金属棒质量变大， θ 角变大
- D. 磁感应强度变大， θ 角变小

审题指导 (1)金属棒 MN 处于_____状态。

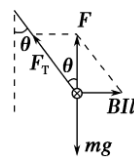
(2)沿 MN 方向看，画出 MN 的受力图_____。

(3)利用平衡条件列出平衡方程。_____。



提示 (1)平衡 (2)

(3) $BII = mg \tan \theta$

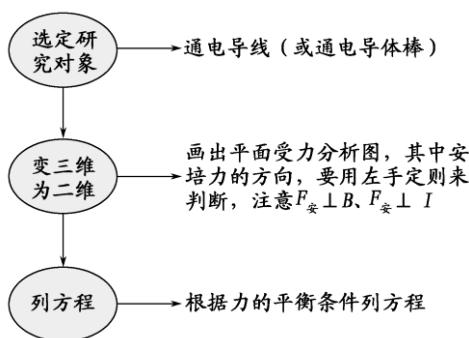


解析 选金属棒 MN 为研究对象，其受力情况如图所示。根据平衡条件及三角形知识可得 $\tan \theta = \frac{BII}{mg}$ ，所以当棒中的电流 I 、磁感应强度 B 变大时， θ 角变大，选项 A 正确，选项 D 错误；当金属棒质量 m 变大时， θ 角变小，选项 C 错误； θ 角的大小与悬线长无关，选项 B 错误。

答案 A

反思总结

1. 求解安培力作用下导体棒平衡问题的基本思路



2. 求解关键

- (1) 电磁问题力学化 .
- (2) 立体图形平面化 .

【跟踪短训】

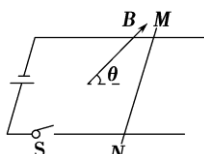


图 8-1-8

3. 如图 8-1-8 所示, 质量为 m 、长为 L 的导体棒电阻为 R , 初始时静止于光滑的水平轨道上, 电源电动势为 E , 内阻不计. 匀强磁场的磁感应强度为 B , 其方向与轨道平面成 θ 角斜向上方, 开关闭合后导体棒开始运动, 则().

- A. 导体棒向左运动
- B. 开关闭合瞬间导体棒 MN 所受安培力为 $\frac{BEL}{R}$
- C. 开关闭合瞬间导体棒 MN 所受安培力为 $\frac{BEL\sin\theta}{R}$
- D. 开关闭合瞬间导体棒 MN 的加速度为 $\frac{BEL\sin\theta}{mR}$

解析 磁场方向与导体棒垂直, 导体棒所受安培力 $F = BIL = \frac{BEL}{R}$, 方向为垂直于磁场方向与电流方向所确定的平面斜向下, 其有水平向右的分量, 将向右运动, 故 A、C 错误, B 正确. 导体棒的合力 $F_{\text{合}} = F\cos(90^\circ - \theta) = F\sin\theta$, 由 $a = \frac{F_{\text{合}}}{m}$ 得 $a = \frac{BEL\sin\theta}{mR}$, D 正确.

答案 BD

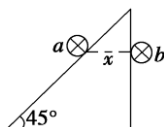
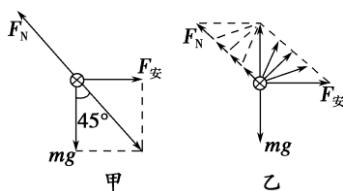


图 8-1-9

4. 如图 8-1-9 所示, 有两根长为 L 、质量为 m 的细导体棒 a 、 b , a 被水平放置在倾角为 45° 的光滑斜面上, b 被水平固定在与 a 在同一水平面的另一位置, 且 a 、 b 平行, 它们之间的距离为 x . 当两细棒中均通以电流强度为 I 的同向电流时, a 恰能在斜面上保持静止, 则下列关于 b 的电流在 a 处产生的磁场的磁感应强度的说法正确的是().

- A. 方向向上
- B. 大小为 $\frac{\sqrt{2}mg}{2LI}$
- C. 要使 a 仍能保持静止, 而减小 b 在 a 处的磁感应强度, 可使 b 上移
- D. 若使 b 下移, a 仍将保持静止

解析 要使 a 恰能在斜面上保持静止, 由安培定则可知 b 的电流在 a 处产生的磁场的磁感应强度方向应向上, A 正确. a 的受力如图甲所示.



$\tan 45^\circ = \frac{F_{\text{安}}}{mg} = \frac{BIL}{mg}$, 所以 $B = \frac{mg}{IL}$, B 错误. b 无论上移还是下移, b 在 a 处的磁感应强度均减小. 若上移, a 的受力如图乙所示. 上移过程中 F_N 逐渐减小, $F_{\text{安}}$ 先减小后增大, 两个力的合力等于 mg , 此时 a 仍能保持静止, 故 C 正确. 若使 b 下移, 同理可分析 a 将不能保持静止, D 错误.

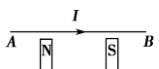
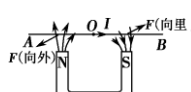

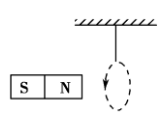
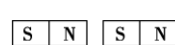
答案 AC

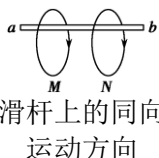
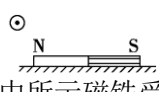
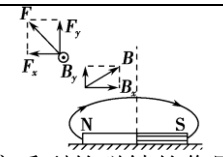
思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

思想方法 13. 判断通电导体(或磁铁)在安培力作用下运动的常用方法

方法阐述及实例分析

	具体方法	实例	分析
电流元法	把整段电流等效分成很多电流元, 先用左手定则判断出每小段电流元所受安培力的方向, 从而判断出整段电流所受合力的方向, 最后确定运动方向, 注意一般取对称的电流元分析	 判断能自由移动的导线运动情况	 把直线电流等效为 AO 、 BO 两段电流元, 蹄形磁铁磁感线分布以及两段电流元受安培力方向如图所示. 可见, 导线将沿俯视逆时针方向转动
特殊位置法	根据通电导体在特殊位置所受安培力的方向, 判断其运动方向, 然后推广到一般位置	 用导线转过 90° 的特殊位置(如图所示的虚线位置)来分析, 判得安培力方向向下, 故导线在逆时针转动的同时向下运动	
等效分析法	环形电流可以等效为小磁针(或条形磁铁), 条形磁铁也可等效成环形电流, 通电螺线管可等效为多个环形电流或条形磁铁	 判断环形电流受到的安培力方向	 把环形电流等效成如图所示右边的条形磁铁, 可见两条形磁铁相互吸引, 不会有转动. 电流受到的安培力方向向左

<p>结论法</p>	<p>(1)两电流相互平行时无转动趋势，同向电流相互吸引，反向电流相互排斥(2)两电流不平行时，有转动到相互平行且方向相同的趋势</p>	 <p>判断光滑杆上的同向电流的运动方向</p>	<p>同向电流直接相吸，两个环形电流会相互靠拢</p>
<p>转换研究对象法</p>	<p>定性分析磁体在电流产生的磁场中受力方向时，可先判断电流在磁体磁场中的受力方向，然后再根据牛顿第三定律判断磁体受力方向</p>	 <p>判断图中所示磁铁受到的地面摩擦力方向</p>	 <p>电流受到的磁铁的作用力方向如图所示，所以反过来电流对磁铁的作用力方向斜向右下。可知地面对磁铁的作用力方向向左</p>

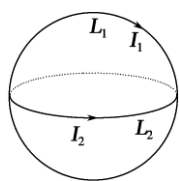


图 8-1-10

【典例】 一个可以自由运动的线圈 L_1 和一个固定的线圈 L_2 互相绝缘垂直放置，且两个线圈的圆心重合，如图 8-1-10 所示。当两线圈中通以图示方向的电流时，从左向右看，线圈 L_1 将()。

- A. 不动 B. 顺时针转动
C. 逆时针转动 D. 在纸面内平动

解析 方法一(电流元分析法) 把线圈 L_1 沿水平转动轴分成上下两部分，每一部分又可以看成无数段直线电流元，电流元处在 L_2 产生的磁场中，根据安培定则可知各电流元所在处的磁场方向向上，由左手定则可得，上半部分电流元所受安培力均指向纸外，下半部分电流元所受安培力均指向纸内，因此从左向右看线圈 L_1 将顺时针转动。

方法二(等效分析法) 把线圈 L_1 等效为小磁针，该小磁针刚好处于环形电流 I_2 的中心，小磁针的 N 极应指向该点环形电流 I_2 的磁场方向，由安培定则知 I_2 产生的磁场方向在其中心处竖直向上，而 L_1 等效成小磁针后，转动前，N 极指向纸内，因此小磁针的 N 极应由指向纸内转为向上，所以从左向右看，线圈 L_1 将顺时针转动。

方法三(利用结论法) 环形电流 I_1 、 I_2 之间不平行，则必有相对转动，直到两环形电流同向平行为止，据此可得，从左向右看，线圈 L_1 将顺时针转动。

答案 B

反思总结 判断通电导体在安培力作用下的运动问题时应注意以下两点：

- (1)同一问题可以用多种判断方法分析，可以根据不同的题目选择恰当的判断方法。
- (2)同一导体在安培力作用下，运动形式可能会发生变化，要根据受力情况进行判断。

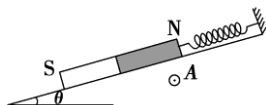
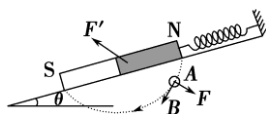


图 8-1-11

即学即练 如图 8-1-11 所示，条形磁铁放在光滑斜面上，用平行于斜面的轻弹簧拉住而平衡，A 为水平放置的直导线的截面，导线中无电流时磁铁对斜面的压力为 F_{N1} ；当导线中有垂直纸面向外的电流

时, 磁铁对斜面的压力为 F_{N2} , 则下列关于压力和弹簧的伸长量的说法中正确的是()。

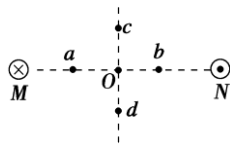
- A. $F_{N1} < F_{N2}$, 弹簧的伸长量减小
- B. $F_{N1} = F_{N2}$, 弹簧的伸长量减小
- C. $F_{N1} > F_{N2}$, 弹簧的伸长量增大
- D. $F_{N1} > F_{N2}$, 弹簧的伸长量减小



解析 采用“转换研究对象”：由于条形磁铁的磁感线是从 N 极出发到 S 极, 所以可画出磁铁在导线 A 处的一条磁感线, 此处磁感应强度方向斜向左下方, 如图, 导线 A 中的电流垂直纸面向外, 由左手定则可判断导线 A 必受斜向右下方的安培力, 由牛顿第三定律可知磁铁所受作用力的方向是斜向左上方, 所以磁铁对斜面的压力减小, $F_{N1} > F_{N2}$. 同时, 由于导线 A 比较靠近 N 极, 安培力的方向与斜面的夹角小于 90° , 所以电流对磁铁的作用力有沿斜面向下的分力, 使得弹簧弹力增大, 可知弹簧的伸长量增大, 所以正确选项为 C.

答案 C

对应高考题组

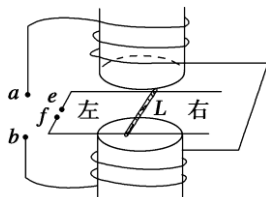


1. (2012 大纲全国卷, 18) 如图所示, 两根相互平行的长直导线过纸面上的 M、N 两点, 且与纸面垂直, 导线中通有大小相等、方向相反的电流. a、O、b 在 M、N 的连线上, O 为 MN 的中点, c、d 位于 MN 的中垂线上, 且 a、b、c、d 到 O 点的距离均相等. 关于以上几点处的磁场, 下列说法正确的是()。

- A. O 点处的磁感应强度为零
- B. a、b 两点处的磁感应强度大小相等, 方向相反
- C. c、d 两点处的磁感应强度大小相等, 方向相同
- D. a、c 两点处磁感应强度的方向不同

解析 根据安培定则判断磁场方向, 再结合矢量的合成知识求解. 根据安培定则判断: 两直线电流在 O 点产生的磁场方向均垂直于 MN 向下, O 点的磁感应强度不为零, 故 A 选项错误; a、b 两点的磁感应强度大小相等, 方向相同, 故 B 选项错误; 根据对称性, c、d 两点处的磁感应强度大小相等, 方向相同, 故 C 选项正确; a、c 两点的磁感应强度方向相同, 故 D 选项错误.

答案 C



2. (2012 海南单, 10) 如图中所示装置可演示磁场对通电导线的作用. 电磁铁上下两磁极之间某一水平面内固定两条平行金属导轨, L 是置于导轨上并与导轨垂直的金属杆. 当电磁铁线圈两端 a、b, 导轨两端 e、f, 分别接到两个不同的直流电源上时, L 便在导轨上滑动. 下列说法正确的是()。

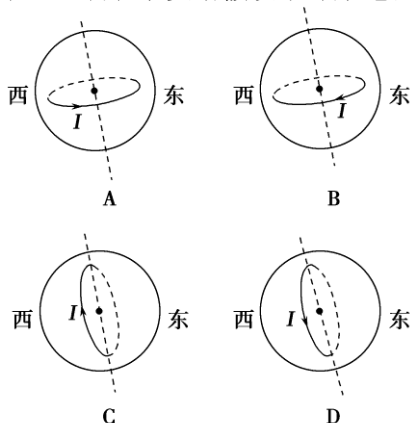
- A. 若 a 接正极, b 接负极, e 接正极, f 接负极, 则 L 向右滑动
- B. 若 a 接正极, b 接负极, e 接负极, f 接正极, 则 L 向右滑动
- C. 若 a 接负极, b 接正极, e 接正极, f 接负极, 则 L 向左滑动
- D. 若 a 接负极, b 接正极, e 接负极, f 接正极, 则 L 向左滑动

解析 若 a 接正极, b 接负极, 电磁铁磁极间磁场方向向上, e 接正极, f 接负极, 由左手定则判定金属杆受安培力向左, 则 L 向左滑动, A 项错误, 同理判定 B、D 选项正确, C 项错误.

答案 BD

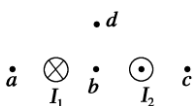
3. (2011 课标全国理综, 14) 为了解释地球的磁性, 19 世纪安培假设: 地球的磁场是由绕过地心的轴的

环形电流 I 引起的。在下列四个图中，正确表示安培假设中环形电流方向的是()。



解析 地磁场的 N 极在地球南极附近，地磁场的 S 极在地球北极附近，根据安培定则，可判定电流方向为顺时针方向(站在地球的北极向下看)，选项 B 正确，选项 A、C、D 错误。

答案 B



4. (2011 大纲全国, 15)如图，两根相互平行的长直导线分别通有方向相反的电流 I_1 和 I_2 ，且 $I_1 > I_2$ ； a 、 b 、 c 、 d 为导线某一横截面所在平面内的四点且 a 、 b 、 c 与两导线共面； b 点在两导线之间， b 、 d 的连线与导线所在平面垂直，磁感应强度可能为零的点是()。

A. a 点 B. b 点 C. c 点 D. d 点

解析 由于 $I_1 > I_2$ ，且离导线越远产生的磁场越弱，在 a 点 I_1 产生的磁场比 I_2 产生的磁场要强，A 错，同理，C 对。 I_1 与 I_2 在 b 点产生的磁场方向相同，合成后不可能为零，B 错。 d 点两电流产生的磁场 B_1 、 B_2 不共线，合磁场不可能为 0，D 错。

答案 C

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 磁感应强度及磁场的叠加

1. (多选)物理学中，通过引入检验电流来了解磁场力的特性，对检验电流的要求是()。

A. 将检验电流放入磁场，测量其所受的磁场力 F ，导线长度 L ，通电电流 I ，应用公式 $B = \frac{F}{IL}$ ，即可测得磁感应强度 B

B. 检验电流不宜太大

C. 利用检验电流和运用公式 $B = \frac{F}{IL}$ 只能应用于匀强磁场

D. 只要满足长度 L 很短，电流很小，将其垂直放入磁场的条件，公式 $B = \frac{F}{IL}$ 对任何磁场都适用

解析 用检验电流来了解磁场，要求检验电流对原来磁场的影响很小，可以忽略，所以导体长度 L 应很短，电流应很小，当垂直放置时，定义式 $B = \frac{F}{IL}$ 适用于所有磁场，选项 B、D 正确。

答案 BD

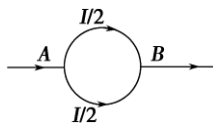
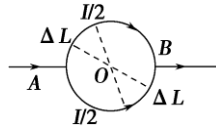


图 8-1-12

2. (单选)如图 8-1-12 所示，电流从 A 点分两路通过对称的环形分路汇合于 B 点，在环形分路的中心 O 处的磁感应强度为()。

- A. 垂直环形分路所在平面, 且指向“纸内”
- B. 垂直环形分路所在平面, 且指向“纸外”
- C. 在环形分路所在平面内指向 B
- D. 零



解析 利用“微元法”把圆周上的电流看成是无数段直导线电流的集合如图, 由安培定则可知在一条直径上的两个微元所产生的磁感应强度等大反向, 由矢量叠加原理可知中心 O 处的磁感应强度为零.

答案 D

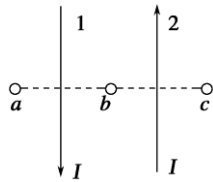


图 8-1-13

3. (单选)如图 8-1-13 所示, 平行长直导线 1、2 通过相反方向的电流, 电流大小相等. a 、 b 两点关于导线 1 对称, b 、 c 两点关于导线 2 对称, 且 $ab=bc$, 则关于 a 、 b 、 c 三点的磁感应强度 B 的说法中正确的是().

- A. 三点的磁感应强度相同
- B. b 点的磁感应强度最大
- C. a 、 c 两点的磁感应强度大小相同, 方向相反
- D. a 点的磁感应强度最大

解析 直接画出导线 1、2 在 a 、 b 、 c 三点所产生的磁场方向, 同向相加, 反向相减, 易知 B 正确. a 、 c 两点的磁感应强度 B 的大小和方向均相同, 但要小于 b 点, 故 A、C、D 均错.

答案 B

题组二 安培力的大小及方向判断

4. (单选)如图 8-1-14 所示, 一段导线 $abcd$ 位于磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中, 且与磁场方向(垂直于纸面向里)垂直. ab 、 bc 和 cd 段的长度均为 L , 且 $\angle abc = \angle bcd = 135^\circ$. 流经导线的电流为 I , 方向如图中箭头所示. 判断导线 $abcd$ 所受到的磁场的作用力的合力, 下列说法正确的是().

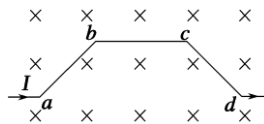


图 8-1-14

- A. 方向沿纸面向上, 大小为 $(\sqrt{2}+1)ILB$
- B. 方向沿纸面向上, 大小为 $(\sqrt{2}-1)ILB$
- C. 方向沿纸面向下, 大小为 $(\sqrt{2}+1)ILB$
- D. 方向沿纸面向下, 大小为 $(\sqrt{2}-1)ILB$

解析 将导线分为三段直导线, 根据左手定则分别判断出安培力的方向, 根据 $F = BIL$ 计算出安培力的大小, 再求合力. 导线所受合力 $F = BIL + 2BIL \sin 45^\circ = (\sqrt{2} + 1)ILB$.

答案 A

5. (单选)一段长 0.2 m、通有 2.5 A 电流的直导线, 在磁感应强度为 B 的匀强磁场中所受安培力 F 的情况, 正确的是().

- A. 如果 $B=2\text{ T}$, F 一定是 1 N
- B. 如果 $F=0$, B 也一定为零
- C. 如果 $B=4\text{ T}$, F 有可能是 1 N
- D. 如果 F 有最大值, 通电导线一定与 B 平行

解析 如果 $B = 2 \text{ T}$,当导线与磁场方向垂直放置时,安培力最大,大小为 $F = BIL = 2 \times 2.5 \times 0.2 \text{ N} = 1 \text{ N}$;当导线与磁场方向平行放置时,安培力 $F = 0$;当导线与磁场方向成任意夹角放置时, $0 < F < 1 \text{ N}$,故选项 A、B 和 D 均错误;将 $L = 0.2 \text{ m}$ 、 $I = 2.5 \text{ A}$ 、 $B = 4 \text{ T}$ 、 $F = 1 \text{ N}$ 代入 $F = BIL \sin \theta$,解得 $\theta = 30^\circ$,故选项 C 正确.

答案 C

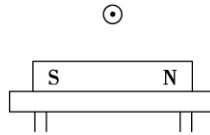


图 8-1-15

6. (单选)如图 8-1-15 所示,条形磁铁平放于水平桌面上,在它的正中央上方固定一根直导线,导线与磁场垂直,现给导线中通以垂直于纸面向外的电流,则下列说法正确的是().

- A. 磁铁对桌面的压力减小
- B. 磁铁对桌面的压力增大
- C. 磁铁对桌面的压力不变
- D. 以上说法都不对

解析 本题直接判断通电导线对磁铁的作用力不是很方便,可以先判断磁铁对通电导线的作用力的方向.由左手定则可判断出通电导线受到磁铁竖直向下的安培力作用,由牛顿第三定律可知,通电导线对磁铁有竖直向上的反作用力.对磁铁受力分析,易知磁铁对桌面的压力减小.

答案 A

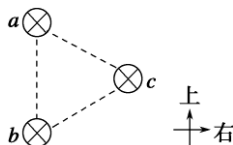


图 8-1-16

7. (单选)如图 8-1-16 所示,在等边三角形的三个顶点 a 、 b 、 c 处各有一条长直导线垂直穿过纸面,导线中均通有大小相等的恒定电流,方向垂直纸面向里.过 c 点的导线所受安培力的方向是().

- A. 与 ab 边平行, 竖直向上
- B. 与 ab 边平行, 竖直向下
- C. 与 ab 边垂直, 指向左边
- D. 与 ab 边垂直, 指向右边

解析 先利用安培定则把导线 a 、 b 在 c 处所产生的磁场方向标出来,再合成,可知 c 处的磁场方向竖直向下,再利用左手定则可知 c 处导线所受安培力方向水平向左, C 正确.

答案 C

题组三 安培力作用下的平衡

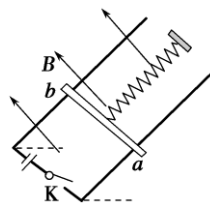


图 8-1-17

8. (2013·云南一模)(单选)如图 8-1-17 所示,两平行光滑金属导轨固定在绝缘斜面上,导轨间距为 L ,劲度系数为 k 的轻质弹簧上端固定,下端与水平直导体棒 ab 相连,弹簧与导轨平面平行并与 ab 垂直,直导体棒垂直跨接在两导轨上,空间存在垂直导轨平面斜向上的匀强磁场.闭合开关 K 后,导体棒中的电流为 I ,导体棒平衡时,弹簧伸长量为 x_1 ;调转图中电源极性使棒中电流反向,导体棒中电流仍为 I ,导体棒平衡时弹簧伸长量为 x_2 .忽略回路中电流产生的磁场,则磁感应强度 B 的大小为().

- A. $\frac{k}{IL}(x_1 + x_2)$
- B. $\frac{k}{IL}(x_2 - x_1)$
- C. $\frac{k}{2IL}(x_2 + x_1)$
- D. $\frac{k}{2IL}(x_2 - x_1)$

解析 由平衡条件, $mg \sin \alpha = kx_1 + BIL$, 调转题图中电源极性使棒中电流反向, 由平衡条件, $mg \sin \alpha + BIL = kx_2$, 联立解得 $B = \frac{k}{2IL}(x_2 - x_1)$.

答案 D

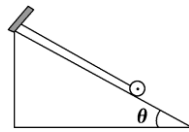


图 8-1-18

9. (多选)如图 8-1-18 所示, 质量为 M 、长为 L 的直导线通有垂直纸面向外的电流 I , 被一绝缘线拴着并处在匀强磁场中, 导线能静止在倾角为 θ 的光滑斜面上, 则磁感应强度 B 的大小和方向可能是().

- A. 大小为 $\frac{Mg \tan \theta}{IL}$, 方向垂直斜面向上
- B. 大小为 $\frac{Mg \sin \theta}{IL}$, 方向垂直纸面向里
- C. 大小为 $\frac{Mg}{IL}$, 方向水平向右
- D. 大小为 $\frac{Mg}{IL}$, 方向沿斜面向下

解析 当磁场的方向垂直斜面向上时, 通电直导线受到沿斜面向上的安培力作用, 由于 $F = BIL = \frac{Mg \tan \theta}{IL} IL = Mg \tan \theta = Mg \frac{\sin \theta}{\cos \theta} > Mg \sin \theta$, 则通电直导线不可能静止在斜面上, 故 A 选项描述的磁场不符合题意; 当磁场的方向垂直纸面向里时, 通电直导线不受安培力作用, 通电直导线可以在竖直向下的重力、垂直斜面向上的弹力、沿斜面向上的拉力三个力作用下在斜面上处于静止状态, 故 B 选项描述的磁场符合题意; 当磁场的方向水平向右时, 通电直导线受到竖直向上的安培力作用, 由于 $F = BIL = \frac{Mg}{IL} IL = Mg$, 则通电直导线在竖直向下的重力和竖直向上的安培力作用下在斜面上处于静止状态, 故 C 选项描述的磁场符合题意; 当磁场的方向沿斜面向下时, 通电直导线受到垂直斜面向上的安培力作用, 由于 $F = BIL = \frac{Mg}{IL} IL = Mg > Mg \cos \theta$, 则通电直导线不可能静止在斜面上, 故 D 选项描述的磁场不符合题意.

答案 BC

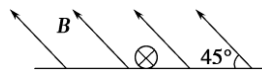


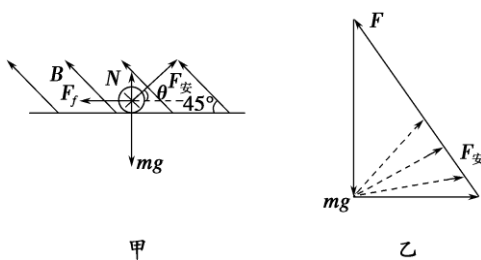
图 8-1-19

10. (单选)如图 8-1-19 所示, 一水平导轨处于与水平方向成 45° 角左上方的匀强磁场中, 一根通有恒定电流的金属棒, 由于受到安培力作用而在粗糙的导轨上向右做匀速运动. 现将磁场方向沿顺时针缓慢转动至竖直向上, 在此过程中, 金属棒始终保持匀速运动, 已知棒与导轨间的动摩擦因数为 μ , 则().

- A. 金属棒所受摩擦力一直在减小
- B. 导轨对金属棒的支持力先变小后变大
- C. 磁感应强度先变小后变大
- D. 金属棒所受安培力恒定不变

解析 金属棒匀速运动, 受力如图甲, 则有 $N + F_{安} \sin \theta = mg$, $F_{安} \cos \theta = F_f = \mu N$, $F_{安} = BIL$, 联立解得 $B = \frac{\mu mg}{IL \sqrt{1 + \mu^2 \sin^2(\theta + \alpha)}}$, 其中 $\tan \alpha = \frac{1}{\mu}$, 即 $90^\circ > \alpha > 45^\circ$, 因 θ 是从 45° 减小到 0 , 所以 B 先变小后变大,

金属棒所受安培力也先变小后变大, C 对、D 错; 将 N 与 F_f 合成一个力 F , 则 F 与水平方向的夹角是一定值, 金属棒受力满足图乙, $F_{安}$ 顺时针变化, 力 F 一直在增大, 所以金属棒所受摩擦力及导轨对金属棒的支持力一直在增大, A、B 错.



答案 C

B 深化训练——提高能力技巧

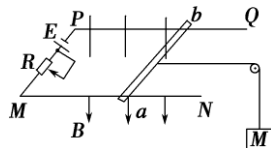


图 8-1-20

11. (2013 河南名校联考)(单选)如图 8-1-20 所示, PQ 和 MN 为水平平行放置的金属导轨, 相距 $L=1$ m. PM 间接有一个电动势 $E=6$ V, 内阻 $r=1$ Ω 的电源和一只滑动变阻器, 导体棒 ab 跨放在导轨上, 棒的质量为 $m=0.2$ kg, 棒的中点用细绳经定滑轮与物体相连, 物体的质量 $M=0.3$ kg. 棒与导轨的动摩擦因数为 $\mu=0.5$ (设最大静摩擦力与滑动摩擦力相等, 导轨与棒的电阻不计, g 取 10 m/s^2), 匀强磁场的磁感应强度 $B=2$ T, 方向竖直向下, 为了使物体保持静止, 滑动变阻器连入电路的阻值不可能是().
A. 2 Ω B. 4 Ω C. 5 Ω D. 6 Ω

解析 若电阻最大, 电路电流最小, 安培力就最小, 由平衡条件有: $I_{\min}BL + \mu mg = Mg$, 再由闭合电路欧姆定律, $I_{\min} = \frac{E}{r + R_{\max}}$, 可得滑动变阻器连入电路的阻值最大值 $R_{\max} = 5$ Ω , 所以滑动变阻器连入电路的阻值不可能的是 6 Ω , 选项 D 不可能. 若电阻最小, 电路电流最大, 安培力就最大, 由平衡条件有: $I_{\max}BL = Mg + \mu mg$, 再由闭合电路欧姆定律, $I_{\max} = \frac{E}{r + R_{\min}}$, 可得滑动变阻器连入电路的阻值最小值 $R_{\min} = 2$ Ω , 所以 A、B、C 是可能的.

答案 D

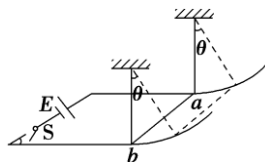


图 8-1-21

12. (多选)光滑平行导轨水平放置, 导轨左端通过开关 S 与内阻不计、电动势为 E 的电源相连, 右端与半径为 $L=20$ cm 的两段光滑圆弧导轨相接, 一根质量 $m=60$ g、电阻 $R=1$ Ω 、长为 L 的导体棒 ab , 用长也为 L 的绝缘细线悬挂, 如图 8-1-21 所示, 系统空间有竖直方向的匀强磁场, 磁感应强度 $B=0.5$ T, 当闭合开关 S 后, 导体棒沿圆弧摆动, 摆到最大高度时, 细线与竖直方向成 $\theta=53$ 角, 摆动过程中导体棒始终与导轨接触良好且细线处于张紧状态, 导轨电阻不计, $\sin 53^\circ=0.8$, $g=10$ m/s^2 则().

- A. 磁场方向一定竖直向下
- B. 电源电动势 $E=3.0$ V
- C. 导体棒在摆动过程中所受安培力 $F=3$ N
- D. 导体棒在摆动过程中电源提供的电能为 0.048 J

解析 导体棒向右沿圆弧摆动, 说明受到向右的安培力, 由左手定则知该磁场方向一定竖直向下, A 对; 导体棒摆动过程中只有安培力和重力做功, 由动能定理知 $BIL L \sin \theta - mgL(1 - \cos \theta) = 0$, 代入数值得导体棒中的电流为 $I=3$ A, 由 $E=IR$ 得电源电动势 $E=3.0$ V, B 对; 由 $F=BIL$ 得导体棒在摆动过程中所受安培力 $F=0.3$ N, C 错; 由能量守恒定律知电源提供的电能 W 等于电路中产生的焦耳热 Q 和导体棒重力势能的增加量 ΔE 的和, 即 $W=Q + \Delta E$, 而 $\Delta E = mgL(1 - \cos \theta) = 0.048$ J, D 错.

答案 AB

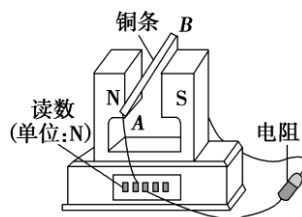


图 8-1-22

13. (2013 重庆理综, 7)小明在研究性学习中设计了一种可测量磁感应强度的实验, 其装置如图 8-1-22 所示. 在该实验中, 磁铁固定在水平放置的电子测力计上, 此时电子测力计的读数为 G_1 , 磁铁两极之间的磁场可视为水平匀强磁场, 其余区域磁场不计. 直铜条 AB 的两端通过导线与一电阻连接成闭合回路, 总阻值为 R . 若让铜条水平且垂直于磁场, 以恒定的速率 v 在磁场中竖直向下运动, 这时电子测力计的读数为 G_2 , 铜条在磁场中的长度为 L .

- (1)判断铜条所受安培力的方向, G_1 和 G_2 哪个大.
 (2)求铜条匀速运动时所受安培力的大小和磁感应强度的大小.

解析 (1)铜条未接入电路时: 磁铁平衡, $G_1 = M_{\text{磁铁}}g$ ①

铜条匀速运动时: 磁铁与铜条整体处于平衡状态,

$$G_2 = (M_{\text{磁铁}} + M_{\text{铜条}})g$$
 ②

对铜条 AB : 匀速下落平衡 $F_{\text{安}} = M_{\text{铜条}}g$ ③

由①、②可知 $G_2 > G_1$

由③式可知安培力方向与重力方向相反, 竖直向上.

(2)对铜条组成的回路: $E = BLv = IR$ ④

铜条受到的安培力 $F_{\text{安}} = BIL$ ⑤

由①②③可得 $F_{\text{安}} = G_2 - G_1$ ⑥

由④⑤⑥得: 磁感应强度大小 $B = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{(G_2 - G_1)R}{v}}$

答案 (1)安培力方向竖直向上 $G_2 > G_1$

(2) $F_{\text{安}} = G_2 - G_1$, $B = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{(G_2 - G_1)R}{v}}$

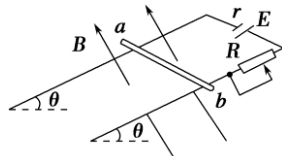
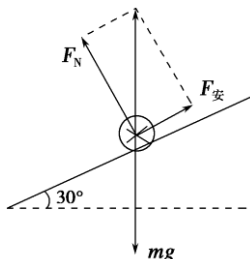


图 8-1-23

14. 如图 8-1-23 所示, 在倾角为 $\theta = 30^\circ$ 的斜面上, 固定一宽 $L = 0.25 \text{ m}$ 的平行金属导轨, 在导轨上端接入电源和滑动变阻器 R . 电源电动势 $E = 12 \text{ V}$, 内阻 $r = 1 \Omega$, 一质量 $m = 20 \text{ g}$ 的金属棒 ab 与两导轨垂直并接触良好. 整个装置处于磁感应强度 $B = 0.80 \text{ T}$ 、垂直于斜面向上的匀强磁场中(导轨与金属棒的电阻不计). 金属导轨是光滑的, 取 $g = 10 \text{ m/s}^2$, 要保持金属棒在导轨上静止, 求:

- (1)金属棒所受到的安培力的大小.
 (2)通过金属棒的电流的大小.
 (3)滑动变阻器 R 接入电路中的阻值.



解析 (1)金属棒静止在金属导轨上受力平衡, 如图所示 $F_{安} = mg \sin 30^\circ$, 代入数据得 $F_{安} = 0.1 \text{ N}$.

(2)由 $F_{安} = BIL$, 得 $I = \frac{F_{安}}{BL} = 0.5 \text{ A}$.

(3)设滑动变阻器接入电路的阻值为 R_0 , 根据闭合电路欧姆定律得:

$$E = I(R_0 + r), \text{ 解得 } R_0 = \frac{E}{I} - r = 23 \Omega.$$

答案 (1)0.1 N (2)0.5 A (3)23 Ω

第2讲 磁场对运动电荷的作用

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点1

洛伦兹力、洛伦兹力的方向 (考纲要求 I)

洛伦兹力的公式 (考纲要求 II)

1. 洛伦兹力: 磁场对运动电荷的作用力叫洛伦兹力.

2. 洛伦兹力的方向

(1)判定方法: 左手定则:

掌心——磁感线垂直穿入掌心;

四指——指向正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向;

拇指——指向洛伦兹力的方向.

(2)方向特点: $F \perp B$, $F \perp v$, 即 F 垂直于 B 和 v 决定的平面.

3. 洛伦兹力的大小

(1) $v \parallel B$ 时, 洛伦兹力 $F=0$. ($\theta=0^\circ$ 或 180°)

(2) $v \perp B$ 时, 洛伦兹力 $F=qvB$. ($\theta=90^\circ$)

(3) $v=0$ 时, 洛伦兹力 $F=0$.

考点2

带电粒子在匀强磁场中的运动 (考纲要求 II)

1. 若 $v \parallel B$, 带电粒子不受洛伦兹力, 在匀强磁场中做匀速直线运动.

2. 若 $v \perp B$, 带电粒子仅受洛伦兹力作用, 在垂直于磁感线的平面内以入射速度 v 做匀速圆周运动.

3. 半径和周期公式: ($v \perp B$)

基本公式:
 $qvB = m \frac{v^2}{R}$

导出公式: 半径 $R = \frac{mv}{Bq}$
周期 $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$

思维深化 1 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1)带电粒子在磁场中一定会受到磁场力的作用. ()

(2)洛伦兹力的方向在特殊情况下可能与带电粒子的速度方向不垂直. ()

(3)洛伦兹力不做功, 但安培力却可以做功. ()

(4)根据公式 $T = \frac{2\pi r}{v}$, 说明带电粒子在匀强磁场中的运动周期 T 与 v 成反比. ()

答案 (1)× (2)× (3)√ (4)×

考点3

质谱仪和回旋加速器 (考纲要求 I)

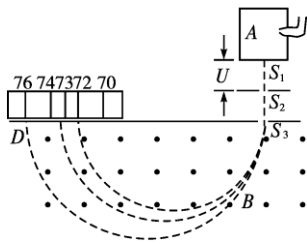


图 8-2-1

1. 质谱仪

(1)构造: 如图 8-2-1 所示, 由粒子源、加速电场、偏转磁场和照相底片等构成.

(2)原理: 粒子由静止被加速电场加速, 根据动能定理可得关系式 $qU = \frac{1}{2}mv^2$.

粒子在磁场中受洛伦兹力作用而偏转, 做匀速圆周运动, 根据牛顿第二定律得关系式 $qvB = \frac{mv^2}{r}$.

由两式可得出需要研究的物理量, 如粒子轨道半径、粒子质量、比荷.

$$r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}, \quad m = \frac{qr^2B^2}{2U}, \quad \frac{q}{m} = \frac{2U}{B^2r^2}.$$

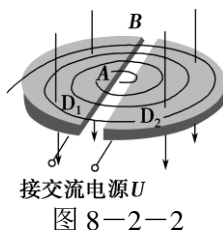


图 8-2-2

2. 回旋加速器

(1)构造: 如图 8-2-2 所示, D_1 、 D_2 是半圆金属盒, D 形盒的缝隙处接交流电源. D 形盒处于匀强磁场中.

(2)原理: 交流电的周期和粒子做圆周运动的周期相等, 粒子在圆周运动的过程中一次一次地经过 D 形盒缝隙, 两盒间的电势差一次一次地反向, 粒子就会被一次一次地加速. 由 $qvB = \frac{mv^2}{R}$, 得 $E_{km} = \frac{q^2B^2R^2}{2m}$, 可见粒子获得的最大动能由磁感应强度和 D 形盒半径决定, 与加速电压无关.

思维深化 2 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1)带电粒子在两 D 形盒中回旋周期等于两盒狭缝之间高频电场的变化周期, 与带电粒子的速度无关. ()

(2)将带电粒子在两盒狭缝之间的运动首尾连起来是一个初速度为零的匀加速直线运动. ()

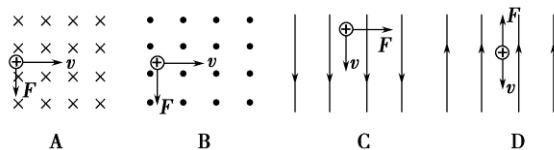
(3)带电粒子每加速一次, 回旋半径就增大一次, 所以各半径之比为 $1:\sqrt{2}:\sqrt{3}\dots$ ()

(4)粒子的最后速度 $v = \frac{BqR}{m}$, 可见带电粒子加速后的能量取决于 D 形盒的最大半径和磁场的强弱. ()

答案 (1)√ (2)√ (3)√ (4)√

基础自测

1. (2013 黄山检测)(单选)下列各图中, 运动电荷的速度方向、磁感应强度方向和电荷的受力方向之间的关系正确的是().



解析 根据左手定则, A 中 F 方向应向上, B 中 F 方向应向下, 故 A 错、B 对. C、D 中都是 $v \parallel B$, $F = 0$, 故 C、D 都错.

答案 B

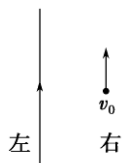


图 8-2-3

2. (单选)初速度为 v_0 的电子, 沿平行于通电长直导线的方向射出, 直导线中电流方向与电子的初始运动方向如图 8-2-3 所示, 则().

A. 电子将向右偏转, 速率不变

- B. 电子将向左偏转，速率改变
- C. 电子将向左偏转，速率不变
- D. 电子将向右偏转，速率改变

解析 由安培定则可知，通电导线右方磁场方向垂直纸面向里，则电子受洛伦兹力方向由左手定则可判知向右，所以电子向右偏；由于洛伦兹力不做功，所以电子速率不变。

答案 A

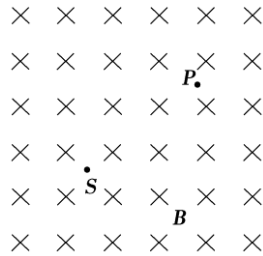


图 8-2-4

3. (单选)在如图 8-2-4 所示垂直于纸面的匀强磁场中，有一个电子源 S ，它向纸面的各个方向发射等速率的电子，已知电子质量为 m 、电荷量为 e ，纸面上 S 、 P 两点间距为 L 。则()。

- A. 能击中 P 点的电子的最小速率为 $v_{\min} = \frac{BeL}{2m}$
- B. 能击中 P 点的电子的最大速率为 $v_{\max} = \frac{BeL}{2m}$
- C. 能击中 P 点的电子的最小速率为 $v_{\min} = \frac{BeL}{m}$
- D. 只要磁场足够大，无论电子速率多大，总有电子可以击中 P 点

解析 要使电子能击中 P 点，则电子有最小运动半径 R ，且 $R = \frac{L}{2}$ ，因此对应最小速率，由 $R = \frac{mv}{eB}$ 得电子的最小速率 $v_{\min} = \frac{BeR}{m} = \frac{BeL}{2m}$ ，A 对。

答案 A

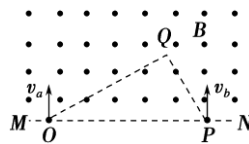
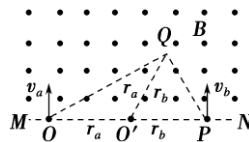


图 8-2-5

4. (多选)在如图 8-2-5 所示的虚线 MN 上方存在磁感应强度为 B 的匀强磁场，磁场方向垂直纸面向外，纸面上直角三角形 OPQ 的角 Q 为直角，角 O 为 30° 。两带电粒子 a 、 b 分别从 O 、 P 两点垂直于 MN 同时射入磁场，恰好在 Q 点相遇，则由此可知()。

- A. 带电粒子 a 的速度一定比 b 大
- B. 带电粒子 a 的比荷一定比 b 大
- C. 带电粒子 a 的运动周期一定比 b 大
- D. 带电粒子 a 的轨道半径一定比 b 大



解析 如图所示，由几何关系可得，两粒子轨道圆心在同一点，轨道半径相等，D 项错。两带电粒子射入磁场，同时到达 Q 点，故运动时间相等。由图可知，粒子 a 到达 Q 点运动的圆弧对应的圆心角为 120° ，粒子 b 到达 Q 点运动的圆弧对应的圆心角为 60° ，由 $T = \frac{2\pi m}{qB}$ 有 $\frac{1}{3}T_a = \frac{1}{6}T_b$ ，即 $\frac{1}{3} \frac{2\pi m_a}{q_a B} = \frac{1}{6} \frac{2\pi m_b}{q_b B}$ ，解得 $\frac{q_a/m_a}{q_b/m_b} = \frac{2}{1}$ ，B 项正确，C 项错误。由 $r = \frac{mv}{qB}$ 有 $\frac{v_a}{v_b} = \frac{q_a/m_a}{q_b/m_b} = \frac{2}{1}$ ，A 项正确。

答案 AB

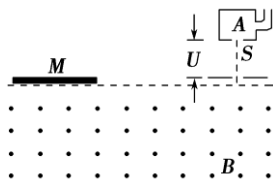


图 8-2-6

5. (多选)如图 8-2-6 所示, 一个质量为 m 、电荷量为 e 的粒子从容器 A 下方的小孔 S, 无初速度地飘入电势差为 U 的加速电场, 然后垂直进入磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 最后打在照相底片 M 上. 下列说法正确的是().

A. 粒子进入磁场时的速率 $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$

B. 粒子在磁场中运动的时间 $t = \frac{2\pi m}{eB}$

C. 粒子在磁场中运动的轨道半径 $r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{e}}$

D. 若容器 A 中的粒子有初速度, 则粒子仍将打在照相底片上的同一位置

解析 在加速电场中由动能定理得 $eU = \frac{1}{2}mv^2$, 所以粒子进入磁场时的速度 $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$, A 正确; 由 $evB = m\frac{v^2}{r}$ 得粒子的半径 $r = \frac{mv}{eB} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{e}}$, C 正确; 粒子在磁场中运动了半个周期 $t = \frac{T}{2} = \frac{\pi m}{eB}$, B 错误; 若容器 A 中的粒子有初速度, 则粒子在磁场中做匀速圆周运动的半径发生变化, 不能打在底片上的同一位置, D 错误.

答案 AC

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 洛伦兹力的特点与应用

1. 洛伦兹力的特点

- (1)洛伦兹力的方向总是垂直于运动电荷速度方向和磁场方向确定的平面.
- (2)当电荷运动方向发生变化时, 洛伦兹力的方向也随之变化.
- (3)运动电荷在磁场中不一定受洛伦兹力作用.
- (4)左手判断洛伦兹力方向, 但一定分正、负电荷.
- (5)洛伦兹力一定不做功.

2. 洛伦兹力与安培力的联系及区别

- (1)安培力是洛伦兹力的宏观表现, 二者是相同性质的力, 都是磁场力.
- (2)安培力可以做功, 而洛伦兹力对运动电荷不做功.

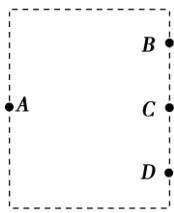


图 8-2-7

【典例 1】如图 8-2-7 所示, 空间的某一区域存在着相互垂直的匀强电场和匀强磁场, 一个带电粒子以某一初速度由 A 点进入这个区域沿直线运动, 从 C 点离开区域; 如果将磁场撤去, 其他条件不变, 则粒子从 B 点离开场区; 如果将电场撤去, 其他条件不变, 则这个粒子从 D 点离开场区. 已知 $BC = CD$, 设粒子在上述三种情况下, 从 A 到 B、从 A 到 C 和从 A 到 D 所用的时间分别是 t_1 、 t_2 和 t_3 , 离开三点时的动能分别是 E_{k1} 、 E_{k2} 、 E_{k3} , 粒子重力忽略不计, 以下关系正确的是().

A. $t_1 = t_2 < t_3$ B. $t_1 < t_2 = t_3$

C. $E_{k1} > E_{k2} = E_{k3}$ D. $E_{k1} = E_{k2} < E_{k3}$

审题指导 (1)当电场、磁场同时存在时, 粒子做什么运动?

(2)只有电场时①粒子做什么运动? ②如何求其运动时间?

- ① _____ ② _____
 (3)只有磁场时①粒子做什么运动? ②如何求其运动时间?

- ① _____ ② _____

提示 (1)匀速直线运动

(2)①类平抛运动 ② $t_2 = \frac{l_1}{v} = t_1$

(3)①匀速圆周运动 ② $t_3 = \frac{\text{弧长} l_2}{v} > t_2$

解析 当电场、磁场同时存在时,粒子做匀速直线运动,此时 $qE = qvB$;当只有电场时,粒子从 B 点射出,做类平抛运动,由运动的合成与分解可知,水平方向为匀速直线运动,所以 $t_1 = t_2$;当只有磁场时,粒子在洛伦兹力作用下做匀速

圆周运动,速度大小不变,但路程变长,则 $t_2 < t_3$,因此 A 选项正确.粒子从 B 点射出时,电场力做正功,动能变大,故 C 选项正确.

答案 AC

反思总结 洛伦兹力对运动电荷(或带电体)不做功,不改变速度的大小,但它可改变运动电荷(或带电体)速度的方向,影响带电体所受其他力的大小,影响带电体的运动时间等.

【跟踪短训】

1. (2013 郑州三模)如图 8-2-8 甲所示,某空间存在着足够大的匀强磁场,磁场沿水平方向.磁场中有 A 、 B 两个物块叠放在一起,置于光滑水平面上.物块 A 带正电,物块 B 不带电且表面绝缘.在 $t=0$ 时刻,水平恒力 F 作用在物块 B 上,物体 A 、 B 由静止开始做加速度相同的运动.在物块 A 、 B 一起运动的过程中,图乙反映的可能是().

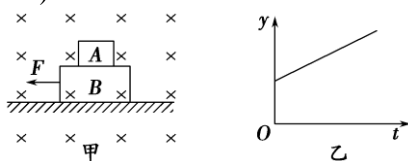


图 8-2-8

- A. 物块 A 所受洛伦兹力大小随时间 t 变化的关系
 B. 物块 A 对物块 B 的摩擦力大小随时间 t 变化的关系
 C. 物块 A 对物块 B 的压力大小随时间 t 变化的关系
 D. 物块 B 对地面压力大小随时间 t 变化的关系

解析 洛伦兹力 $F_{洛} = qvB = qBat$, 所以 A 错误.物块 A 对物块 B 的摩擦力大小 $F_f = m_A a$, 所以 F_f 随时间 t 的变化保持不变, B 错误. A 对 B 的压力 $F_{NA} = m_A g + qvB = m_A g + qBat$, C 正确. B 对地面的压力 $F_{NB} = (m_A + m_B)g + qBat$, D 正确.

答案 CD

热点二 带电粒子在匀强磁场中的匀速圆周运动

轨道圆的“三个确定”

(1)如何确定“圆心”

①由两点和两线确定圆心,画出带电粒子在匀强磁场中的运动轨迹.确定带电粒子运动轨迹上的两个特殊点(一般是射入和射出磁场时的两点),过这两点作带电粒子运动方向的垂线(这两垂线即为粒子在这两点所受洛伦兹力的方向),则两垂线的交点就是圆心,如图 8-2-9(a)所示.

②若只已知过其中一个点的粒子运动方向,则除过已知运动方向的该点作垂线外,还要将这两点相连接作弦,再作弦的中垂线,两垂线交点就是圆心,如图(b)所示.

③若只已知一个点及运动方向,也知另外某时刻的速度方向,但不确定该速度方向所在的点,如图(c)所示,此时要将其中一速度的延长线与另一速度的反向延长线相交成一角($\angle PAM$),画出该角的角平分线,它与已知点的速度的垂线交于一点 O ,该点就是圆心.

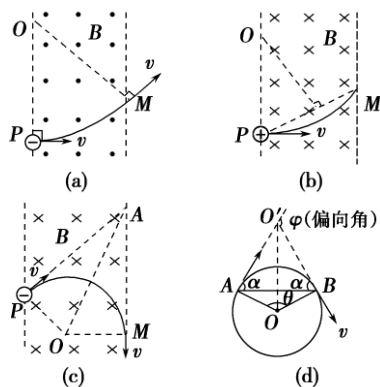


图 8-2-9

(2)如何确定“半径”

方法一：由物理方程求：半径 $R = \frac{mv}{qB}$ ；

方法二：由几何方程求：一般由数学知识(勾股定理、三角函数等)计算来确定。

(3)如何确定“圆心角与时间”

①速度的偏向角 $\varphi =$ 圆弧所对应的圆心角(回旋角) $\theta = 2$ 倍的弦切角 α ，如图(d)所示。

②时间的计算方法。

方法一：由圆心角求， $t = \frac{\theta}{2\pi} T$ ；

方法二：由弧长求， $t = \frac{s}{v}$ 。

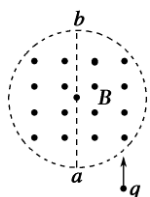


图 8-2-10

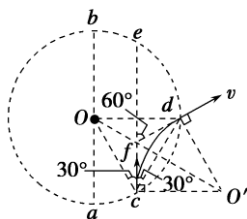
【典例 2】 (2013 全国新课标 I, 18)如图 8-2-10, 半径为 R 的圆是一圆柱形匀强磁场区域的横截面(纸面), 磁感应强度大小为 B , 方向垂直于纸面向外, 一电荷量为 $q(q>0)$ 、质量为 m 的粒子沿平行于直径 ab 的方向射入磁场区域, 射入点与 ab 的距离为 $\frac{R}{2}$. 已知粒子射出磁场与射入磁场时运动方向间的夹角为 60° ; 则粒子的速率为(不计重力)().

- A. $\frac{qBR}{2m}$ B. $\frac{qBR}{m}$ C. $\frac{3qBR}{2m}$ D. $\frac{2qBR}{m}$

审题指导 (1)用左手定则确定粒子刚进入磁场时, 洛伦兹力的方向? _____.

(2)“粒子射出磁场与射入磁场时运动方向间的夹角为 60° ” 隐含信息 _____.

(3)画出轨迹利用几何关系求半径.

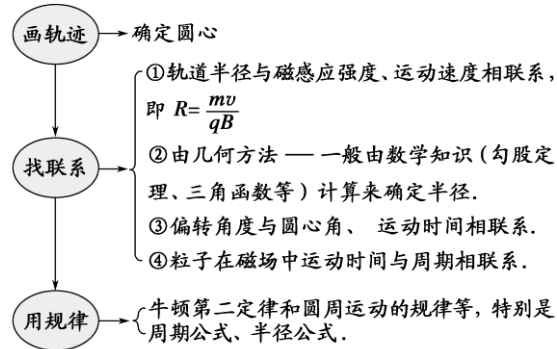


解析 带电粒子从距离 ab 为 $\frac{R}{2}$ 处射入磁场, 且射出时与射入时速度方向的夹角为 60° , 粒子运动轨迹如图, ce 为射入速度所在直线, d 为射出点, 射出速度反向延长交 ce 于 f 点, 磁场区域圆心为 O , 带电粒子所做圆周运动圆心为 O' , 则 O 、 f 、 O' 在一条直线上, 由几何关系得带电粒子所做圆周运动的轨迹半径为 R , 由 $qvB = \frac{mv^2}{R}$, 解得 $v = \frac{qBR}{m}$, 选项 B 正确.

答案 B

反思总结

1. 带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的分析方法



2. 带电粒子在有界匀强磁场中运动时的常见情形

直线边界(粒子进出磁场具有对称性)	
平行边界(粒子运动存在临界条件)	
圆形边界(粒子沿径向射入, 再沿径向射出)	

3. 带电粒子在有界磁场中的常用几何关系

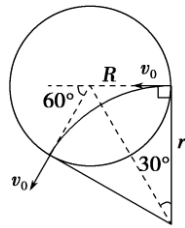
(1) 四个点：分别是入射点、出射点、轨迹圆心和入射速度直线与出射速度直线的交点。

(2) 三个角：速度偏转角、圆心角、弦切角，其中偏转角等于圆心角，也等于弦切角的 2 倍。

【跟踪短训】

2. (2013 全国新课标 II, 17) 空间有一圆柱形匀强磁场区域, 该区域的横截面的半径为 R , 磁场方向垂直于横截面. 一质量为 m 、电荷量为 $q(q > 0)$ 的粒子以速率 v_0 沿横截面的某直径射入磁场, 离开磁场时速度方向偏离入射方向 60° . 不计重力, 该磁场的磁感应强度大小为().

- A. $\frac{\sqrt{3}mv_0}{3qR}$ B. $\frac{mv_0}{qR}$ C. $\frac{\sqrt{3}mv_0}{qR}$ D. $\frac{3mv_0}{qR}$



解析 如图所示, 粒子在磁场中做匀速圆周运动, 洛伦兹力提供向心力, 即 $qv_0B = m\frac{v_0^2}{r}$, 据几何关系,

粒子在磁场中的轨道半径 $r = R \tan 60^\circ = \sqrt{3}R$, 解得 $B = \frac{\sqrt{3}mv_0}{3qR}$, 选项 A 正确。

答案 A

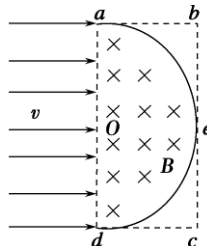


图 8-2-11

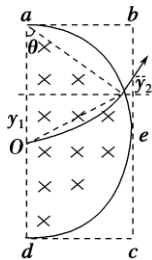
3. 如图 8-2-11 所示, 长方形 $abcd$ 长 $ad=0.6\text{ m}$, 宽 $ab=0.3\text{ m}$, O 、 e 分别是 ad 、 bc 的中点, 以 ad 为直径的半圆内有垂直于纸面向里的匀强磁场(边界上无磁场), 磁感应强度 $B=0.25\text{ T}$. 一群不计重力、质量 $m=3\times 10^{-7}\text{ kg}$ 、电荷量 $q=+2\times 10^{-3}\text{ C}$ 的带电粒子, 以速度 $v=5\times 10^2\text{ m/s}$ 沿垂直 ad 方向且垂直于磁场射入磁场区域, 不考虑粒子间的相互作用.

(1)若从 O 点射入的带电粒子刚好沿 Oe 直线射出, 求空间所加电场的大小和方向.

(2)若只有磁场时, 某带电粒子从 O 点射入, 求该粒子从长方形 $abcd$ 射出的位置.

解析 (1)若从 O 点射入的带电粒子刚好沿 Oe 直线射出, 则粒子所受的洛伦兹力与电场力平衡, 即 $qvB = qE$, 得 $E = vB = 125\text{ V/m}$

由左手定则可判断洛伦兹力方向向上, 所以电场力方向向下, 因为粒子带正电, 所以电场方向与 bc 边平行向下.



(2)如图所示, 若只有磁场时, 某带电粒子从 O 点射入, 由左手定则可知粒子射入后向上偏转

由 $qvB = m\frac{v^2}{R}$ 得: 轨道半径 $R = \frac{mv}{qB} = 0.3\text{ m}$

得 $R = \frac{ad}{2}$

由几何关系得 $\theta = 60^\circ$

$y_1 = R - R\cos 60^\circ$, $y_2 = (ab - R\sin 60^\circ)\tan 60^\circ$

所以 $y = y_1 + y_2$

解得 $y = 0.3(\sqrt{3} - 1)\text{ m} = 0.22\text{ m}$

所以射出点距 e 点的距离为 0.22 m

答案 (1) 125 V/m ; 平行 bc 边向下 (2) 0.22 m

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

思想方法 14. 求解带电粒子在匀强磁场中运动的临界和极值问题的方法

由于带电粒子往往是在有界磁场中运动, 粒子在磁场中只运动一段圆弧就飞出磁场边界, 其轨迹不是完整的圆, 因此, 此类问题往往要根据带电粒子运动的轨迹作相关图去寻找几何关系, 分析临界条件, 然后应用数学知识和相应物理规律分析求解.

(1)两种思路

一是以定理、定律为依据, 首先求出所研究问题的一般规律和一般解的形式, 然后再分析、讨论临界条件下的特殊规律和特殊解;

二是直接分析、讨论临界状态, 找出临界条件, 从而通过临界条件求出临界值.

(2)两种方法

一是物理方法:

①利用临界条件求极值;

②利用问题的边界条件求极值;

③利用矢量图求极值.

二是数学方法:

①利用三角函数求极值;

②利用二次方程的判别式求极值;

③利用不等式的性质求极值;

④利用图象法等.

(3)从关键词中找突破口: 许多临界问题, 题干中常用“恰好”、“最大”、“至少”、“不相撞”、“不

脱离”等词语对临界状态给以暗示。审题时，一定要抓住这些特定的词语挖掘其隐藏的规律，找出临界条件。

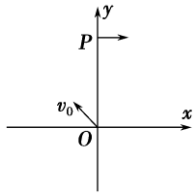


图 8-2-12

【典例 1】如图 8-2-12 所示，在 xOy 平面内第二象限的某区域存在一个矩形匀强磁场区，磁场方向垂直 xOy 平面向里，边界分别平行于 x 轴和 y 轴。一个电荷量为 e 、质量为 m 的电子，从坐标原点 O 以速度 v_0 射入的第二象限，速度方向与 y 轴正方向成 45° 角，经过磁场偏转后，通过 $P(0, a)$ 点，速度方向垂直于 y 轴，不计电子的重力。

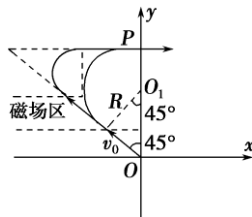
- (1)若磁场的磁感应强度大小为 B_0 ，求电子在磁场中运动的时间 t ；
- (2)为使电子完成上述运动，求磁感应强度 B 的大小应满足的条件；
- (3)若电子到达 y 轴上 P 点时，撤去矩形匀强磁场，同时在 y 轴右侧加方向垂直 xOy 平面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为 B_1 ，在 y 轴左侧加方向垂直 xOy 平面向里的匀强磁场，电子在第 $(k+1)$ 次从左向右经过 y 轴(经过 P 点为第 1 次)时恰好通过坐标原点。求 y 轴左侧磁场磁感应强度大小 B_2 及上述过程电子的运动时间 t 。

审题指导 (1)电子在磁场中做圆周运动 \longrightarrow 画圆弧，找半径，定圆心 \longrightarrow 圆心角 \longrightarrow 应用周期公式求时间 t ；

(2)延长 v_0 与过 P 的水平线，最大圆弧的两公切线 \longrightarrow 最大圆弧(弦) \longrightarrow 最大半径 \longrightarrow 半径公式 \longrightarrow 最小磁感应强度；

(3)电子在 y 轴右、左侧做圆周运动的半径 r_1 、 r_2 \longrightarrow OP 的长度与半径 r_1 、 r_2 的关系 \longrightarrow 磁感应强度大小 B_2 ；

(4)电子在 y 轴右、左侧做圆周运动的周期 T_1 、 T_2 \longrightarrow 电子的运动时间 t



图甲

解析 (1)如图甲所示，电子在磁场中转过角度 $\theta = \frac{3\pi}{4}$

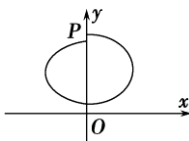
$$\text{运动周期 } T = \frac{2\pi m}{eB_0}$$

$$t = \frac{\theta}{2\pi} T, \text{ 联立解得 } t = \frac{3\pi m}{4eB_0}$$

(2)设磁感应强度最小值为 B_{\min} ，对应最大回旋半径为 R ，圆心为 O_1 ，则有 $e v_0 B_{\min} = \frac{m v_0^2}{R}$ ， $R + \sqrt{2}R = a$ ，

$$\text{解得 } B_{\min} = \frac{(\sqrt{2} + 1) m v_0}{e a}$$

则磁感应强度 B 应满足的条件为 $B \geq \frac{(\sqrt{2} + 1) m v_0}{e a}$ 。



图乙

(3)设电子在 y 轴右侧和左侧做圆周运动的半径分别为 r_1 和 r_2 ，则有

$$e v_0 B_1 = \frac{m v_0^2}{r_1}, \quad e v_0 B_2 = \frac{m v_0^2}{r_2}$$

由图乙所示的几何关系可知

$$2k(r_1 - r_2) = a, \text{ 解得 } B_2 = \frac{2kmv_0 B_1}{2kmv_0 - aeB_1}$$

设电子在 y 轴右侧和左侧做圆周运动的周期分别为 T_1 和 T_2 , 则 $T_1 = \frac{2\pi m}{eB_1}$, $T_2 = \frac{2\pi m}{eB_2}$, $t = k \frac{T_1 + T_2}{2}$

$$\text{解得 } t = \frac{2k\pi m}{eB_1} - \frac{\pi a}{2v_0}$$

答案 (1) $\frac{3\pi m}{4eB_0}$ (2) $B \geq \frac{(\sqrt{2}+1)mv_0}{ea}$ (3) $\frac{2k\pi m}{eB_1} - \frac{\pi a}{2v_0}$

反思总结 本题第(2)问中在电子的速度一定的条件下, 半径由磁感应强度大小决定, 最大半径对应最小的磁感应强度. 作出最大的弦是解决本问的关键, 分别将两速度方向延长或反向延长, 可得圆弧的两公切线, 以两公切线为腰的等腰三角形的底边为弦, 找出最大的弦即可求出最大半径.

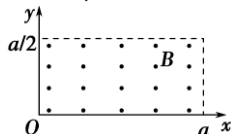


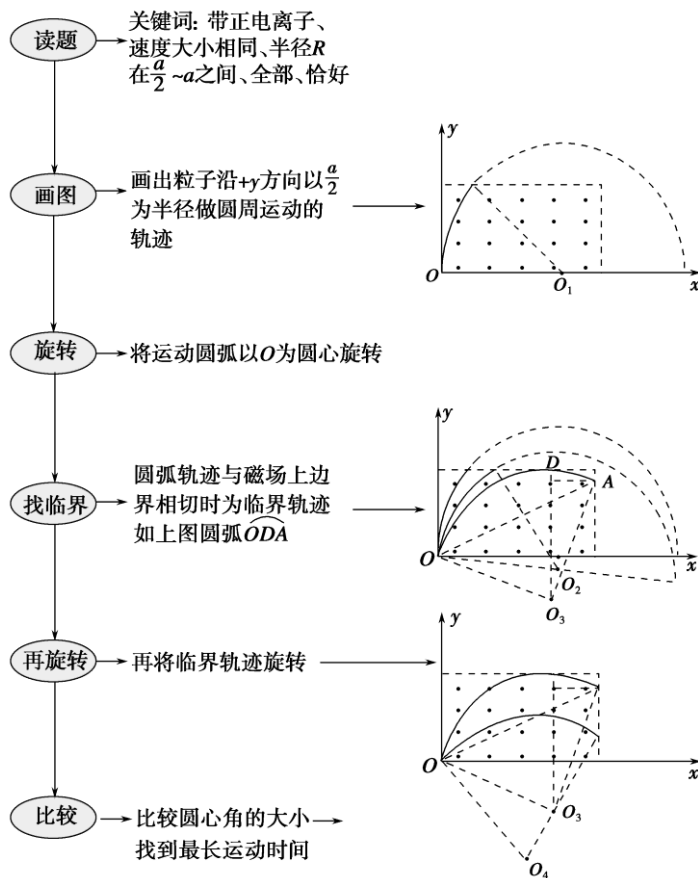
图 8-2-13

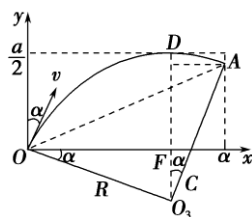
【典例 2】 如图 8-2-13 所示, 在 $0 \leq x \leq a$ 、 $0 \leq y \leq \frac{a}{2}$ 范围内垂直于 xOy 平面向外的匀强磁场, 磁感应强度大小为 B . 坐标原点 O 处有一个粒子源, 在某时刻发射大量质量为 m 、电荷量为 q 的带正电粒子, 它们的速度大小相同, 速度方向均在 xOy 平面内, 与 y 轴正方向的夹角分布在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 范围内. 已知粒子在磁场中做圆周运动的半径介于 $\frac{a}{2}$ 到 a 之间, 从发射粒子到粒子全部离开磁场经历的时间恰好为粒子在磁场中做圆周运动周期的四分之一. 求最后离开磁场的粒子从粒子源射出时的

(1)速度的大小.

(2)速度方向与 y 轴正方向夹角的正弦.

审题指导





解析 (1) 设粒子的发射速度为 v ，粒子做圆周运动的轨道半径为 R ，由牛顿第二定律和洛伦兹力公式，

$$\text{得 } qvB = m\frac{v^2}{R} \quad ①$$

$$\text{由 } ① \text{ 式得 } R = \frac{mv}{qB} \quad ②$$

当 $\frac{a}{2} < R < a$ 时，在磁场中运动时间最长的粒子，其轨迹是圆心为 O_3 的圆弧，圆弧与磁场的上边界相切，

如图所示。设该粒子在磁场中运动的时间为 t ，依题意 $t = \frac{T}{4}$ ，得 $\angle OCA = \frac{\pi}{2}$ ③

设最后离开磁场的粒子的发射方向与 y 轴正方向的夹角为 α ，

$$\text{由几何关系可得 } R\sin\alpha = R - \frac{a}{2} \quad ④$$

$$R\sin\alpha = a - R\cos\alpha \quad ⑤$$

$$\text{又 } \sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1 \quad ⑥$$

$$\text{由 } ④⑤⑥ \text{ 式得 } R = \left(2 - \frac{\sqrt{6}}{2}\right)a \quad ⑦$$

$$\text{由 } ②⑦ \text{ 式得 } v = \left(2 - \frac{\sqrt{6}}{2}\right)\frac{aqB}{m} \quad ⑧$$

$$(2) \text{ 由 } ④⑦ \text{ 式得 } \sin\alpha = \frac{6 - \sqrt{6}}{10} \quad ⑨$$

答案 见解析

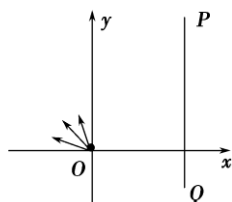


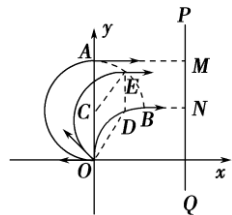
图 8-2-14

即学即练 放置在坐标原点 O 的粒子源，可以向第二象限内放射出质量为 m 、电荷量为 q 的带正电粒子，带电粒子的速率均为 v ，方向均在纸面内，如图 8-2-14 所示。若在某区域内存在垂直于 xOy 平面的匀强磁场(垂直纸面向外)，磁感应强度大小为 B ，则这些粒子都能在穿过磁场区后垂直射到垂直于 x 轴放置的挡板 PQ 上，求：

(1) 挡板 PQ 的最小长度；

(2) 磁场区域的最小面积。

解析 (1) 设粒子在磁场中运动的半径为 R ，由牛顿第二定律得 $qvB = \frac{mv^2}{R}$ ，即 $R = \frac{mv}{Bq}$



如图所示，初速度沿 x 轴负方向的粒子沿弧 OA 运动到挡板 PQ 上的 M 点，初速度沿 y 轴正方向的粒子

沿弧 OB 运动到挡板 PQ 上的 N 点，由几何知识可得 $MN = R = \frac{mv}{Bq}$

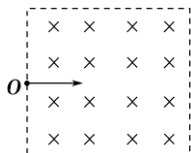
故挡板 PQ 的最小长度为 $\frac{mv}{Bq}$.

(2) 设圆弧 OA 圆心为 C , 沿与 x 轴负向成任意角 θ 射入的粒子到 E 点时速度平行 x 轴, 圆弧 OE 对应的圆心为 D , 则由几何知识可知四边形 $OCED$ 为菱形, 即 E 点在以 C 为圆心的圆上, 即所有粒子射出磁场的位置均在以 C 为圆心的圆周上, 所以最小磁场区域是以 C 为圆心、 R 为半径的圆的一部分, 即图中

$OAEBEO$ 包围的面积, 有 $S_{\min} = \frac{3}{4}\pi R^2 + R^2 - \frac{1}{4}\pi R^2 = \left(\frac{\pi}{2} + 1\right)\left(\frac{mv}{Bq}\right)^2$.

答案 (1) $\frac{mv}{Bq}$ (2) $\left(\frac{\pi}{2} + 1\right)\frac{m^2v^2}{q^2B^2}$

对应高考题组

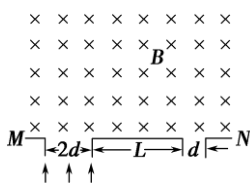


1. (2011 海南单科, 10) 空间存在方向垂直于纸面向里的匀强磁场, 图中的正方形为其边界. 一细束由两种粒子组成的粒子流沿垂直于磁场的方向从 O 点入射. 这两种粒子带同种电荷, 它们的电荷量、质量均不同, 但其比荷相同, 且都包含不同速率的粒子, 不计重力. 下列说法正确的是().

- A. 入射速度不同的粒子在磁场中的运动时间一定不同
- B. 入射速度相同的粒子在磁场中的运动轨迹一定相同
- C. 在磁场中运动时间相同的粒子, 其运动轨迹一定相同
- D. 在磁场中运动时间越长的粒子, 其轨迹所对的圆心角一定越大

解析 带电粒子进入磁场后, 在洛伦兹力的作用下做匀速圆周运动, 根据 $qvB = \frac{mv^2}{r}$ 得轨道半径 $r = \frac{mv}{qB}$, 粒子的比荷相同, 故不同速度的粒子在磁场中运动的轨道半径不同, 轨迹不同; 相同速度的粒子, 轨道半径相同, 轨迹相同, 故 B 正确. 带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的周期 $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$, 故所有带电粒子的运动周期均相同, 若带电粒子都从磁场左边界出磁场, 则这些粒子在磁场中的运动时间是相同的, 但不同速度的粒子, 其运动轨迹不同, 故 A、C 错误. 根据 $\frac{\theta}{T} = \frac{2\pi}{T}$ 得 $\theta = \frac{2\pi}{T}t$, 所以运动时间 t 越长, 运动轨迹所对的圆心角 θ 越大, 故 D 正确.

答案 BD



2. (2011 浙江, 20) 利用如图所示装置可以选择一定速度范围内的带电粒子. 图中板 MN 上方是磁感应强度大小为 B 、方向垂直纸面向里的匀强磁场, 板上有两条宽度分别为 $2d$ 和 d 的缝, 两缝近端相距为 L . 一群质量为 m 、电荷量为 q , 具有不同速度的粒子从宽度为 $2d$ 的缝垂直于板 MN 进入磁场, 对于能够从宽度为 d 的缝射出的粒子, 下列说法正确的是().

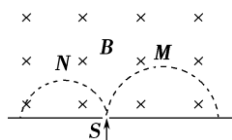
- A. 粒子带正电
- B. 射出粒子的最大速度为 $\frac{qB(3d+L)}{2m}$
- C. 保持 d 和 L 不变, 增大 B , 射出粒子的最大速度与最小速度之差增大
- D. 保持 d 和 B 不变, 增大 L , 射出粒子的最大速度与最小速度之差增大

解析 利用左手定则可判定只有负电荷进入磁场时才向右偏, 故选项 A 错误. 利用 $qvB = \frac{mv^2}{r}$ 知 $r = \frac{mv}{qB}$,

能射出的粒子满足 $\frac{L}{2} \leq r \leq \frac{L+3d}{2}$, 因此对应射出粒子的最大速度 $v_{\max} = \frac{qBr_{\max}}{m} = \frac{qB(3d+L)}{2m}$, 选项 B 正

确. $v_{\min} = \frac{qBr_{\min}}{m} = \frac{qBL}{2m}$, $\Delta v = v_{\max} - v_{\min} = \frac{3qBd}{2m}$, 由此式可判定选项 C 正确, 选项 D 错误.

答案 BC

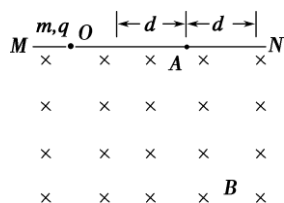


3. (2012 广东理综, 15)质量和电荷量都相等的带电粒子 M 和 N , 以不同的速率经小孔 S 垂直进入匀强磁场, 运行的半圆轨迹如图中虚线所示. 下列表述正确的是().

- A. M 带负电, N 带正电
- B. M 的速率小于 N 的速率
- C. 洛伦兹力对 M 、 N 做正功
- D. M 的运行时间大于 N 的运行时间

解析 由左手定则知 M 带负电, N 带正电, 选项 A 正确; 带电粒子在磁场中做匀速圆周运动且向心力 F 向 = $F_{\text{洛}}$, 即 $\frac{mv^2}{r} = qvB$ 得 $r = \frac{mv}{qB}$, 因为 M 、 N 的质量、电荷量都相等, 且 $r_M > r_N$, 所以 $v_M > v_N$, 选项 B 错误; M 、 N 运动过程中, $F_{\text{洛}}$ 始终与 v 垂直, $F_{\text{洛}}$ 不做功, 选项 C 错误; 由 $T = \frac{2\pi m}{qB}$ 知 M 、 N 两粒子做匀速圆周运动的周期相等且在磁场中的运动时间均为 $\frac{T}{2}$, 选项 D 错误.

答案 A



4. (2012 江苏单科, 9)如图所示, MN 是磁感应强度为 B 的匀强磁场的边界. 一质量为 m 、电荷量为 q 的粒子在纸面内从 O 点射入磁场. 若粒子速度为 v_0 , 最远能落在边界上的 A 点. 下列说法正确的有().

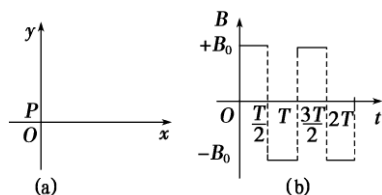
- A. 若粒子落在 A 点的左侧, 其速度一定小于 v_0
- B. 若粒子落在 A 点的右侧, 其速度一定大于 v_0
- C. 若粒子落在 A 点左右两侧 d 的范围内, 其速度不可能小于 $v_0 - \frac{qBd}{2m}$
- D. 若粒子落在 A 点左右两侧 d 的范围内, 其速度不可能大于 $v_0 + \frac{qBd}{2m}$

解析 带电粒子在磁场中做匀速圆周运动, $qv_0B = \frac{mv_0^2}{r}$, 所以 $r = \frac{mv_0}{qB}$, 当带电粒子从不同方向由 O 点以速度 v_0 进入匀强磁场时, 其轨迹是半径为 r 的圆, 轨迹与边界的交点位置最远是离 O 点 $2r$ 的距离, 即 $OA = 2r$, 落在 A 点的粒子从 O 点垂直入射, 其他粒子均落在 A 点左侧, 若落在 A 点右侧则必须有更大的速度, 选项 B 正确. 若粒子速度虽然比 v_0 大, 但进入磁场时磁场边界夹角过大或过小, 粒子仍有可能落在 A 点左侧, 选项 A、D 错误. 若粒子落在 A 点左右两侧 d 的范围内, 设其半径为 r' , 则 $r' \geq \frac{2r - d}{2}$,

代入 $r = \frac{mv_0}{qB}$, $r' = \frac{mv}{qB}$, 解得 $v \geq v_0 - \frac{qBd}{2m}$, 选项 C 正确.

答案 BC

5. (2012 海南单科, 16)图(a)所示的 xOy 平面处于匀强磁场中, 磁场方向与 xOy 平面(纸面)垂直, 磁感应强度 B 随时间 t 变化的周期为 T , 变化图线如图(b)所示. 当 B 为 $+B_0$ 时, 磁感应强度方向指向纸外. 在坐标原点 O 有一带正电的粒子 P , 其电荷量与质量之比恰好等于 $\frac{2\pi}{TB_0}$. 不计重力. 设 P 在某时刻 t_0 以某一初速度沿 y 轴正向从 O 点开始运动, 将它经过时间 T 到达的点记为 A .



(1)若 $t_0=0$, 则直线 OA 与 x 轴的夹角是多少?

(2)若 $t_0=\frac{T}{4}$, 则直线 OA 与 x 轴的夹角是多少?

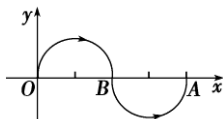
解析 (1)设粒子 P 的质量、电荷量与初速度分别为 m 、 q 与 v , 粒子 P 在洛伦兹力作用下, 在 xOy 平面内做圆周运动, 分别用 R 与 T' 表示圆周的半径和运动周期, 则有

$$qvB_0 = m\left(\frac{2\pi}{T'}\right)^2 R \quad ①$$

$$v = \frac{2\pi R}{T'} \quad ②$$

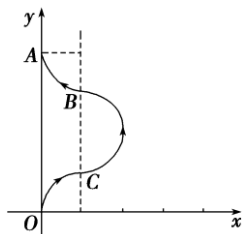
由①②式与已知条件得 $T' = T$

粒子 P 在 $t=0$ 到 $t=\frac{T}{2}$ 时间内, 沿顺时针方向运动半个圆周, 到达 x



轴上 B 点, 此时磁场方向反转; 继而, 在 $t=\frac{T}{2}$ 到 $t=T$ 时间内, 沿逆时针方向运动半个圆周, 到达 x 轴上 A 点, 如图所示. OA 与 x 轴的夹角 $\theta=0$

(2)粒子 P 在 $t_0=\frac{T}{4}$ 时刻开始运动, 在 $t=\frac{T}{4}$ 到 $t=\frac{T}{2}$ 时间内, 沿顺时针方向运动 $\frac{1}{4}$ 个圆周, 到达 C 点, 此时磁场方向反转; 继而, 在 $t=\frac{T}{2}$ 到 $t=T$ 时间内, 沿逆时针方向运



动半个圆周, 到达 B 点, 此时磁场方向再次反转; 在 $t=T$ 到 $t=\frac{5T}{4}$ 时间内, 沿顺时针方向运动 $\frac{1}{4}$ 个圆周, 到达 A 点, 如图所示. 由几何关系可知, A 点在 y 轴上, 即 OA 与 x 轴的夹角 $\theta=\frac{\pi}{2}$

答案 (1)0 (2) $\frac{\pi}{2}$

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 洛伦兹力的特点及应用

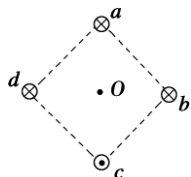


图 8-2-15

1. (2013 安徽卷, 15)(单选)图中 a 、 b 、 c 、 d 为四根与纸面垂直的长直导线, 其横截面位于正方形的四

个顶点上，导线中通有大小相同的电流，方向如图 8-2-15 所示。一带正电的粒子从正方形中心 O 点沿垂直于纸面的方向向外运动，它所受洛伦兹力的方向是()。

- A. 向上 B. 向下 C. 向左 D. 向右

解析 由安培定则分别判断出四根通电导线在 O 点产生的磁感应强度的方向，再由磁场的叠加原理得出 O 点的合磁场方向向左，最后由左手定则可判断带电粒子所受的洛伦兹力方向向下，故选项 B 正确。

答案 B

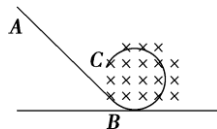


图 8-2-16

2. (多选)如图 8-2-16 所示， ABC 为竖直平面内的光滑绝缘轨道，其中 AB 为倾斜直轨道， BC 为与 AB 相切的圆形轨道，并且圆形轨道处在匀强磁场中，磁场方向垂直纸面向里。质量相同的甲、乙、丙三个小球中，甲球带正电、乙球带负电、丙球不带电。现将三个小球在轨道 AB 上分别从不同高度处由静止释放，都恰好通过圆形轨道的最高点，则()。

- A. 经过最高点时，三个小球的速度相等
B. 经过最高点时，甲球的速度最小
C. 甲球的释放位置比乙球的高
D. 运动过程中三个小球的机械能均保持不变

解析 设磁感应强度为 B ，圆形轨道半径为 r ，三个小球质量均为 m ，它们恰好通过最高点时的速度分别为 $v_{甲}$ 、 $v_{乙}$ 和 $v_{丙}$ ，则 $mg + Bv_{甲} = \frac{mv_{甲}^2}{r}$ ， $mg - Bv_{乙} = \frac{mv_{乙}^2}{r}$ ， $mg = \frac{mv_{丙}^2}{r}$ ，显然， $v_{甲} > v_{丙} > v_{乙}$ ，选项 A、B 错误；三个小球在运动过程中，只有重力做功，即它们的机械能守恒，选项 D 正确；甲球在最高点处的动能最大，因为势能相等，所以甲球的机械能最大，甲球的释放位置最高，选项 C 正确。

答案 CD

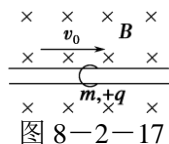


图 8-2-17

3. (多选)如图 8-2-17 所示为一个质量为 m 、带电荷量为 $+q$ 的圆环，可在水平放置的粗糙细杆上自由滑动，细杆处于磁感应强度为 B 的匀强磁场中，圆环以初速度 v_0 向右运动直至处于平衡状态，则圆环克服摩擦力做的功可能为()。

- A. 0 B. $\frac{1}{2}mv_0^2$
C. $\frac{m^3g^2}{2q^2B^2}$ D. $\frac{1}{2}m\left(v_0^2 - \frac{m^2g^2}{q^2B^2}\right)$

解析 若圆环所受洛伦兹力等于重力，圆环与粗糙细杆压力为零，摩擦力为零，圆环克服摩擦力做的功为零，选项 A 正确；若圆环所受洛伦兹力不等于重力，圆环与粗糙细杆压力不为零，摩擦力不为零，圆环以初速度 v_0 向右做减速运动。若开始圆环所受洛伦兹力小于重力，则一直减速到零，圆环克服摩擦力做的功为 $\frac{1}{2}mv_0^2$ ，选项 B 正确；若开始圆环所受洛伦兹力大于重力，则减速到洛伦兹力等于重力达到稳定，稳定速度 $v = \frac{mg}{qB}$ ，由动能定理可得圆环克服摩擦力做的功为 $W = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\left(v_0^2 - \frac{m^2g^2}{q^2B^2}\right)$ ，选项 D 正确、C 错误。

答案 ABD

题组二 带电粒子在匀强磁场中的运动

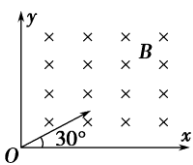


图 8-2-18

4. (单选)如图 8-2-18 所示,在第一象限内有垂直纸面向里的匀强磁场(磁场足够大),一对正、负电子分别以相同速度沿与 x 轴成 30° 角的方向从原点垂直磁场射入,则负电子与正电子在磁场中运动时间之比为(不计正、负电子间的相互作用力)().

- A. $1:\sqrt{3}$ B. $2:1$ C. $\sqrt{3}:1$ D. $1:2$

解析 由题图和左手定则可知负电子向下偏转,在磁场中运动的轨迹对应圆心角为 60° ,正电子向上偏转,在磁场中运动的轨迹对应圆心角为 120° .因为带电粒子在磁场中运动时间 $t = \frac{\alpha}{360}T$,正、负电子的运动周期又相等,所以负电子与正电子在磁场中运动的时间之比为 $1:2$.

答案 D

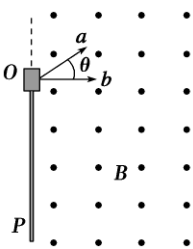


图 8-2-19

5. (2013 广东卷, 21)(多选)如图 8-2-19,两个初速度大小相同的同种离子 a 和 b ,从 O 点沿垂直磁场方向进入匀强磁场,最后打到屏 P 上.不计重力,下列说法正确的有().

- A. a 、 b 均带正电
 B. a 在磁场中飞行的时间比 b 的短
 C. a 在磁场中飞行的路程比 b 的短
 D. a 在 P 上的落点与 O 点的距离比 b 的近

解析 带电离子打到屏 P 上,说明带电离子向下偏转,根据左手定则, a 、 b 两离子均带正电,选项 A 正确; a 、 b 两离子垂直进入磁场的初速度大小相同,电荷量、质量相等,由 $r = \frac{mv}{qB}$ 知半径相同. b 在磁场中运动了半个圆周, a 的运动大于半个圆周,故 a 在 P 上的落点与 O 点的距离比 b 的近,飞行的路程比 b 长,选项 C 错误,选项 D 正确;根据 $t = \frac{\theta}{2\pi}T$ 知, a 在磁场中飞行的时间比 b 的长,选项 B 错误.

答案 AD

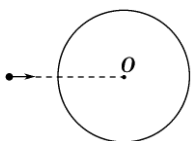
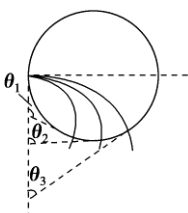


图 8-2-20

6. (单选)如图 8-2-20 所示圆形区域内,有垂直于纸面方向的匀强磁场,一束质量和电荷量都相同的带电粒子,以不同的速率,沿着相同的方向,对准圆心 O 射入匀强磁场,又都从该磁场中射出,这些粒子在磁场中的运动时间有的较长,有的较短,若带电粒子在磁场中只受磁场力的作用,则在磁场中运动时间越长的带电粒子().

- A. 速率一定越小
 B. 速率一定越大
 C. 在磁场中通过的路程越长
 D. 在磁场中的周期一定越大



解析 根据公式 $T = \frac{2\pi m}{Bq}$ 可知, 粒子的比荷相同, 它们进入匀强磁场后做匀速圆周运动的周期相同, 选项 D 错误; 如图所示, 设这些粒子在磁场中的运动圆弧所对应的圆心角为 θ , 则运动时间 $t = \frac{\theta}{360}T$, 在磁场中运动时间越长的带电粒子, 圆心角越大, 运动半径越小, 根据 $r = \frac{mv}{Bq}$ 可知, 速率一定越小, 选项 A 正确, B 错误; 当圆心角趋近 180° 时, 粒子在磁场中通过的路程趋近于 0, 所以选项 C 错误.

答案 A

题组三 带电粒子在磁场中运动的实际应用

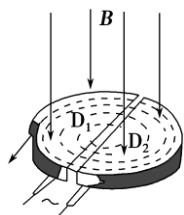


图 8-2-21

7. (多选)回旋加速器的原理如图 8-2-21 所示, 它由两个铜质 D 形盒 D_1 、 D_2 构成, 其间留有空隙, 下列说法正确的是().

- A. 离子从电场中获得能量
- B. 离子从磁场中获得能量
- C. 只增大空隙距离可增加离子从回旋加速器中获得的动能
- D. 只增大 D 形盒的半径可增加离子从回旋加速器中获得的动能

解析 回旋加速器通过电场对离子做功获得能量, A 正确; 洛伦兹力对离子不做功, B 错误; 电场对离子做功与电势差成正比, 增大空隙距离不能增加电场力对离子做功, C 错误; 增大 D 形盒的半径可以使离子加速次数增加, 从而增加从回旋加速器中获得的动能, 故 D 正确.

答案 AD

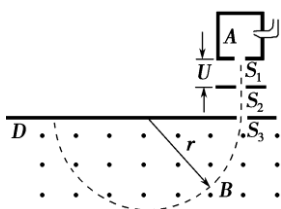


图 8-2-22

8. (单选)质谱仪是测带电粒子质量和分析同位素的一种仪器, 如图 8-2-22 所示. 它的工作原理是带电粒子(不计重力)经同一电场加速后, 垂直进入同一匀强磁场做圆周运动, 然后利用相关规律计算出带电粒子质量. 图中虚线为某粒子运动轨迹, 由图可知().

- A. 此粒子带负电
- B. 下极板 S_2 比上极板 S_1 电势高
- C. 若只增大加速电压 U , 则半径 r 变大
- D. 若只增大入射粒子的质量, 则半径 r 变小

解析 粒子从 S_3 小孔进入磁场中, 速度方向向下, 粒子向左偏转, 由左手定则可知粒子带正电. 带正电的粒子在 S_1 和 S_2 两板间加速, 则要求场强的方向向下, 那么 S_1 板的电势高于 S_2 板的电势, 故 A、B 错误.

粒子在电场中加速, 由动能定理有 $\frac{1}{2}mv^2 = qU$, 在磁场中偏转, 则有 $r = \frac{mv}{qB}$, 联立两式解得 $r = \sqrt{\frac{2Um}{qB^2}}$,

由此式可以看出只增大 U 或只增大 m 时，粒子的轨道半径都变大，故 C 正确，D 错误。

答案 C

9. (多选)如图 8-2-23 甲所示是用来加速带电粒子的回旋加速器的示意图，其核心部分是两个 D 形金属盒。在加速带电粒子时，两金属盒置于匀强磁场中，两盒分别与高频电源相连。带电粒子在磁场中运动的动能 E_k 随时间 t 的变化规律如图乙所示，忽略带电粒子在电场中的加速时间，则下列判断正确的是 ()。

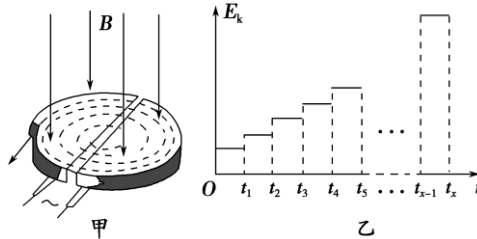


图 8-2-23

- A. 在 E_k-t 图中应有 $t_4-t_3=t_3-t_2=t_2-t_1$
- B. 高频电源的变化周期应该等于 t_n-t_{n-1}
- C. 粒子加速次数越多，粒子最大动能一定越大
- D. 要想粒子获得的最大动能增大，可增加 D 形盒的半径

解析 带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动的周期与速度大小无关，因此，在 E_k-t 图中应有 $t_4-t_3=t_3-t_2=t_2-t_1$ ，选项 A 正确；带电粒子在回旋加速器中每运行一周加速两次，高频电源的变化周期应该等于 $2(t_n-t_{n-1})$ ，选项 B 错；由 $r=mv/qB=\sqrt{2mE_k}/qB$ 可知，粒子获得的最大动能决定于 D 形盒的半径，当轨道半径与 D 形盒半径相等时就不能继续加速，故选项 C 错 D 对。

答案 AD

题组四 带电粒子在磁场中运动的极值和临界问题

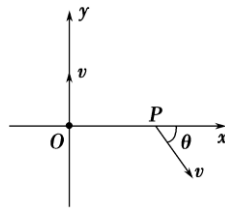
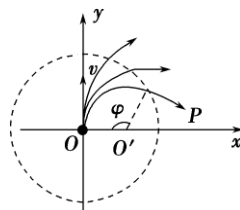


图 8-2-24

10. (多选)在 xOy 平面上以 O 为圆心、半径为 r 的圆形区域内，存在磁感应强度为 B 的匀强磁场，磁场方向垂直于 xOy 平面。一个质量为 m 、电荷量为 q 的带电粒子，从原点 O 以初速度 v 沿 y 轴正方向开始运动，经时间 t 后经过 x 轴上的 P 点，此时速度与 x 轴正方向成 θ 角，如图 8-2-24 所示。不计重力的影响，则下列关系一定成立的是 ()。

- A. 若 $r < \frac{2mv}{qB}$ ，则 $0 < \theta < 90^\circ$
- B. 若 $r \geq \frac{2mv}{qB}$ ，则 $t \geq \frac{\pi m}{qB}$
- C. 若 $t = \frac{\pi m}{qB}$ ，则 $r = \frac{2mv}{qB}$
- D. 若 $r = \frac{2mv}{qB}$ ，则 $t = \frac{\pi m}{qB}$



解析 带电粒子在磁场中从 O 点沿 y 轴正方向开始运动，圆心一定在垂直于速度的方向上，即在 x 轴上，

轨道半径 $R = \frac{mv}{qB}$. 当 $r \geq \frac{2mv}{qB}$ 时, P 点在磁场内, 粒子不能射出磁场区, 所以垂直于 x 轴过 P 点, θ 最大且为 90° , 运动时间为半个周期, 即 $t = \frac{\pi m}{qB}$; 当 $r < \frac{2mv}{qB}$ 时, 粒子在到达 P 点之前射出圆形磁场区, 速度偏转角 φ 在大于 0° 、小于 180° 范围内, 如图所示, 能过 x 轴的粒子的速度偏转角 $\varphi > 90^\circ$, 所以过 x 轴时 $0^\circ < \theta < 90^\circ$, A 对、B 错; 同理, 若 $t = \frac{\pi m}{qB}$, 则 $r \geq \frac{2mv}{qB}$, 若 $r = \frac{2mv}{qB}$, 则 t 等于 $\frac{\pi m}{qB}$, C 错、D 对.

答案 AD

11. 如图 8-2-25 所示, 在直角坐标系 xOy 的第一、四象限区域内存在两个有界的匀强磁场; 垂直纸面向外的匀强磁场 I、垂直纸面向里的匀强磁场 II, O 、 M 、 P 、 Q 为磁场边界和 x 轴的交点, $OM = MP = L$. 在第三象限存在沿 y 轴正向的匀强电场. 一质量为 m 带电荷量为 $+q$ 的带电粒子从电场中坐标为 $(-2L, -L)$ 的点以速度 v_0 沿 $+x$ 方向射出, 恰好经过原点 O 处射入磁场 I 又从 M 点射出磁场 I (粒子的重力忽略不计).

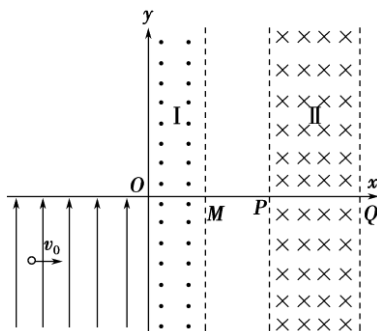


图 8-2-25

- (1) 求第三象限匀强电场场强 E 的大小;
- (2) 求磁场 I 的磁感应强度 B 的大小;
- (3) 如果带电粒子能再次回到原点 O , 问磁场 II 的宽度至少为多少? 粒子两次经过原点 O 的时间间隔为多少?

解析 (1) 带电粒子在匀强电场中做类平抛运动

$$\text{沿初速度方向: } 2L = v_0 t$$

$$\text{垂直初速度方向: } L = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2$$

$$\text{联立解得 } E = \frac{mv_0^2}{2qL}$$

(2) 设到原点时带电粒子的竖直分速度为 v_y

$$v_y = \frac{qE}{m} t = \frac{qE \cdot 2L}{m v_0} = v_0$$

$$v = \sqrt{2} v_0, \text{ 方向与 } x \text{ 轴正向成 } 45^\circ \text{ 角}$$

粒子进入磁场 I 做匀速圆周运动, 由几何知识可得:

$$R_1 = \frac{\sqrt{2}}{2} L$$

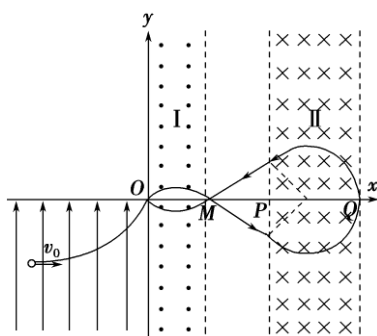
由洛伦兹力充当向心力得:

$$Bqv = \frac{mv^2}{R_1}$$

$$\text{可解得: } B = \frac{mv}{qR_1} = \frac{2mv_0}{qL}$$

(3) 运动轨迹如图, 在磁场 II 做匀速圆周运动的半径:

$$R_2 = \sqrt{2} L$$



磁场II的宽度 $d \geq R_2 + L = (\sqrt{2} + 1)L$

运动时间：

$$t_1 = \frac{\frac{\pi\sqrt{2}}{2}L}{\sqrt{2}v_0} = \frac{\pi L}{4v_0},$$

$$t_2 = \frac{\sqrt{2}L}{\sqrt{2}v_0} = \frac{L}{v_0}, \quad t_3 = \frac{\frac{3\pi}{2}\sqrt{2}L}{\sqrt{2}v_0} = \frac{3\pi L}{2v_0}$$

$$t_{\text{总}} = 2(t_1 + t_2) + t_3 = \frac{(2 + 2\pi)L}{v_0}$$

答案 (1) $\frac{mv_0^2}{2qL}$ (2) $\frac{2mv_0}{qL}$ (3) $d \geq (\sqrt{2} + 1)L$ $\frac{(2 + 2\pi)L}{v_0}$

B 深化训练——提高能力技巧

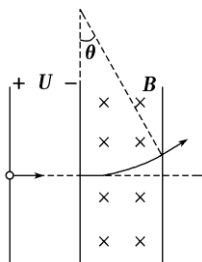


图 8-2-26

12. (2013 浙江卷, 20)(多选)在半导体离子注入工艺中, 初速度可忽略的磷离子 P^+ 和 P^{3+} , 经电压为 U 的电场加速后, 垂直进入磁感应强度大小为 B 、方向垂直纸面向里、有一定宽度的匀强磁场区域, 如图 8-2-26 所示. 已知离子 P^+ 在磁场中转过 $\theta = 30^\circ$ 后从磁场右边界射出. 在电场和磁场中运动时, 离子 P^+ 和 P^{3+} ().

- A. 在电场中的加速度之比为 1 : 1
- B. 在磁场中运动的半径之比为 $\sqrt{3} : 1$
- C. 在磁场中转过角度之比为 1 : 2
- D. 离开电场区域时的动能之比为 1 : 3

解析 磷离子 P^+ 与 P^{3+} 电荷量之比 $q_1 : q_2 = 1 : 3$, 质量相等, 在电场中加速度 $a = \frac{qE}{m}$, 由此可知, $a_1 : a_2 = 1 : 3$, 选项 A 错误; 离子进入磁场中做圆周运动的半径 $r = \frac{mv}{qB}$, 又 $qU = \frac{1}{2}mv^2$, 故有 $r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$, 即 $r_1 : r_2 = \sqrt{3} : 1$, 选项 B 正确; 设离子 P^{3+} 在磁场中偏角为 α , 则 $\sin \alpha = \frac{d}{r_2}$, $\sin \theta = \frac{d}{r_1}$ (d 为磁场宽度), 故有 $\sin \theta : \sin \alpha = 1 : \sqrt{3}$, 已知 $\theta = 30^\circ$, 故 $\alpha = 60^\circ$, 选项 C 正确; 全过程中只有电场力做功, $W = qU$, 故离开电场区域时的动能之比即为电场力做功之比, 所以 $E_{k1} : E_{k2} = W_1 : W_2 = 1 : 3$, 选项 D 正确.

答案 BCD

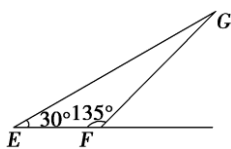
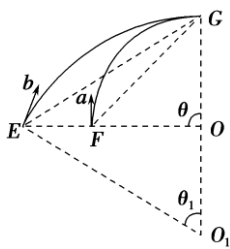


图 8-2-27

13. (2013 海南卷, 14)如图 8-2-27, 纸面内有 E 、 F 、 G 三点, $\angle GEF=30^\circ$; $\angle EFG=135^\circ$; 空间有一匀强磁场, 磁感应强度大小为 B , 方向垂直于纸面向外. 先使带有电荷量为 $q(q>0)$ 的点电荷 a 在纸面内

垂直于 EF 从 F 点射出, 其轨迹经过 G 点; 再使带有同样电荷量的点电荷 b 在纸面内与 EF 成一定角度从 E 点射出, 其轨迹也经过 G 点, 两点电荷从射出到经过 G 点所用的时间相同, 且经过 G 点时的速度方向也相同. 已知点电荷 a 的质量为 m , 轨道半径为 R , 不计重力, 求:

- (1) 点电荷 a 从射出到经过 G 点所用的时间;
 (2) 点电荷 b 的速度大小.



解析 (1) 设点电荷 a 的速度大小为 v , 由牛顿第二定律得

$$qvB = m \frac{v^2}{R} \quad ①$$

由①式得 $v = \frac{qBR}{m} \quad ②$

设点电荷 a 做圆周运动的周期为 T , 有 $T = \frac{2\pi m}{qB} \quad ③$

如图, O 和 O_1 分别是 a 和 b 的圆轨道的圆心. 设 a 在磁场中偏转的角度为 θ , 由几何关系得 $\theta = 90^\circ \quad ④$

故 a 从开始运动到经过 G 点所用的时间 t 为 $t = \frac{\pi m}{2qB} \quad ⑤$

(2) 设点电荷 b 的速度大小为 v_1 , 轨道半径为 R_1 , b 在磁场中偏转的角度为 θ_1 , 依题意有 $t = \frac{R_1 \theta_1}{v_1} = \frac{R \theta}{v} \quad ⑥$

由⑥式得 $v_1 = \frac{R_1 \theta_1}{R \theta} v \quad ⑦$

由于两轨道在 G 点相切, 所以过 G 点的半径 OG 和 O_1G 在同一直线上. 由几何关系和题给条件得 $\theta_1 = 60^\circ \quad ⑧$

$R_1 = 2R \quad ⑨$

联立②④⑦⑧⑨式, 解得 $v_1 = \frac{4qBR}{3m} \quad ⑩$

答案 (1) $\frac{\pi m}{2qB}$ (2) $\frac{4qBR}{3m}$

专题七 带电粒子在复合场中的运动

1. 复合场与组合场

(1) 复合场: 电场、磁场、重力场共存, 或其中某两场共存.

(2) 组合场: 电场与磁场各位于一定的区域内, 并不重叠, 或同一区域, 电场、磁场分时间段或分区域交替出现.

2. 三种场的比较

名称	力的特点	功和能的特点
重力场	大小: $G=mg$ 方向: 竖直向下	重力做功与路径无关重力做功改变物体的重力势能
静电场	大小: $F=qE$ 方向: 正电荷受力方向与场强方向相同; 负电荷受力方向与场强	电场力做功与路径无关 $W=qU$ 电场力做功改变电势能

	方向相反	
磁场	洛伦兹力 $F=qvB$ 方向可用左手定则判断	洛伦兹力不做功, 不改变带电粒子的动能

3. 带电粒子在复合场中的运动分类

- (1) **静止或匀速直线运动**: 当带电粒子在复合场中所受合外力为零时, 将处于静止状态或做匀速直线运动.
- (2) **匀速圆周运动**: 当带电粒子所受的重力与电场力大小相等, 方向相反时, 带电粒子在洛伦兹力的作用下, 在垂直于匀强磁场的平面内做匀速圆周运动.
- (3) **一般的曲线运动**: 当带电粒子所受合外力的大小和方向均变化, 且与初速度方向不在同一条直线上, 粒子做非匀变速曲线运动, 这时粒子运动轨迹既不是圆弧, 也不是抛物线.
- (4) **分阶段运动**: 带电粒子可能依次通过几个情况不同的复合场区域, 其运动情况随区域发生变化, 其运动过程由几种不同的运动阶段组成.

热点题型一 带电粒子在组合场中的运动问题

题型特点: 带电粒子在组合场中的运动是力电综合的重点和高考热点. 这类问题的特点是电场、磁场或重力场依次出现, 包含空间上先后出现和时间上先后出现, 磁场或电场与无场区交替出现相组合的场等. 其运动形式包含匀速直线运动、匀变速直线运动、类平抛运动、圆周运动等, 涉及牛顿运动定律、功能关系等知识的应用.

复习指导: 1. 理解掌握带电粒子的电偏转和磁偏转的条件、运动性质, 会应用牛顿运动定律进行分析研究, 掌握研究带电粒子的电偏转和磁偏转的方法, 能够熟练处理类平抛运动和圆周运动.

2. 学会按照时间先后或空间先后顺序对运动进行分析, 分析运动速度的承前启后关联、空间位置的距离关系、运动时间的分配组合等信息将各个运动联系起来.

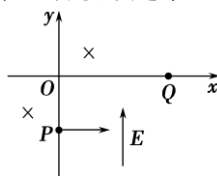


图 1

【典例 1】 (山东卷, 23) 如图 1 所示, 在坐标系 xOy 的第一、第三象限内存在相同的匀强磁场, 磁场方向垂直于 xOy 平面向里; 第四象限内有沿 y 轴正方向的匀强电场, 电场强度大小为 E . 一带电量为 $+q$ 、质量为 m 的粒子, 自 y 轴上的 P 点沿 x 轴正方向射入第四象限, 经 x 轴上的 Q 点进入第一象限, 随即撤去电场, 以后仅保留磁场. 已知 $OP=d$, $OQ=2d$. 不计粒子重力.

- (1) 求粒子过 Q 点时速度的大小和方向.
- (2) 若磁感应强度的大小为一确定值 B_0 , 粒子将以垂直 y 轴的方向进入第二象限, 求 B_0 .
- (3) 若磁感应强度的大小为另一确定值, 经过一段时间后粒子将再次经过 Q 点, 且速度与第一次过 Q 点时相同, 求该粒子相邻两次经过 Q 点所用的时间.

审题指导 (1) 带电粒子在电场中做什么运动? 如何求粒子在 Q 点的速度和大小?

(2) 粒子进入磁场后做什么运动?

(3) 画出粒子在磁场中的运动轨迹 ^{由几何关系} 求出粒子运动半径 ~~Error!~~ 求得 B .

(4) 粒子出磁场后, 在第二象限内做什么运动?

(5) 粒子在第三象限内做什么运动?

(6) 撤去电场后粒子在第四象限内做什么运动?

提示 (1) 类平抛运动、速度的合成 (2) 匀速圆周运动 (4) 匀速直线运动 (5) 匀速圆周运动 (6) 匀速直线运动

解析 (1) 设粒子在电场中运动的时间为 t_0 , 加速度的大小为 a , 粒子的初速度为 v_0 , 过 Q 点时速度的大小为 v , 沿 y 轴方向分速度的大小为 v_y , 速度与 x 轴正方向间的夹角为 θ , 由牛顿第二定律得 $qE = ma$

①

由运动学公式得 $d = \frac{1}{2}at_0^2$ ②

$2d = v_0t_0$ ③

$v_y = at_0$ ④

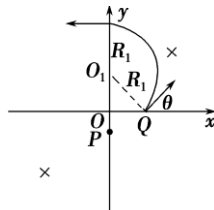
$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2}$ ⑤

$\tan \theta = \frac{v_y}{v_0}$ ⑥

联立①②③④⑤⑥式得 $v = 2\sqrt{\frac{qEd}{m}}$ ⑦

$\theta = 45^\circ$ ⑧

(2)



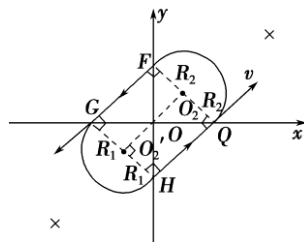
设粒子做圆周运动的半径为 R_1 ，粒子在第一象限内的运动轨迹如图所示， O_1 为圆心，由几何关系可知 $\triangle O_1OQ$ 为等腰直角三角形，得

$R_1 = 2\sqrt{2}d$ ⑨

由牛顿第二定律得 $qvB_0 = m\frac{v^2}{R_1}$ ⑩

联立⑦⑨⑩式得 $B_0 = \sqrt{\frac{mE}{2qd}}$ ⑪

(3) 设粒子做圆周运动的半径为 R_2 ，由几何分析粒子运动的轨迹如图所示， O_2 、 O_2' 是粒子做圆周运动的圆心， Q 、 F 、 G 、 H 是轨迹与两坐标轴的交点，连接 O_2 、 O_2' ，由几何关系知， O_2FGO_2' 和 O_2QHO_2' 均为矩形，进而知 FQ 、 GH 均为直径， $QFGH$ 也是矩形，又 $FH \perp GQ$ ，可知 $QFGH$ 是正方形， $\triangle QOF$ 为等腰直角三角形。可知，粒子在第一、第三象限的轨迹为半圆，得



$2R_2 = 2\sqrt{2}d$ ⑫

粒子在第二、第四象限的轨迹为长度相等的线段，得

$FG = HQ = 2R_2$ ⑬

设粒子相邻两次经过 Q 点所用的时间为 t ，则有

$t = \frac{FG + HQ + 2\pi R_2}{v}$ ⑭

联立⑦⑫⑬⑭式得

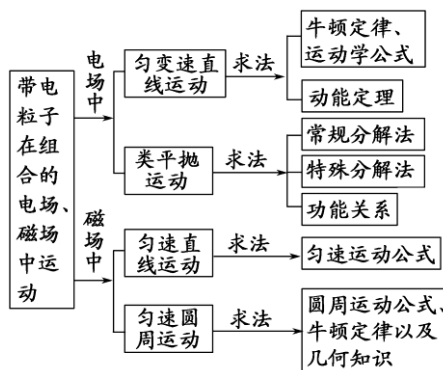
$t = (2 + \pi)\sqrt{\frac{2md}{qE}}$ ⑮

答案 (1) $2\sqrt{\frac{qEd}{m}}$ ，方向与水平方向成 45° 角斜向上

$$(2) \sqrt{\frac{mE}{2qd}} \quad (3) (2+\pi) \sqrt{\frac{2md}{qE}}$$

反思总结 求解带电粒子在组合复合场中运动问题的分析方法

- (1) 正确受力分析，除重力、弹力、摩擦力外要特别注意静电力和磁场力的分析。
- (2) 确定带电粒子的运动状态，注意运动情况和受力情况的结合。
- (3) 对于粒子连续通过几个不同区域、不同种类的场时，要分阶段进行处理。
- (4) 画出粒子运动轨迹，灵活选择不同的运动规律。



特别注意

- (1) 多过程现象中的“子过程”与“子过程”的衔接点。如一定要把握“衔接点”处速度的连续性。
- (2) 圆周与圆周运动的衔接点一要注意在“衔接点”处两圆有公切线，它们的半径重合。

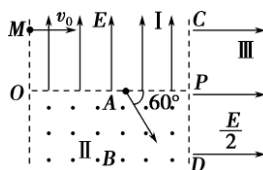


图 2

即学即练 1 如图 2 所示装置中，区域 I 和 III 中分别有竖直向上和水平向右的匀强电场，电场强度分别为 E 和 $\frac{E}{2}$ ；II 区域内有垂直纸面向外的匀强磁场，磁感应强度为 B 。一质量为 m 、带电荷量为 q 的带负电粒子(不计重力)从左边界 O 点正上方的 M 点以速度 v_0 水平射入电场，经水平分界线 OP 上的 A 点与 OP 成 60° 角射入 II 区域的磁场，并垂直竖直边界 CD 进入 III 区域的匀强电场中。求：

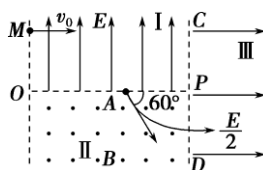
- (1) 粒子在 II 区域匀强磁场中运动的轨迹半径；
- (2) O 、 M 间的距离；
- (3) 粒子从 M 点出发到第二次通过 CD 边界所经历的时间。

解析 (1) 粒子在匀强电场中做类平抛运动，设粒子过 A 点时速度为 v ，由类平抛运动规律知 $v = \frac{v_0}{\cos 60^\circ}$ 。

粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动，由牛顿第二定律得 $Bqv = m\frac{v^2}{R}$ ，所以 $R = \frac{2mv_0}{qB}$ 。

(2) 设粒子在 I 区域电场中运动时间 t_1 ，加速度为 a 。则有 $qE = ma$ ， $v_0 \tan 60^\circ = at_1$ ，即 $t_1 = \frac{\sqrt{3}mv_0}{qE}$ 。

O 、 M 两点间的距离为 $L = \frac{1}{2}at_1^2 = \frac{3mv_0^2}{2qE}$ 。



(3) 如图所示，设粒子在 II 区域磁场中运动时间为 t_2

则由几何关系知 $t_2 = \frac{T_1}{6} = \frac{\pi m}{3qB}$

设粒子在III区域电场中运动时间为 t_3 , $a' = \frac{qE}{m} = \frac{qE}{2m}$, 则 $t_3 = 2 \times \frac{2v_0}{a'} = \frac{8mv_0}{qE}$

粒子从 M 点出发到第二次通过 CD 边界所用时间为 $t = t_1 + t_2 + t_3 = \frac{\sqrt{3}mv_0}{qE} + \frac{\pi m}{3qB} + \frac{8mv_0}{qE} = \frac{(8 + \sqrt{3})mv_0}{qE} + \frac{\pi m}{3qB}$

答案 (1) $\frac{2mv_0}{qB}$ (2) $\frac{3mv_0^2}{qE}$ (3) $\frac{(8 + \sqrt{3})mv_0}{qE} + \frac{\pi m}{3qB}$

热点题型二 带电粒子在叠加场中的运动问题

题型特点: 带电粒子在叠加场中的运动问题是典型的力电综合问题. 在同一区域内同时有电场和磁场、电场和重力场或同时存在电场、磁场和重力场等称为叠加场. 带电粒子在叠加场中的运动问题有很明显的力学特征, 一般要从受力、运动、功能的角度来分析. 这类问题涉及的力的种类多, 含重力、电场力、磁场力、弹力、摩擦力等; 包含的运动种类多, 含匀速直线运动、匀变速直线运动、类平抛运动、圆周运动以及其他曲线运动, 综合性强, 数学能力要求高.

复习指导: 1.能够正确对叠加场中的带电粒子从受力、运动、能量三个方面进行分析.2.能够合理选择力学规律(牛顿运动定律、运动学规律、动能定理、能量守恒定律等)对粒子的运动进行研究.

【典例 2】 如图 3 所示的平行板之间, 存在着相互垂直的匀强磁场和匀强电场, 磁场的磁感应强度 $B_1 = 0.20 \text{ T}$, 方向垂直纸面向里, 电场强度 $E_1 = 1.0 \times 10^5 \text{ V/m}$, PQ 为板间中线. 紧靠平行板右侧边缘 xOy 坐标系的第一象限内, 有一边界线 AO , 与 y 轴的夹角 $\angle AOy = 45^\circ$, 边界线的上方有垂直纸面向外的匀强磁场, 磁感应强度 $B_2 = 0.25 \text{ T}$, 边界线的下方有水平向右的匀强电场, 电场强度 $E_2 = 5.0 \times 10^5 \text{ V/m}$, 在 x 轴上固定一水平的荧光屏. 一束带电荷量 $q = 8.0 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、质量 $m = 8.0 \times 10^{-26} \text{ kg}$ 的正离子从 P 点射入平行板间, 沿中线 PQ 做直线运动, 穿出平行板后从 y 轴上坐标为 $(0, 0.4 \text{ m})$ 的 Q 点垂直 y 轴射入磁场区, 最后打到水平的荧光屏上的位置 C . 求:

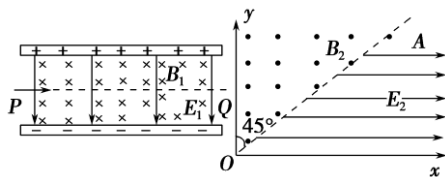
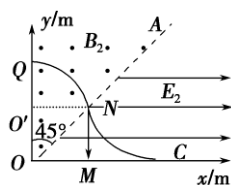
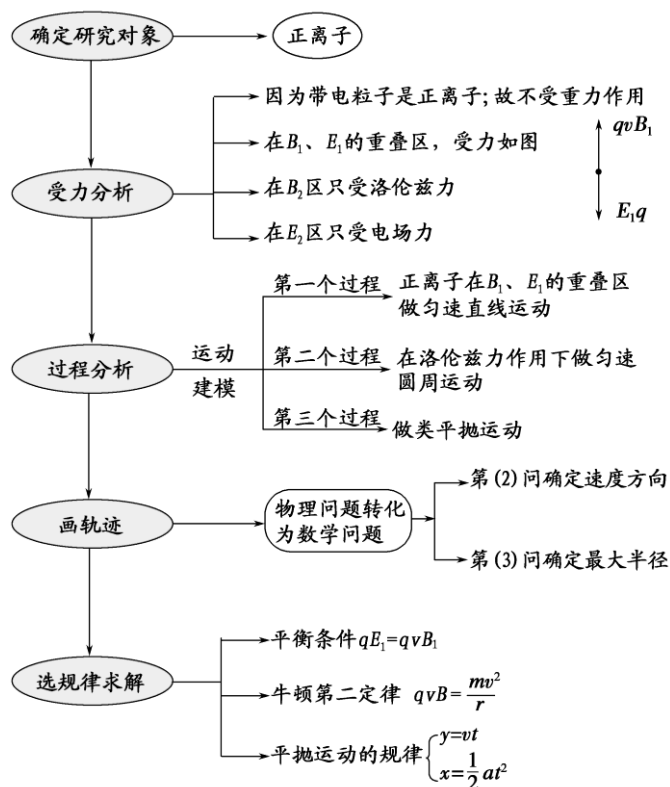


图 3

- (1) 离子在平行板间运动的速度大小;
- (2) 离子打到荧光屏上的位置 C 的坐标;
- (3) 现只改变 AOy 区域内磁场的磁感应强度大小, 使离子都不能打到 x 轴上, 磁感应强度大小 B_2' 应满足什么条件?

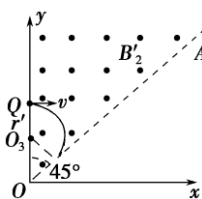
审题指导



图甲

解析 (1) 设离子的速度大小为 v , 由于沿中线 PQ 做直线运动 则有 $qE_1 = qvB_1$, 代入数据解得 $v = 5.0 \times 10^5$ m/s.

(2) 离子进入磁场, 做匀速圆周运动, 由牛顿第二定律有 $qvB_2 = m\frac{v^2}{r}$ 得, $r = 0.2$ m, 作出离子的运动轨迹, 交 OA 边界于 N , 如图甲所示, $OQ = 2r$, 若磁场无边界, 一定通过 O 点, 则圆弧 QN 的圆周角为 45° , 则轨迹圆弧的圆心角为 $\theta = 90^\circ$, 过 N 点做圆弧切线, 方向竖直向下, 离子垂直电场线进入电场, 做类平抛运动, $y = OO' = vt$, $x = \frac{1}{2}at^2$, 而 $a = \frac{E_2q}{m}$, 则 $x = 0.4$ m, 离子打到荧光屏上的位置 C 的水平坐标为 $x_C = (0.2 + 0.4)\text{m} = 0.6$ m.



图乙

(3) 只要粒子能跨过 AO 边界进入水平电场中, 粒子就具有竖直向下的速度而一定打在 x 轴上. 如图乙所示, 由几何关系可知使离子不能打到 x 轴上的最大半径 $r' = \frac{0.4}{\sqrt{2}+1}$ m, 设使离子都不能打到 x 轴上,

最小的磁感应强度大小为 B_0 , 则 $qvB_0 = m\frac{v^2}{r'}$, 代入数据解得 $B_0 = \frac{\sqrt{2}+1}{8}$ T = 0.3 T, 则 $B_2' \geq 0.3$ T.

答案 (1) $5.0 \times 10^5 \text{ m/s}$ (2) 0.6 m (3) $B_2' \geq 0.3 \text{ T}$

反思总结

1. 带电体在复合场中运动的归类分析

(1) 磁场力、重力并存

- ① 若重力和洛伦兹力平衡，则带电体做匀速直线运动。
- ② 若重力和洛伦兹力不平衡，则带电体将做复杂的曲线运动，因洛伦兹力不做功，故机械能守恒。

(2) 电场力、磁场力并存(不计重力的微观粒子)

- ① 若电场力和洛伦兹力平衡，则带电体做匀速直线运动。
- ② 若电场力和洛伦兹力不平衡，则带电体做复杂的曲线运动，可用动能定理求解。

(3) 电场力、磁场力、重力并存

- ① 若三力平衡，带电体做匀速直线运动。
- ② 若重力与电场力平衡，带电体做匀速圆周运动。
- ③ 若合力不为零，带电体可能做复杂的曲线运动，可用能量守恒定律或动能定理求解。

2. 带电粒子在复合场中运动的分析方法

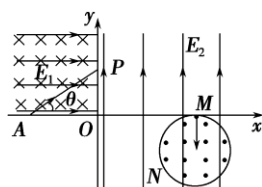
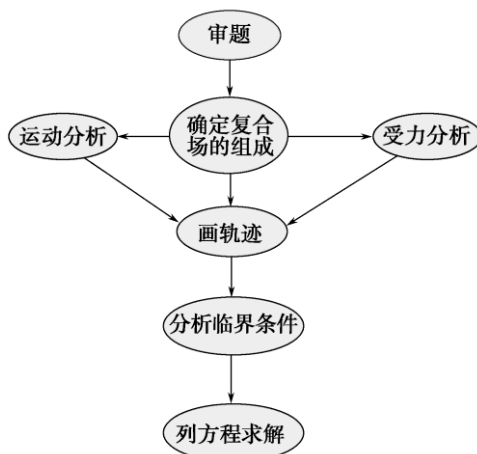


图 4

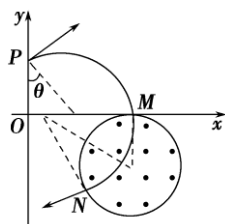
即学即练 2 如图 4 所示，在竖直平面 xOy 内， y 轴左侧有一水平向右的电场强度为 E_1 的匀强电场和磁感应强度为 B_1 的匀强磁场， y 轴右侧有一竖直向上的电场强度为 E_2 的匀强电场，第一象限内有一匀强磁场，一带电荷量为 $+q$ 、质量为 m 的粒子从 x 轴上的 A 点以初速度 v 与水平方向成 $\theta = 30^\circ$ 沿直线运动到 y 轴上的 P 点， $OP = d$ 。粒子进入 y 轴右侧后在竖直面内做匀速圆周运动，然后垂直 x 轴沿半径方向从 M 点进入第四象限内、半径为 d 的圆形磁场区域，粒子在圆形磁场中偏转 60° 后从 N 点射出磁场，求：

- (1) 电场强度 E_1 与 E_2 大小之比。
- (2) 第一象限内磁场的磁感应强度 B 的大小和方向。
- (3) 粒子从 A 到 N 运动的时间。

解析 (1) 粒子从 A 到 P 做匀速直线运动，由受力情况可得 $qE_1 = mg \tan \theta$

粒子从 P 到 M 做匀速圆周运动，必有重力与电场力平衡，洛伦兹力提供向心力，即 $qE_2 = mg$

联立得 $E_1 : E_2 = \sqrt{3} : 3$ 。



(2) 粒子从 P 到 M 、从 M 到 N 的运动轨迹如图，在第一象限内有 $R_1 = \frac{OP}{\cos 30^\circ} = \frac{2\sqrt{3}d}{3}$

由洛伦兹力提供向心力知

$$Bqv = m \frac{v^2}{R_1}$$

联立得 $B = \frac{\sqrt{3}mv}{2qd}$ ，方向垂直纸面向外。

(3) 粒子从 A 到 P 有 $vt_1 = \frac{d}{\sin \theta}$ ，即 $t_1 = \frac{2d}{v}$

从 P 到 M 粒子运动轨迹对应的圆心角为 120° ，所用时间为 $t_2 = \frac{120^\circ}{360^\circ} \times \frac{2\pi R_1}{v} = \frac{1}{3} \times \frac{2\pi m}{Bq} = \frac{4\sqrt{3}\pi d}{9v}$

粒子从 M 到 N 做圆周运动，由图知其半径为 $R_2 = \sqrt{3}d$ ，对应圆心角为 60° ，所用时间为 $t_3 = \frac{60^\circ}{360^\circ} \times \frac{2\pi R_2}{v} = \frac{\sqrt{3}\pi d}{3v}$

所以粒子从 A 到 N 运动的时间为 $t = t_1 + t_2 + t_3 = \frac{(18 + 7\sqrt{3}\pi)d}{9v}$ 。

答案 (1) $\sqrt{3} : 3$ (2) $\frac{\sqrt{3}mv}{2qd}$ 方向垂直纸面向外

(3) $\frac{(18 + 7\sqrt{3}\pi)d}{9v}$

热点题型三 带电粒子在交变复合场中的运动

【典例 3】如图 5 甲所示，宽度为 d 的竖直狭长区域内(边界为 L_1 、 L_2)，存在垂直纸面向里的匀强磁场和竖直方向上的周期性变化的电场(如图乙所示)，电场强度的大小为 E_0 ， $E > 0$ 表示电场方向竖直向上。 $t = 0$ 时，一带正电、质量为 m 的微粒从左边界上的 N_1 点以水平速度 v 射入该区域，沿直线运动到 Q 点后，做一次完整的圆周运动，再沿直线运动到右边界上的 N_2 点。 Q 为线段 N_1N_2 的中点，重力加速度为 g 。上述 d 、 E_0 、 m 、 v 、 g 为已知量。

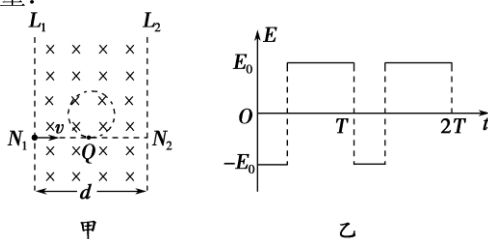


图 5

(1) 求微粒所带电荷量 q 和磁感应强度 B 的大小。

(2) 求电场变化的周期 T 。

(3) 改变宽度 d ，使微粒仍能按上述运动过程通过相应宽度的区域，求 T 的最小值。

审题指导 (1) N_1Q 段的直线运动 \rightarrow 受力平衡。

(2) 圆周运动 \rightarrow 重力与电场力平衡、洛伦兹力提供向心力。

(3) 直线运动的时间、圆周运动的时间 \rightarrow 周期。

(4) 磁场宽度的临界值 $\rightarrow d = 2R$ 。

解析 (1) 微粒做直线运动，则

$$mg + qE_0 = qvB \quad \text{①}$$

微粒做圆周运动，则 $mg = qE_0$ ②

联立①②得 $q = \frac{mg}{E_0}$ ③

$$B = \frac{2E_0}{v}$$
④

(2)设微粒从 N_1 运动到 Q 的时间为 t_1 ，做圆周运动的周期为 t_2 ，则 $\frac{d}{2} = vt_1$ ⑤

$$qvB = m\frac{v^2}{R}$$
⑥

$$2\pi R = vt_2$$
⑦

联立③④⑤⑥⑦得 $t_1 = \frac{d}{2v}$ ； $t_2 = \frac{\pi v}{g}$ ⑧

电场变化的周期 $T = t_1 + t_2 = \frac{d}{2v} + \frac{\pi v}{g}$ ⑨

(3)若微粒能完成题述的运动过程，要求 $d \geq 2R$ ⑩

联立③④⑥得 $R \leq \frac{v^2}{2g}$ ⑪

设在 N_1Q 段直线运动的最短时间为 $t_{1\min}$ ，由⑤⑩⑪得 $t_{1\min} = \frac{v}{2g}$ ，因 t_2 不变， T 的最小值 $T_{\min} = t_{1\min} + t_2 =$

$$\frac{(2\pi + 1)v}{2g}$$

答案 (1) $\frac{mg}{E_0}$ $\frac{2E_0}{v}$ (2) $\frac{d}{2v} + \frac{\pi v}{g}$ (3) $\frac{(2\pi + 1)v}{2g}$

反思总结 本题涉及交变电场，要使电场反向前后出现直线运动和圆周运动，则匀速圆周运动时重力 mg 与电场力 E_0q 平衡，做直线运动时必有 $mg + E_0q = qvB$ 。结合运动分析受力是解题的关键。

即学即练 3 如图 6 甲所示，在以 O 为坐标原点的 xOy 平面内，存在着范围足够大的电场和磁场。一个质量 $m = 2 \times 10^{-2} \text{ kg}$ ，带电荷量 $q = +5 \times 10^{-3} \text{ C}$ 的小球在 0 时刻以 $v_0 = 40 \text{ m/s}$ 的速度从 O 点沿 $+x$ 方向(水平向右)射入该空间，在该空间同时加上如图乙所示的电场和磁场，其中电场沿 $-y$ 方向(竖直向上)，场强大小 $E_0 = 40 \text{ V/m}$ 。磁场垂直于 xOy 平面向外，磁感应强度大小 $B_0 = 4\pi \text{ T}$ 。取当地的重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，计算结果中可以保留根式或 π 。

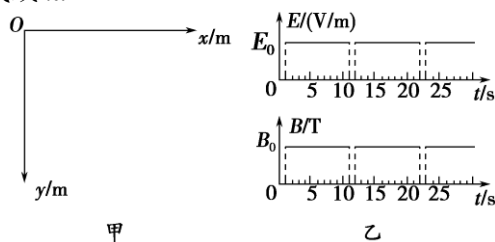


图 6

(1)求 12 s 末小球速度的大小。

(2)在给定的 xOy 坐标系中，大致画出小球在 24 s 内的运动轨迹示意图。

(3)求 26 s 末小球的位置坐标。

解析 (1)当不存在电场和磁场时，小球只受重力作用，做平抛运动，当同时加上电场和磁场时，电场力方向向上： $F_1 = qE_0 = 0.2 \text{ N}$ ，重力方向向下： $G = mg = 0.2 \text{ N}$

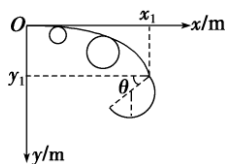
重力和电场力恰好平衡，此时小球受洛伦兹力而做匀速圆周运动，根据牛顿第二定律有： $qv_0B_0 = m\frac{v_0^2}{r}$

运动周期 $T = \frac{2\pi r}{v_0}$ ，联立解得 $T = 2 \text{ s}$

正好是电场、磁场同时存在时间的 $\frac{1}{5}$ ，即在这 10 s 内，小球恰好做了 5 个完整的匀速圆周运动。所以小球在 $t_1 = 12 \text{ s}$ 末的速度相当于小球做平抛运动 $t = 2 \text{ s}$ 时的末速度。

$$v_y = gt = 20 \text{ m/s}$$

$$v_x = v_0 = 40 \text{ m/s}, v_1 = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 20\sqrt{5} \text{ m/s}.$$



(2) 小球在 24 s 内的运动轨迹示意图如图所示(半径越来越大)。

(3) 分析可知, 小球 24 s 末与 26 s 末的位置相同, 在 26 s 内小球做了 $t_2 = 3 \text{ s}$ 的平抛运动, 23 s 末小球平抛运动的位移大小为 $x_1 = v_0 t_2 = 120 \text{ m}$

$$y_1 = \frac{1}{2} g t_2^2 = 45 \text{ m}$$

此时小球的速度大小为 $v_2 = \sqrt{v_0^2 + (g t_2)^2} = 50 \text{ m/s}$

速度与竖直方向的夹角为 $\theta = 53^\circ$

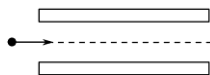
此后小球做匀速圆周运动的半径 $r_2 = \frac{m v_2}{q B_0} = \frac{50}{\pi} \text{ m}$

26 s 末, 小球恰好完成了半个圆周运动, 此时小球的位置坐标 $x_2 = x_1 - 2 r_2 \cos \theta = \left(120 - \frac{60}{\pi}\right) \text{ m}$

$$y_2 = y_1 + 2 r_2 \sin \theta = \left(45 + \frac{80}{\pi}\right) \text{ m}.$$

答案 (1) $20\sqrt{5} \text{ m/s}$ (2) 见解析 (3) $x_2 = \left(120 - \frac{60}{\pi}\right) \text{ m}$ $y_2 = \left(45 + \frac{80}{\pi}\right) \text{ m}$

对应高考题组

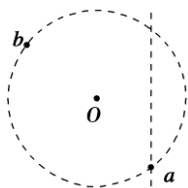


1. (2012 海南卷, 2) 如图所示, 在两水平极板间存在匀强电场和匀强磁场, 电场方向竖直向下, 磁场方向垂直于纸面向里. 一带电粒子以某一速度沿水平直线通过两极板. 若不计重力, 下列四个物理量中哪一个改变时, 粒子运动轨迹不会改变().

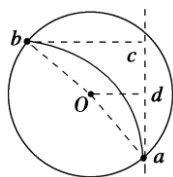
- A. 粒子速度的大小 B. 粒子所带的电荷量
C. 电场强度 D. 磁感应强度

解析 粒子以某一速度沿水平直线通过两极板, 其受力平衡有 $E q = B q v$, 则知当粒子所带的电荷量改变时, 粒子所受的合力仍为 0, 运动轨迹不会改变, 故 B 项正确.

答案 B



2. (2012 课标全国卷, 25) 如图所示, 一半径为 R 的圆表示一柱形区域的横截面(纸面). 在柱形区域内加一方向垂直于纸面的匀强磁场, 一质量为 m 、电荷量为 q 的粒子沿图中直线在圆上的 a 点射入柱形区域, 在圆上的 b 点离开该区域, 离开时速度方向与直线垂直. 圆心 O 到直线的距离为 $\frac{3}{5} R$. 现将磁场换为平行于纸面且垂直于直线的匀强电场, 同一粒子以同样速度沿直线在 a 点射入柱形区域, 也在 b 点离开该区域. 若磁感应强度大小为 B , 不计重力, 求电场强度的大小.



解析 粒子在磁场中做圆周运动. 设圆周的半径为 r , 由牛顿第二定律和洛伦兹力公式得 $q v B = m \frac{v^2}{r}$ ①

式中 v 为粒子在 a 点的速度.

过 b 点和 O 点作直线的垂线, 分别与直线交于 c 和 d 点. 由几何关系知, 线段 \overline{ac} 、 \overline{bc} 和过 a 、 b 两点的圆弧轨迹的两条半径(未画出)围成一正方形. 因此 $\overline{ac} = \overline{bc} = r$ ②

设 $\overline{cd} = x$, 由几何关系得 $\overline{ac} = \frac{4}{5}R + x$ ③

$\overline{bc} = \frac{3}{5}R + \sqrt{R^2 - x^2}$ ④

联立②③④式得 $r = \frac{7}{5}R$ ⑤

再考虑粒子在电场中的运动. 设电场强度的大小为 E , 粒子在电场中做类平抛运动. 设其加速度大小为 a , 由牛顿第二定律和带电粒子在电场中的受力公式得 $qE = ma$ ⑥

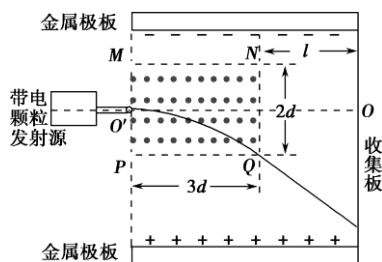
粒子在电场方向和直线方向所走的距离均为 r , 由运动学公式得 $r = \frac{1}{2}at^2$ ⑦

$r = vt$ ⑧

式中 t 是粒子在电场中运动的时间.

联立①⑤⑥⑦⑧式得 $E = \frac{14qRB^2}{5m}$.⑨

答案 $\frac{14qRB^2}{5m}$

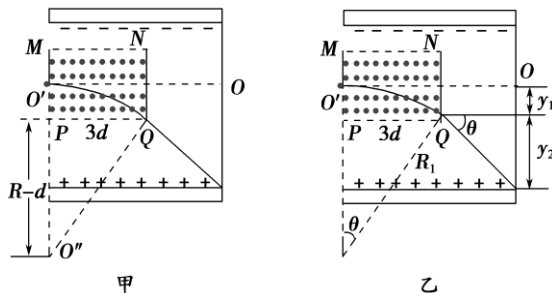


3. (2012 重庆卷, 24)有人设计了一种带电颗粒的速率分选装置, 其原理如图所示. 两带电金属板间有匀强电场, 方向竖直向上, 其中 $PQNM$ 矩形区域内还有方向垂直纸面向外的匀强磁场. 一束比荷(电荷量与质量之比)均为 $\frac{1}{k}$ 的带正电颗粒, 以不同的速率沿着磁场区域的水平中心线 $O'O$ 进入两金属板之间, 其中速率为 v_0 的颗粒刚好从 Q 点处离开磁场, 然后做匀速直线运动到达收集板. 重力加速度为 g , $PQ = 3d$, $NQ = 2d$, 收集板与 NQ 的距离为 l , 不计颗粒间相互作用.

- 求: (1) 电场强度 E 的大小;
 (2) 磁感应强度 B 的大小;
 (3) 速率为 $\lambda v_0 (\lambda > 1)$ 的颗粒打在收集板上的位置到 O 点的距离.

解析 (1) 设带电颗粒的电荷量为 q , 质量为 m . 有 $Eq = mg$, 将 $\frac{q}{m} = \frac{1}{k}$ 代入, 得 $E = kg$.

(2) 如图甲所示, 有 $qv_0B = m\frac{v_0^2}{R}$, $R^2 = (3d)^2 + (R - d)^2$, 得 $B = \frac{kv_0}{5d}$.



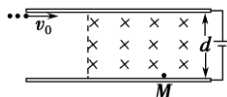
(3) 如图乙所示, 有 $q\lambda v_0 B = m\frac{(\lambda v_0)^2}{R_1}$,

$$\tan \theta = \frac{3d}{\sqrt{R_1^2 - (3d)^2}}, y_1 = R_1 - \sqrt{R_1^2 - (3d)^2},$$

$y_2 = l \tan \theta, y = y_1 + y_2$, 得

$$y = d(5\lambda - \sqrt{25\lambda^2 - 9}) + \frac{3l}{\sqrt{25\lambda^2 - 9}}.$$

答案 (1) kg (2) $\frac{kv_0}{5d}$ (3) $d(5\lambda - \sqrt{25\lambda^2 - 9}) + \frac{3l}{\sqrt{25\lambda^2 - 9}}$



4. (2012 浙江卷, 24) 如图所示, 两块水平放置、相距为 d 的长金属板接在电压可调的电源上. 两板之间的右侧区域存在方向垂直纸面向里的匀强磁场. 将喷墨打印机的喷口靠近上板下表面, 从喷口连续不断喷出质量均为 m 、水平速度均为 v_0 、带相等电荷量的墨滴. 调节电源电压至 U , 墨滴在电场区域恰能沿水平向右做匀速直线运动; 进入电场、磁场共存区域后, 最终垂直打在下板的 M 点.

(1) 判断墨滴所带电荷的种类, 并求其电荷量;

(2) 求磁感应强度 B 的值;

(3) 现保持喷口方向不变, 使其竖直下移到两板中间的位置. 为了使墨滴仍能到达下板 M 点, 应将磁感应强度调至 B' , 则 B' 的大小为多少?

解析 (1) 墨滴在电场区域做匀速直线运动, 有 $\frac{U}{d} = mg$ ①

由①式得: $q = \frac{mgd}{U}$ ②

由于电场方向向下, 电荷所受电场力向上, 可知: 墨滴带负电荷.

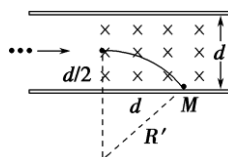
(2) 墨滴垂直进入电场、磁场共存区域后, 重力仍与电场力平衡, 合力等于洛伦兹力, 墨滴做匀速圆周运动, 有

$$qv_0B = m\frac{v_0^2}{R}$$
 ③

考虑墨滴进入电场、磁场共存区域和下板的几何关系, 可知墨滴在该区域恰完成四分之一圆周运动, 则半径

$$R = d$$
 ④

由②③④式得 $B = \frac{v_0U}{gd^2}$



(3) 根据题设, 墨滴运动轨迹如图所示, 设墨滴做圆周运动的半径为 R' , 有 $qv_0B' = m\frac{v_0^2}{R'}$ ⑤

由图可得:

$$R'^2 = d^2 + \left(R' - \frac{d}{2}\right)^2$$
 ⑥

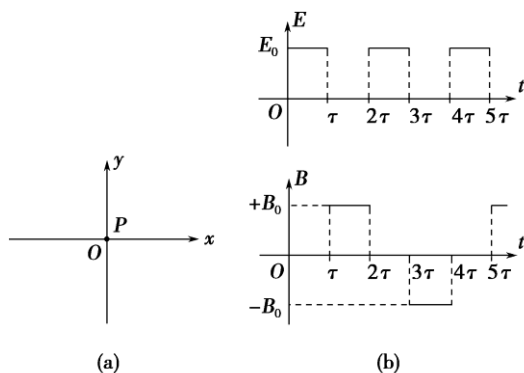
由⑥式得: $R' = \frac{5}{4}d$ ⑦

联立②⑤⑦式可得: $B' = \frac{4v_0U}{5gd^2}$

答案 (1) 负电荷 $\frac{mgd}{U}$ (2) $\frac{v_0U}{gd^2}$ (3) $\frac{4v_0U}{5gd^2}$

5. (2013 江苏卷, 15) 在科学研究中, 可以通过施加适当的电场和磁场来实现对带电粒子运动的控制. 如图(a)所示的 xOy 平面处于匀强电场和匀强磁场中, 电场强度 E 和磁感应强度 B 随时间 t 作周期性变化的

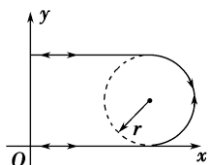
图象如图(b)所示. x 轴正方向为 E 的正方向, 垂直纸面向里为 B 的正方向. 在坐标原点 O 有一粒子 P , 其质量和电荷量分别为 m 和 $+q$. 不计重力. 在 $t = \frac{\tau}{2}$ 时刻释放 P , 它恰能沿一定轨道做往复运动.



- (1) 求 P 在磁场中运动时速度的大小 v_0 ;
 (2) 求 B_0 应满足的关系;
 (3) 在 t_0 ($0 < t_0 < \frac{\tau}{2}$) 时刻释放 P , 求 P 速度为零时的坐标.

解析 (1) $\frac{\tau}{2} \sim \tau$ 做匀加速直线运动, $\tau \sim 2\tau$ 做匀速圆周运动, 电场力 $F = qE_0$, 加速度 $a = \frac{F}{m}$, 速度 $v_0 = a\tau$, 且 $t = \frac{\tau}{2}$, 解得 $v_0 = \frac{qE_0\tau}{2m}$.

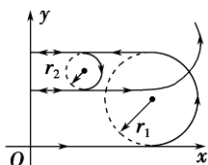
(2) 只有当 $t = 2\tau$ 时, P 在磁场中做圆周运动结束并开始沿 x 轴负方向运动, 才能沿一定轨道做往复运动, 如图所示. 设 P 在磁场中做圆周运动的周期为 T . 则 $(n - \frac{1}{2})T = \tau$ ($n = 1, 2, 3, \dots$), 匀速圆周运动 $qvB_0 = m\frac{v^2}{r}$, $T = \frac{2\pi r}{v}$



解得 $B_0 = \frac{(2n - 1)\pi m}{q\tau}$, ($n = 1, 2, 3, \dots$).

(3) 在 t_0 时刻释放, P 在电场中加速的时间为 $\tau - t_0$, 在磁场中做匀速圆周运动, 有 $v_1 = \frac{qE_0(\tau - t_0)}{m}$, 圆周运动的半径 $r_1 = \frac{mv_1}{qB_0}$, 解得 $r_1 = \frac{E_0(\tau - t_0)}{B_0}$. 又经 $(\tau - t_0)$ 时间 P 减速为零后向右加速的时间为 t_0 , P 再进入磁场, 有 $v_2 = \frac{qE_0 t_0}{m}$, 圆周运动的半径 $r_2 = \frac{mv_2}{qB_0}$, 解得 $r_2 = \frac{E_0 t_0}{B_0}$. 综上分析, 速度为零时横坐标 $x = 0$, 相应的

纵坐标为 $y = \begin{cases} 2[kr_1 - (k - 1)r_2] \\ 2k(r_1 - r_2) \end{cases}$, ($k = 1, 2, 3, \dots$)



解得 $y = \begin{cases} \frac{2E_0[k(\tau - 2t_0) + t_0]}{B_0} \\ \frac{2kE_0(\tau - 2t_0)}{B_0} \end{cases}$, ($k = 1, 2, 3, \dots$).

答案 (1) $\frac{qE_0\tau}{2m}$ (2) $B_0 = \frac{(2n-1)\pi m}{q\tau}$, ($n=1,2,3\cdots$)

$$(3) \text{横坐标 } x=0, \text{纵坐标 } y = \begin{cases} \frac{2E_0[k(\tau-2t_0)+t_0]}{B_0} \\ \frac{2kE_0(\tau-2t_0)}{B_0} \end{cases}, (k=1,2,3\cdots)$$

专题强化练七

A 对点训练——练熟基础知识

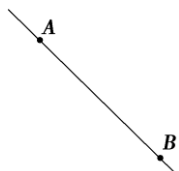


图 7

题组一 带电体在复合场中的运动

1. (多选)某空间存在水平方向的匀强电场(图中未画出),带电小球沿如图 7 所示的直线斜向下由 A 点沿直线向 B 点运动,此空间同时存在由 A 指向 B 的匀强磁场,则下列说法正确的是()。

- A. 小球一定带正电
- B. 小球可能做匀速直线运动
- C. 带电小球一定做匀加速直线运动
- D. 运动过程中,小球的机械能增大

解析 由于小球重力方向竖直向下,空间存在磁场,且小球直线运动方向斜向下,与磁场方向相同,故不受洛伦兹力的作用,电场力必水平向右,但电场具体方向未知,故不能判断带电小球的电性,选项 A 错误;重力和电场力的合力不为零,故不可能做匀速直线运动,所以选项 B 错误;因为重力与电场力的合力方向与运动方向相同,故小球一定做匀加速直线运动,选项 C 正确;运动过程中由于电场力做正功,故机械能增大,选项 D 正确。

答案 CD

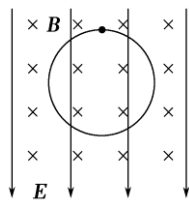


图 8

2. (多选)在空间某一区域里,有竖直向下的匀强电场 E 和垂直纸面向里的匀强磁场 B ,且两者正交.有两个带电油滴,都能在竖直平面内做匀速圆周运动,如图 8 所示,则两油滴一定相同的是()。

- A. 带电性质
- B. 运动周期
- C. 运动半径
- D. 运动速率

解析 油滴受重力、电场力、洛伦兹力做匀速圆周运动.由受力特点及运动特点知,得 $mg = qE$,结合电场方向知油滴一定带负电且两油滴比荷 $\frac{q}{m} = \frac{g}{E}$ 相等.洛伦兹力提供向心力,有周期 $T = \frac{2\pi m}{qB}$,所以两油滴周期相等,故选 A、B.由 $r = \frac{mv}{qB}$ 知,速度 v 越大,半径则越大,故不选 C、D.

答案 AB

题组二 带电粒子在复合场中的运动

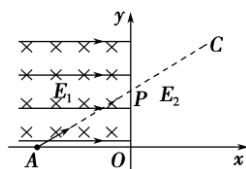


图 9

3. (多选)如图 9 所示, 在一竖直平面内, y 轴左侧有一水平向右的匀强电场 E_1 和一垂直纸面向里的匀强磁场 B , y 轴右侧有一竖直方向的匀强电场 E_2 , 一电荷量为 q (电性未知)、质量为 m 的微粒从 x 轴上 A 点以一定初速度与水平方向成 $\theta=37^\circ$ 角沿直线经 P 点运动到图中 C 点, 其中 m 、 q 、 B 均已知, 重力加速度为 g , 则()。

- A. 微粒一定带负电
- B. 电场强度 E_2 一定竖直向上
- C. 两电场强度之比 $\frac{E_1}{E_2} = \frac{4}{3}$
- D. 微粒的初速度为 $v = \frac{5mg}{4Bq}$

解析 微粒从 A 到 P 受重力、电场力和洛伦兹力作用做直线运动, 则微粒做匀速直线运动, 由左手定则及电场力的性质可确定微粒一定带正电, A 错; 此时有 $qE_1 = mg \tan 37^\circ$, 微粒从 P 到 C 在电场力、重力作用下做直线运动, 必有 $mg = qE_2$, 所以 E_2 的方向竖直向上, B 对; 由以上分析可知 $\frac{E_1}{E_2} = \frac{3}{4}$, C 错; AP 段有 $mg = Bqv \cos 37^\circ$, 即 $v = \frac{5mg}{4Bq}$, D 对。

答案 BD

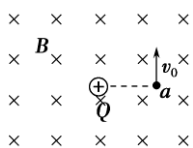
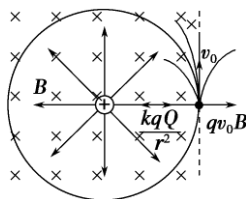


图 10

4. (多选)如图 10 所示, 空间内有一磁感应强度为 B 、方向垂直纸面向里的匀强磁场, 一个正点电荷 Q 固定于磁场中的某一点. 另有一带电粒子 $-q$ 从 a 处、以初速度 v_0 射出, 射出方向与 a 、 Q 连线垂直, a 、 Q 之间的距离为 r . 若不计重力, 则粒子 $-q$ 的运动轨迹可能为()。

- A. 以点电荷 Q 为圆心、以 r 为半径, 在纸面内的圆周
- B. 开始阶段为纸面内偏向 v_0 右侧的曲线
- C. 开始阶段为纸面内偏向 v_0 左侧的曲线
- D. 沿初速度 v_0 方向的直线



解析 如图所示, 在 a 点, 粒子受到的洛伦兹力 qv_0B 向右、库仑力 $\frac{kqQ}{r^2}$ 向左. 粒子做圆周运动所需要的向心力为 $\frac{mv_0^2}{r}$. 当 $\frac{kqQ}{r^2} - qv_0B = \frac{mv_0^2}{r}$ 时, 粒子做以 $+Q$ 为圆心、以 r 为半径的匀速圆周运动, 故选 A. 当 $\frac{kqQ}{r^2} < qv_0B$ 时, 合外力向右, 粒子右偏, 故选 B. 当 $\frac{kqQ}{r^2} > qv_0B$ 时, 合外力向左, 粒子左偏, 故选 C. 当 $\frac{kqQ}{r^2} = qv_0B$ 时, 开始粒子沿直线向上运动, 与 $+Q$ 的距离变大, $\frac{kqQ}{r^2}$ 变小, 不能保证所受合外力继续为零, 所以不能沿 v_0 方向做直线运动, 故不选 D.

答案 ABC

B 深化训练——提高能力技巧

5. 如图 11 所示, M 、 N 是竖直正对放置的两个平行金属板, S_1 、 S_2 是 M 、 N 板上的两个小孔; N 板的右侧有一个在竖直面内, 以 O 为圆心的圆形区域, 该区域内存在垂直圆面向外的匀强磁场, 另有一个同样以 O 为圆心的半圆形荧光屏 $AO'C$; 已知 S_1 、 S_2 、 O 和荧光屏的中间位置 O' 在同一直线上, 且 $AC \perp S_1O'$. 当在 M 、 N 板间加恒定电压 U 时, 一带正电离子在 S_1 处由静止开始加速向 S_2 孔运动, 最后打在图示的荧光屏下的 P 处, $\angle COP = 30^\circ$. 若要让上述带电离子仍在 S_1 处由静止开始加速, 最后打在图示的荧光屏下边缘 C 处, 求 M 、 N 板间所加电压的大小. (不计离子重力)

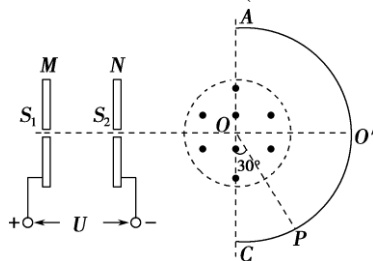
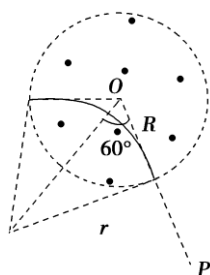


图 11



解析 设离子的质量为 m , 电荷量为 q , 磁场的磁感应强度大小为 B , 磁场区域的半径为 R , 离子加速后获得的速度为 v . 当电压为 U 时, 根据动能定理有

$$qU = \frac{1}{2}mv^2$$

在磁场中, 离子做匀速圆周运动, 由牛顿第二定律可知 $qvB = m\frac{v^2}{r}$, 解得 $U = \frac{r^2 B^2 q}{2m}$

其中 $r = R \tan 60^\circ = \sqrt{3}R$

当电压为 U' 时, 离子打在 C 处, 同理有 $U' = \frac{r'^2 B^2 q}{2m}$

其中 $r' = R$, 结合上面各式可解得 $U' = \frac{U}{3}$

答案 $\frac{U}{3}$

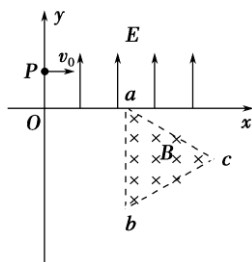


图 12

6. (2013 安徽卷, 23) 如图 12 所示的平面直角坐标系 xOy , 在第 I 象限内有平行于 y 轴的匀强电场, 方向沿 y 轴正方向; 在第 IV 象限的正三角形 abc 区域内有匀强磁场, 方向垂直于 xOy 平面向里, 正三角形边长为 L , 且 ab 边与 y 轴平行. 一质量为 m 、电荷量为 q 的粒子, 从 y 轴上的 $P(0, h)$ 点, 以大小为 v_0 的速度沿 x 轴正方向射入电场, 通过电场后从 x 轴上的 $a(2h, 0)$ 点进入第 IV 象限, 又经过磁场从 y 轴上的某点进入第 III 象限, 且速度与 y 轴负方向成 45° 角, 不计粒子所受的重力. 求:

(1) 电场强度 E 的大小;

(2) 粒子到达 a 点时速度的大小和方向;

(3) abc 区域内磁场的磁感应强度 B 的最小值.

解析 带电粒子在电场中做类平抛运动, 在磁场中做匀速圆周运动, 射出磁场后做匀速直线运动.

(1) 带电粒子在电场中从 P 到 a 的过程中做类平抛运动水平方向上: $2h = v_0 t$ ①

竖直方向上: $h = \frac{1}{2} a t^2$ ②

由牛顿第二定律得 $a = \frac{qE}{m}$ ③

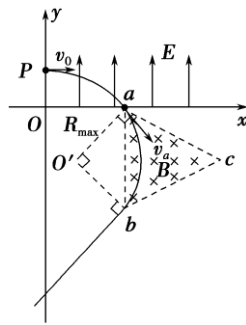
由①②③式联立, 解得 $E = \frac{mv_0^2}{2qh}$ ④

(2) 粒子到达 a 点时沿 y 轴负方向的分速度为 $v_y = at$ ⑤

由①③④⑤式得 $v_y = v_0$ ⑥

而 $v_x = v_0$ ⑦

粒子到达 a 点的速度 $v_a = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{2}v_0$ ⑧



设速度方向与 x 轴正方向的夹角为 θ , 则 $\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = 1$, $\theta = 45^\circ$ ⑨

即到 a 点时速度方向指向第IV象限与 x 轴正方向成 45° 角.

(3) 粒子进入磁场后做匀速圆周运动, 有 $qvB = m\frac{v_a^2}{R}$ ⑩

由此得 $R = \frac{mv_a}{qB}$ ⑪

从上式看出, $R \propto \frac{1}{B}$, 当 R 最大时, B 最小.

由题图可知, 当粒子从 b 点射出磁场时, R 最大

由几何关系得 $R_{\max} = \frac{\sqrt{2}}{2}L$ ⑫

将⑫代入⑪式得 B 的最小值为 $B_{\min} = \frac{2mv_0}{qL}$.

答案 (1) $\frac{mv_0^2}{2qh}$ (2) $\sqrt{2}v_0$ 方向指向第IV象限与 x 轴正方向成 45° 角 (3) $\frac{2mv_0}{qL}$

7. 如图 13 所示, 在两个水平放置的平行金属板 PQ 和 MN 之间有场强大小为 E 、竖直向下的匀强电场, 在平行板之间以及右侧存在垂直纸面向里的匀强磁场, 磁场的磁感应强度大小为 B . 在平行板左侧有水平向右的匀强电场, 场强大小为 E . 现在有两个带电粒子 ${}^2_1\text{H}$ 和 ${}^4_2\text{He}$ 在同一个竖直平面内, 从匀强电场中垂直电场方向的同一直线上相距为 $L = \frac{2mE}{eB^2}$ 的位置由静止开始运动, 进入两板之间恰好做直线运动, 已知 e 为元电荷的电荷量, m 为质子的质量, ${}^2_1\text{H}$ 和 ${}^4_2\text{He}$ 的质量分别为 $2m$ 和 $4m$, 不计粒子的重力和它们之间的作用力, 要使两粒子在离开平行板之间的区域后能够相遇, 求

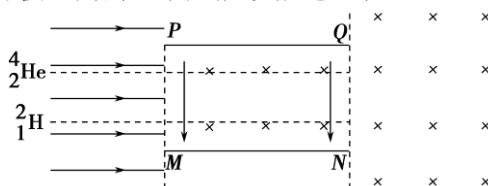


图 13

(1)粒子的加速位移;

(2)释放两粒子的时间差.

解析 (1)粒子在电场中的加速时间设为 t , 有 $L_1 = \frac{1}{2}at^2$, 又 $a = \frac{q_0E}{m_0}$, 可知两粒子在电场中加速时间相等

设进入平行板时的速度大小为 v , 根据动能定理得 $q_0EL_1 = \frac{1}{2}m_0v^2$, 可知进入平行板时的速度相等

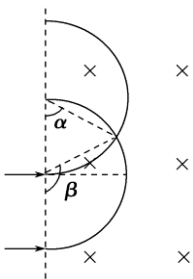
${}^2_1\text{H}$ 和 ${}^4_2\text{He}$ 在两板之间做直线运动, 可知是匀速直线运动, 有 $q_0E = q_0vB$, 解得 $v = \frac{E}{B}$, 解得 $L_1 = \frac{mE}{eB^2}$

(2)两粒子进入右侧的磁场时速度大小均为 v , 距离为 $L = \frac{2mE}{eB^2}$, 进入磁场后做匀速圆周运动, 由洛伦兹

力提供向心力, 有 $q_0vB = m_0\frac{v^2}{R}$, 即 $R = \frac{m_0v}{q_0B}$

${}^2_1\text{H}$ 和 ${}^4_2\text{He}$ 的半径分别为

$$R_1 = \frac{2mv}{eB}, \quad R_2 = \frac{4mv}{(2e)B} = \frac{2mv}{eB}$$



显然 $R_1 = R_2 = L$, 作出粒子在磁场中的运动轨迹如图所示

根据数学知识可知从出磁场到相遇两粒子转过的圆心角分别为

$$\alpha = \frac{\pi}{3}, \quad \beta = \frac{2\pi}{3}$$

粒子在磁场中运动周期为

$$T = \frac{2\pi R}{v},$$

$$\text{可得 } T = \frac{2\pi m_0}{q_0B}$$

则 ${}^2_1\text{H}$ 和 ${}^4_2\text{He}$ 的周期分别为

$$T_1 = \frac{2\pi(2m)}{eB}, \quad T_2 = \frac{2\pi(4m)}{(2e)B}$$

$$\text{显然 } T_1 = T_2 = \frac{4\pi m}{eB}$$

则两粒子在磁场中的运动时间分别为

$$t_1 = \frac{1}{6}T_1, \quad t_2 = \frac{1}{3}T_2$$

又它们在电场和平行板之间的运动时间均相等, 则两粒子射入平行板的时间差 $\Delta t = t_2 - t_1$

$$\text{解得 } \Delta t = \frac{2\pi m}{3eB}$$

$$\text{答案 (1)} \frac{mE}{eB^2} \quad \text{(2)} \frac{2\pi m}{3eB}$$

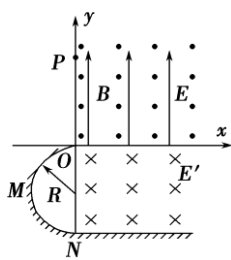


图 14

8. 如图 14 所示, 竖直平面坐标系 xOy 中的第一象限, 有垂直 xOy 平面向外的匀强磁场和竖直向上的匀强电场, 大小分别为 B 和 E ; 第四象限有垂直 xOy 平面向里的匀强电场, 且大小 $E' = E$. 第三象限内有一绝缘光滑竖直放置的半径为 R 的半圆轨道, 轨道最高点与坐标原点 O 相切, 最低点与光滑绝缘水平面相切于 N . 一质量为 m 的带电小球从 y 轴上 ($y > 0$) 的 P 点沿 x 轴正方向进入第一象限后做圆周运动, 恰好能通过坐标原点 O , 且水平切入半圆轨道内侧运动, 过 N 点水平进入第四象限, 并在电场中运动. (已知重力加速度为 g)

- (1) 判断小球的带电性质并求出其所带电荷量.
- (2) P 点距坐标原点 O 至少多高?
- (3) 若该小球以满足(2)中 OP 的最小值的位置和对应速度进入第一象限, 通过 N 点时开始计时, 经时间 $t = 2\sqrt{R/g}$ 小球距坐标原点 O 的距离 s 为多远?

解析 (1) 小球进入第一象限正交的电场和磁场后, 在垂直磁场的平面内做圆周运动, 说明重力与电场力平衡, 小球带正电. 由 $qE = mg$ 得 $q = \frac{mg}{E}$.

(2) 小球在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动, 设匀速圆周运动的速度为 v 、轨道半径为 r , 有 $qvB = m\frac{v^2}{r}$

小球恰能通过半圆轨道的最高点并沿轨道运动, 有

$$mg = m\frac{v^2}{R}, \text{ 联立上式得 } r = \frac{m\sqrt{Rg}}{qB}$$

$$PO \text{ 的最小距离 } y = 2r = \frac{2m\sqrt{Rg}}{qB}.$$

(3) 小球由点 O 运动到 N 点的过程机械能守恒, 有

$$mg \cdot 2R + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_N^2, \text{ 解得 } v_N = \sqrt{4Rg + v^2} = \sqrt{5Rg}$$

根据运动的独立性可知, 小球从 N 点进入电场区域后, 在 x 轴方向以速度 v_N 做匀速直线运动, 沿电场方向做初速度为零的匀加速直线运动, 则沿 x 轴方向有 $x = v_N t$

$$\text{沿电场方向有 } z = \frac{1}{2}at^2, \text{ 且有 } a = \frac{qE}{m} = g$$

$$t \text{ 时刻小球距 } O \text{ 点的距离 } s = \sqrt{x^2 + z^2 + (2R)^2} = 2\sqrt{7}R.$$

答案 (1) 带正电 $\frac{mg}{E}$ (2) $\frac{2m\sqrt{Rg}}{qB}$ (3) $2\sqrt{7}R$

章末定时练八

(时间: 60 分钟)

一、选择题(在每小题给出的四个选项中第 1~5 题只有一项符合题目要求, 第 6~9 题有多项符合题目要求).

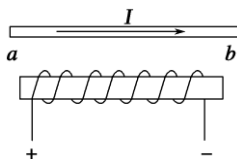
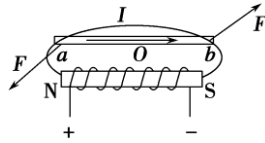


图 1

1. 一直导线平行于通电螺线管的轴线放置在螺线管的上方, 如图 1 所示, 如果直导线可以自由地运动且通以由 a 到 b 的电流, 则关于导线 ab 受磁场力后的运动情况, 下列说法正确的是().

- A. 从上向下看顺时针转动并靠近螺线管
- B. 从上向下看顺时针转动并远离螺线管
- C. 从上向下看逆时针转动并远离螺线管
- D. 从上向下看逆时针转动并靠近螺线管

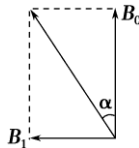


解析 由安培定则可判定通电螺线管产生的磁场方向，导线等效为 Oa 、 Ob 两电流元，由左手定则可判定两电流元所受安培力的方向，如图所示，所以从上向下看导线逆时针转动，当转过 90° 时再用左手定则可判定导线所受磁场力向下，即导线在逆时针转动的同时还要靠近螺线管，D 对。

答案 D

2. 欧姆在探索导体的导电规律的时候，没有电流表，他利用小磁针的偏转检测电流，具体的做法是：在地磁场的作用下，处于水平静止的小磁针上方，平行于小磁针水平放置一直导线，当该导线中通有电流的时候，小磁针就会发生偏转；当通过该导线的电流为 I 时，发现小磁针偏转了 30° ；由于直导线在某点产生的磁场与通过直导线的电流成正比，当他发现小磁针偏转了 60° 时，通过该导线的电流为()。

- A. $3I$
- B. $2I$
- C. $\sqrt{3}I$
- D. I



解析 如图所示，设地磁场的磁感应强度为 B_0 ，电流为 I 的导线产生的磁场的磁感应强度为 B_1 ，因为小磁针偏转了 30° ，则有 $\tan 30^\circ = \frac{B_1}{B_0}$ ；设电流为 I' 的直导线产生的磁场的磁感应强度为 B_2 ，小磁针偏转了 60° 时，则有 $\tan 60^\circ = \frac{B_2}{B_0}$ ；联立解得 $B_2 = 3B_1$ ；由直导线在某点产生的磁场与通过直导线的电流成正比可得， $I' = 3I$ ，选项 A 正确。

答案 A

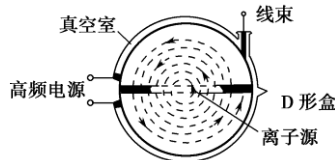


图 2

3. (2015 苏北四市二模)如图 2 所示是医用回旋加速器示意图，其核心部分是两个 D 形金属盒，两金属盒置于匀强磁场中，并分别与高频电源相连。现分别加速氘核(${}^2_1\text{H}$)和氦核(${}^4_2\text{He}$)。下列说法中正确的是()。

- A. 它们的最大速度相同
- B. 它们的最大动能相同
- C. 它们在 D 形盒内运动的周期不同
- D. 仅增大高频电源的频率可增大粒子的最大动能

解析 由 $Bqv = m\frac{v^2}{R}$ 得 $v = \frac{qBR}{m}$ ， ${}^2_1\text{H}$ 和 ${}^4_2\text{He}$ 的比荷相等，故 v 也相同，即 A 项正确。 $E_{\text{km}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{q^2B^2R^2}{2m}$ ， ${}^2_1\text{H}$ 和 ${}^4_2\text{He}$ 的 $\frac{q^2}{m}$ 的值不等，则 E_{km} 不同，即 B 项错。周期 $T = \frac{2\pi m}{Bq}$ ，由上述分析可见 T 相同，即 C 项错。粒子的最大动能与频率无关，故 D 项错。

答案 A

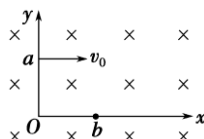


图 3

4. 带电粒子以初速度 v_0 从 a 点进入匀强磁场, 如图 3 所示. 运动中经过 b 点, $Oa=Ob$, 若撤去磁场加一个与 y 轴平行的匀强电场, 仍以 v_0 从 a 点进入电场, 粒子仍能通过 b 点, 那么电场强度 E 与磁感应强度 B 之比为().

- A. v_0 B. 1 C. $2v_0$ D. $\frac{v_0}{2}$

解析 带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动, O 为圆心, 故 $Oa=Ob=r=\frac{mv_0}{qB}$, ①

带电粒子在匀强电场中做类平抛运动,

故 $Ob=v_0t=Oa=\frac{qEt^2}{2m}=\frac{2mv_0^2}{qE}$, ②

由①②得 $\frac{E}{B}=2v_0$, 故选项 C 对.

答案 C

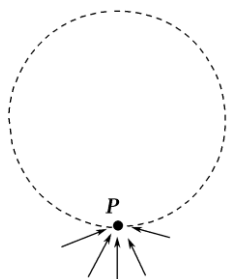
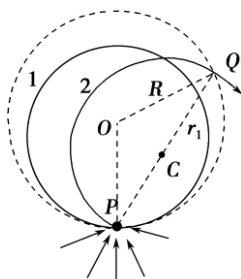


图 4

5. 如图 4 所示, 圆形区域内有一垂直纸面的匀强磁场, P 为磁场边界上的一点. 有无数带有同样电荷、具有同样质量的粒子在纸面内沿各个方向以相同的速率通过 P 点进入磁场. 这些粒子射出边界的位置均处于边界的某一段圆弧上, 这段圆弧的弧长是圆周长的 $\frac{1}{3}$. 将磁感应强度的大小从原来的 B_1 变为 B_2 , 结果相应的弧长变为原来的一半, 则 B_2/B_1 等于().

- A. $\sqrt{2}$ B. $\sqrt{3}$ C. 2 D. 3



解析 当轨道半径小于或等于磁场区半径时, 粒子射出圆形磁场的点离入射点最远距离为轨迹直径. 如图所示, 当粒子从 $\frac{1}{3}$ 圆周射出磁场时, 粒子在磁场中运动的轨道直径为 PQ , 粒子都从圆弧 PQ 之间射出, 因此轨道半径 $r_1=R\cos 30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}R$; 若粒子射出的圆弧对应弧长为“原来”的一半, 即 $\frac{1}{6}$ 周长, 对应的弦长为 R , 即粒子运动轨迹直径等于磁场区半径 R , 半径 $r_2=\frac{R}{2}$, 由 $r=\frac{mv}{qB}$ 可得 $\frac{B_2}{B_1}=\frac{r_1}{r_2}=\sqrt{3}$.

答案 B

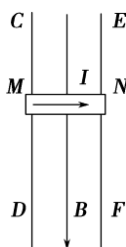
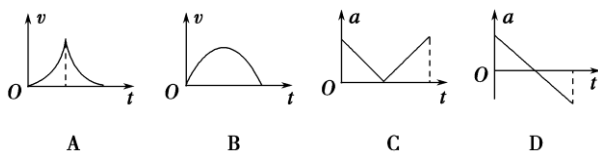


图 5

6. 如图 5 所示, 在竖直向下的匀强磁场中有两根竖直放置的平行粗糙导轨 CD 、 EF , 导轨上放有一金属棒 MN . 现从 $t=0$ 时刻起, 给金属棒通以图示方向的电流且电流强度与时间成正比, 即 $I=kt$, 其中 k 为常量, 金属棒与导轨始终垂直且接触良好, 下列关于金属棒的速度 v 、加速度 a 随时间 t 变化的图象, 可能正确的是().



解析 金属棒受到的导轨的支持力大小等于安培力大小, 即 $F_N = BIL = BkLt$, 金属棒在竖直方向上有: $mg - \mu F_N = ma$, 则 $a = g - \frac{\mu BkL}{m}t$, 显然 D 对、C 错; 根据金属棒向下先做加速度逐渐减小的变加速运动, 后做加速度逐渐增大的变减速运动可知 A 错、B 对.

答案 BD

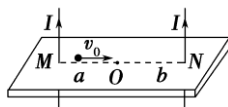


图 6

7. 如图 6 所示, 两根长直导线竖直插入光滑绝缘水平桌面上的 M 、 N 两小孔中, O 为 M 、 N 连线的中点, 连线上 a 、 b 两点关于 O 点对称. 导线中均通有大小相等、方向向上的电流. 已知长直导线在周围产生的磁场的磁感应强度 $B = k\frac{I}{r}$, 式中 k 是常数、 I 是导线中的电流、 r 为点到导线的距离. 一带正电的小球以初速度 v_0 从 a 点出发沿连线运动到 b 点. 关于上述过程, 下列说法正确的是().

- A. 小球先做加速运动后做减速运动
- B. 小球一直做匀速直线运动
- C. 小球对桌面的压力先减小后增大
- D. 小球对桌面的压力一直增大

解析 由右手螺旋定则可知, M 处的通电导线产生的磁场, 在 MO 区域的磁场垂直 MO 向里, 离导线越远磁场越弱, 所以磁场由 M 到 O 逐渐减弱, N 处的通电导线在 ON 区域产生的磁场垂直于 MO 向外, 由 O 到 N 逐渐增强, 带正电的小球由 a 点沿 ab 连线运动到 b 点, 受到的洛伦兹力 $F = Bqv$, 从 M 到 O 洛伦兹力的方向向上, 随磁场的减弱逐渐减小, 从 O 到 N 洛伦兹力的方向向下, 随磁场的增强逐渐增大, 所以对桌面的压力一直在增大, 选项 D 正确, 选项 C 错误; 由于桌面光滑, 洛伦兹力的方向始终沿竖直方向, 所以小球在水平方向上不受力, 做匀速直线运动, 选项 B 正确, 选项 A 错误.

答案 BD

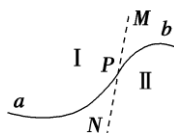


图 7

8. 如图 7 所示, 虚线 MN 将平面分成 I 和 II 两个区域, 两个区域都存在与纸面垂直的匀强磁场. 一带电粒子仅在磁场力作用下由 I 区运动到 II 区, 弧线 aPb 为运动过程中的一段轨迹, 其中弧 aP 与弧 Pb 的弧长之比为 2 : 1, 下列判断一定正确的是().

- A. 两个磁场的磁感应强度方向相反, 大小之比为 2 : 1
- B. 粒子在两个磁场中的运动速度大小之比为 1 : 1
- C. 粒子通过 aP 、 Pb 两段弧的时间之比为 2 : 1
- D. 弧 aP 与弧 Pb 对应的圆心角之比为 2 : 1

解析 粒子在磁场中所受的洛伦兹力指向运动轨迹的凹侧, 结合左手定则可知, 两个磁场的磁感应强度方向相反, 根据题中信息无法求得粒子在两个磁场中运动轨迹所在圆周的半径之比, 所以无法求出两个磁场的磁感应强度之比, 选项 A 错误; 运动轨迹粒子只受洛伦兹力的作用, 而洛伦兹力不做功, 所以粒

子的动能不变，速度大小不变，选项 B 正确；已知粒子通过 aP 、 Pb 两段弧的速度大小不变，而路程之比为 2:1，可求出运动时间之比为 2:1，选项 C 正确；由图知两个磁场的磁感应强度大小不等，粒子在两个磁场中做圆周运动时的周期 $T = \frac{2\pi m}{Bq}$ 也不等，粒子通过弧 aP 与弧 Pb 的运动时间之比并不等于弧 aP 与弧 Pb 对应的圆心角之比，选项 D 错误。

答案 BC

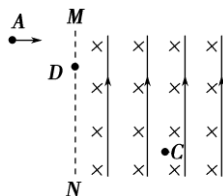


图 8

9. 如图 8 所示，竖直直线 MN 右侧存在竖直向上的匀强电场和垂直纸面向里的匀强磁场，现有一质量 $m=0.01 \text{ kg}$ 、电荷量 $q=+0.01 \text{ C}$ 的小球从 MN 左侧水平距离为 $L=0.4 \text{ m}$ 的 A 点水平抛出，当下落距离是水平距离的一半时从 MN 上的 D 点进入电磁场，并恰好能做匀速圆周运动，图中 C 点是圆周的最低点且 C 到 MN 的水平距离为 $2L$ ，不计空气阻力， $g=10 \text{ m/s}^2$ ，则()。

- A. 小球的初速度为 $2\sqrt{2} \text{ m/s}$
- B. 匀强电场的电场强度为 10 V/m
- C. 匀强磁场的磁感应强度为 $B=2 \text{ T}$
- D. 小球从 D 到 C 运动的时间为 $0.1\pi \text{ s}$

解析 小球从 A 到 D 做平抛运动， $L = v_0 t$ ， $\frac{L}{2} = \frac{1}{2} g t^2$ ，所以 $t = 0.2 \text{ s}$ ， $v_0 = 2 \text{ m/s}$ ，A 错；小球进入电磁场中恰能匀速圆周运动，则 $qE = mg$ ，即 $E = 10 \text{ V/m}$ ，B 对；小球进入电磁场时有 $v_y = gt = v_0$ ，即小球进入电磁场时的速度为 $v = 2\sqrt{2} \text{ m/s}$ ，且与 MN 成 45° 角，由几何关系可得小球做匀速圆周运动的半径为 $r = \sqrt{2} \times 2L = \frac{4\sqrt{2}}{5} \text{ m}$ ，又因 $Bqv = m\frac{v^2}{r}$ ，联立并代入数值得 $B = 2.5 \text{ T}$ ，C 错；小球从 D 到达 C 经历了 $\frac{1}{8}$ 圆周，所以从 D 到 C 运动的时间为 $\frac{T}{8} = \frac{\pi m}{4Bq} = 0.1\pi \text{ s}$ ，D 对。

答案 BD

二、非选择题

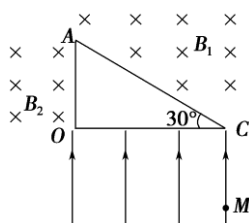
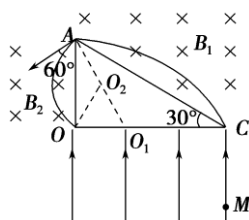


图 9

10. 有一直角三角形 OAC ， OC 水平且长为 12 cm ，其下方存在垂直 OC 向上的匀强电场， $\angle C = 30^\circ$ ， AC 上方存在垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度为 $B_1 = 1 \text{ T}$ ， OA 左侧也存在垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度 B_2 未知，一质量为 $m = 8 \times 10^{-10} \text{ kg}$ 、电荷量 $q = 1 \times 10^{-4} \text{ C}$ 的带正电粒子从 M 点由静止释放， $MC = 8 \text{ cm}$ ， $MC \perp OC$ ，粒子经电场加速后进入磁场，恰好经 A 点到达 O 点，不计粒子重力，求：

- (1) 匀强电场的电场强度 E 的大小；
- (2) 未知匀强磁场的磁感应强度 B_2 的大小；
- (3) 粒子在磁场中运动的总时间 t 。



解析 (1)粒子运动轨迹如图所示,由几何关系知粒子在磁场 B_1 中做圆周运动的轨道半径为

$$R_1 = \frac{2}{3}OC = 0.08 \text{ m}$$

由 $B_1 qv = \frac{mv^2}{R_1}$, 并代入数值得 $v = 1 \times 10^4 \text{ m/s}$

由 $qE MC = \frac{1}{2}mv^2$, 并代入数值得 $E = 5 \times 10^3 \text{ V/m}$.

(2)分析可知粒子在 A 点的速度方向与 OA 的夹角为 60° ,由图知粒子在磁场 B_2 中做圆周运动的轨道半径

为 $R_2 = \frac{R_1}{2} = 0.04 \text{ m}$, 由 $R_2 = \frac{mv}{qB_2}$ 、 $R_1 = \frac{mv}{B_1 q}$ 知, $B_2 = 2B_1 = 2 \text{ T}$.

(3)粒子在两磁场中运动轨迹所对的圆心角均为 120° , 所以 $t = \frac{120^\circ}{360^\circ} \times \left(\frac{2\pi m}{qB_1} + \frac{2\pi m}{qB_2} \right) = 8\pi \times 10^{-6} \text{ s}$.

答案 (1) $5 \times 10^3 \text{ V/m}$ (2) 2 T (3) $8\pi \times 10^{-6} \text{ s}$

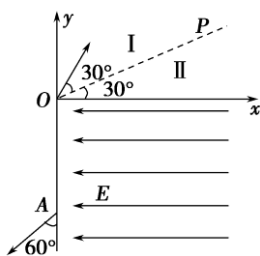
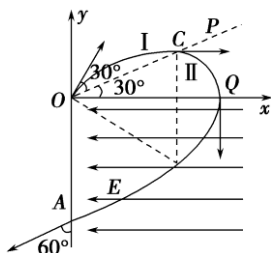


图 10

11. 如图 10 所示, 在空间内有一直角坐标系 xOy , 直线 OP 与 x 轴正方向夹角为 30° ; 第一象限内有两个方向均垂直纸面向外的匀强磁场区域 I 和 II, 直线 OP 是它们的理想边界, OP 上方区域 I 中磁场的磁感应强度为 B , 在第四象限内有一沿 x 轴负方向的匀强电场, 一质量为 m 、电荷量为 q 的质子(不计重力及质子对磁场、电场的影响)以速度 v 从 O 点沿与 OP 成 30° 角方向垂直磁场进入区域 I, 质子先后通过磁场区域 I 和 II 后, 恰好垂直通过 x 轴上的 Q 点(未画出)进入第四象限内的匀强电场中, 最后从 y 轴上的 A 点与 y 轴负方向成 60° 角射出, 求:

- (1)区域 II 中磁场的磁感应强度大小;
- (2) Q 点到 O 点的距离;
- (3)匀强电场的电场强度 E 的大小.



解析 (1)设质子在磁场 I 和 II 中做圆周运动的轨道半径分别为 r_1 、 r_2 , 区域 II 中磁感应强度为 B' , 由牛顿第二定律知 $Bqv = m\frac{v^2}{r_1}$, $B'qv = m\frac{v^2}{r_2}$

质子的运动轨迹如图所示, 由几何关系知质子从 C 点出磁场 I 时速度方向与 OP 的夹角为 30° , 所以质子在区域 II 中的轨迹为 $\frac{1}{4}$ 圆周, 质子在区域 I 中的运动轨迹对应的圆心角为 60° , $OC = r_1$, 所以 $r_2 = \frac{r_1}{2}$, 即 $B' = 2B$

(2) Q 点到 O 点的距离为 $s = r_1 \cos 30^\circ + r_2$

$$\text{即 } s = \frac{(\sqrt{3} + 1)mv}{2Bq}$$

(3)质子进入第四象限做类平抛运动, 有 $\sqrt{3}v = \frac{qE}{m}t$

$$s = \frac{1}{2} \times \frac{qE}{m} \times t^2, \text{ 联立得 } E = \frac{3(\sqrt{3} - 1)Bv}{2}$$

答案 (1) $2B$ (2) $\frac{(\sqrt{3}+1)mv}{2Bq}$ (3) $\frac{3(\sqrt{3}-1)Bv}{2}$

12. 如图 11 甲所示, 在 xOy 平面内有足够大的匀强电场, 电场方向竖直向上, 电场强度 $E=40 \text{ N/C}$, 在 y 轴左侧平面内有足够大的瞬时磁场, 磁感应强度 B_1 随时间 t 变化的规律如图乙所示, $15\pi \text{ s}$ 后磁场消失, 选定磁场垂直纸面向里为正方向. 在 y 轴右侧平面内还有方向垂直纸面向外的恒定的匀强磁场, 分布在一个半径为 $r=0.3 \text{ m}$ 的圆形区域(图中未画出), 且圆的左侧与 y 轴相切, 磁感应强度 $B_2=0.8 \text{ T}$. $t=0$ 时刻, 一质量 $m=8 \times 10^{-4} \text{ kg}$ 、电荷量 $q=2 \times 10^{-4} \text{ C}$ 的微粒从 x 轴上 $x_P=-0.8 \text{ m}$ 处的 P 点以速度 $v=0.12 \text{ m/s}$ 向 x 轴正方向入射. (g 取 10 m/s^2 , 计算结果保留两位有效数字)

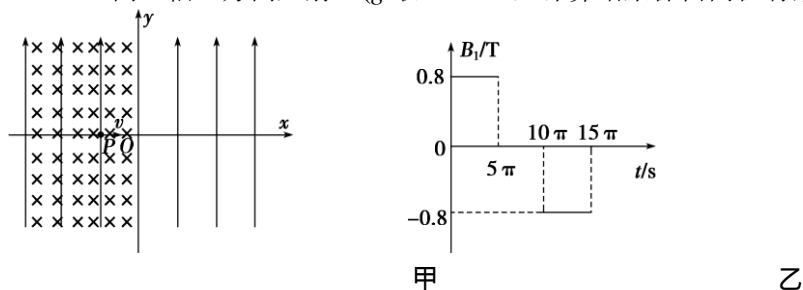


图 11

- (1) 求微粒在第二象限运动过程中离 y 轴、 x 轴的最大距离;
 (2) 若微粒穿过 y 轴右侧圆形磁场时, 速度方向的偏转角度最大, 求此圆形磁场的圆心坐标 (x, y) .

解析 (1) 因为微粒射入电磁场后受到的电场力

$$F_{\text{电}} = Eq = 8 \times 10^{-3} \text{ N}, \quad G = mg = 8 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$F_{\text{电}} = G$, 所以微粒在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动

$$\text{因为 } qvB_1 = m\frac{v^2}{R_1}, \text{ 所以 } R_1 = \frac{mv}{B_1q} = 0.6 \text{ m}$$

$$T = \frac{2\pi m}{B_1q} = 10\pi \text{ s}$$

从图乙可知在 $0 \sim 5\pi \text{ s}$ 内微粒向上做匀速圆周运动

在 $5\pi \text{ s} \sim 10\pi \text{ s}$ 内微粒向左匀速运动, 运动位移

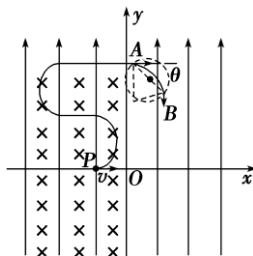
$$x_1 = v\frac{T}{2} = 0.6\pi \text{ m}$$

在 $10\pi \text{ s} \sim 15\pi \text{ s}$ 内, 微粒又做匀速圆周运动, $15\pi \text{ s}$ 以后向右匀速运动, 之后穿过 y 轴. 所以, 离 y 轴的最大距离

$$s = 0.8 \text{ m} + x_1 + R_1 = 1.4 \text{ m} + 0.6\pi \text{ m} \approx 3.3 \text{ m}$$

$$\text{离 } x \text{ 轴的最大距离 } s' = 2R_1 \times 2 = 4R_1 = 2.4 \text{ m}$$

(2)



如图, 微粒穿过圆形磁场要求偏转角最大, 入射点 A 与出射点 B 的连线必须为磁场圆的直径

$$\text{因为 } qvB_2 = \frac{mv^2}{R_2}$$

$$\text{所以 } R_2 = \frac{mv}{B_2q} = 0.6 \text{ m} = 2r$$

所以最大偏转角 $\theta = 60^\circ$, 所以圆心坐标 $x = 0.30 \text{ m}$

$$y = s' - r \cos 60^\circ = 2.4 \text{ m} - 0.3 \text{ m} \times \frac{1}{2} \approx 2.3 \text{ m},$$

即磁场的圆心坐标为(0.30,2.3)

答案 (1)3.3 m,2.4 m (2)(0.30,2.3)

选修3-2

第九章 电磁感应

第1讲 电磁感应现象 楞次定律

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点1

磁通量 (考纲要求 I)

- 1.概念: 在磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 与磁场方向垂直的面积 S 与 B 的乘积.
2. 公式: $\Phi = BS$.
3. 单位: $1 \text{ Wb} = 1 \text{ T m}^2$.
4. 公式的适用条件:
 - ①匀强磁场; ②磁感线的方向与平面垂直, 即 $B \perp S$.

考点2

电磁感应现象 (考纲要求 I)

- 1.电磁感应现象: 当穿过闭合电路的磁通量发生变化时, 电路中有感应电流产生的现象.
2. 产生感应电流的条件
 - (1)条件: 穿过闭合电路的磁通量发生变化.

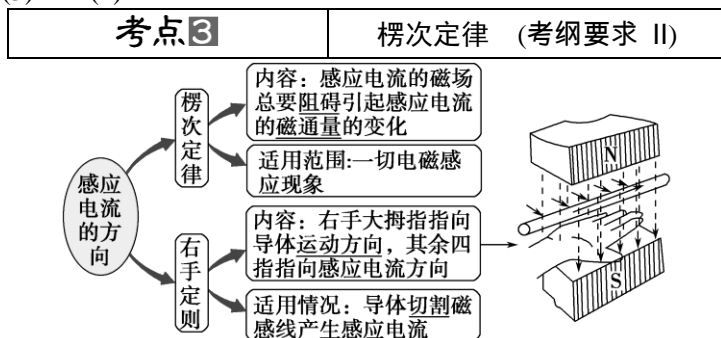
(2)特例：闭合电路的一部分导体在磁场内做切割磁感线运动。

3. 产生电磁感应现象的实质：电磁感应现象的实质是产生感应电动势，如果回路闭合则产生感应电流；如果回路不闭合，则只有感应电动势，而无感应电流。

思维深化 1 判断正误，正确的划“√”，错误的划“×”。

- (1)磁通量是标量，但有正、负之分。()
 (2)磁通量与线圈的匝数无关。()
 (3)闭合电路内只要有磁通量，就有感应电流产生。()
 (4)电路的磁通量变化，电路中就一定有感应电流。()

答案 (1)√ (2)√ (3)× (4)×



思维深化 2 判断正误，正确的划“√”，错误的划“×”。

- (1)感应电流的磁场一定与引起感应电流的磁场方向相反。()
 (2)感应电流的磁场总要阻止引起感应电流的磁通量的变化。()
 (3)穿过不闭合回路的磁通量变化时，也会产生“阻碍”作用。()
 (4)感应电流的磁场一定阻碍引起感应电流的磁场的磁通量的变化。()

答案 (1)× (2)× (3)× (4)√

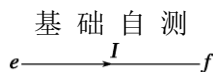


图 9-1-1

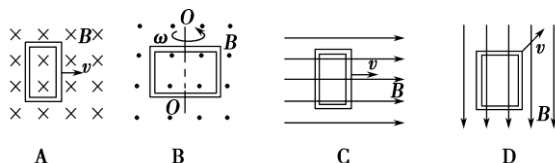
1. (单选)如图 9-1-1 所示， ab 是水平面上一个圆的直径，在过 ab 的竖直面内有一根通电直导线 ef ，且 ef 平行于 ab ，当 ef 竖直向上平移时，穿过圆面积的磁通量将()。

- A. 逐渐变大 B. 逐渐减小
 C. 始终为零 D. 不为零，但始终保持不变

解析 穿过圆面积的磁通量是由通电直导线 ef 产生的，因为通电直导线位于圆的正上方，所以向下穿过圆面积的磁感线条数与向上穿过该面积的条数相等，即磁通量为零，而且竖直方向的平移也不会影响磁通量的变化。故 C 正确。

答案 C

2. (单选)(2013 宁波市期末)如图所示，矩形线框在磁场内做的各种运动中，能够产生感应电流的是()。



解析 根据产生感应电流的条件，闭合回路内磁通量发生变化才能产生感应电流，只有选项 B 正确。

答案 B

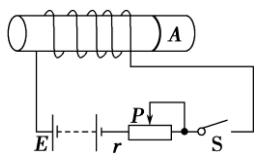


图 9-1-2

3. (单选)如图 9-1-2 所示，绕在铁芯上的线圈与电源、滑动变阻器和电键组成闭合回路，在铁芯的右端套有一个表面绝缘的铜环 A，下列各种情况中铜环 A 中没有感应电流的是()。

- A. 线圈中通以恒定的电流
- B. 通电时，使滑动变阻器的滑片 P 匀速移动
- C. 通电时，使滑动变阻器的滑片 P 加速移动
- D. 将电键突然断开的瞬间

解析 当线圈中通恒定电流时，产生的磁场为稳恒磁场，通过铜环 A 的磁通量不发生变化，不会产生感应电流。

答案 A

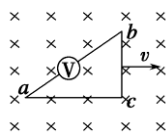


图 9-1-3

4. (单选)如图 9-1-3 所示，接有理想电压表的三角形导线框 abc ，在匀强磁场中向右运动，问：框中是否有感应电流？ a 、 b 两点间是否有电势差？电压表有无读数(示数不为零称有读数)()。

- A. 无、无、无
- B. 无、有、有
- C. 无、有、无
- D. 有、有、有

解析 应注意到产生感应电动势及感应电流的条件，同时还应了解电压表的工作原理。由于穿过三角形导线框的磁通量不变，所以框中没有感应电流产生；由于 ab 边和 bc 边均做切割磁感线的运动，所以均将产生 b 端为正极的感应电动势， a 、 b 两点间有电势差；由于没有电流流过电压表，所以其表头指针将不发生偏转，即电压表无读数(示数为零)。综上所述：应选 C。

答案 C

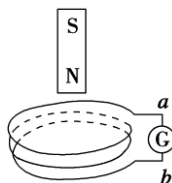


图 9-1-4

5. (单选)某实验小组用如图 9-1-4 所示的实验装置来验证楞次定律。当条形磁铁自上而下穿过固定的线圈时，通过电流计的感应电流方向是()。

- A. $a \rightarrow G \rightarrow b$
- B. 先 $a \rightarrow G \rightarrow b$ ，后 $b \rightarrow G \rightarrow a$
- C. $b \rightarrow G \rightarrow a$
- D. 先 $b \rightarrow G \rightarrow a$ ，后 $a \rightarrow G \rightarrow b$

解析 ①确定原磁场的方向：条形磁铁在穿入线圈的过程中，磁场方向向下。

②明确回路中磁通量的变化情况：线圈中向下的磁通量增加。

③由楞次定律的“增反减同”可知：线圈中感应电流产生的磁场方向向上。

④应用安培定则可以判断感应电流的方向为逆时针(俯视)即： $b \rightarrow G \rightarrow a$ 。

同理可以判断：条形磁铁穿出线圈的过程中，向下的磁通量减小，由楞次定律可得线圈中将产生顺时针

方向的感应电流(俯视), 电流从 $a \rightarrow G \rightarrow b$.

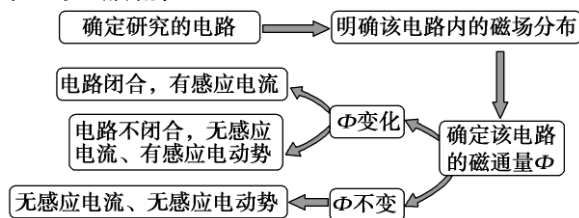
答案 D

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 电磁感应现象的判断

1. 判断电磁感应现象是否发生的一般流程



2. 磁通量发生变化的三种常见情况

- (1) 磁场强弱不变, 回路面积改变;
- (2) 回路面积不变, 磁场强弱改变;
- (3) 回路面积和磁场强弱均不变, 但二者的相对位置发生改变.

【典例 1】

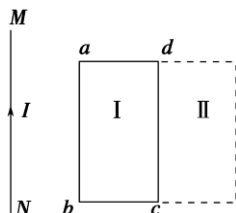


图 9-1-5

如图 9-1-5 所示, 通有恒定电流的导线 MN 与闭合金属框共面, 第一次将金属框由 I 平移到 II, 第二次将金属框绕 cd 边翻转到 II, 设先后两次通过金属框的磁通量变化量大小分别为 $\Delta\Phi_1$ 和 $\Delta\Phi_2$, 则().

- A. $\Delta\Phi_1 > \Delta\Phi_2$, 两次运动中线框中均有沿 $adcba$ 方向电流出现
- B. $\Delta\Phi_1 = \Delta\Phi_2$, 两次运动中线框中均有沿 $abcda$ 方向电流出现
- C. $\Delta\Phi_1 < \Delta\Phi_2$, 两次运动中线框中均有沿 $adcba$ 方向电流出现
- D. $\Delta\Phi_1 < \Delta\Phi_2$, 两次运动中线框中均有沿 $abcda$ 方向电流出现

解析 设金属框在位置 I 的磁通量为 Φ_I , 金属框在位置 II 的磁通量为 Φ_{II} , 由题可知: $\Delta\Phi_1 = |\Phi_{II} - \Phi_I|$, $\Delta\Phi_2 = |-\Phi_{II} - \Phi_I|$, 所以金属框的磁通量变化量大小 $\Delta\Phi_1 < \Delta\Phi_2$, 由安培定则知两次磁通量均向里减小, 所以由楞次定律知两次运动中线框中均出现沿 $adcba$ 方向的电流, C 对.

答案 C

反思总结 加深对磁通量概念的理解, 走出误区

- (1) 磁通量是一个双向标量, 考虑通过某个面内的磁通量时, 应取磁通量的代数和.
- (2) 利用 $\Phi = BS$ 求磁通量时, S 应为某平面在垂直于磁感线方向上的投影面积.

【跟踪短训】

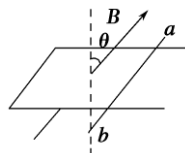


图 9-1-6

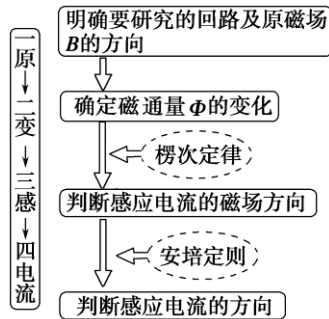
1. 如图 9-1-6 所示, 一个 U 形金属导轨水平放置, 其上放有一个金属导体棒 ab , 有一个磁感应强度为 B 的匀强磁场斜向上穿过轨道平面, 且与竖直方向的夹角为 θ . 在下列各过程中, 一定能在轨道回路里产生感应电流的是().

- A. ab 向右运动, 同时使 θ 减小
- B. 使磁感应强度 B 减小, θ 角同时也减小
- C. ab 向左运动, 同时增大磁感应强度 B
- D. ab 向右运动, 同时增大磁感应强度 B 和 θ 角 ($0^\circ < \theta < 90^\circ$)

解析 设此时回路面积为 S ，据题意，磁通量 $\Phi = BS\cos\theta$ ，对 A， S 增大， θ 减小， $\cos\theta$ 增大，则 Φ 增大，A 正确，对 B， B 减小， θ 减小， $\cos\theta$ 增大， Φ 可能不变，B 错误。对 C， S 减小， B 增大， Φ 可能不变，C 错误。对 D， S 增大， B 增大， θ 增大， $\cos\theta$ 减小， Φ 可能不变，D 错误。故只有 A 正确。
答案 A

热点二 楞次定律的理解及应用

1. 判断感应电流方向的“四步法”

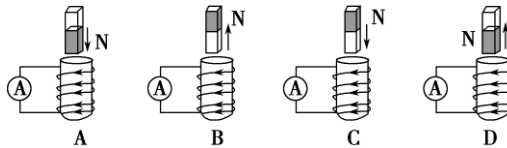


2. 用右手定则判断

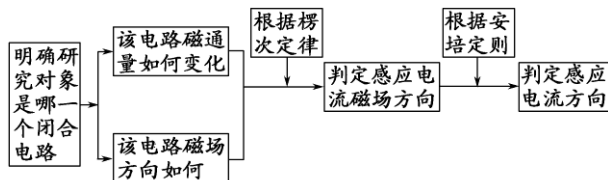
该方法适用于部分导体切割磁感线。判断时注意掌心、四指、拇指的方向：

- (1) 掌心——磁感线垂直穿入；
- (2) 拇指——指向导体运动的方向；
- (3) 四指——指向感应电流的方向。

【典例 2】 下列各图是验证楞次定律实验的示意图，竖直放置的线圈固定不动，将磁铁从线圈上方插入或拔出，线圈和电流表构成的闭合回路中就会产生感应电流。各图中分别标出了磁铁的极性、磁铁相对线圈的运动方向以及线圈中产生的感应电流的方向等情况，其中正确的是()。



审题指导



解析 根据楞次定律可确定感应电流的方向：以 C 选项为例，当磁铁向下运动时：

- (1) 闭合线圈原磁场的方向——向上；
- (2) 穿过闭合线圈的磁通量的变化——增加；
- (3) 感应电流产生的磁场方向——向下；
- (4) 利用安培定则判断感应电流的方向——与图中箭头方向相同。线圈的上端为 S 极，磁铁与线圈相互排斥。运用以上分析方法可知，C、D 正确。

答案 CD

【跟踪短训】

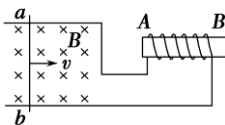


图 9-1-7

2. 如图 9-1-7 所示，金属棒 ab 、金属导轨和螺线管组成闭合回路，金属棒 ab 在匀强磁场 B 中沿导轨向右运动，则()。

- A. ab 棒不受安培力作用
- B. ab 棒所受安培力的方向向右

- C. ab 棒向右运动速度 v 越大, 所受安培力越大
 D. 螺线管产生的磁场, A 端为 N 极

解析 金属棒 ab 沿导轨向右运动时, 安培力方向向左, 以“阻碍”其运动, 选项 A、B 错误; 金属棒 ab 沿导轨向右运动时, 感应电动势 $E = Blv$, 感应电流 $I = E/R$, 安培力 $F = BIl = \frac{B^2 l^2 v}{R}$, 可见, 选项 C 正确; 根据右手定则可知, 流过金属棒 ab 的感应电流的方向是从 b 流向 a , 所以流过螺线管的电流方向是从 A 端到达 B 端, 根据右手螺旋定则可知, 螺线管的 A 端为 S 极, 选项 D 错误.

答案 C

热点三 楞次定律的推广应用

楞次定律中“阻碍”的主要表现形式

- (1)阻碍原磁通量的变化——“增反减同”;
- (2)阻碍相对运动——“来拒去留”;
- (3)使线圈面积有扩大或缩小的趋势——“增缩减扩”;
- (4)阻碍原电流的变化(自感现象)——“增反减同”.

【典例 3】

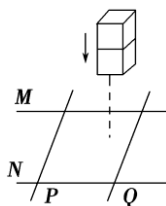
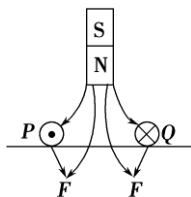


图 9-1-8

如图 9-1-8 所示, 光滑固定导轨 M 、 N 水平放置, 两根导体棒 P 、 Q 平行放置在导轨上, 形成一个闭合回路, 当一条形磁铁从高处下落接近回路时()。

- A. P 、 Q 将互相靠拢
- B. P 、 Q 将互相远离
- C. 磁铁的加速度仍为 g
- D. 磁铁的加速度大于 g

解析 方法一 根据楞次定律的另一表述: 感应电流的效果总是要反抗产生感应电流的原因. 本题中“原因”是回路中磁通量的增加, 归根结底是磁铁靠近回路, “效果”便是阻碍磁通量的增加和磁铁的靠近. 所以, P 、 Q 将互相靠拢且磁铁的加速度小于 g , 应选 A.



方法二 设磁铁下端为 N 极, 如图所示, 根据楞次定律可判断出 P 、 Q 中的感应电流方向, 根据左手定则可判断 P 、 Q 所受安培力的方向, 可见, P 、 Q 将相互靠拢. 由于回路所受安培力的合力向下, 由牛顿第三定律知, 磁铁将受到向上的反作用力, 从而加速度小于 g . 当磁铁下端为 S 极时, 根据类似的分析可得到相同的结论. 所以, 本题应选 A.

答案 A

反思总结 根据楞次定律的一些结论直接解答此题, 比直接利用楞次定律、安培定则判断要简单明了.

【跟踪短训】

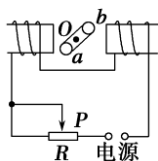


图 9-1-9

3. 如图 9-1-9 所示, ab 是一个可以绕垂直于纸面的轴 O 转动的闭合矩形导体线圈, 当滑动变阻器 R 的滑片 P 自左向右滑动过程中, 线圈 ab 将().

- A. 静止不动 B. 逆时针转动
C. 顺时针转动 D. 发生转动, 但因电源的极性不明, 无法确定转动的方向

解析 当 P 向右滑动时, 电路中电阻减小, 电流增大, 穿过线圈 ab 的磁通量增大, 根据楞次定律判断, 线圈 ab 将顺时针转动.

答案 C

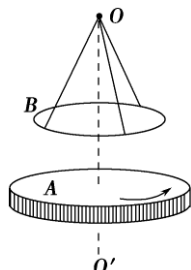


图 9-1-10

4. 如图 9-1-10 所示, A 为水平放置的胶木圆盘, 在其侧面均匀分布着负电荷, 在 A 的正上方用绝缘丝线悬挂一个金属圆环 B , 使 B 的环面水平且与圆盘面平行, 其轴线与胶木盘 A 的轴线 OO' 重合. 现使胶木盘 A 由静止开始绕其轴线 OO' 按箭头所示方向加速转动, 则().

- A. 金属环 B 的面积有扩大的趋势, 丝线受到的拉力增大
B. 金属环 B 的面积有缩小的趋势, 丝线受到的拉力减小
C. 金属环 B 的面积有扩大的趋势, 丝线受到的拉力减小
D. 金属环 B 的面积有缩小的趋势, 丝线受到的拉力增大

解析 使胶木盘 A 由静止开始绕其轴线 OO' 按箭头所示方向加速转动, 金属环 B 内磁通量增大, 根据楞次定律, 金属环 B 的面积有缩小的趋势, 丝线受到的拉力减小, 选项 B 正确.

答案 B

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

思想方法 15. “三个定则、一个定律”的综合应用技巧

1. 应用现象及规律比较

基本现象		应用的定则或定律
运动电荷、电流产生的磁场		安培定则
磁场对运动电荷、电流的作用力		左手定则
电磁	部分导体做切割磁感线运动	右手定则
感应	闭合回路磁通量变化	楞次定律

2. 应用技巧

多定则应用的关键是抓住因果关系:

- (1) 因电而生磁($I \rightarrow B$) → 安培定则;
- (2) 因动而生电(v 、 $B \rightarrow I$) → 右手定则;
- (3) 因电而受力(I 、 $B \rightarrow F_{安}$) → 左手定则.

3. 一般解题步骤

- (1) 分析题干条件, 找出闭合电路或切割磁感线的导体棒.
- (2) 结合题中的已知条件和待求量的关系选择恰当的规律.
- (3) 正确地利用所选择的规律进行分析和判断.

【典例】

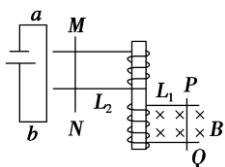


图 9-1-11

如图 9-1-11 所示, 水平放置的两条光滑轨道上有可自由移动的金属棒 PQ 、 MN , MN 的左边有一闭合电路, 当 PQ 在外力的作用下运动时, MN 向右运动. 则 PQ 所做的运动可能是()

- A. 向右加速运动 B. 向左加速运动
C. 向右减速运动 D. 向左减速运动

审题指导 由 MN 的运动情况 $\xrightarrow{\text{安培定则}}$ 确定 MN 所受的安培力方向 $\xrightarrow{\text{左手定则}}$ MN 处的磁场方向 $\xrightarrow{\text{安培定则}}$ MN 中的感应电流方向 $\xrightarrow{\text{楞次定律}}$ L_1 中感应电流的磁场方向 $\xrightarrow{\text{安培定则}}$ L_2 中磁场方向及变化情况 $\xrightarrow{\text{安培定则}}$ PQ 中电流方向及大小变化 $\xrightarrow{\text{右手定则}}$ 确定 PQ 所做的运动.

解析 MN 向右运动, 说明 MN 受到向右的安培力, 因为 ab 在 MN 处的磁场垂直纸面向里 $\xrightarrow{\text{左手定则}}$ MN

中的感应电流由 $M \rightarrow N$ $\xrightarrow{\text{安培定则}}$ L_1 中感应电流的磁场方向向上 $\xrightarrow{\text{楞次定律}}$ $\left\{ \begin{array}{l} L_2 \text{ 中磁场方向向上减弱} \\ L_2 \text{ 中磁场方向向下增强} \end{array} \right.$; 若

L_2 中磁场方向向上减弱 $\xrightarrow{\text{安培定则}}$ PQ 中电流为 $Q \rightarrow P$ 且减小 $\xrightarrow{\text{右手定则}}$ 向右减速运动; 若 L_2 中磁场方向向

下增强 $\xrightarrow{\text{安培定则}}$ PQ 中电流为 $P \rightarrow Q$ 且增大 $\xrightarrow{\text{右手定则}}$ 向左加速运动.

答案 BC

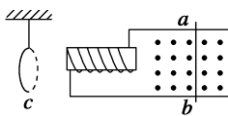


图 9-1-12

即学即练 如图 9-1-12 所示, 金属导轨上的导体棒 ab 在匀强磁场中沿导轨做下列哪种运动时, 铜制线圈 c 中将有感应电流产生且被螺线管吸引().

- A. 向右做匀速运动 B. 向左做减速运动
C. 向右做减速运动 D. 向右做加速运动

解析 当导体棒向右匀速运动时产生恒定的电流, 线圈中的磁通量恒定不变, 无感应电流出现, A 错; 当导体棒向左减速运动时, 由右手定则可判定回路中出现从 $b \rightarrow a$ 的感应电流且减小, 由安培定则知螺线管中感应电流的磁场向左在减弱, 由楞次定律知 c 中出现顺时针感应电流(从右向左看)且被螺线管吸引, B 对; 同理可判定 C 对、D 错.

答案 BC

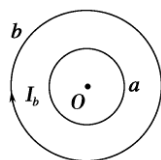
附: 对应高考题组(PPT课件文本, 见教师用书)

1. (2011 海南高考) 自然界的电、热和磁等现象都是相互联系的, 很多物理学家为寻找它们之间的联系做出了贡献. 下列说法正确的是()

- A. 奥斯特发现了电流的磁效应, 揭示了电现象和磁现象之间的联系
B. 欧姆发现了欧姆定律, 说明了热现象和电现象之间存在联系
C. 法拉第发现了电磁感应现象, 揭示了磁现象和电现象之间的联系
D. 焦耳发现了电流的热效应, 定量给出了电能和热能之间的转换关系

解析 奥斯特发现的电流的磁效应表明了电能生磁, A 正确. 欧姆定律描述了电流与电阻、电压或电动势之间的关系, 焦耳定律才揭示了热现象与电现象间的联系, B 错误、D 正确. 法拉第发现的电磁感应现象表明了磁能生电, C 正确.

答案 ACD



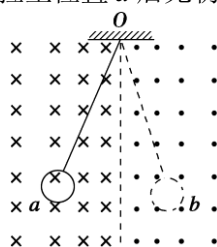
2. (2011·上海单科, 13)如图, 均匀带正电的绝缘圆环 a 与金属圆环 b 同心共面放置, 当 a 绕 O 点在其所在平面内旋转时, b 中产生顺时针方向的感应电流, 且具有收缩趋势, 由此可知, 圆环 a ().

- A. 顺时针加速旋转 B. 顺时针减速旋转
C. 逆时针加速旋转 D. 逆时针减速旋转

解析 由楞次定律, 欲使 b 中产生顺时针电流, 则 a 环内磁场应向里减弱或向外增强, a 环的旋转情况应该是顺时针减速或逆时针加速, 由于 b 环又有收缩趋势, 说明 a 环外部磁场向外, 内部向里, 故选 B.

答案 B

3. (2011·上海单科, 20)如图, 磁场垂直于纸面, 磁感应强度在竖直方向均匀分布, 水平方向非均匀分布. 一铜制圆环用丝线悬挂于 O 点, 将圆环拉至位置 a 后无初速释放, 在圆环从 a 摆向 b 的过程中().



- A. 感应电流方向先逆时针后顺时针再逆时针
B. 感应电流方向一直是逆时针
C. 安培力方向始终与速度方向相反
D. 安培力方向始终沿水平方向

解析 圆环从位置 a 运动的磁场分界线前, 磁通量向里增大, 感应电流为逆时针; 跨越分界线过程中, 磁通量由向里最大变为向外最大, 感应电流为顺时针; 再摆到 b 的过程中, 磁通量向外减小, 感应电流为逆时针, 所以选项 A 正确; 由于圆环所在处的磁场, 上下对称, 所受安培力竖直方向平衡, 因此总的安培力沿水平方向, 故 D 正确.

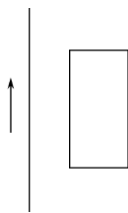
答案 AD

4. (2012·山东卷, 14)以下叙述正确的是().

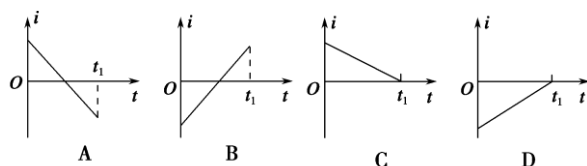
- A. 法拉第发现了电磁感应现象
B. 惯性是物体的固有属性, 速度大的物体惯性一定大
C. 牛顿最早通过理想斜面实验得出力不是维持物体运动的原因
D. 感应电流遵从楞次定律所描述的方向, 这是能量守恒定律的必然结果

解析 电磁感应现象的发现者是法拉第, 故选项 A 正确; 惯性是物体本身固有的属性, 质量是物体惯性大小的唯一量度, 故选项 B 错误; 伽利略通过理想斜面实验得出力不是维持物体运动的原因, 故选项 C 错误; 楞次定律是能量守恒定律在电磁感应现象中的表现, 故选项 D 正确.

答案 AD



5. (2012·课标全国卷, 20)如图所示, 一载流长直导线和一矩形导线框固定在同一平面内, 线框在长直导线右侧, 且其长边与长直导线平行. 已知在 $t=0$ 到 $t=t_1$ 的时间间隔内, 直导线中电流 i 发生某种变化, 而线框中的感应电流总是沿顺时针方向; 线框受到的安培力的合力先水平向左、后水平向右. 设电流 i 正方向与图中箭头所示方向相同, 则 i 随时间 t 变化的图线可能是().



解析 因通电导线周围的磁场离导线越近磁场越强，而线框中左右两边的电流大小相等，方向相反，所以受到的安培力方向相反，导线框的左边受到的安培力大于导线框的右边受到的安培力，所以合力与左边框受力的方向相同。因为线框受到的安培力的合力先水平向左，后水平向右，根据左手定则，导线框处的磁场方向先垂直纸面向里，后垂直纸面向外，根据安培定则，导线中的电流先为正，后为负，所以选项 A 正确，选项 B、C、D 错误。

答案 A

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 电磁感应现象

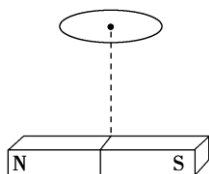


图 9-1-13

1. (多选)如图 9-1-13 所示，在条形磁铁的中央位置的正上方水平固定一铜质圆环。以下判断中正确的是()。

- A. 释放圆环，环下落时产生感应电流
- B. 释放圆环，环下落时无感应电流
- C. 释放圆环，环下落时环的机械能守恒
- D. 释放圆环，环下落时环的机械能不守恒

解析 由条形磁铁磁场分布特点可知，穿过其中央位置正上方的圆环的合磁通量为零，所以在环下落的过程中，磁通量不变，没有感应电流，圆环只受重力，铜环下落时机械能守恒，故 A、D 错误，B、C 正确。

答案 BC

2. (单选)现将电池组、滑动变阻器、带铁芯的线圈 A、线圈 B、电流计及电键如图 9-1-14 所示连接。下列说法中正确的是()。

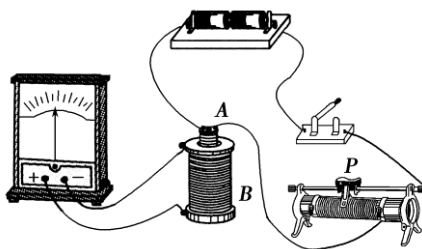


图 9-1-14

- A. 电键闭合后，线圈 A 插入或拔出都会引起电流计指针偏转
- B. 线圈 A 插入线圈 B 中后，电键闭合和断开的瞬间电流计指针均不会偏转
- C. 电键闭合后，滑动变阻器的滑片 P 匀速滑动，会使电流计指针静止在中央零刻度
- D. 电键闭合后，只有滑动变阻器的滑片 P 加速滑动，电流计指针才能偏转

解析 电键闭合后，线圈 A 插入或拔出都会引起穿过线圈 B 的磁通量发生变化，从而电流计指针偏转，选项 A 正确；线圈 A 插入线圈 B 中后，电键闭合和断开的瞬间，线圈 B 的磁通量会发生变化，电流计

指针会偏转，选项 B 错误；电键闭合后，滑动变阻器的滑片 P 无论匀速滑动还是加速滑动，都会导致线圈 A 的电流发生变化，线圈 B 的磁通量变化，电流计指针都会发生偏转，选项 C、D 错误。

答案 A

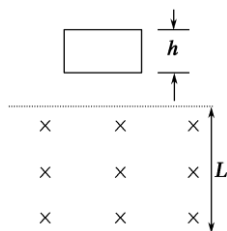


图 9-1-15

3. (多选)如图 9-1-15 所示，一个矩形线框从匀强磁场的上方自由落下，进入匀强磁场中，然后再从磁场中穿出。已知匀强磁场区域的宽度 L 大于线框的高度 h ，下列说法正确的是()。

- A. 线框只在进入和穿出磁场的过程中，才有感应电流产生
- B. 线框从进入到穿出磁场的整个过程中，都有感应电流产生
- C. 线框在进入和穿出磁场的过程中，都是机械能转化成电能
- D. 整个线框都在磁场中运动时，机械能转化成电能

解析 产生感应电流的条件是穿过闭合回路的磁通量发生变化，线框全部在磁场中时，磁通量不变，不产生感应电流，故选项 B、D 错误。线框进入和穿出磁场的过程中磁通量发生变化，产生了感应电流，故选项 A 正确。在产生感应电流的过程中线框消耗了机械能，故选项 C 正确。

答案 AC

题组二 楞次定律的应用

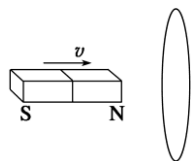


图 9-1-16

4. 如图 9-1-16 所示，一根条形磁铁从左向右靠近闭合金属环的过程中，环中的感应电流(自左向右看)()。

- A. 沿顺时针方向
- B. 先沿顺时针方向后沿逆时针方向
- C. 沿逆时针方向
- D. 先沿逆时针方向后沿顺时针方向

解析 条形磁铁从左向右靠近闭合金属环的过程中，向右的磁通量一直增加，根据楞次定律，环中的感应电流(自左向右看)为逆时针方向，C 对。

答案 C

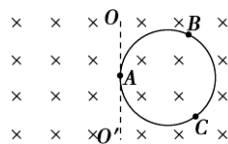


图 9-1-17

5. (单选)(2013 乌鲁木齐一诊)如图 9-1-17 所示，一圆形金属线圈放置在水平桌面上，匀强磁场垂直桌面竖直向下，过线圈上 A 点做切线 OO' ， OO' 与线圈在同一平面上。在线圈以 OO' 为轴翻转 180° 的过程中，线圈中电流流向()。

- A. 始终由 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$
- B. 始终由 $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$
- C. 先由 $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$ 再由 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$
- D. 先由 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ 再由 $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$

解析 在线圈以 OO' 为轴翻转 $0 \sim 90^\circ$ 的过程中，穿过线圈正面向里的磁通量逐渐减小，则感应电流产

生的磁场垂直桌面下，由右手定则可知感应电流方向为 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ ；线圈以 OO' 为轴翻转 $90^\circ \sim 180^\circ$ 的过程中，穿过线圈反面向里的磁通量逐渐增加，则感应电流产生的磁场垂直桌面向上，由右手定则可知感应电流方向仍然为 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ ，A 正确。

答案 A

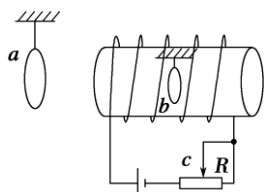


图 9-1-18

6. (单选)如图 9-1-18 所示，通电螺线管左侧和内部分别静止吊一导体环 a 和 b ，当滑动变阻器 R 的滑动触头 c 向左滑动时()。

- A. a 向左摆， b 向右摆
- B. a 向右摆， b 向左摆
- C. a 向左摆， b 不动
- D. a 向右摆， b 不动

解析 当滑动变阻器 R 的滑动触头 c 向左滑动时，电路中的电流变大，螺线管产生的磁场逐渐增强，穿过 a 的磁通量变大，根据楞次定律可知， a 向左摆动； b 处于螺线管内部，其周围的磁场为匀强磁场，方向水平向左，圆环中虽然也产生感应电流，但根据左手定则可判断出，安培力与 b 在同一个平面内，产生的效果是使圆环面积缩小，并不使其摆动，所以 C 项正确。

答案 C

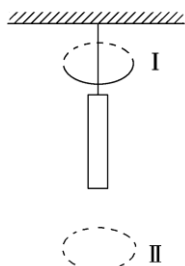


图 9-1-19

7. (2012 海南高考)(单选)如图 9-1-19 所示，一质量为 m 的条形磁铁用细线悬挂在天花板上，细线从一水平金属环中穿过。现将环从位置 I 释放，环经过磁铁到达位置 II。设环经过磁铁上端和下端附近时细线的张力分别为 T_1 和 T_2 ，重力加速度大小为 g ，则()。

- A. $T_1 > mg$, $T_2 > mg$
- B. $T_1 < mg$, $T_2 < mg$
- C. $T_1 > mg$, $T_2 < mg$
- D. $T_1 < mg$, $T_2 > mg$

解析 环从位置 I 释放下落，环经过磁铁上端和下端附近时，环中磁通量都变化，都产生感应电流，由楞次定律可知，磁铁阻碍环下落，磁铁对圆环有向上的作用力。根据牛顿第三定律，圆环对磁铁有向下的作用力，所以 $T_1 > mg$, $T_2 > mg$ ，选项 A 正确。

答案 A

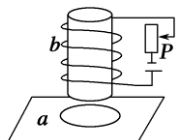


图 9-1-20

8. (单选)如图 9-1-20 所示，圆形导体线圈 a 平放在水平桌面上，在 a 的正上方固定一竖直螺线管 b ，二者轴线重合，螺线管与电源和滑动变阻器连接成闭合回路。若将滑动变阻器的滑片 P 向下滑动，下列表述正确的是()。

- A. 线圈 a 中将产生俯视顺时针方向的感应电流

- B. 穿过线圈 a 的磁通量变小
- C. 线圈 a 有扩张的趋势
- D. 线圈 a 对水平桌面的压力 F_N 将增大

解析 通过螺线管 b 的电流沿顺时针方向(俯视), 根据右手螺旋定则判断出螺线管 b 所产生的磁场方向竖直向下, 滑片 P 向下滑动, 接入电路的电阻减小, 电流增大, 所产生的磁场的磁感应强度增强, 根据楞次定律, 线圈 a 中所产生的感应电流产生的感应磁场方向竖直向上, 再由右手螺旋定则可得线圈 a 中的电流沿逆时针方向(俯视), A 选项错误; 由于螺线管 b 中的电流增大, 所产生的磁感应强度增强, 线圈 a 中的磁通量应变大, B 选项错误; 根据楞次定律, 线圈 a 将阻碍磁通量的增大, 因此, 线圈 a 缩小, 线圈 a 对水平桌面的压力增大, C 选项错误, D 选项正确.

答案 D

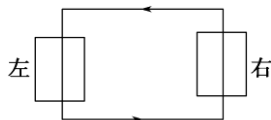


图 9-1-21

9. (2013 海南卷, 10)(多选)如图 9-1-21 所示, 在水平光滑桌面上, 两相同的矩形刚性小线圈分别叠放在固定的绝缘矩形金属框的左右两边上, 且每个小线圈都各有一半面积在金属框内, 在金属框接通逆时针方向电流的瞬间()。

- A. 两小线圈会有相互靠拢的趋势
- B. 两小线圈会有相互远离的趋势
- C. 两小线圈中感应电流都沿顺时针方向
- D. 左边小线圈中感应电流沿顺时针方向, 右边小线圈中感应电流沿逆时针方向

解析 在金属框接通逆时针方向电流的瞬间, 在左右两个矩形刚性小线圈中产生垂直于线圈向上的磁通量, 根据楞次定律可得在两个小线圈中均产生沿顺时针方向的感应电流, C 项正确, D 项错; 为阻碍磁通量的增加, 两小线圈会有相互远离的趋势, B 项正确, A 项错.

答案 BC

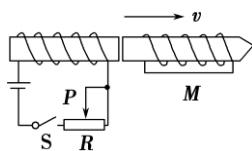


图 9-1-22

10. (多选)如图 9-1-22 是某电磁冲击钻的原理图, 若突然发现钻头 M 向右运动, 则可能是()。

- A. 开关 S 闭合瞬间
- B. 开关 S 由闭合到断开的瞬间
- C. 开关 S 已经是闭合的, 滑动变阻器滑片 P 向左迅速滑动
- D. 开关 S 已经是闭合的, 滑动变阻器滑片 P 向右迅速滑动

解析 当开关 S 闭合时, 左线圈上有了电流, 产生磁场, 而对于右线圈来说, 磁通量增加, 由楞次定律可知, 为了阻碍磁通量的增加, 钻头 M 向右运动远离左边线圈, 故 A 正确; 当开关 S 由闭合到断开的瞬间, 穿过右线圈的磁通量要减少, 为了阻碍磁通量的减少, 钻头 M 要向左运动靠近左边的线圈, 故 B 错误; 开关 S 闭合时, 当滑动变阻器滑片 P 向左迅速滑动时, 回路的电阻减小, 回路的电流增大, 产生的磁场增强, 穿过右线圈的磁通量增大, 为了阻碍磁通量的增加, 钻头 M 向右运动远离左边线圈, 故 C 正确; 当滑动变阻器的滑片 P 向右迅速滑动时, 回路的电阻增大, 回路的电流减小, 产生的磁场减弱, 穿过右线圈的磁通量减少, 为了阻碍磁通量的减少, 钻头 M 向左运动靠近左边线圈, 故 D 错误.

答案 AC

B 深化训练——提高能力技巧

11. (多选)如图 9-1-23 所示, 在匀强磁场中放有平行金属导轨, 它与大线圈 M 相连接, 要使小导线

圈 N 获得顺时针方向的感应电流, 则放在金属导轨上的金属棒 ab 的运动情况是(两线圈共面放置)().

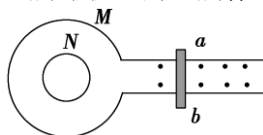


图 9-1-23

- A. 向右匀速运动 B. 向左加速运动
C. 向右减速运动 D. 向右加速运动

解析 欲使 N 产生顺时针方向的感应电流, 感应电流的磁场方向垂直纸面向里, 由楞次定律可知有两种情况: 一是 M 中有沿顺时针方向逐渐减小的电流, 使其在 N 中的磁场方向向里, 且磁通量在减小; 二是 M 中有逆时针方向逐渐增大的电流, 使其在 N 中的磁场方向向外, 且磁通量在增大. 因此对前者应使 ab 减速向右运动; 对于后者, 则应使 ab 加速向左运动.

答案 BC

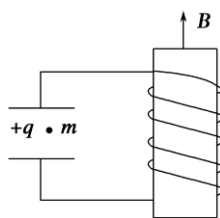
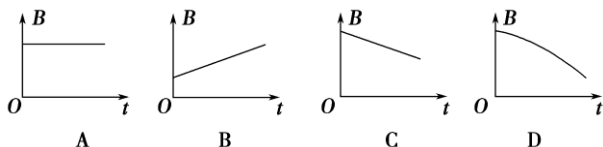


图 9-1-24

12. (2015 宝鸡三检)(单选)两块水平放置的金属板, 板间距离为 d , 用导线将两块金属板与一线圈连接, 线圈中存在方向竖直向上、大小变化的磁场, 如图 9-1-24 所示. 两板间有一带正电的油滴恰好静止, 则磁场的磁感应强度 B 随时间变化的图象是().



解析 带正电的油滴静止, 即所受重力与电场力平衡, 两板间为匀强电场, 因此线圈中产生的感应电动势为恒定值, 由法拉第电磁感应定律可知, 通过线圈的磁通量一定是均匀变化的, AD 两项错; 油滴带正电, 故下极板电势高于上极板电势, 感应电流产生磁场与原磁场方向相同, 由楞次定律可知, 通过线圈的磁通量均匀减小, 故 C 项正确, B 项错.

答案 C

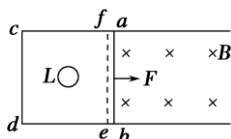


图 9-1-25

13. (单选)如图 9-1-25 所示, 金属棒 ab 置于水平放置的 U 形光滑导轨上, 在 ef 右侧存在有界匀强磁场 B , 磁场方向垂直导轨平面向下, 在 ef 左侧的无磁场区域 $cdef$ 内有一半径很小的金属圆环 L , 圆环与导轨在同一平面内. 当金属棒 ab 在水平恒力 F 作用下从磁场左边界 ef 处由静止开始向右运动后, 下列有关圆环的说法正确的是().

- A. 圆环内产生变大的感应电流, 圆环有收缩的趋势
B. 圆环内产生变大的感应电流, 圆环有扩张的趋势
C. 圆环内产生变小的感应电流, 圆环有收缩的趋势
D. 圆环内产生变小的感应电流, 圆环有扩张的趋势

解析 根据右手定则, 当金属棒 ab 在恒力 F 的作用下向右运动时, $abcd$ 回路中会产生逆时针方向的感应电流, 则在圆环处产生垂直于纸面向外的磁场, 随着金属棒向右加速运动, $abcd$ 回路中的感应电流逐渐增大, 穿过圆环的磁通量也逐渐增大, 依据楞次定律可知, 圆环将有收缩的趋势以阻碍圆环磁通量的

增大； $abcd$ 回路中的感应电流 $I = \frac{Blv}{R}$ ，感应电流的变化率 $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{Bl a}{R}$ ，又由于金属棒向右运动的加速度 a 减小，所以感应电流的变化率减小，圆环内磁通量的变化率减小，所以在圆环中产生的感应电流不断减小，选项 C 正确。

答案 C

14. (多选)某同学将一条形磁铁放在水平转盘上，如图 9-1-26 甲所示，磁铁可随转盘转动，另将一磁感应强度传感器固定在转盘旁边。当转盘(及磁铁)转动时，引起磁感应强度测量值周期性地变化，该变化的周期与转盘转动周期一致。经过操作，该同学在计算机上得到了如图乙所示的图象。该同学猜测磁感应强度传感器内有一线圈，当测得磁感应强度最大时就是穿过线圈的磁通量最大时。按照这种猜测 ()。

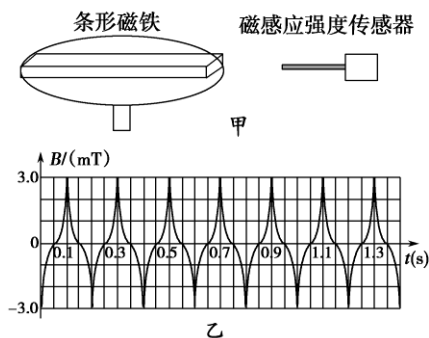


图 9-1-26

- A. 在 $t=0.1$ s 时刻，线圈内产生的感应电流的方向发生了变化
- B. 在 $t=0.15$ s 时刻，线圈内产生的感应电流的方向发生了变化
- C. 在 $t=0.1$ s 时刻，线圈内产生的感应电流的大小达到了最大值
- D. 在 $t=0.15$ s 时刻，线圈内产生的感应电流的大小达到了最大值

解析 图乙中斜率既能反映线圈内产生的感应电流的方向变化，又能反映感应电流的大小变化。 $t=0.1$ s 时刻，图线斜率最大，意味着磁通量的变化率最大，感应电动势最大，线圈内产生的感应电流的大小达到了最大值， $t=0.1$ s 时刻前后的图线斜率一正一负，说明产生的感应电流的方向发生了变化，所以 A、C 正确；同理可知 $t=0.15$ s 时刻，图线斜率不是最大值，且该时刻前后图线斜率全为负值，说明线圈内产生的感应电流的方向没有变化，而且大小并未达到最大值，选项 B、D 错误。

答案 AC

第 2 讲 法拉第电磁感应定律 自感 涡流

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点 I

法拉第电磁感应定律 (考纲要求 II)

1. 感应电动势

- (1)概念：在电磁感应现象中产生的电动势。
- (2)产生条件：穿过回路的磁通量发生改变，与电路是否闭合无关。
- (3)方向判断：感应电动势的方向用楞次定律或右手定则判断。

2. 法拉第电磁感应定律

- (1)内容：感应电动势的大小跟穿过这一电路的磁通量的变化率成正比。
- (2)公式： $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ ，其中 n 为线圈匝数。

- (3)感应电流与感应电动势的关系：遵守闭合电路欧姆定律，即 $I = \frac{E}{R+r}$ 。

3. 导体切割磁感线时的感应电动势

- (1)导体垂直切割磁感线时，感应电动势可用 $E = Blv$ 求出，式中 l 为导体切割磁感线的有效长度。
- (2)导体棒在磁场中转动时，导体棒以端点为轴，在匀强磁场中垂直于磁感线方向匀速转动产生感应电动势 $E = Bl \bar{v} = \frac{1}{2} Bl^2 \omega$ (平均速度等于中点位置的线速度 $\frac{1}{2} l \omega$)。

思维深化 1 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

- (1) 线圈中磁通量越大, 产生的感应电动势越大. ()
(2) 线圈中磁通量变化越大, 产生的感应电动势越大. ()
(3) 线圈中磁通量变化越快, 产生的感应电动势越大. ()
(4) 线圈匝数 n 越多, 磁通量越大, 产生的感应电动势也越大. ()

答案 (1)× (2)× (3)√ (4)×

考点 2

自感、涡流 (考纲要求 I)

1. 自感现象

(1) 概念: 由于导体本身的电流变化而产生的电磁感应现象称为自感.

(2) 自感电动势

① 定义: 在自感现象中产生的感应电动势叫做自感电动势.

② 表达式: $E = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$.

(3) 自感系数 L

① 相关因素: 与线圈的大小、形状、匝数以及是否有铁芯有关.

② 单位: 亨利(H), $1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H}$, $1 \text{ } \mu\text{H} = 10^{-6} \text{ H}$.

2. **涡流**: 当线圈中的电流发生变化时, 在它附近的任何导体中都会产生感应电流, 这种电流像水的漩涡所以叫涡流.

思维深化 2 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

- (1) 线圈中的电流越大, 自感系数也越大. ()
(2) 对于同一线圈, 当电流变化越快时, 线圈中的自感电动势越大. ()
(3) 自感电动势阻碍电流的变化, 但不能阻止电流的变化. ()

答案 (1)× (2)√ (3)√

基础自测

1. (单选)将闭合多匝线圈置于仅随时间变化的磁场中, 线圈平面与磁场方向垂直, 关于线圈中产生的感应电动势和感应电流, 下列表述正确的是().

- A. 感应电动势的大小与线圈的匝数无关
B. 穿过线圈的磁通量越大, 感应电动势越大
C. 穿过线圈的磁通量变化越快, 感应电动势越大
D. 感应电流产生的磁场方向与原磁场方向始终相同

解析 由法拉第电磁感应定律 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 知, 感应电动势的大小与线圈匝数有关, A 错. 感应电动势正比于 $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$, 与磁通量的大小无直接关系, B 错误、C 正确. 根据楞次定律知, 感应电流的磁场总是阻碍引起感应电流的磁通量的变化, 即“增反减同”, D 错误.

答案 C

2. (单选)机场的安检门可以利用涡流探测人身上携带的金属物品, 安检门中接有线圈, 线圈中通以交变电流. 关于其工作原理, 以下说法正确的是().

- A. 人身上携带的金属物品会被地磁场磁化, 在线圈中产生感应电流
B. 人体在线圈交变电流产生的磁场中运动, 产生感应电动势并在金属物品中产生感应电流
C. 线圈产生的交变磁场不会在金属物品中产生交变的感应电流
D. 金属物品中感应电流产生的交变磁场会在线圈中产生感应电流

解析 一般金属物品不一定能被磁化, 且地磁场很弱, 即使金属物品被磁化磁性也很弱, 同时, 作为导体的人体电阻很大, 且一般不会与金属物品构成回路, 故 A、B 错误; 安检门利用涡流探测金属物品的工作原理是: 线圈中交变电流产生交变磁场, 使金属物品中产生涡流, 故 C 错误; 该涡流产生的磁场又会在圈中产生感应电流, 而线圈中交变电流的变化可以被检测, 故 D 正确.

答案 D

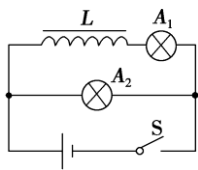


图 9-2-1

3. (多选)在如图 9-2-1 所示的电路中, A_1 和 A_2 是两个相同的灯泡, 线圈 L 的自感系数足够大, 电阻可以忽略不计. 下列说法中正确的是().
- A. 合上开关 S 时, A_2 先亮, A_1 后亮, 最后一样亮
 - B. 断开开关 S 时, A_1 和 A_2 都要过一会儿才熄灭
 - C. 断开开关 S 时, A_2 闪亮一下再熄灭
 - D. 断开开关 S 时, 流过 A_2 的电流方向向右

解析 合上开关 S 时, 线圈 L 中产生的自感电动势阻碍电流增大, 并且阻碍作用逐渐变小直至为零, 故 A_2 先亮, A_1 后亮, 最后一样亮. 选项 A 正确. 断开开关 S 时, 线圈 L 中产生的自感电动势阻碍电流减小, 因电路稳定时通过 A_1 和 A_2 的电流大小相等, 故断开开关 S 时, A_1 和 A_2 都逐渐熄灭, 流过 A_2 的电流方向向左. 选项 B 正确, C、D 错误.

答案 AB

4. (单选)有一个匀强磁场边界是 EF , 在 EF 右侧无磁场, 左侧是匀强磁场区域, 如图 9-2-2 甲所示. 现有一个闭合的金属线框以恒定速度从 EF 右侧水平进入匀强磁场区域. 线框中的电流随时间变化的 $i-t$ 图象如图乙所示, 则可能的线框是下列四个选项中的().

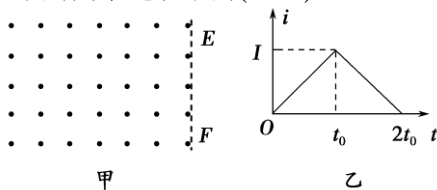
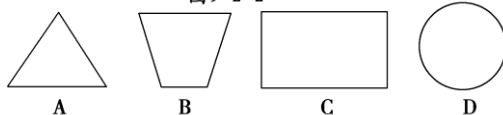


图 9-2-2



解析 由图乙可知, 电流先是均匀增加, 后均匀减小, 又 $i = \frac{E}{R} = \frac{Blv}{R} \propto l$, 所以金属线框切割磁感线的有效长度应先是均匀增加, 后均匀减小, A 项符合; B、C 项线框中间部分进入磁场后切割磁感线的有效长度不变; D 项切割磁感线的有效长度不是均匀地增加和减小.

答案 A

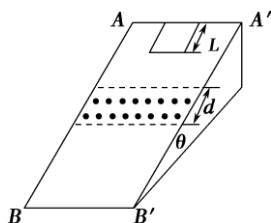


图 9-2-3

5. (2013 黄冈中学月考)(多选)如图 9-2-3 所示, 一个正方形金属框放在表面是绝缘且光滑的斜面顶端, 自静止开始沿斜面下滑, 下滑过程中穿过一段边界与斜面底边 BB' 平行的匀强磁场, 已知金属框的边长 L 小于磁场的宽度 d . 则关于金属框进入磁场过程中可能做的运动, 下列说法正确的是().
- A. 匀速运动
 - B. 匀加速运动
 - C. 匀减速运动
 - D. 先加速后匀速运动

解析 若金属框在进入磁场时速度恰好满足 $mg \sin \theta = \frac{B^2 L^2 v}{R}$, 则做匀速运动, A 正确; 若速度比较大,

则做减速运动, $\frac{B^2 L^2 v}{R} - mg \sin \theta = ma$, 加速度逐渐减小; 若速度比较小, 则做加速运动, $mg \sin \theta - \frac{B^2 L^2 v}{R} = ma$, 加速度逐渐减小, 所以 D 正确, B、C 错误.

答案 AD

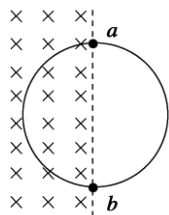


图 9-2-4

6. (多选) 用一根横截面积为 S 、电阻率为 ρ 的硬质导线做成一个半径为 r 的圆环, ab 为圆环的一条直径. 如图 9-2-4 所示, 在 ab 的左侧存在一个均匀变化的匀强磁场, 磁场垂直圆环所在平面, 磁感应强度大小随时间的变化率 $\frac{\Delta B}{\Delta t} = k (k < 0)$. 则().

A. 圆环中产生逆时针方向的感应电流

B. 圆环具有扩张的趋势

C. 圆环中感应电流的大小为 $\left| \frac{krS}{2\rho} \right|$

D. 图中 a 、 b 两点间的电势差 $U_{ab} = \left| \frac{1}{4} k \pi r^2 \right|$

解析 根据楞次定律可知, 磁通量减少, 圆环中产生顺时针方向的感应电流, A 选项错误; 圆环有扩张的趋势, B 选项正确; 圆环产生的感应电动势大小为 $\left| \frac{k \pi r^2}{2} \right|$, 则圆环中的电流大小为 $\left| \frac{k S r}{4 \rho} \right|$, C 选项错误; U_{ab} 等于 $\frac{1}{4} k \pi r^2$ 的绝对值, D 选项正确.

答案 BD

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 法拉第电磁感应定律 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 的应用

1. 磁通量变化通常有两种方式

(1) 磁感应强度 B 不变, 垂直于磁场的回路面积发生变化, 此时 $E = n B \frac{\Delta S}{\Delta t}$.

(2) 垂直于磁场的回路面积不变, 磁感应强度发生变化, 此时 $E = n \frac{\Delta B}{\Delta t} S$, 其中 $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ 是 $B-t$ 图象的斜率.

2. 决定感应电动势 E 大小的因素

E 的大小由 $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 和线圈的匝数共同决定.

特别提示 ① E 的大小与 Φ 、 $\Delta \Phi$ 的大小无必然联系.

② $\Phi = 0$ 时, $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 不一定为零.

【典例 1】

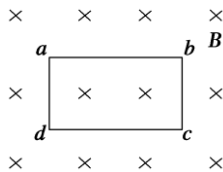


图 9-2-5

(2013 江苏卷, 13) 如图 9-2-5 所示, 匀强磁场中有一矩形闭合线圈 $abcd$, 线圈平面与磁场垂直. 已知线圈的匝数 $N = 100$, 边长 $ab = 1.0 \text{ m}$ 、 $bc = 0.5 \text{ m}$, 电阻 $r = 2 \Omega$. 磁感应强度 B 在 $0 \sim 1 \text{ s}$ 内从零均匀变化到 0.2 T . 在 $1 \sim 5 \text{ s}$ 内从 0.2 T 均匀变化到 -0.2 T , 取垂直纸面向里为磁场的正方向. 求:

(1) 0.5 s 时线圈内感应电动势的大小 E 和感应电流的方向;

(2)在 1~5 s 内通过线圈的电荷量 q ;

(3)在 0~5 s 内线圈产生的焦耳热 Q .

审题指导 (1)0~1 s 内谁引起线圈中的磁通量发生变化? _____.

(2)感应电动势的计算公式 $E=$ _____.

(3)公式 $q=It$ 中的 I 应为电路中电流_____值, 如何计算电流 I ?

(4)①公式 $Q=I^2rt$ 中的 I 是恒定的还是变化的? _____.

②在 0~5 s 内线圈的电流一样吗? 如何计算 0~5 内线圈产生的焦耳热?

提示 (1)磁感应强度 B

$$(2)E = N \frac{\Delta B}{\Delta t} S$$

(3)平均 利用公式 $E = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 和 $I = \frac{E}{r}$

(4)①恒定的 ②不一样 分段计算焦耳热

解析 (1)感应电动势 $E_1 = N \frac{\Delta \Phi_1}{\Delta t_1}$

磁通量的变化量 $\Delta \Phi_1 = \Delta B_1 S$

解得 $E_1 = N \frac{\Delta B_1 S}{\Delta t_1}$, 代入数据解得 $E_1 = 10 \text{ V}$

感应电流方向为 $a \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ (或逆时针).

(2)同理可得: 感应电动势 $E_2 = \frac{N \Delta \Phi}{\Delta t_2} = N \frac{\Delta B_2 S}{\Delta t_2}$,

$$\text{感应电流 } I_2 = \frac{E_2}{r}$$

电量 $q = I_2 \Delta t_2$

解得 $q = N \frac{\Delta B_2 S}{r}$, 代入数据 $q = 10 \text{ C}$.

(3)0~1 s 内线圈产生的焦耳热 $Q_1 = I_1^2 r \Delta t_1$ 且 $I_1 = \frac{E_1}{r}$

1~5 s 内线圈产生的焦耳热 $Q_2 = I_2^2 r \Delta t_2$

由 $Q = Q_1 + Q_2$, 代入数据得 $Q = 100 \text{ J}$.

答案 (1)10 V $adcba$ (或逆时针) (2)10 C (3)100 J

反思总结

(1)应用法拉第电磁感应定律解题的一般步骤

①分析穿过闭合电路的磁场方向及磁通量的变化情况;

②利用楞次定律确定感应电流的方向;

③灵活选择法拉第电磁感应定律的不同表达形式列方程求解.

(2)几点注意

①公式 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 是求解回路某段时间内平均电动势的最佳选择.

②用公式 $E = nS \frac{\Delta B}{\Delta t}$ 求感应电动势时, S 为线圈在磁场范围内的有效面积.

③通过回路截面的电荷量 q 仅与 n 、 $\Delta \Phi$ 和回路总电阻 $R_{\text{总}}$ 有关, 与时间长短无关. 推导如下: $q = \bar{I} \Delta t$

$$= \frac{n \Delta \Phi}{\Delta t R_{\text{总}}} \cdot \Delta t = \frac{n \Delta \Phi}{R_{\text{总}}}$$

【跟踪短训】

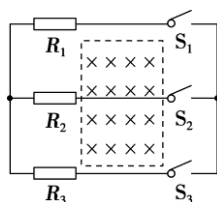


图 9-2-6

1. 如图 9-2-6 所示, 虚线框内存在均匀变化的匀强磁场, 三个电阻的阻值之比 $R_1 : R_2 : R_3 = 1 : 2 : 3$, 电路中导线的电阻不计. 当 S_1 、 S_2 闭合, S_3 断开时, 闭合回路中感应电流为 I ; 当 S_2 、 S_3 闭合, S_1 断开时, 闭合回路中感应电流为 $5I$; 当 S_1 、 S_3 闭合, S_2 断开时, 闭合回路中感应电流为().

- A. 0 B. $3I$ C. $6I$ D. $7I$

解析 设虚线框内磁感应强度变化率为 k , 上面回路中磁场面积为 S , 下面回路中磁场面积为 nS , 电阻 $R_1 = R$. 当 S_1 、 S_2 闭合, S_3 断开时, 闭合回路中产生的感应电动势 $E_1 = kS$, 感应电流为 $I = kS/3R$; 当 S_2 、 S_3 闭合, S_1 断开时, 闭合回路中产生的感应电动势 $E_2 = nkS$, 闭合回路中感应电流为 $5I = nkS/5R$; 当 S_1 、 S_3 闭合, S_2 断开时, 闭合回路中产生的感应电动势 $E_3 = (n+1)kS$, 闭合回路中感应电流为 $I' = (n+1)kS/4R$, 联立解得 $I' = 7I$, 选项 D 正确.

答案 D

热点二 导体切割磁感线产生感应电动势的计算

1. 公式 $E = Blv$ 的使用条件

- (1) 匀强磁场.
- (2) B 、 l 、 v 三者相互垂直.

2. $E = Blv$ 的“四性”

- (1) 正交性: 本公式是在一定条件下得出的, 除磁场为匀强磁场外, 还需 B 、 l 、 v 三者互相垂直.
- (2) 瞬时性: 若 v 为瞬时速度, 则 E 为相应的瞬时感应电动势.
- (3) 有效性: 公式中的 L 为导体切割磁感线的有效长度.

如图 9-2-7 中, 棒的有效长度为 ab 间的距离.

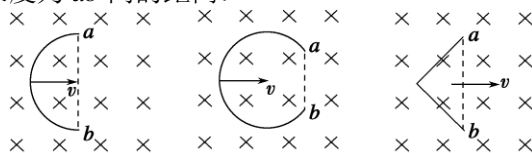


图 9-2-7

- (4) 相对性: $E = Blv$ 中的速度 v 是导体相对磁场的速度, 若磁场也在运动, 应注意速度间的相对关系.

【典例 2】

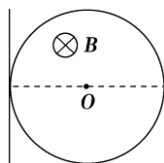


图 9-2-8

(2013 海南卷, 6)如图 9-2-8, 水平桌面上固定有一半径为 R 的金属细圆环, 环面水平, 圆环每单位长度的电阻为 r , 空间有一匀强磁场, 磁感应强度大小为 B , 方向竖直向下; 一长度为 $2R$ 、电阻可忽略的导体棒置于圆环左侧并与环相切, 切点为棒的中点. 棒在拉力的作用下以恒定加速度 a 从静止开始向右运动, 运动过程中棒与圆环接触良好. 下列说法正确的是().

- A. 拉力的大小在运动过程中保持不变
- B. 棒通过整个圆环所用的时间为 $\sqrt{2R/a}$
- C. 棒经过环心时流过棒的电流为 $B\sqrt{2aR}/\pi r$
- D. 棒经过环心时所受安培力的大小为 $8B^2R\sqrt{2aR}/\pi r$

审题指导 审题关键点:

- ① 棒做匀加速直线运动
- ② 棒经过环心时, 切割有效长度为 $2R$

③棒经过环心时，两侧电阻并联， $r_{\text{总}} = \frac{\pi R r}{2}$

解析 导体棒做匀加速运动，合外力恒定，由于受到的安培力随速度的变化而变化，故拉力一直变化，选项 A 错误；设棒通过整个圆环所用的时间为 t ，由匀变速直线运动的基本关系式可得 $2R = \frac{1}{2}at^2$ ，解得

$t = \sqrt{\frac{4R}{a}}$ ，选项 B 错误；由 $v^2 - v_0^2 = 2ax$ 可知棒经过环心时的速度 $v = \sqrt{2aR}$ ，此时的感应电动势 $E = 2BRv$ ，

此时金属圆环的两侧并联，等效电阻 $r_{\text{总}} = \frac{\pi R r}{2}$ ，故棒经过环心时流过棒的电流为 $I = \frac{E}{r_{\text{总}}} = \frac{4B\sqrt{2aR}}{\pi r}$ ，选项

C 错误；由对选项 C 的分析可知棒经过环心时所受安培力的大小为 $F = 2BIR = \frac{8B^2 R \sqrt{2aR}}{\pi r}$ ，选项 D 正确。

答案 D

反思总结 感应电动势两个公式的比较

公式	$E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$	$E = Blv$
导体	一个回路	一段导体
适用	普遍适用	导体切割磁感线
意义	常用于求平均电动势	既可求平均值也可求瞬时值
联系	本质上是统一的. 后者是前者的一种特殊情况. 但是, 当导体做切割磁感线运动时, 用 $E = Blv$ 求 E 比较方便; 当穿过电路的磁通量发生变化时, 用 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 求 E 比较方便	

【跟踪短训】

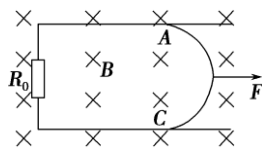


图 9-2-9

2. 如图 9-2-9 所示，水平放置的 U 形框架上接一个阻值为 R_0 的电阻，放在垂直纸面向里的、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中，一个半径为 L 、质量为 m 的半圆形硬导体 AC 在水平向右的恒定拉力 F 作用下，由静止开始运动距离 d 后速度达到 v ，半圆形硬导体 AC 的电阻为 r ，其余电阻不计。下列说法正确的是()。

A. 此时 AC 两端电压为 $U_{AC} = 2BLv$

B. 此时 AC 两端电压为 $U_{AC} = \frac{2BLvR_0}{R_0 + r}$

C. 此过程中电路产生的电热为 $Q = Fd - \frac{1}{2}mv^2$

D. 此过程中通过电阻 R_0 的电荷量为 $q = \frac{2BLd}{R_0 + r}$

解析 AC 的感应电动势为 $E = 2BLv$ ，两端电压为 $U_{AC} = \frac{ER_0}{R_0 + r} = \frac{2BLvR_0}{R_0 + r}$ ，A 错、B 对；由功能关系得 Fd

$= \frac{1}{2}mv^2 + Q + Q_r$ ，C 错；此过程中平均感应电流为 $\bar{I} = \frac{2BLd}{(R_0 + r)\Delta t}$ ，通过电阻 R_0 的电荷量为 $q = \bar{I}\Delta t = \frac{2BLd}{R_0 + r}$ ，

D 对。

答案 BD

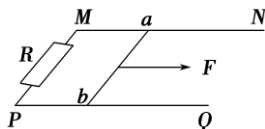


图 9-2-10

3. 如图 9-2-10 所示, 在水平面内固定着 U 形光滑金属导轨, 轨道间距为 50 cm, 金属导体棒 ab 质量为 0.1 kg, 电阻为 0.2Ω , 横放在导轨上, 电阻 R 的阻值是 0.8Ω (导轨其余部分电阻不计). 现加上竖直向下的磁感应强度为 0.2 T 的匀强磁场. 用水平向右的恒力 $F=0.1 \text{ N}$ 拉动 ab , 使其从静止开始运动, 则().

- A. 导体棒 ab 开始运动后, 电阻 R 中的电流方向是从 P 流向 M
- B. 导体棒 ab 运动的最大速度为 10 m/s
- C. 导体棒 ab 开始运动后, a 、 b 两点的电势差逐渐增加到 1 V 后保持不变
- D. 导体棒 ab 开始运动后任一时刻, F 的功率总等于导体棒 ab 和电阻 R 的发热功率之和

解析 由右手定则可判断电阻 R 中的感应电流方向是从 M 流向 P , A 错; 当金属导体棒受力平衡时, 其速度将达到最大值, 由 $F = BIL$, $I = \frac{E_m}{R_{\text{总}}} = \frac{BLv_m}{R_{\text{总}}}$ 可得 $F = \frac{B^2 L^2 v_m}{R_{\text{总}}}$, 代入数据解得 $v_m = 10 \text{ m/s}$, B 对; 感应电动势的最大值 $E_m = 1 \text{ V}$, a 、 b 两点的电势差为路端电压, 最大值小于 1 V , C 错; 在达到最大速度以前, F 所做的功一部分转化为内能, 另一部分转化为导体棒的动能, D 错.

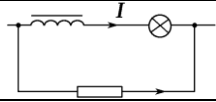
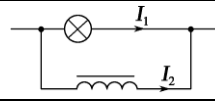
答案 B

热点三 通电自感和断电自感

1. 自感现象的四大特点

- (1) 自感电动势总是阻碍导体中原电流的变化.
- (2) 通过线圈中的电流不能发生突变, 只能缓慢变化.
- (3) 电流稳定时, 自感线圈就相当于普通导体.
- (4) 线圈的自感系数越大, 自感现象越明显, 自感电动势只是延缓了过程的进行, 但它不能使过程停止, 更不能使过程反向.

2. 自感中“闪亮”与“不闪亮”问题

	与线圈串联的灯泡	与线圈并联的灯泡
电路图		
通电时	电流逐渐增大, 灯泡逐渐变亮	电流突然增大, 然后逐渐减小达到稳定
断电时	电流逐渐减小, 灯泡逐渐变暗, 电流方向不变	电路中稳态电流为 I_1 、 I_2 : ①若 $I_2 \leq I_1$, 灯泡逐渐变暗; ②若 $I_2 > I_1$, 灯泡闪亮后逐渐变暗. 两种情况灯泡中电流方向均改变.

【典例 3】

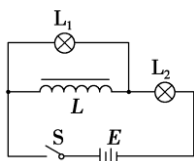


图 9-2-11

如图 9-2-11 所示, 线圈 L 的自感系数很大, 且其电阻可以忽略不计, L_1 、 L_2 是两个完全相同的小灯泡, 随着开关 S 闭合和断开的过程中, L_1 、 L_2 的亮度变化情况是(灯丝不会断)().

- A. S 闭合, L_1 亮度不变, L_2 亮度逐渐变亮, 最后两灯一样亮; S 断开, L_2 立即不亮, L_1 逐渐变亮
- B. S 闭合, L_1 亮度不变, L_2 很亮; S 断开, L_1 、 L_2 立即不亮
- C. S 闭合, L_1 、 L_2 同时亮, 而后 L_1 逐渐熄灭, L_2 亮度不变; S 断开, L_2 立即不亮, L_1 亮一下才灭
- D. S 闭合, L_1 、 L_2 同时亮, 而后 L_1 逐渐熄灭, L_2 则逐渐变得更亮; S 断开, L_2 立即熄灭, L_1 亮一下才灭

解析 当 S 接通时, 因 L 的自感系数很大, 对电流的阻碍作用较大, L_1 和 L_2 串接后与电源相连, L_1 和 L_2 同时亮. 随着 L 中电流的增大, L 的直流电阻减小, L 的分流作用增大, L_1 的电流逐渐减小为零, 由于总电阻变小, 总电流变大, L_2 的电流增大, L_2 灯变得更亮. 当 S 断开时, L_2 中无电流, 立即熄灭, 而电感 L 将阻碍本身的电流减小, L 与 L_1 组成闭合电路, L_1 灯要亮一下后再熄灭, 综上所述, 选项 D 正确.

答案 D

反思总结 在分析自感现象问题时，应注意电路的结构，弄清楚自感线圈 L 与用电器的串、并联关系，明确原电流的方向，再判断自感电流的方向及大小变化。同时注意， L 的自身电阻是不是能忽略不计。在断开开关时，还要看线圈和用电器能否形成回路。

【跟踪短训】

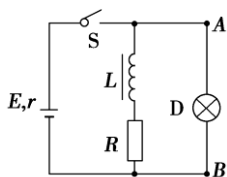
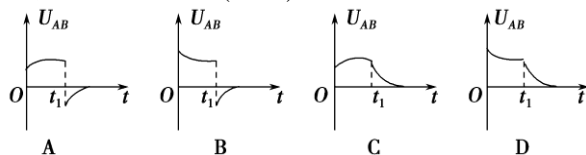


图 9-2-12

4. 如图 9-2-12 所示的电路中，电源的电动势为 E ，内阻为 r ，电感 L 的电阻不计，电阻 R 的阻值大于灯泡 D 的阻值。在 $t=0$ 时刻闭合开关 S ，经过一段时间后，在 $t=t_1$ 时刻断开 S 。下列表示 $A、B$ 两点间电压 U_{AB} 随时间 t 变化的图象中，正确的是()。



解析 S 闭合时，由于电感 L 有感抗，经过一段时间电流稳定时 L 电阻不计，可见电路的外阻是从大变小的过程。由 $U_{外} = \frac{R_{外}}{R_{外} + r} E$ 可知 $U_{外}$ 也是从大变小的过程，所以 A、C 错。 t_1 时刻断开 S ，由于自感在

$L、R、D$ 构成的回路中，电流从 B 向 A ，中间流过 D ，所以 t_1 时刻 U_{AB} 反向，B 正确。

答案 B

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

物理建模 10.电磁感应中的“杆+导轨”模型

模型构建

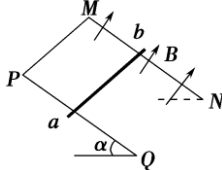
“杆+导轨”模型是电磁感应问题高考命题的“基本道具”，也是高考的热点，考查的知识点多，题目的综合性强，物理情景变化空间大，是我们复习中的难点。“杆+导轨”模型又分为“单杆”型和“双杆”型(“单杆”型为重点)；导轨放置方式可分为水平、竖直和倾斜；杆的运动状态可分为匀速、匀变速、非匀变速运动等。

模型分类及特点

1. 单杆水平式

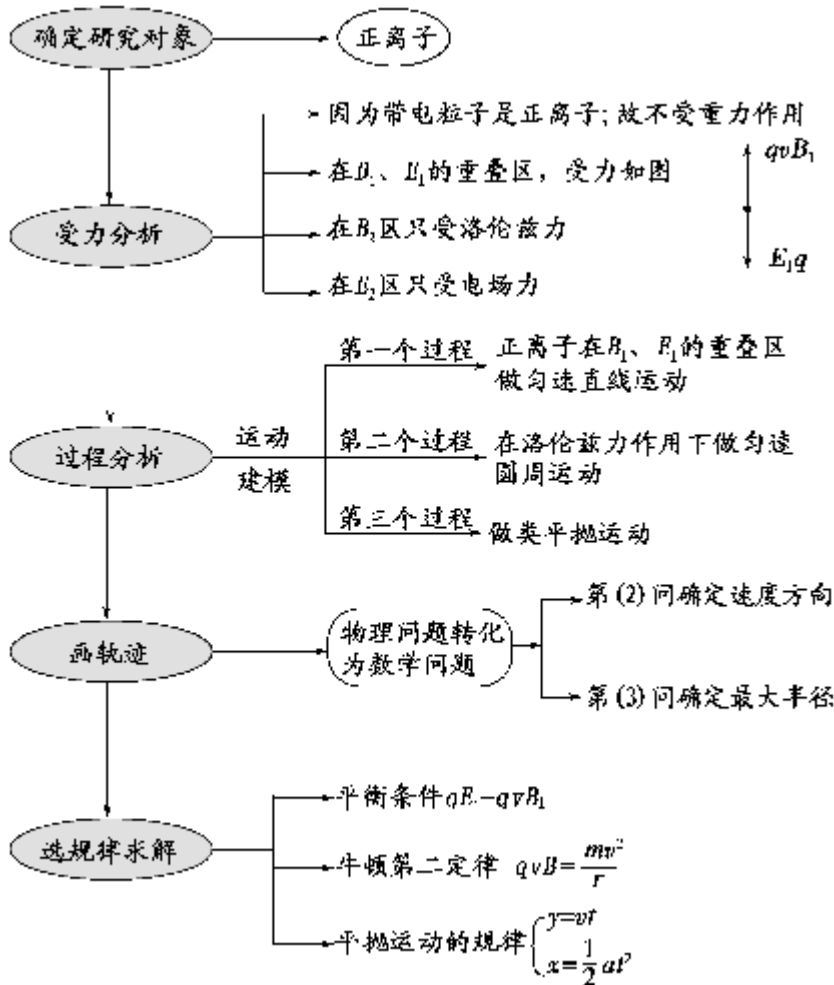
物理模型		
动态分析	设运动过程中某时刻棒的速度为 v ，加速度为 $a = \frac{F}{m} - \frac{B^2 L^2 v}{mR}$ ， $a、v$ 同向，随 v 的增加， a 减小，当 $a=0$ 时， v 最大， $I = \frac{BLv}{R}$ 恒定	
收尾状态	运动形式	匀速直线运动
	力学特征	$a=0$ v 恒定不变
	电学特征	I 恒定

2. 单杆倾斜式

物理模型		
动态分析	棒释放后下滑, 此时 $a = g \sin \alpha$, 速度 $v \uparrow \rightarrow E = BLv \uparrow \rightarrow I = \frac{E}{R} \uparrow \rightarrow F = BIL \uparrow \rightarrow a \downarrow$, 当安培力 $F = mg \sin \alpha$ 时, $a = 0$, v 最大	
收尾状态	运动形式	匀速直线运动
	力学特征	$a = 0$ v 最大 $v_m = \frac{mgR \sin \alpha}{B^2 L^2}$
	电学特征	I 恒定

方法指导

解决电磁感应中综合问题的一般思路是“先电后力再能量”。



【典例】

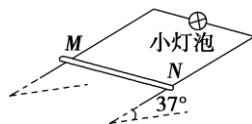


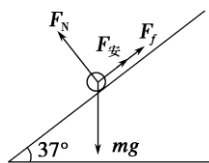
图 9-2-13

(2013 安徽卷, 16)如图 9-2-13 所示, 足够长平行金属导轨倾斜放置, 倾角为 37° , 宽度为 0.5 m , 电阻忽略不计, 其上端接一小灯泡, 电阻为 1Ω 。一导体棒 MN 垂直于导轨放置, 质量为 0.2 kg , 接入电路的电阻为 1Ω , 两端与导轨接触良好, 与导轨间的动摩擦因数为 0.5 。在导轨间存在着垂直于导轨平面的匀强磁场, 磁感应强度为 0.8 T 。将导体棒 MN 由静止释放, 运动一段时间后, 小灯泡稳定发光, 此后导体棒 MN 的运动速度以及小灯泡消耗的电功率分别为(重力加速度 g 取 10 m/s^2 , $\sin 37^\circ = 0.6$) ()。

- A. 2.5 m/s 1 W B. 5 m/s 1 W

C. 7.5 m/s 9 W D. 15 m/s 9 W

解析



导体棒 MN 匀速下滑时受力如图所示，由平衡条件可得 $F_{安} + \mu mg \cos \theta = mg \sin \theta$ ，所以 $F_{安} = mg(\sin \theta -$

$\mu \cos \theta) = 0.4 \text{ N}$ ，由 $F_{安} = BIL$ 得 $I = \frac{F_{安}}{BL} = 1 \text{ A}$ ，所以 $E = I(R_{灯} + R_{MN}) = 2 \text{ V}$ ，导体棒的运动速度 $v = \frac{E}{BL} = 5 \text{ m/s}$ ，

小灯泡消耗的电功率为 $P_{灯} = I^2 R_{灯} = 1 \text{ W}$ 。正确选项为 B。

答案 B

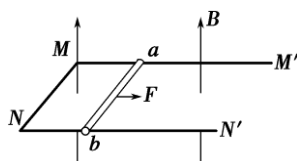


图 9-2-14

即学即练 如图 9-2-14 所示，质量 $m_1 = 0.1 \text{ kg}$ ，电阻 $R_1 = 0.3 \Omega$ ，长度 $l = 0.4 \text{ m}$ 的导体棒 ab 横放在 U 型金属框架上。框架质量 $m_2 = 0.2 \text{ kg}$ ，放在绝缘水平面上，与水平面间的动摩擦因数 $\mu = 0.2$ 。相距 0.4 m 的 MM' 、 NN' 相互平行，电阻不计且足够长。电阻 $R_2 = 0.1 \Omega$ 的 MN 垂直于 MM' 。整个装置处于竖直向上的匀强磁场中，磁感应强度 $B = 0.5 \text{ T}$ 。垂直于 ab 施加 $F = 2 \text{ N}$ 的水平恒力， ab 从静止开始无摩擦地运动，始终与 MM' 、 NN' 保持良好接触。当 ab 运动到某处时，框架开始运动。设框架与水平面间最大静摩擦力等于滑动摩擦力， g 取 10 m/s^2 。

(1) 求框架开始运动时 ab 速度 v 的大小；

(2) 从 ab 开始运动到框架开始运动的过程中， MN 上产生的热量 $Q = 0.1 \text{ J}$ ，求该过程 ab 位移 x 的大小。

解析 (1) ab 对框架的压力， $F_1 = m_1 g$ ①

框架受水平面的支持力， $F_N = m_2 g + F_1$ ②

依题意，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，则框架受到最大静摩擦力， $F_2 = \mu F_N$ ③

ab 中的感应电动势， $E = Blv$ ④

MN 中电流， $I = \frac{E}{R_1 + R_2}$ ⑤

MN 受到的安培力， $F_{安} = I l B$ ⑥

框架开始运动时， $F_{安} = F_2$ ⑦

由上述各式代入数据解得， $v = 6 \text{ m/s}$ ⑧

(2) 闭合回路中产生的总热量， $Q_{总} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} Q$ ⑨

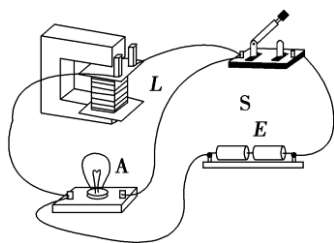
由能量守恒定律，得， $F x = \frac{1}{2} m_1 v^2 + Q_{总}$ ⑩

代入数据解得 $x = 1.1 \text{ m}$

答案 (1) 6 m/s (2) 1.1 m

对应高考题组

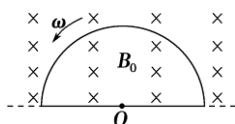
1. (2011 北京理综，19) 某同学为了验证断电自感现象，自己找来带铁芯的线圈 L 、小灯泡 A 、开关 S 和电池组 E ，用导线将它们连接成如图所示的电路。检查电路后，闭合开关 S ，小灯泡发光；再断开开关 S ，小灯泡仅有不显著的延时熄灭现象。虽经多次重复，仍未见老师演示时出现的小灯泡闪亮现象，他冥思苦想找不出原因。你认为最有可能造成小灯泡未闪亮的原因是()。



- A. 电源的内阻较大 B. 小灯泡电阻偏大
C. 线圈电阻偏大 D. 线圈的自感系数较大

解析 由自感规律可知在开关断开的瞬间造成灯泡闪亮以及延时的原因是在线圈中产生了与原电流同向的自感电流且大于稳定时通过灯泡的原电流. 由题图可知灯泡和线圈构成闭合的自感回路, 与电源无关, 故 A 错误; 造成不闪亮的原因是自感电流不大于稳定时通过灯泡的原电流, 当线圈电阻小于灯泡电阻时才会出现闪亮现象, 故 B 错误, C 正确; 自感系数越大, 则产生的自感电流越大, 灯泡更亮, 故 D 错误.

答案 C



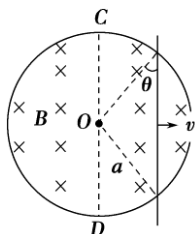
2. (2012 课标全国, 19) 如图所示, 均匀磁场中有一由半圆弧及其直径构成的导线框, 半圆直径与磁场边缘重合; 磁场方向垂直于半圆面(纸面)向里, 磁感应强度大小为 B_0 . 使该线框从静止开始绕过圆心 O 、垂直于半圆面的轴以角速度 ω 匀速转动半周, 在线框中产生感应电流. 现使线框保持图中所示位置, 磁感应强度大小随时间线性变化. 为了产生与线框转动半周过程中同样大小的电流, 磁感应强度随时间的变化率 $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ 的大小应为().

- A. $\frac{4\omega B_0}{\pi}$ B. $\frac{2\omega B_0}{\pi}$ C. $\frac{\omega B_0}{\pi}$ D. $\frac{\omega B_0}{2\pi}$

解析 当线框绕过圆心 O 的转动轴以角速度 ω 匀速转动时, 由于面积的变化产生感应电动势, 从而产生感应电流. 设半圆的半径为 r , 导线框的电阻为 R , 即 $I_1 = \frac{E}{R} = \frac{\Delta\Phi}{R\Delta t} = \frac{B_0\Delta S}{R\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}\pi r^2 B_0}{R\frac{\pi}{\omega}} = \frac{B_0 r^2 \omega}{2R}$. 当线框不动,

磁感应强度变化时, $I_2 = \frac{E}{R} = \frac{\Delta\Phi}{R\Delta t} = \frac{\Delta BS}{R\Delta t} = \frac{\Delta B\pi r^2}{2R\Delta t}$, 因 $I_1 = I_2$, 可得 $\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{\omega B_0}{\pi}$, C 选项正确.

答案 C



3. (2012 四川理综, 20) 半径为 a 、右端开小口的导体圆环和长为 $2a$ 的导体直杆, 单位长度电阻均为 R_0 . 圆环水平固定放置, 整个内部区域分布着垂直纸面向里的匀强磁场, 磁感应强度为 B . 直杆在圆环上以速度 v 平行于直径 CD 向右做匀速直线运动, 直杆始终有两点与圆环良好接触, 从圆环中心 O 开始, 直杆的位置由 θ 确定, 如图所示. 则().

- A. $\theta=0$ 时, 直杆产生的电动势为 $2Bav$
B. $\theta=\frac{\pi}{3}$ 时, 直杆产生的电动势为 $\sqrt{3}Bav$
C. $\theta=0$ 时, 直杆受的安培力大小为 $\frac{2B^2av}{(\pi+2)R_0}$

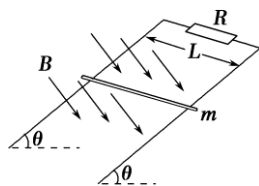
D. $\theta = \frac{\pi}{3}$ 时, 直杆受的安培力大小为 $\frac{3B^2av}{(5\pi+3)R_0}$

解析 当 $\theta = 0$ 时, 直杆切割磁感线的有效长度 $l_1 = 2a$, 所以直杆产生的电动势 $E_1 = Bl_1v = 2Bav$, 选项 A 正确. 此时直杆上的电流 $I_1 = \frac{E_1}{(\pi a + 2a)R_0} = \frac{2Bv}{(\pi + 2)R_0}$, 直杆受到的安培力大小 $F_1 = BI_1l_1 = \frac{4B^2av}{(\pi + 2)R_0}$, 选项

C 错误. 当 $\theta = \frac{\pi}{3}$ 时, 直杆切割磁感线的有效长度 $l_2 = 2a\cos\frac{\pi}{3} = a$, 直杆产生的电动势 $E_2 = Bl_2v = Bav$, 选项 B 错误. 此时直杆上的电流 $I_2 = \frac{E_2}{(2\pi a - \frac{2\pi a}{6} + a)R_0} = \frac{3Bv}{(5\pi + 3)R_0}$, 直杆受到的安培力大小 $F_2 = BI_2l_2 =$

$\frac{3B^2av}{(5\pi + 3)R_0}$, 选项 D 正确.

答案 AD



4. (2012 山东卷, 20)如图所示, 相距为 L 的两条足够长的光滑平行金属导轨与水平面的夹角为 θ , 上端接有定值电阻 R , 匀强磁场垂直于导轨平面, 磁感应强度为 B . 将质量为 m 的导体棒由静止释放, 当速度达到 v 时开始匀速运动, 此时对导体棒施加一平行于导轨向下的拉力, 并保持拉力的功率恒为 P , 导体棒最终以 $2v$ 的速度匀速运动. 导体棒始终与导轨垂直且接触良好, 不计导轨和导体棒的电阻, 重力加速度为 g . 下列选项正确的是().

A. $P = 2mgv\sin\theta$

B. $P = 3mgv\sin\theta$

C. 当导体棒速度达到 $\frac{v}{2}$ 时加速度大小为 $\frac{g}{2}\sin\theta$

D. 在速度达到 $2v$ 以后匀速运动的过程中, R 上产生的焦耳热等于拉力所做的功

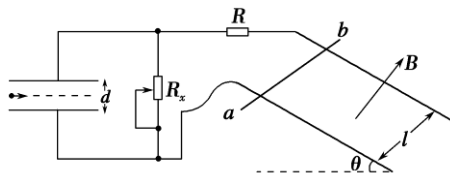
解析 导体棒由静止释放, 速度达到 v 时, 回路中的电流为 I , 则根据平衡条件, 有 $mg\sin\theta = BIL$. 对导体棒施加一平行于导轨向下的拉力, 以 $2v$ 的速度匀速运动时, 则回路中的电流为 $2I$, 有 $F + mg\sin\theta = 2BIL$, 所以拉力 $F = mg\sin\theta$, 拉力的功率 $P = F2v = 2mgv\sin\theta$, 故选项 A 正确、选项 B 错误; 当导体棒的速度达到 $\frac{v}{2}$ 时, 回路中的电流为 $\frac{I}{2}$, 根据牛顿第二定律, 得 $mg\sin\theta - B\frac{I}{2}L = ma$, 解得 $a = \frac{g}{2}\sin\theta$, 选项 C 正确; 当导体棒以 $2v$ 的速度匀速运动时, 根据能量守恒定律, 重力和拉力所做的功之和等于 R 上产生的焦耳热, 故选项 D 错误.

答案 AC

5. (2012 广东理综, 35)如图所示, 质量为 M 的导体棒 ab , 垂直放在相距为 l 的平行光滑金属导轨上. 导轨平面与水平面的夹角为 θ , 并处于磁感应强度大小为 B 、方向垂直于导轨平面向上的匀强磁场中. 左侧是水平放置、间距为 d 的平行金属板. R 和 R_x 分别表示定值电阻和滑动变阻器的阻值, 不计其他电阻.

(1) 调节 $R_x = R$, 释放导体棒, 当棒沿导轨匀速下滑时, 求通过棒的电流 I 及棒的速率 v .

(2) 改变 R_x , 待棒沿导轨再次匀速下滑后, 将质量为 m 、带电量为 $+q$ 的微粒水平射入金属板间, 若它能匀速通过, 求此时的 R_x .



解析 (1) 导体棒匀速下滑时, $Mg\sin\theta = BIl$ ①

$I = \frac{Mg\sin\theta}{Bl}$ ②

设导体棒产生的感应电动势为 E_0 , $E_0 = Blv$ ③

由闭合电路欧姆定律得: $I = \frac{E_0}{R + R_x}$ ④

联立②③④, 得 $v = \frac{2MgR\sin\theta}{B^2 l^2}$ ⑤

(2)改变 R_x , 由②式可知电流不变. 设带电微粒在金属板间匀速通过时, 板间电压为 U , 电场强度大小为 E

$$U = IR_x$$
⑥

$$E = \frac{U}{d}$$
⑦

$$mg = qE$$
⑧

联立②⑥⑦⑧, 得 $R_x = \frac{mldB}{Mq\sin\theta}$ ⑨

答案 (1) $\frac{Mg\sin\theta}{Bl}$ $\frac{2MgR\sin\theta}{B^2 l^2}$ (2) $\frac{mldB}{Mq\sin\theta}$

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 法拉第电磁感应定律的应用

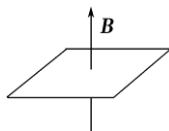


图 9-2-15

1. (多选)如图 9-2-15 所示, 闭合金属导线框放置在竖直向上的匀强磁场中, 磁场的磁感应强度的大小随时间变化而变化. 下列说法中正确的是().

- A. 当磁感应强度增大时, 线框中的感应电流可能减小
- B. 当磁感应强度增大时, 线框中的感应电流一定增大
- C. 当磁感应强度减小时, 线框中的感应电流一定增大
- D. 当磁感应强度减小时, 线框中的感应电流可能不变

解析 线框中的感应电动势为 $E = \frac{\Delta B}{\Delta t} S$, 设线框的电阻为 R , 则线框中的电流 $I = \frac{E}{R} = \frac{\Delta B S}{\Delta t R}$, 因为 B 增大或减小时, $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ 可能减小, 可能增大, 也可能不变. 线框中的感应电动势的大小只和磁通量的变化率有关, 和磁通量的变化量无关. 故选项 A、D 正确.

答案 AD

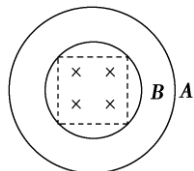


图 9-2-16

2. (单选)A、B 两闭合圆形导线环用相同规格的导线制成, 它们的半径之比 $r_A : r_B = 2 : 1$, 在两导线环包围的空间内存在一正方形边界的匀强磁场区域, 磁场方向垂直于两导线环的平面, 如图 9-2-16 所示. 当磁场的磁感应强度随时间均匀增大的过程中, 流过两导线环的感应电流大小之比为().

- A. $\frac{I_A}{I_B} = 1$
- B. $\frac{I_A}{I_B} = 2$
- C. $\frac{I_A}{I_B} = \frac{1}{4}$
- D. $\frac{I_A}{I_B} = \frac{1}{2}$

解析 匀强磁场的磁感应强度随时间均匀变化, 设 t 时刻的磁感应强度为 B_t , 则 $B_t = B_0 + kt$, 其中 B_0 为 $t = 0$ 时的磁感应强度, k 为一常数, A、B 两导线环的半径不同, 它们所包围的面积不同, 但某一时刻穿过它们的磁通量均为穿过磁场所在区域面积上的磁通量, 设磁场区域的面积为 S , 则 $\Phi_t = B_t S$, 即在任一

时刻穿过两导线环包围面上的磁通量是相等的，所以两导线环上的磁通量变化率是相等的。 $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B}{\Delta t} S$ (S 为磁场区域面积)。对 A 、 B 两导线环，由于 $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ 及 S 均相同，得 $\frac{E_A}{E_B} = 1$ ， $I = \frac{E}{R}$ ， $R = \rho \frac{l}{S_1}$ (S_1 为导线的横截面积)， $l = 2\pi r$ ，所以 $\frac{I_A}{I_B} = \frac{E_A r_B}{E_B r_A}$ ，代入数值得 $\frac{I_A}{I_B} = \frac{r_B}{r_A} = \frac{1}{2}$ 。

答案 D

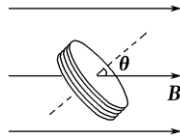


图 9-2-17

3. (多选)某学习小组在探究线圈中感应电流的影响因素时，设计如图 9-2-17 所示的实验装置，让一个闭合圆线圈放在匀强磁场中，线圈的轴线与磁场方向成 30° 角，磁感应强度随时间均匀变化，则()。
- A. 若把线圈的匝数增加一倍，线圈内感应电流大小不变
 - B. 若把线圈的面积增加一倍，线圈内感应电流大小变为原来的 2 倍
 - C. 改变线圈轴线与磁场方向的夹角大小，线圈内感应电流大小可能变为原来的 2 倍
 - D. 把线圈的半径增加一倍，线圈内感应电流大小变为原来的 2 倍

解析 由法拉第电磁感应定律 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 可知，若线圈的匝数增加一倍，感应电动势与线圈的总电阻都增加一倍，线圈中的感应电流大小不变，A 正确；若线圈的面积增加一倍，感应电动势增加一倍，但线圈的电阻增大，线圈内的感应电流并不是原来的 2 倍，B 错误； $E = n \frac{\Delta B}{\Delta t} S \cos 30^\circ$ ，故无论怎样改变线圈轴线与磁场方向的夹角，都不可能使线圈内的感应电流是原来的 2 倍，C 错误；若线圈的半径增加一倍，则面积是原来的 4 倍，电阻是原来的 2 倍，线圈内感应电流变为原来的 2 倍，D 正确。

答案 AD

4. (多选)在如图 9-2-18(a)所示的虚线框内有匀强磁场，设图示磁场方向为正，磁感应强度随时间变化规律如图(b)所示。边长为 l ，电阻为 R 的正方形均匀线框 $abcd$ 有一半处在磁场中，磁场方向垂直于线框平面，此时线框 ab 边的发热功率为 P ，则()。

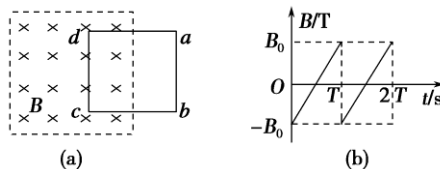


图 9-2-18

- A. 磁感应强度 $B_0 = \frac{T}{2l^2} \sqrt{PR}$
- B. 线框中感应电流为 $I = 2\sqrt{\frac{P}{R}}$
- C. 线框 cd 边的发热功率为 P
- D. a 端电势高于 b 端电势

解析 由题图(b)可知，线框中产生的感应电动势恒定，线框 ab 边的发热功率为 $P = \frac{E^2}{4R}$ ，感应电动势 $E = \frac{\Delta B}{\Delta t} S = \frac{2B_0}{T} \frac{l^2}{2} = \frac{B_0 l^2}{T}$ ，所以 $B_0 = \frac{2T}{l^2} \sqrt{PR}$ ，A 错；由 $P = \frac{1}{4} I^2 R$ 可得线框中的感应电流 $I = 2\sqrt{\frac{P}{R}}$ ，B 正确； cd 边电阻等于 ab 边电阻，而两边流过的电流相等，因此发热功率相等，C 正确；由楞次定律可判断，线框中感应电流方向为 $adcb$ 方向，因此 a 端电势比 b 端低，D 错。

答案 BC

题组二 公式 $E = Blv$ 的应用

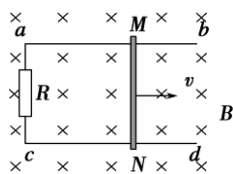


图 9-2-19

5. (2013 北京卷, 17)(单选)如图 9-2-19, 在磁感应强度为 B 、方向垂直纸面向里的匀强磁场中, 金属杆 MN 在平行金属导轨上以速度 v 向右匀速滑动, MN 中产生的感应电动势为 E_1 ; 若磁感应强度增为 $2B$, 其他条件不变, MN 中产生的感应电动势变为 E_2 , 则通过电阻 R 的电流方向及 E_1 与 E_2 之比 $E_1 : E_2$ 分别为()。

- A. $c \rightarrow a, 2 : 1$ B. $a \rightarrow c, 2 : 1$
 C. $a \rightarrow c, 1 : 2$ D. $c \rightarrow a, 1 : 2$

解析 用右手定则判断出两次金属棒 MN 中的电流方向为 $N \rightarrow M$, 所以电阻 R 中的电流方向 $a \rightarrow c$. 由电动势公式 $E = Blv$ 可知: $\frac{E_1}{E_2} = \frac{Blv}{2Blv} = \frac{1}{2}$, 故选项 C 正确.

答案 C

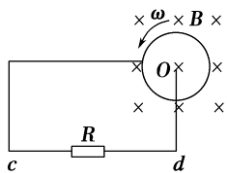


图 9-2-20

6. (单选)如图 9-2-20 所示, 半径为 r 的金属圆盘在垂直于盘面的匀强磁场 B 中, 绕 O 轴以角速度 ω 沿逆时针方向匀速转动, 则通过电阻 R 的电流的方向和大小是(金属圆盘的电阻不计)()。

- A. 由 c 到 d , $I = \frac{Br^2\omega}{R}$ B. 由 d 到 c , $I = \frac{Br^2\omega}{R}$
 C. 由 c 到 d , $I = \frac{Br^2\omega}{2R}$ D. 由 d 到 c , $I = \frac{Br^2\omega}{2R}$

解析 由右手定则判定通过电阻 R 的电流的方向是由 d 到 c ; 而金属圆盘产生的感应电动势 $E = \frac{1}{2}Br^2\omega$, 所以通过电阻 R 的电流大小是 $I = \frac{Br^2\omega}{2R}$. 选项 D 正确.

答案 D

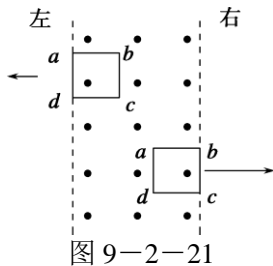


图 9-2-21

7. (单选)如图 9-2-21 所示, 一由均匀电阻丝折成的正方形闭合线框 $abcd$, 置于磁感应强度方向垂直纸面向外的有界匀强磁场中, 线框平面与磁场垂直, 线框 bc 边与磁场左右边界平行. 若将该线框以不同的速率从图示位置分别从磁场左、右边界匀速拉出直至全部离开磁场, 在此过程中()。

- A. 流过 ab 边的电流方向相反
 B. ab 边所受安培力的大小相等
 C. 线框中产生的焦耳热相等
 D. 通过电阻丝某横截面的电荷量相等

解析 线框离开磁场, 磁通量减小, 由楞次定律可知线框中的感应电流方向为 $a \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$, 故 A 错误; 由法拉第电磁感应定律得 $E = BLv$, $I = \frac{E}{R}$, $F = BIL = \frac{B^2L^2v}{R}$, v 不同, F 不同, 故 B 错误; 线框离开磁场的过程 $t = \frac{L}{v}$, 产生的热量 $Q = I^2Rt = \frac{B^2L^3v}{R}$, 故 C 错误; 通过导体横截面的电荷量 $q = It = \frac{BL^2}{R}$

与速率无关，故 D 正确。

答案 D

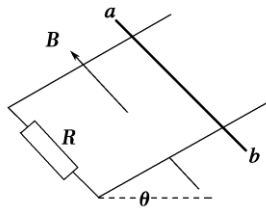


图 9-2-22

8. (2013 云南部分名校统考, 21)(多选)如图 9-2-22 所示, 足够长的光滑导轨倾斜放置, 其下端连接一个定值电阻 R , 匀强磁场垂直于导轨所在平面, 将 ab 棒在导轨上无初速度释放, 当 ab 棒下滑到稳定状态时, 速度为 v , 电阻 R 上消耗的功率为 P . 导轨和导体棒电阻不计. 下列判断正确的是().

A. 导体棒的 a 端比 b 端电势低

B. ab 棒在达到稳定状态前做加速度减小的加速运动

C. 若磁感应强度增大为原来的 2 倍, 其他条件不变, 则 ab 棒下滑到稳定状态时速度将变为原来的 $\frac{1}{2}$

D. 若换成一根质量为原来 2 倍的导体棒, 其他条件不变, 则 ab 棒下滑到稳定状态时的功率将变为原来的 4 倍

解析 导体棒下滑切割磁感线, 产生感应电动势相当于电源, 由右手定则知 a 端为正极, b 端为负极,

A 项错误. 感应电动势 $E = Blv$, $I = \frac{E}{R}$, 对 ab 受力分析有 $mg \sin \theta - \frac{B^2 L^2 v}{R} = ma$, 则知导体棒做加速度减小的加速运动, 当 $a = 0$ 时, $mg \sin \theta = \frac{B^2 L^2 v_m}{R}$, 得: $v_m = \frac{mgR \sin \theta}{B^2 L^2}$, 若 B 增大为原来的 2 倍, 稳定状态

时速度变为原来的 $\frac{1}{4}$, 所以 B 项正确, C 项错. 若质量增大为原来的 2 倍, 导体棒稳定时的速度为原来的 2 倍, R 的功率 $P = \frac{B^2 L^2 v^2}{R}$, 可知功率变为原来的 4 倍, D 项正确.

答案 BD

答案 BD

题组三 自感现象

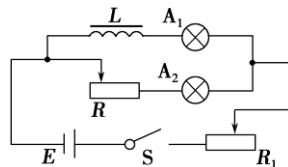


图 9-2-23

9. (多选)如图 9-2-23 所示是研究通电自感实验的电路图, A_1 、 A_2 是两个规格相同的小灯泡, 闭合电键调节电阻 R , 使两个灯泡的亮度相同, 调节可变电阻 R_1 , 使它们都正常发光, 然后断开电键 S. 重新闭合电键 S, 则().

A. 闭合瞬间, A_1 立刻变亮, A_2 逐渐变亮

B. 闭合瞬间, A_2 立刻变亮, A_1 逐渐变亮

C. 稳定后, L 和 R 两端电势差一定相同

D. 稳定后, A_1 和 A_2 两端电势差不相同

解析 根据题设条件可知, 闭合电键调节电阻 R , 使两个灯泡的亮度相同, 说明此时电阻 R 的阻值与线圈 L 的电阻一样大, 断开电键再重新闭合电键的瞬间, 根据自感原理, 可判断 A_2 立刻变亮, 而 A_1 逐渐变亮, A 项错误, B 项正确; 稳定后, 自感现象消失, 根据题设条件可判断线圈 L 和 R 两端的电势差一定相同, A_1 和 A_2 两端电势差也相同, 所以 C 项正确, D 项错误.

答案 BC

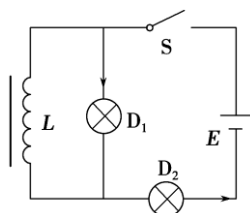
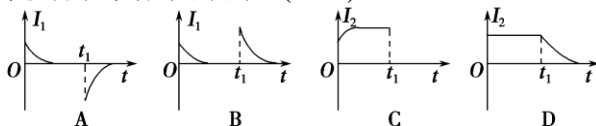


图 9-2-24

10. (多选)如图 9-2-24 所示的电路中, L 为一个自感系数很大、直流电阻不计的线圈, D_1 、 D_2 是两个完全相同的电灯, E 是内阻不计的电源. $t=0$ 时刻, 闭合开关 S , 经过一段时间后, 电路达到稳定, t_1 时刻断开开关 S . I_1 、 I_2 分别表示通过电灯 D_1 和 D_2 中的电流, 规定图中箭头所示方向为电流正方向, 以下各图中能定性描述电流 I 随时间 t 变化关系的是().



解析 当 S 闭合时, L 的自感作用会阻碍其中的电流变大, 电流从 D_1 流过; 当 L 的阻碍作用变小时, L 中的电流变大, D_1 中的电流变小至零; D_2 中的电流为电路总电流, 电流流过 D_1 时, 电路总电阻较大, 电流较小, 当 D_1 中电流为零时, 电流流过 L 与 D_2 , 总电阻变小, 电流变大至稳定; 当 S 再断开时, D_2 马上熄灭, D_1 与 L 组成回路, 由于 L 的自感作用, D_1 慢慢熄灭, 电流反向且减小; 综上所述知选项 A、C 正确.

答案 AC

B 深化训练——提高能力技巧

11. 轻质细线吊着一质量为 $m=0.32\text{ kg}$ 、边长为 $L=0.8\text{ m}$ 、匝数 $n=10$ 的正方形线圈, 总电阻为 $r=1\ \Omega$. 边长为 $\frac{L}{2}$ 的正方形磁场区域对称分布在线圈下边的两侧, 如图 9-2-25 甲所示. 磁场方向垂直纸面向里, 大小随时间变化如图乙所示. 从 $t=0$ 开始经 t_0 时间细线开始松弛, 取 $g=10\text{ m/s}^2$. 求:

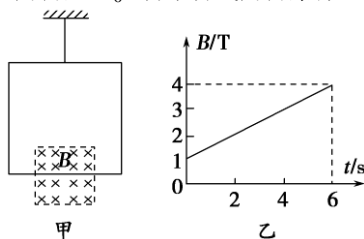


图 9-2-25

- (1) 在前 t_0 时间内线圈中产生的电动势;
- (2) 在前 t_0 时间内线圈的电功率;
- (3) t_0 的值.

解析 (1) 由法拉第电磁感应定律得:

$$E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = n \times \frac{1}{2} \times \left(\frac{L}{2}\right)^2 \frac{\Delta B}{\Delta t} = 10 \times \frac{1}{2} \times \left(\frac{0.8}{2}\right)^2 \times 0.5\text{ V} = 0.4\text{ V}.$$

$$(2) I = \frac{E}{r} = 0.4\text{ A}, P = I^2 r = 0.16\text{ W}.$$

$$(3) \text{分析线圈受力可知, 当细线松弛时有: } F_{\text{安}} = n B t_0 I \frac{L}{2} = mg, \text{ 由上式解得 } B t_0 = \frac{2mg}{nIL} = 2\text{ T}$$

由图乙知: $B t_0 = 1 + 0.5 t_0$, 解得: $t_0 = 2\text{ s}$.

答案 (1) 0.4 V (2) 0.16 W (3) 2 s

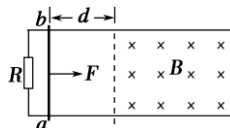


图 9-2-26

12. (2013 汕头模拟)如图 9-2-26 所示,两根平行金属导轨固定在同一水平面内,间距为 l , 导轨左端连接一个电阻. 一根质量为 m 、电阻为 r 的金属杆 ab 垂直放置在导轨上. 在杆的右方距杆为 d 处有一个匀强磁场, 磁场方向垂直于轨道平面向下, 磁感应强度为 B . 对杆施加一个大小为 F 、方向平行于导轨的恒力, 使杆从静止开始运动, 已知杆到达磁场区域时速度为 v , 之后进入磁场恰好做匀速运动. 不计导轨的电阻, 假定导轨与杆之间存在恒定的阻力. 求

- (1) 导轨对杆 ab 的阻力大小 f ;
 (2) 杆 ab 中通过的电流及其方向;
 (3) 导轨左端所接电阻的阻值 R .

解析 (1) 杆进入磁场前做匀加速运动, 有 $F - f = ma$ ①

$$v^2 = 2ad$$
②

$$\text{解得导轨对杆的阻力 } f = F - \frac{mv^2}{2d}$$
③

(2) 杆进入磁场后做匀速运动, 有 $F = f + F_B$ ④

$$\text{杆 } ab \text{ 所受的安培力 } F_B = BlI$$
⑤

$$\text{解得杆 } ab \text{ 中通过的电流 } I = \frac{mv^2}{2Bl d}$$
⑥

杆中的电流方向自 a 流向 b ⑦

(3) 杆产生的感应电动势 $E = Blv$ ⑧

$$\text{杆中的感应电流 } I = \frac{E}{R+r}$$

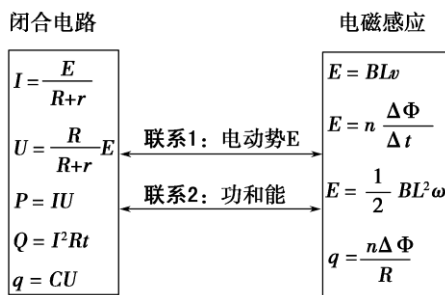
$$\text{解得导轨左端所接电阻阻值 } R = \frac{2B^2 l^2 d}{mv} - r$$

$$\text{答案 (1)} F - \frac{mv^2}{2d} \quad \text{(2)} \frac{mv^2}{2Bl d} \quad a \rightarrow b \quad \text{(3)} \frac{2B^2 l^2 d}{mv} - r$$

专题八 电磁感应中的电路和图象问题

一、电磁感应中的电路问题

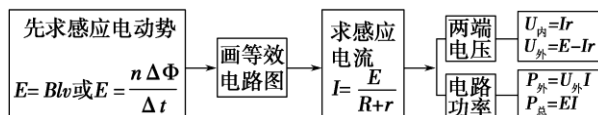
1. 电磁感应中电路知识的关系图



2. 电磁感应中电路问题的题型特点

闭合电路中磁通量发生变化或有部分导体做切割磁感线运动, 在回路中将产生感应电动势和感应电流. 从而考题中常涉及电流、电压、电功等的计算, 也可能涉及电磁感应与力学、电磁感应与能量的综合分析.

3. 分析电磁感应电路问题的基本思路



(1) 确定电源: 用法拉第电磁感应定律和楞次定律或右手定则确定感应电动势的大小和方向, 电源内部电流的方向是从低电势流向高电势;

(2) 分析电路结构: 根据“等效电源”和电路中其他元件的连接方式画出等效电路. 注意区别内外电路, 区别路端电压、电动势;

(3) 利用电路规律求解: 根据 $E = BLv$ 或 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 结合闭合电路欧姆定律、串并联电路知识和电功率、焦耳定律等关系式联立求解.

【典例 1】(2013 广东卷, 36)如图 1(a)所示, 在垂直于匀强磁场 B 的平面内, 半径为 r 的金属圆盘绕过圆心 O 的轴转动, 圆心 O 和边缘 K 通过电刷与一个电路连接, 电路中的 P 是加上一定正向电压才能导通的电子元件, 流过电流表的电流 I 与圆盘角速度 ω 的关系如图(b)所示, 其中 ab 段和 bc 段均为直线, 且 ab 段过坐标原点, $\omega > 0$ 代表圆盘逆时针转动. 已知: $R=3.0 \Omega$, $B=1.0 \text{ T}$, $r=0.2 \text{ m}$. 忽略圆盘、电流表和导线的电阻.

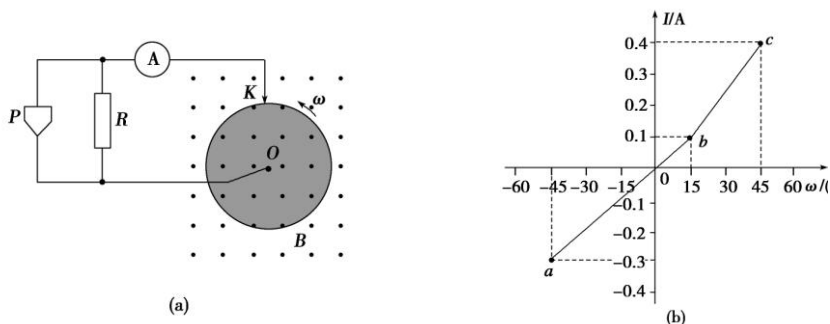


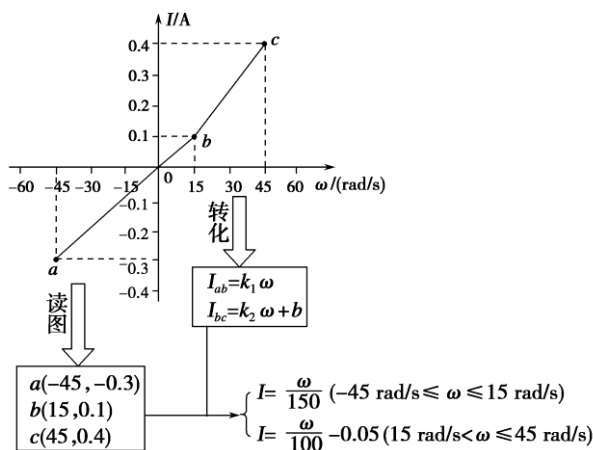
图 1

- (1)根据图(b)写出 ab 、 bc 段对应的 I 与 ω 的关系式;
- (2)求出图(b)中 b 、 c 两点对应的 P 两端的电压 U_b 、 U_c ;
- (3)分别求出 ab 、 bc 流过 P 的电流 I_P 与其两端电压 U_P 的关系式.

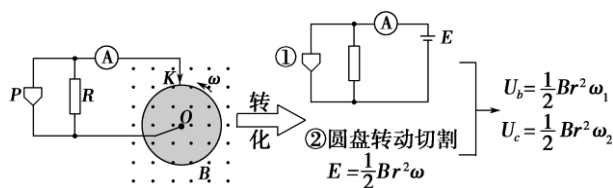
审题指导

审题图, 抓转化

(1)审题(b)



(2)审题(a)



解析 (1)由题图(b)得出三点坐标 $a(-45, -0.3)$, $b(15, 0.1)$, $c(45, 0.4)$, 由直线的两点式得 I 与 ω

$$\text{的关系式为 } I = \begin{cases} \frac{\omega}{150}, & -45 \text{ rad/s} \leq \omega \leq 15 \text{ rad/s} \\ \frac{\omega}{100} - 0.05, & 15 \text{ rad/s} < \omega \leq 45 \text{ rad/s} \end{cases}$$

(2)圆盘切割磁感线产生的电动势为:

$$E = Br \frac{\omega r + 0}{2} = \frac{1}{2} B \omega r^2 = 0.02 \omega$$

当 $\omega = 15 \text{ rad/s}$ 时 $E = 0.3 \text{ V}$,

当 $\omega = 45 \text{ rad/s}$ 时 $E = 0.9 \text{ V}$, 忽略电源内阻,

故 $U_P = E$ ，可得： $U_b = 0.3 \text{ V}$ ， $U_c = 0.9 \text{ V}$

(3) 对应于 c 点 P 导通，通过电流表的电流

$$I_{\text{总}} = \frac{U_c}{R} + \frac{U_c}{R_P} = \frac{0.9}{3} + \frac{0.9}{R_P} = 0.4$$

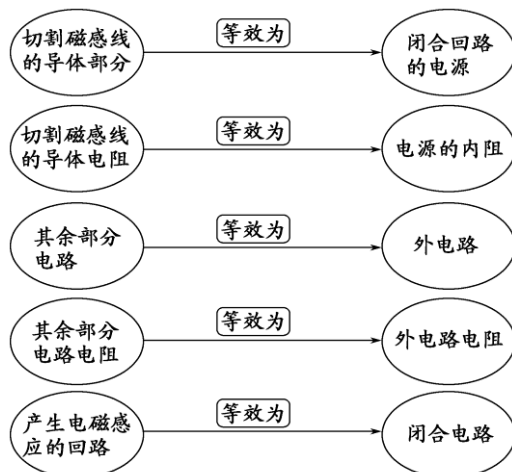
解得 $R_P = 9 \Omega$

则对应于 bc 段流过 P 的电流 $I_P = \frac{U_P}{R_P} = \frac{U_P}{9}$

对应于 a 点元件 P 不导通，则对应于 ab 段流过 P 的电流 $I_P = 0$ 。

答案 见解析

反思总结 电磁感应电路的几个等效问题



即学即练 1 粗细均匀的电阻丝围成图 2 所示的线框，置于正方形有界匀强磁场中，磁感强度为 B ，方向垂直于线框平面，图中 $ab = bc = 2cd = 2de = 2ef = 2fa = 2L$ 。现使线框以同样大小的速度 v 匀速沿四个不同方向平动进入磁场，并且速度方向始终与线框先进入磁场的那条边垂直，则线框在通过如图所示位置时，下列说法中正确的是()。

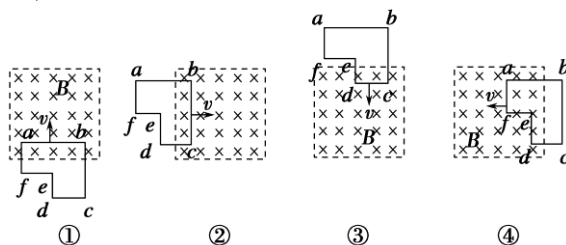


图 2

- A. ab 两点间的电势差图①中最大
- B. ab 两点间的电势差图②中最大
- C. 回路电流图③中最大
- D. 回路电流图④中最小

解析 设 ab 段电阻为 r ，图①中 ab 两点间的电势差 $U = 3Ir$ ，图②中 ab 两点间的电势差 $U = Ir$ ，图③中 ab 两点间的电势差 $U = \frac{1}{2}Ir$ ，图④中 ab 两点间的电势差 $U = Ir$ ，所以 ab 两点间的电势差，图①中最大，选项 A 正确、B 错误；回路电流图③中最小，其他回路电流相等，选项 C、D 错误。

答案 A

二、电磁感应中的图象问题

1. 图象类型

电磁感应中主要涉及的图象有 $B-t$ 图象、 $\Phi-t$ 图象、 $E-t$ 图象和 $I-t$ 图象。还常涉及感应电动势 E 和感应电流 I 随线圈位移 x 变化的图象，即 $E-x$ 图象和 $I-x$ 图象。

2. 常见题型

图象的选择、图象的描绘、图象的转换、图象的应用。

3. 所用规律

一般包括：左手定则、安培定则、楞次定律、法拉第电磁感应定律、欧姆定律、牛顿运动定律等。

4. 分析步骤

- (1)明确图象的种类；
- (2)分析电磁感应的具体过程；
- (3)结合法拉第电磁感应定律、欧姆定律、牛顿运动定律等规律写出函数方程；
- (4)根据函数方程进行数学分析，例如分析斜率的变化、截距等；
- (5)画图象或判断图象。

题型一 图象的选择

问题类型	由给定的电磁感应过程选出正确的图象
解题关键	根据题意分析相关物理量的函数关系、分析物理过程中的转折点、明确“+、-”号的含义，结合数学知识做正确的判断

【典例 2】

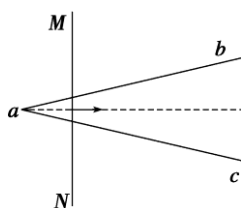
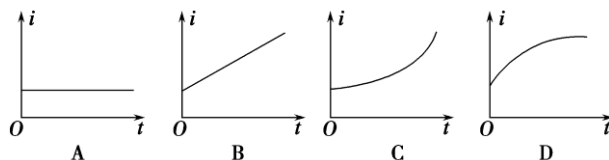


图 3

(2013 全国新课标卷 I, 17)如图 3, 在水平面(纸面)内有三根相同的均匀金属棒 ab 、 ac 和 MN , 其中 ab 、 ac 在 a 点接触, 构成“V”字型导轨. 空间存在垂直于纸面的均匀磁场. 用力使 MN 向右匀速运动, 从图示位置开始计时, 运动中 MN 始终与 $\angle bac$ 的平分线垂直且和导轨保持良好接触. 下列关于回路中电流 i 与时间 t 的关系图线, 可能正确的是().



解析 设 $\angle bac = 2\theta$, MN 以速度 v 匀速运动, 导体棒单位长度的电阻为 R_0 . 经过时间 t , 导体棒的有效切割长度 $L = 2vt \tan \theta$, 感应电动势 $E = BLv = 2Bv^2 t \tan \theta$, 回路的总电阻 $R = (2vt \tan \theta + \frac{2vt}{\cos \theta})R_0$, 回路中电流 $i = \frac{E}{R} = \frac{Bv}{(1 + \frac{1}{\sin \theta})R_0}$. 故 i 与 t 无关是一个定值, 选项 A 正确.

答案 A

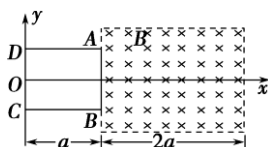
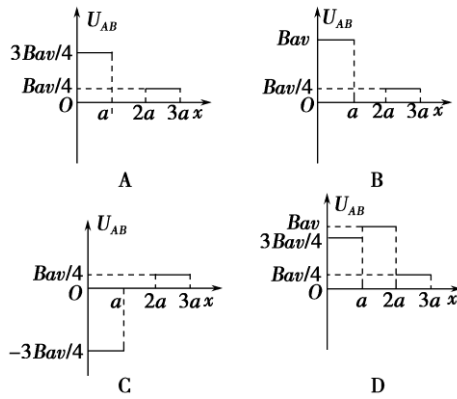


图 4

即学即练 2 如图 4 所示, 垂直纸面向里的匀强磁场的区域宽度为 $2a$, 磁感应强度的大小为 B . 一边长为 a 、电阻为 $4R$ 的正方形均匀导线框 $ABCD$ 从图示位置开始沿水平向右方向以速度 v 匀速穿过磁场区域, 在图中线框 A 、 B 两端电压 U_{AB} 与线框移动距离 x 的关系图象正确的是().



解析 进入磁场时,注意 U_{AB} 是路端电压,大小应该是电动势的四分之三,此时 $E = Bav$,所以 $U_{AB} = 3Bav/4$;完全进入后,没有感应电流,但有感应电动势,大小为 Bav ,穿出磁场时电压大小应该是电动势的四分之一, $U_{AB} = Bav/4$,方向始终是相同,即 $\varphi_A > \varphi_B$.

答案 D

题型二 图象的转换

问题类型	由一种电磁感应的图象分析求解出对应的另一种电磁感应图象的问题
解题关键	(1)要明确已知图象表示的物理规律和物理过程;(2)根据所求的图象和已知图象的联系,对另一图象做出正确的判断进行图象间的转换

【典例 3】(2013 山东卷,18)将一段导线绕成图 5 甲所示的闭合回路,并固定在水平面(纸面)内.回路的 ab 边置于垂直纸面向里的匀强磁场 I 中.回路的圆环区域内有垂直纸面的磁场 II ,以向里为磁场 II 的正方向,其磁感应强度 B 随时间 t 变化的图象如图乙所示.用 F 表示 ab 边受到的安培力,以水平向右为 F 的正方向,能正确反应 F 随时间 t 变化的图象是().

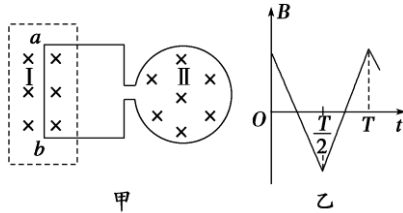
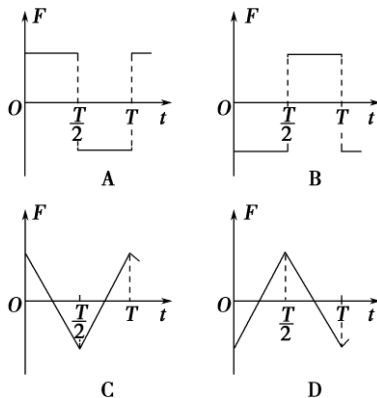


图 5



解析 $0 \sim \frac{T}{2}$ 时间内,回路中产生顺时针方向、大小不变的感应电流,根据左手定则可以判定 ab 边所受安培力向左; $\frac{T}{2} \sim T$ 时间内,回路中产生逆时针方向、大小不变的感应电流,根据左手定则可以判定 ab 边所受安培力向右,故 B 正确.

答案 B

即学即练 3 如图 6 甲所示,正六边形导线框 $abcdef$ 放在匀强磁场中静止不动,磁场方向与线框平面垂直,磁感应强度 B 随时间 t 的变化关系如图乙所示. $t=0$ 时刻,磁感应强度 B 的方向垂直纸面向里,

设产生的感应电流以顺时针方向为正、竖直边 cd 所受安培力的方向以水平向左为正。则下面关于感应电流 i 和 cd 边所受安培力 F 随时间 t 变化的图象正确的是()。

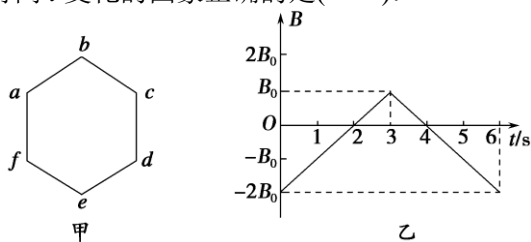
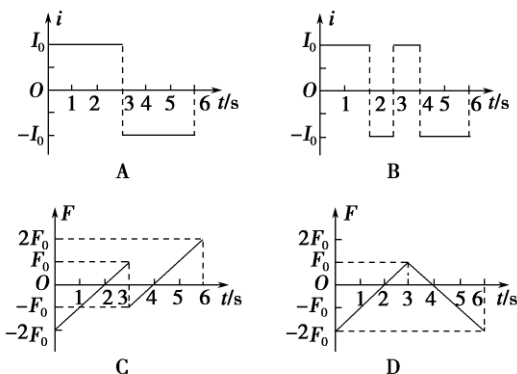


图 6



解析 0~2 s 时间内, 负方向的磁场在减弱, 产生正方向的恒定电流, cd 边受安培力向右且减小. 2 s~3 s 时间内, 电流仍是正方向, 且大小不变, 此过程 cd 边受安培力向左且增大. 3 s~6 s 时间内, 电流沿负方向, 大小不变, cd 边受安培力先向右后变为向左, 故选 A、C.

答案 AC

题型三 图象的应用

问题类型	由电磁感应图象得出的物理量和规律分析求解动力学、电路等问题
解题关键	从图象上读取有关信息是求解本题的关键, 图象是数理综合的一个重要的窗口, 在运用图象解决物理问题时, 第一个关键是破译, 即解读图象中的关键信息(尤其是过程信息), 另一个关键是转换, 即有效地实现物理信息和数学信息的相互转换.

【典例 4】水平面上两根足够长的金属导轨平行固定放置, 间距为 L , 一端通过导线与阻值为 R 的电阻连接; 导轨上放一质量为 m 的金属杆(见图 7 甲), 金属杆与导轨的电阻忽略不计; 磁场竖直向下. 用与导轨平行的恒定拉力 F 作用在金属杆上, 杆最终将做匀速运动. 当改变拉力的大小时, 相对应的匀速运动速度 v 也会变化, v 与 F 的关系如图乙. (取重力加速度 $g=10 \text{ m/s}^2$)

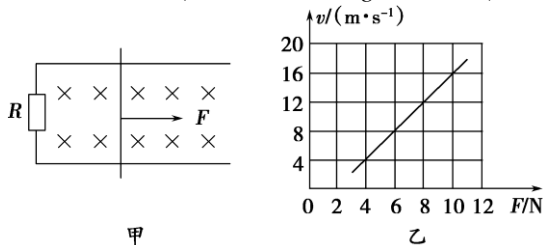


图 7

- (1) 金属杆在匀速运动之前做什么运动?
- (2) 若 $m=0.5 \text{ kg}$, $L=0.5 \text{ m}$, $R=0.5 \Omega$, 磁感应强度 B 为多大?
- (3) 由 $v-F$ 图线的截距可求得什么物理量? 其值为多少?

解析 (1) 因受外力(不变)和安培力(与 F 反向, 且逐渐增大)的作用, 做变速运动(或变加速运动、加速度减小的加速运动、加速运动).

(2) 感应电动势 $E = Blv$ ，感应电流 $I = \frac{E}{R}$ ，金属杆受到安培力的作用 $F_{安} = BIL = \frac{B^2 L^2 v_m}{R}$

由图线可知金属杆受拉力、安培力和摩擦阻力作用，匀速时合力为零，则 $F = \frac{B^2 L^2 v}{R} + F_f$ ，得 $v = \frac{R}{B^2 L^2}$

($F - F_f$)

由图线可以得到直线的斜率 $k = 2$ ，所以 $B = \sqrt{\frac{R}{kL^2}} = 1 \text{ T}$.

(3) 由直线的截距可以求得金属杆受到的摩擦阻力 $F_f = 2 \text{ N}$

若金属杆受到的阻力仅为动摩擦力，由截距可求得动摩擦因数 $\mu = 0.4$.

答案 (1) 变加速运动 (2) 1 T (3) 见解析

反思总结 (1) 定性分析物理图象

① 要明确图象坐标轴的意义；② 借助有关的物理概念、公式、定理和定律做出分析判断。

(2) 定量计算

① 弄清图象所揭示的物理规律或物理量间的函数关系；② 挖掘图象中的隐含条件，明确有关图线所包围的面积、图线的斜率(或其绝对值)、截距所表示的物理意义。

即学即练 4 如图 8 甲所示，垂直纸面向里的有界匀强磁场的磁感应强度 $B = 1.0 \text{ T}$ ，质量 $m = 0.04 \text{ kg}$ 、高 $h = 0.05 \text{ m}$ 、总电阻 $R = 5 \ \Omega$ 、 $n = 100$ 匝的矩形线圈竖直固定在质量 $M = 0.08 \text{ kg}$ 的小车上，小车与线圈的水平长度 l 相等。线圈和小车一起沿光滑水平面运动，并以初速度 $v_1 = 10 \text{ m/s}$ 进入磁场，线圈平面和磁场方向始终垂直。若小车运动的速度 v 随位移 x 变化的 $v-x$ 图象如图乙所示，则根据以上信息可知 ()。

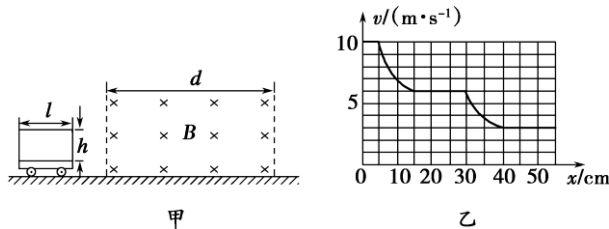


图 8

- A. 小车的水平长度 $l = 15 \text{ cm}$
- B. 磁场的宽度 $d = 35 \text{ cm}$
- C. 小车的位移 $x = 10 \text{ cm}$ 时线圈中的电流 $I = 7 \text{ A}$
- D. 线圈通过磁场的过程中线圈产生的热量 $Q = 1.92 \text{ J}$

解析 从 $x = 5 \text{ cm}$ 开始，线圈进入磁场，线圈中有感应电流，在安培力作用下小车做减速运动，速度 v 随位移 x 的增大而减小；当 $x = 15 \text{ cm}$ 时，线圈完全进入磁场，小车做匀速运动。小车的水平长度 $l = 10 \text{ cm}$ ，A 项错；当 $x = 30 \text{ cm}$ 时，线圈开始离开磁场，则 $d = 30 \text{ cm} - 5 \text{ cm} = 25 \text{ cm}$ ，B 项错；当 $x = 10 \text{ cm}$ 时，由图象知，线圈速度 $v_2 = 7 \text{ m/s}$ ，感应电流 $I = \frac{E}{R} = \frac{nBhv_2}{R} = 7 \text{ A}$ ，C 项正确；线圈左边离开磁场时，小车的速度为 $v_3 = 3 \text{ m/s}$ ，线圈上产生的热量 $Q = \frac{1}{2}(M + m)(v_1^2 - v_3^2) = 5.46 \text{ J}$ ，D 项错。

答案 C

即学即练 5 如图 9 甲所示，空间存在一宽度为 $2L$ 的有界匀强磁场，磁场方向垂直纸面向里。在光滑绝缘水平面内有一边长为 L 的正方形金属线框，其质量 $m = 1 \text{ kg}$ 、电阻 $R = 4 \ \Omega$ ，在水平向左的外力 F 作用下，以初速度 $v_0 = 4 \text{ m/s}$ 匀减速进入磁场，线框平面与磁场垂直，外力 F 大小随时间 t 变化的图线如图乙所示。以线框右边刚进入磁场时开始计时。

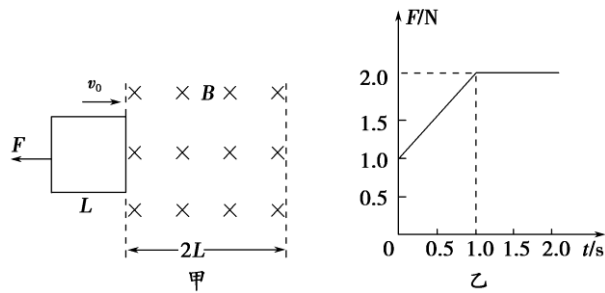


图 9

- (1)求匀强磁场的磁感应强度 B ;
 (2)求线框进入磁场的过程中, 通过线框的电荷量 q ;
 (3)判断线框能否从右侧离开磁场? 说明理由.

解析 (1)由 $F-t$ 图象可知 线框加速度 $a = \frac{F_2}{m} = 2 \text{ m/s}^2$, 线框的边长 $L = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2 = \left(4 \times 1 - \frac{1}{2} \times 2 \times 1^2\right)$

$m = 3 \text{ m}$, $t = 0$ 时刻线框中的感应电流 $I = \frac{BLv_0}{R}$,

线框所受的安培力 $F_{安} = BIL$,

由牛顿第二定律 $F_1 + F_{安} = ma$,

又 $F_1 = 1 \text{ N}$, 联立得 $B = \frac{1}{3} \text{ T} = 0.33 \text{ T}$.

(2)线框进入磁场的过程中, 平均感应电动势 $\overline{E} = \frac{BL^2}{t}$

平均电流 $\overline{I} = \frac{\overline{E}}{R}$, 通过线框的电荷量 $q = \overline{I} t$,

联立得 $q = 0.75 \text{ C}$.

(3)设匀减速运动速度减为零的过程中线框通过的位移为 x , 由运动学公式得 $0 - v_0^2 = -2ax$,

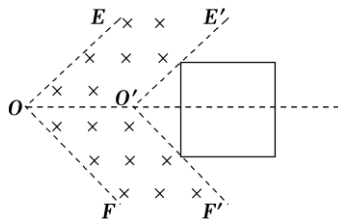
代入数值得 $x = 4 \text{ m} < 2L$,

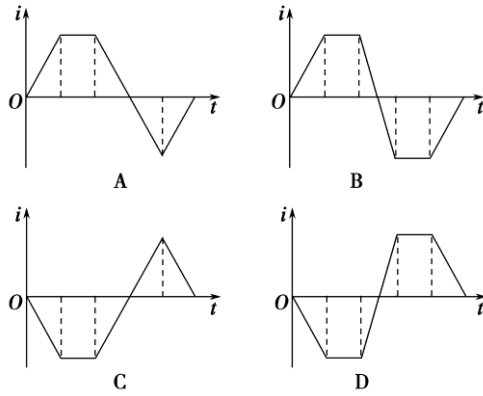
所以线框不能从右侧离开磁场.

答案 (1)0.33 T (2)0.75 C (3)不能; 理由见解析

附: 对应高考题组(PPT 课件文本, 见教师用书)

1. (2011 海南单科, 6)如图, EOF 和 $E' O' F'$ 为空间一匀强磁场的边界, 其中 $EO \parallel E' O'$, $FO \parallel F' O'$, 且 $EO \perp OF$; OO' 为 $\angle EOF$ 的角平分线, OO' 间的距离为 l ; 磁场方向垂直于纸面向里. 一边长为 l 的正方形导线框沿 $O' O$ 方向匀速通过磁场, $t=0$ 时刻恰好位于图示位置. 规定导线框中感应电流沿逆时针方向时为正, 则感应电流 i 与时间 t 的关系图线可能正确的是().



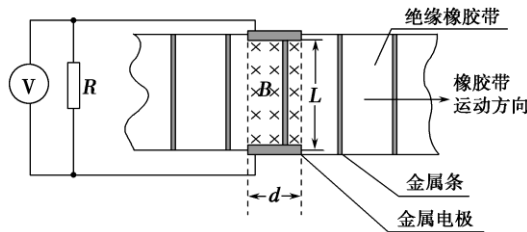


解析 本题中四个选项都是 $i-t$ 关系图线，故可用排除法。因在第一个阶段内通过导线框的磁通量向里增大，由楞次定律可判定此过程中电流沿逆时针方向，故 C、D 错误。由于穿过整个磁场区域的磁通量变化量 $\Delta\Phi=0$ ，由 $q=\frac{\Delta\Phi}{R}$ 可知整个过程中通过导线框的总电荷量也应为零，而在 $i-t$ 图象中图线与时间轴所围总面积表示通过的总电荷量，为零，即时间轴的上下图形面积的绝对值应相等。故 A 错误，B 正确。

答案 B

2. (2011 重庆理综, 23) 有人设计了一种可测速的跑步机，测速原理如图所示。该机底面固定有间距为 L 、长度为 d 的平行金属电极。电极间充满磁感应强度为 B 、方向垂直纸面向里的匀强磁场，且接有电压表和电阻 R 。绝缘橡胶带上镀有间距为 d 的平行细金属条，磁场中始终仅有一根金属条，且与电极接触良好，不计金属电阻。若橡胶带匀速运动时，电压表读数为 U ，求：

- (1) 橡胶带匀速运动的速率；
- (2) 电阻 R 消耗的电功率；
- (3) 一根金属条每次经过磁场区域克服安培力做的功。



解析 (1) 设该过程产生的感应电动势为 E ，橡胶带运动速率为 v 。由 $E=BLv$ ， $E=U$ ，得： $v=\frac{U}{BL}$ 。

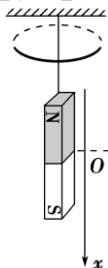
(2) 设电阻 R 消耗的电功率为 P ，则 $P=\frac{U^2}{R}$ 。

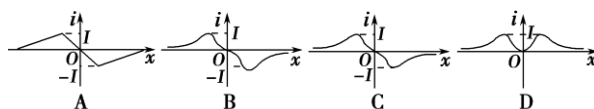
(3) 设感应电流大小为 I ，安培力为 F ，克服安培力做的功为 W 。

由： $I=\frac{U}{R}$ ， $F=BIL$ ， $W=Fd$ ，得： $W=\frac{BLUd}{R}$ 。

答案 (1) $\frac{U}{BL}$ (2) $\frac{U^2}{R}$ (3) $\frac{BLUd}{R}$

3. (2012 福建卷, 18) 如图所示，一圆形闭合铜环由高处从静止开始下落，穿过一根竖直悬挂的条形磁铁，铜环的中心轴线与条形磁铁的中轴线始终保持重合。若取磁铁中心 O 为坐标原点，建立竖直向下为正方向的 x 轴，则下图中最能正确反映环中感应电流 i 随环心位置坐标 x 变化的关系图象是()。

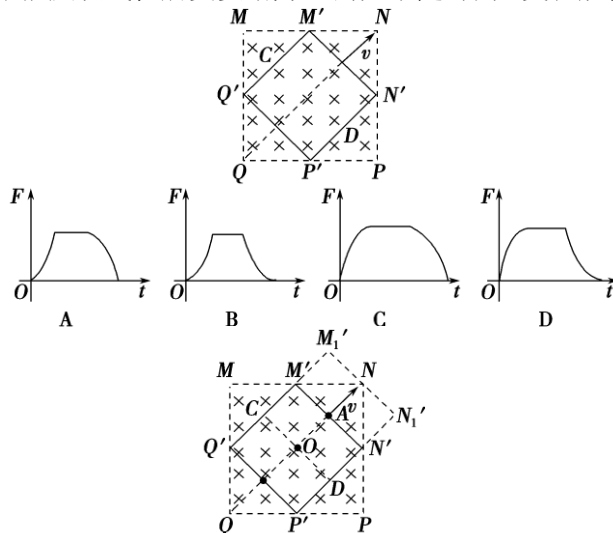




解析 闭合铜环在下落过程中穿过铜环的磁场方向始终向上，磁通量先增加后减少，由楞次定律可判断感应电流的方向要发生变化，D项错误；因穿过闭合铜环的磁通量的变化率不是均匀变化，所以感应电流随 x 的变化关系不可能是线性关系，A项错误；铜环由静止开始下落，速度较小，所以穿过铜环的磁通量的变化率较小，产生的感应电流的最大值较小，过 O 点后，铜环的速度增大，磁通量的变化率较大，所以感应电流的反向最大值大于正向最大值，故B项正确，C项错误。

答案 B

4. (2012 重庆理综, 21) 如图所示，正方形区域 $MNPQ$ 内有垂直纸面向里的匀强磁场。在外力作用下，一正方形闭合刚性导线框沿 QN 方向匀速运动， $t=0$ 时刻，其四个顶点 M' 、 N' 、 P' 、 Q' 恰好在磁场边界中点。下列图象中能反映线框所受安培力 F 的大小随时间 t 变化规律的是()。



解析 如图所示，当 $M' N'$ 从初始位置运动到 $M_1' N_1'$ 位置的过程中，切割磁感线的有效长度随时间变化关系为： $L_1 = L - (L - 2vt) = 2vt$ ， L 为导线框的边长。产生的电流 $I_1 = \frac{BL_1 v}{R}$ ，导线框所受安培力 $F_1 =$

$$BI_1 L_1 = \frac{B^2 (2vt)^2 v}{R} = \frac{4B^2 v^3 t^2}{R}$$

所以 F_1 为 t 的二次函数图象，是开口向上的抛物线。当 $Q' P'$ 由 CD 位置运动到 $M' N'$ 位置的过程中，切割磁感线的有效长度不变，电流恒定。

当 $Q' P'$ 由 $M' N'$ 位置运动到 $M_1' N_1'$ 位置的过程中，切割磁感线的有效长度 $L_2 = L - 2vt$ ，产生的电流 $I_2 = \frac{BL_2 v}{R}$ ，导线框所受的安培力 $F_2 = \frac{B^2 (L - 2vt)^2 v}{R}$ ，也是一条开口向上的抛物线，所以应选 B。

答案 B

专题强化练八

A 对点训练——练熟基础知识

1. (单选) 如图 10 所示，竖直平面内有一金属环，半径为 a ，总电阻为 R (指拉直时两端的电阻)，磁感应强度为 B 的匀强磁场垂直穿过环平面，在环的最高点 A 用铰链连接长度为 $2a$ 、电阻为 $\frac{R}{2}$ 的导体棒 AB ， AB 由水平位置紧贴环面摆下，当摆到竖直位置时， B 点的线速度为 v ，则这时 AB 两端的电压大小为()。

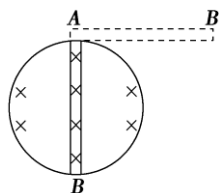


图 10

- A. $\frac{Bav}{3}$ B. $\frac{Bav}{6}$ C. $\frac{2Bav}{3}$ D. Bav

解析 摆到竖直位置时, AB 切割磁感线的瞬时感应电动势 $E = B \cdot 2a \left(\frac{1}{2}v\right) = Bav$. 由闭合电路欧姆定律得, $U_{AB} = \frac{E}{\frac{R}{2} + \frac{R}{4}} = \frac{1}{3}Bav$, 故 A 正确.

答案 A

2. (2013 武汉模拟)(多选)如图 11 所示是圆盘发电机的示意图; 铜盘安装在水平的铜轴上, 它的边缘正好在两磁极之间, 两块铜片 C 、 D 分别与转动轴和铜盘的边缘接触. 若铜盘半径为 L , 匀强磁场的磁感应强度为 B , 回路的总电阻为 R , 从左往右看, 铜盘以角速度 ω 沿顺时针方向匀速转动. 则().

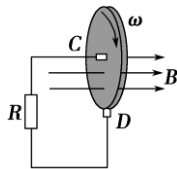


图 11

- A. 由于穿过铜盘的磁通量不变, 故回路中无感应电流
 B. 回路中感应电流大小不变, 为 $\frac{BL^2\omega}{2R}$
 C. 回路中感应电流方向不变, 为 $C \rightarrow D \rightarrow R \rightarrow C$
 D. 回路中有周期性变化的感应电流

解析 把铜盘看作闭合回路的一部分, 在穿过铜盘以角速度 ω 沿顺时针方向匀速转动时, 铜盘切割磁感线产生感应电动势, 回路中有感应电流, 选项 A 错误. 铜盘切割磁感线产生感应电动势为 $E = \frac{1}{2}BL^2\omega$, 根据闭合电路欧姆定律, 回路中感应电流 $I = \frac{E}{R} = \frac{BL^2\omega}{2R}$, 由右手定则可判断出感应电流方向为 $C \rightarrow D \rightarrow R \rightarrow C$, 选项 B、C 正确, D 错误.

答案 BC

3. (2013 焦作模拟)(多选)如图 12 所示, 两根足够长的光滑金属导轨水平平行放置, 间距为 $L=1\text{ m}$, cd 间、 de 间、 cf 间分别接着阻值为 $R=10\ \Omega$ 的电阻. 一阻值为 $R=10\ \Omega$ 的导体棒 ab 以速度 $v=4\text{ m/s}$ 匀速向左运动, 导体棒与导轨接触良好; 导轨所在平面存在磁感应强度大小为 $B=0.5\text{ T}$, 方向竖直向下的匀强磁场. 下列说法中正确的是().

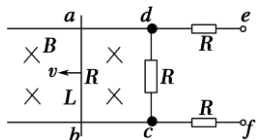


图 12

- A. 导体棒 ab 中电流的流向为由 b 到 a
 B. cd 两端的电压为 1 V
 C. de 两端的电压为 1 V
 D. fe 两端的电压为 1 V

解析 导体棒 ab 以速度 $v=4\text{ m/s}$ 匀速向左运动, 由右手定则可判断出导体棒 ab 中电流的流向为由 a 到 b , 选项 A 错误; 由法拉第电磁感应定律, 产生的感应电动势 $E = BLv = 2\text{ V}$, 感应电流 $I = E/2R = 0.1\text{ A}$, cd 两端的电压为 $U_1 = IR = 1\text{ V}$, 选项 B 正确; 由于 de 间没有电流, cf 间没有电流, de 两端的电压

为零， fe 两端的电压为 1 V ，选项 C 错误，D 正确。

答案 BD

4. (单选)在竖直向上的匀强磁场中，水平放置一个不变形的单匝金属圆线圈，规定线圈中感应电流的正方向如图 13 甲所示，当磁场的磁感应强度 B 随时间 t 如图变化时，在图中正确表示线圈感应电动势 E 变化的是()。

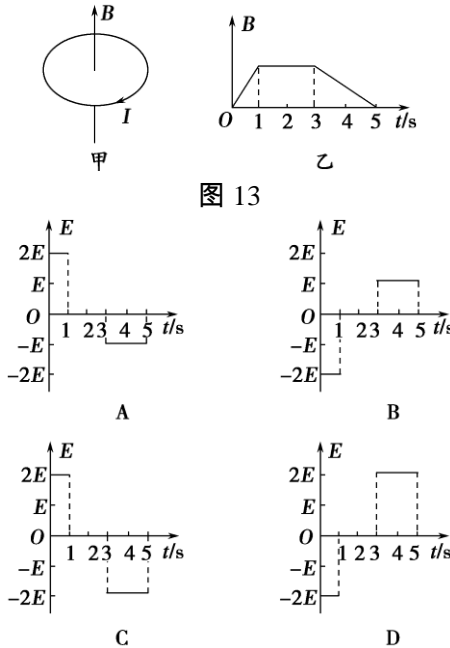


图 13

解析 在第 1 s 内，由楞次定律可判定电流为正，其产生的感应电动势 $E_1 = \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta B_1}{\Delta t_1}S$ ，在第 2 s 和第 3 s 内，磁场 B 不变化，线圈中无感应电流。在第 4 s 和第 5 s 内， B 减小，由楞次定律可判定，其电流为负，产生的感应电动势 $E_2 = \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t_2} = \frac{\Delta B_2}{\Delta t_2}S$ ，由于 $\Delta B_1 = \Delta B_2$ ， $\Delta t_2 = 2\Delta t_1$ ，故 $E_1 = 2E_2$ ，由此可知，A 选项正确。

答案 A

5. (单选)如图 14 所示，一导体圆环位于纸面内， O 为圆心。环内两个圆心角为 90° 的扇形区域内分别有匀强磁场，两磁场磁感应强度的大小相等，方向相反且均与纸面垂直。导体杆 OM 可绕 O 转动， M 端通过滑动触点与圆环良好接触。在圆心和圆环间连有电阻 R 。杆 OM 以匀角速度 ω 逆时针转动， $t=0$ 时恰好在图示位置。规定从 a 到 b 流经电阻 R 的电流方向为正，圆环和导体杆的电阻忽略不计，则杆从 $t=0$ 开始转动一周的过程中，电流随 ωt 变化的图象是()。

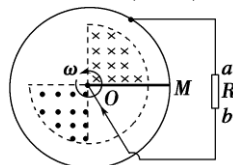
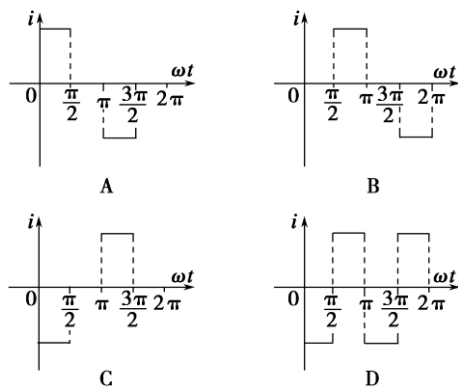


图 14



解析 导体杆 OM 在匀强磁场中垂直切割磁感线绕 O 逆时针方向转动，产生的感应电流大小为： $i = \frac{E}{R} = \frac{BL^2\omega}{2R}$ 不变，转到没有磁场时， $i = 0$ ；并由右手定则可判断电流流经电阻 R 的电流方向。

答案 C

6. (单选) 矩形导线框 $abcd$ 固定在匀强磁场中，如图 15 甲所示。磁感线的方向与导线框所在平面垂直，规定磁场的正方向垂直纸面向里，磁感应强度 B 随时间 t 变化的规律如图乙所示，则()。

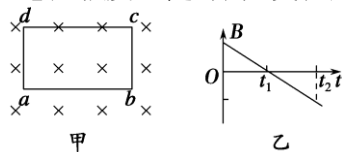


图 15

- A. 从 0 到 t_1 时间内，导线框中电流的方向为 $adcba$
- B. 从 t_1 到 t_2 时间内，导线框中电流越来越大
- C. t_1 时刻，导线框中电流为 0
- D. 从 t_1 到 t_2 时间内，导线框 bc 边受到安培力大小保持不变

解析 导线框面积 S 不变，读图象知，有两个“子过程”。 $0 \sim t_1$ 过程，磁感应强度正向减小； $t_1 \sim t_2$ 过程，磁感应强度反向增大。 $0 \sim t_1$ 时间内，正向磁通量减小，由楞次定律判定，应产生顺时针方向电流，故选 A。

$t_1 \sim t_2$ 时间，磁通量反方向均匀增大，有 $\frac{\Delta B}{\Delta t} = k$ (k 为常数)。由 $E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = S \frac{\Delta B}{\Delta t}$ ， $I = \frac{E}{R}$ ，解得 $I = \frac{Sk}{R}$ ，为定值，故不选 B。

bc 边受到安培力为 $F_{安} = BIL_{bc}$ ，因磁感应强度 B 线性增大，所以 $F_{安}$ 线性增大，故不选 D。

t_1 时刻，穿过导线框的 Φ 为 0，但其变化率 $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = k \neq 0$ ，所以感应电动势和电流均不为 0，故不选 C。

答案 A

7. (单选) 边长为 a 的闭合金属正三角形框架，左边竖直且与磁场右边界平行，完全处于垂直于框架平面向里的匀强磁场中。现把框架匀速水平向右拉出磁场，如图 16 所示，则下列图象与这一过程相符合的是()。

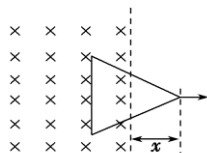
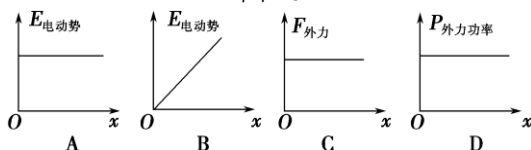


图 16



解析 该过程中，框架切割磁感线的有效长度等于框架与磁场右边界两交点的间距，根据几何关系

有 $l_{有} = \frac{2\sqrt{3}}{3}x$, 所以 $E_{电动势} = Bl_{有}v = \frac{2\sqrt{3}}{3}Bvx \propto x$, 选项 A 错误, B 正确; $F_{外力} = \frac{B^2 l_{有}^2 v}{R} = \frac{4B^2 x^2 v}{3R} \propto x^2$, 选项 C 错误; $P_{外力功率} = F_{外力}v \propto F_{外力} \propto x^2$, 选项 D 错误.

答案 B

8. (多选)一正方形金属线框位于有界匀强磁场区域内, 线框平面与磁场垂直, 线框的右边紧贴着磁场边界, 如图 17 甲所示. $t=0$ 时刻对线框施加一水平向右的外力 F , 让线框从静止开始做匀加速直线运动穿过磁场, 外力 F 随时间 t 变化的图象如图乙所示. 已知线框质量 $m=1\text{ kg}$ 、电阻 $R=1\ \Omega$, 以下说法正确的是().

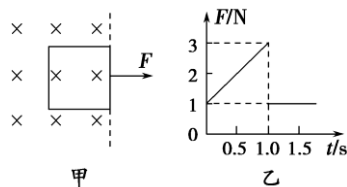


图 17

- A. 线框做匀加速直线运动的加速度为 1 m/s^2
- B. 匀强磁场的磁感应强度为 $2\sqrt{2}\text{ T}$
- C. 线框穿过磁场的过程中, 通过线框的电荷量为 $\frac{\sqrt{2}}{2}\text{ C}$
- D. 线框边长为 1 m

解析 开始时, $a = \frac{F}{m} = \frac{1}{1}\text{ m/s}^2 = 1\text{ m/s}^2$, 由图可知 $t=1.0\text{ s}$ 时安培力消失, 线框刚好离开磁场区域, 则线框边长 $l = \frac{1}{2}at^2 = 0.5\text{ m}$; 由 $t=1.0\text{ s}$ 时线框速度 $v = at = 1\text{ m/s}$, $F = 3\text{ N}$, 根据牛顿第二定律有 $F - \frac{B^2 l^2 v}{R} = ma$, 得 $B = 2\sqrt{2}\text{ T}$; 线框穿过磁场的过程中, 通过线框的电荷量 $q = \bar{I}t = \frac{\frac{1}{2}Blv}{R}t = \frac{\sqrt{2}}{2}\text{ C}$, 故 D 错, A、B、C 正确.

答案 ABC

B 深化训练——提高能力技巧

9. (2013 福建卷, 18)(单选)如图 18, 矩形闭合导体线框在匀强磁场上方, 由不同高度静止释放, 用 t_1 、 t_2 分别表示线框 ab 边和 cd 边刚进入磁场的时刻. 线框下落过程形状不变, ab 边始终保持与磁场水平边界线 OO' 平行, 线框平面与磁场方向垂直. 设 OO' 下方磁场区域足够大, 不计空气的影响, 则下列哪一个图象不可能反映线框下落过程中速度 v 随时间 t 变化的规律().

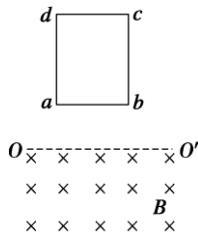
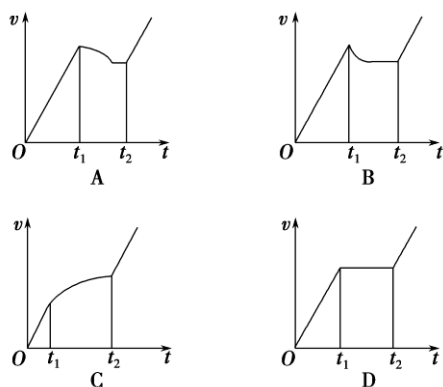


图 18



解析 线框在 $0 \sim t_1$ 这段时间内做自由落体运动, $v-t$ 图象为过原点的倾斜直线, t_2 之后线框完全进入磁场区域中, 无感应电流, 线框不受安培力, 只受重力, 线框做匀加速直线运动, $v-t$ 图象为倾斜直线. $t_1 \sim t_2$ 这段时间线框受到安培力作用, 线框的运动类型只有三种, 即可能为匀速直线运动、也可能为加速度逐渐减小的加速直线运动, 还可能为加速度逐渐减小的减速直线运动, 而 A 选项中, 线框做加速度逐渐增大的减速直线运动是不可能的, 故不可能的 $v-t$ 图象为 A 选项中的图象.

答案 A

10. (2013 四川卷, 7)(多选)如图 19 所示, 边长为 L 、不可形变的正方形导线框内有半径为 r 的圆形磁场区域, 其磁感应强度 B 随时间 t 的变化关系为 $B=kt$ (常量 $k>0$). 回路中滑动变阻器 R 的最大阻值为 R_0 , 滑动片 P 位于滑动变阻器中央, 定值电阻 $R_1=R_0$ 、 $R_2=\frac{R_0}{2}$. 闭合开关 S , 电压表的示数为 U , 不考虑虚线 MN 右侧导体的感应电动势, 则().

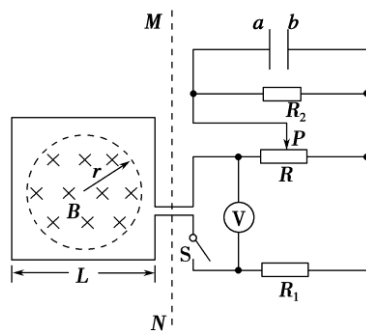


图 19

- A. R_2 两端的电压为 $\frac{U}{7}$
- B. 电容器的 a 极板带正电
- C. 滑动变阻器 R 的热功率为电阻 R_2 的 5 倍
- D. 正方形导线框中的感应电动势为 kL^2

解析 由楞次定律可知, 正方形导线框中的感应电流方向为逆时针方向, 所以电容器 b 极板带正电, 选项 B 错误. 根据法拉第电磁感应定律, 正方形导线框中的感应电动势 $E=k\pi r^2$, 选项 D 错误. R_2 与 $\frac{R_0}{2}$

的并联阻值 $R_{并} = \frac{\frac{R_0}{2} \times \frac{R_0}{2}}{\frac{R_0}{2} + \frac{R_0}{2}} = \frac{R_0}{4}$, 根据串联分压的特点可知: $UR_2 = \frac{4}{7}U \times \frac{1}{4} = \frac{1}{7}U$, 选项 A 正确. 由 $P = \frac{U^2}{R}$ 得:

$$PR_2 = \frac{UR_2^2}{R_2} = \frac{2U^2}{49R_0}$$

$$P_R = \frac{\left(\frac{2}{7}U\right)^2}{\frac{R_0}{2}} + \frac{\left(\frac{1}{7}U\right)^2}{\frac{R_0}{2}} = \frac{10U^2}{49R_0}, \text{ 所以 } P_R = 5PR_2 \text{ 选项 C 正确.}$$

答案 AC

11. 如图 20 所示, 边长 $L=0.20\text{ m}$ 的正方形导线框 $ABCD$ 由粗细均匀的同种材料制成, 正方形导线框每边的电阻 $R_0=1.0\ \Omega$, 金属棒 MN 与正方形导线框的对角线长度恰好相等, 金属棒 MN 的电阻 $r=0.20\ \Omega$. 导线框放置在匀强磁场中, 磁场的磁感应强度 $B=0.50\text{ T}$, 方向垂直导线框所在平面向里. 金属棒 MN 与导线框接触良好, 且与导线框对角线 BD 垂直放置在导线框上, 金属棒的中点始终在 BD 连线上. 若金属棒以 $v=4.0\text{ m/s}$ 的速度向右匀速运动, 当金属棒运动至 AC 的位置时, 求: (计算结果保留两位有效数字)

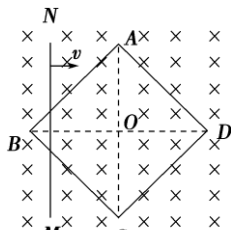


图 20

- (1) 金属棒产生的电动势大小;
 (2) 金属棒 MN 上通过的电流大小和方向;
 (3) 导线框消耗的电功率.

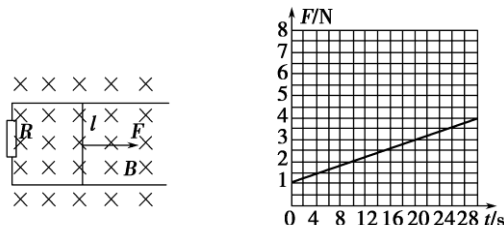
解析 (1) 金属棒产生的电动势大小为: $E = \sqrt{2}BLv = 0.50 \times 0.20 \times 4.0 \times \sqrt{2}\text{ V} = 0.57\text{ V}$.

(2) 金属棒运动到 AC 位置时, 导线框左、右两侧电阻并联, 其并联电阻大小为 $R_{\text{并}} = 1.0\ \Omega$, 由闭合电路欧姆定律有 $I = \frac{E}{R_{\text{并}} + r} = 0.48\text{ A}$, 由右手定则有, 电流方向从 M 到 N .

(3) 导线框消耗的电功率为 $P_{\text{框}} = I^2 R_{\text{并}} = 0.23\text{ W}$

答案 (1) 0.57 V (2) 0.48 V 电流方向从 M 到 N (3) 0.23 W

12. 如图 21 甲所示. 一对平行光滑轨道放置在水平面上, 两轨道间距 $l=0.20\text{ m}$, 电阻 $R=1.0\ \Omega$; 有一导体杆静止地放在轨道上, 与两轨道垂直, 杆及轨道的电阻皆可忽略不计, 整个装置处于磁感应强度 $B=0.5\text{ T}$ 的匀强磁场中, 磁场方向垂直轨道面向下. 现在一外力 F 沿轨道方向拉杆, 使之做匀加速运动, 测得力 F 与时间 t 的关系如图乙所示. 求杆的质量 m 和加速度 a .



甲

乙

图 21

解析 导体杆在轨道上做初速为零的匀加速直线运动, 用 v 表示瞬时速度, t 表示时间, 则杆切割磁感线产生的感应电动势为 $E = BLv = Blat$ ①

闭合回路中的感应电流为 $I = \frac{E}{R}$ ②

由安培力公式和牛顿第二定律得 $F - ILB = ma$ ③

将①②式代入③式整理得 $F = ma + \frac{B^2 L^2 at}{R}$ ④

由乙图线上取两点, $t_1 = 0, F_1 = 1\text{ N}$; $t_2 = 29\text{ s}, F_2 = 4\text{ N}$ 代入④式, 联立方程解得 $a = 10\text{ m/s}^2, m = 0.1\text{ kg}$.

答案 0.1 kg 10 m/s^2

专题九 电磁感应中的动力学和能量问题

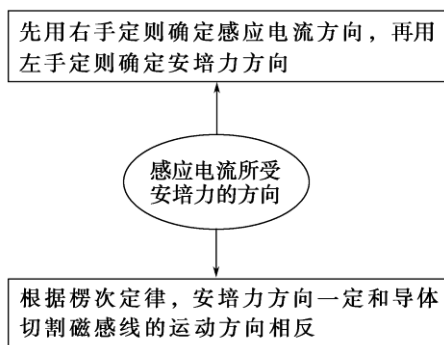
一、电磁感应中的动力学问题

1. 所用知识及规律

(1) 安培力的大小

由感应电动势 $E=BLv$, 感应电流 $I=\frac{E}{R}$ 和安培力公式 $F=BIL$ 得 $F=\frac{B^2L^2v}{R}$.

(2)安培力的方向判断



(3)牛顿第二定律及功能关系

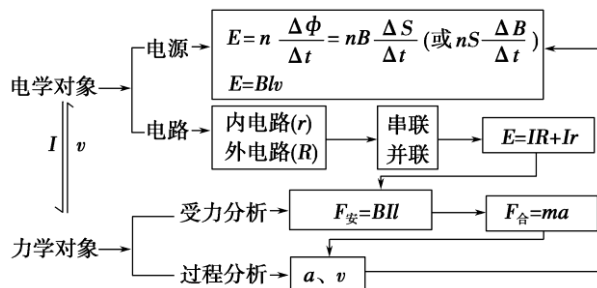
2. 导体的两种运动状态

(1)导体的平衡状态——静止状态或匀速直线运动状态.

(2)导体的非平衡状态——加速度不为零.

3. 两大研究对象及其关系

电磁感应中导体棒既可看作电学对象(因为它相当于电源), 又可看作力学对象(因为感应电流产生安培力), 而感应电流 I 和导体棒的速度 v 则是联系这两大对象的纽带:



4. 电磁感应中的动力学问题分析思路

(1)电路分析:

导体棒相当于电源, 感应电动势相当于电源的电动势, 导体棒的电阻相当于电源的内阻, 感应电流

$$I = \frac{Blv}{R+r}$$

(2)受力分析:

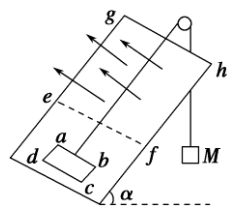
导体棒受到安培力及其他力, 安培力 $F_{安}=BIL$ 或 $\frac{B^2l^2v}{R_{总}}$, 根据牛顿第二定律列动力学方程: $F_{合}=ma$.

(3)过程分析:

由于安培力是变力, 导体棒做变加速或变减速运动, 当加速度为零时, 达到稳定状态, 最后做匀速直线运动, 根据共点力平衡条件列平衡方程: $F_{合}=0$.

【典例 1】

如图 1 所示, 光滑斜面的倾角 $\alpha=30^\circ$; 在斜面上放置一矩形线框 $abcd$, ab 边的边长 $l_1=1\text{ m}$, bc 边的边长 $l_2=0.6\text{ m}$, 线框的质量 $m=1\text{ kg}$, 电阻 $R=0.1\ \Omega$, 线框通过细线与重物相连, 重物质量 $M=2\text{ kg}$, 斜面上 ef ($ef\parallel gh$) 的右方有垂直斜面向上的匀强磁场, 磁感应强度 $B=0.5\text{ T}$, 如果线框从静止开始运动,

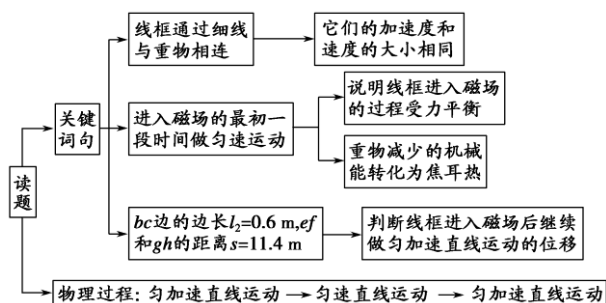


进入磁场的最初一段时间做匀速运动, ef 和 gh 的距离 $s=11.4\text{ m}$, (取 $g=10\text{ m/s}^2$), 求:

图 1

- (1)线框进入磁场前重物的加速度;
- (2)线框进入磁场时匀速运动的速度 v ;
- (3) ab 边由静止开始到运动到 gh 处所用的时间 t ;

(4) ab 边运动到 gh 处的速度大小及在线框由静止开始运动到 gh 处的整个过程中产生的焦耳热。
审题指导



解析 (1) 线框进入磁场前, 仅受到细线的拉力 F , 斜面的支持力和线框的重力, 重物受到自身的重力和细线的拉力 F' . 对线框由牛顿第二定律得 $F - mg\sin\alpha = ma$

对重物由牛顿第二定律得 $Mg - F' = Ma$

又 $F = F'$

联立解得线框进入磁场前重物的加速度:

$$a = \frac{Mg - mg\sin\alpha}{M + m} = 5 \text{ m/s}^2.$$

(2) 因为线框进入磁场的最初一段时间做匀速运动, 则重物受力平衡: $Mg = F_1$

线框 $abcd$ 受力平衡: $F_1 = mg\sin\alpha + F_A$

ab 边进入磁场切割磁感线, 产生的感应电动势 $E = Bl_1v$

回路中的感应电流为 $I = \frac{E}{R} = \frac{Bl_1v}{R}$, ab 边受到安培力为 $F_A = BIL_1$

联立解得 $Mg = mg\sin\alpha + \frac{B^2l^2v}{R}$

代入数据解得 $v = 6 \text{ m/s}$.

(3) 线框 $abcd$ 进入磁场前, 做匀加速直线运动; 进磁场的过程中, 做匀速直线运动; 进入磁场后到运动至 gh 处, 仍做匀加速直线运动.

进磁场前线框的加速度大小与重物的加速度大小相同, 为 $a = 5 \text{ m/s}^2$, 该阶段的运动时间为 $t_1 = \frac{v}{a} = 1.2 \text{ s}$

进入磁场过程中匀速运动的时间 $t_2 = \frac{l_2}{v} = 0.1 \text{ s}$

线框完全进入磁场后的受力情况同进入磁场前的受力情况相同, 所以该阶段的加速度仍为 $a = 5 \text{ m/s}^2$

由匀变速直线运动的规律得 $s - l_2 = vt_3 + \frac{1}{2}at_3^2$

解得 $t_3 = 1.2 \text{ s}$

因此 ab 边由静止开始运动到 gh 处所用的时间为 $t = t_1 + t_2 + t_3 = 2.5 \text{ s}$.

(4) 线框 ab 边运动到 gh 处的速度

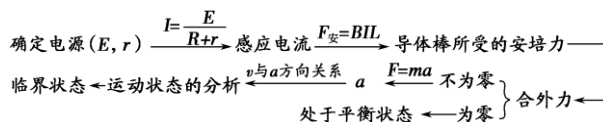
$$v' = v + at_3 = 6 \text{ m/s} + 5 \times 1.2 \text{ m/s} = 12 \text{ m/s}$$

整个运动过程产生的焦耳热 $Q = F_A l_2 = (Mg - mg\sin\alpha)l_2 = 9 \text{ J}$.

答案 见解析

反思总结 分析电磁感应中动力学问题的基本思路

电磁感应中产生的感应电流使导体棒在磁场中受到安培力的作用, 从而影响导体棒的受力情况和运动情况. 分析如下:



即学即练 1 如图 2 所示, 两光滑平行导轨水平放置在匀强磁场中, 磁场垂直导轨所在平面, 金属棒 ab 可沿导轨自由滑动, 导轨一端连接一个定值电阻 R , 金属棒和导轨电阻不计. 现将金属棒沿导轨由静止向右拉, 若保持拉力 F 恒定, 经时间 t_1 后速度为 v , 加速度为 a_1 , 最终以速度 $2v$ 做匀速运动; 若保持拉力的功率 P 恒定, 棒由静止经时间 t_2 后速度为 v , 加速度为 a_2 , 最终也以速度 $2v$ 做匀速运动, 则().

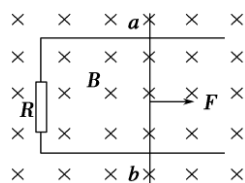


图 2

- A. $t_2 = t_1$ B. $t_1 > t_2$ C. $a_2 = 2a_1$ D. $a_2 = 5a_1$

解析 若保持拉力 F 恒定, 在 t_1 时刻, 棒 ab 切割磁感线产生的感应电动势为 $E = BLv$, 其所受安培力 $F_1 = BIL = \frac{B^2 L^2 v}{R}$, 由牛顿第二定律, 有 $F - \frac{B^2 L^2 v}{R} = ma_1$; 棒最终以 $2v$ 做匀速运动, 则 $F = \frac{2B^2 L^2 v}{R}$, 故 $a_1 = \frac{B^2 L^2 v}{mR}$. 若保持拉力的功率 P 恒定, 在 t_2 时刻, 有 $\frac{P}{v} - \frac{B^2 L^2 v}{R} = ma_2$; 棒最终也以 $2v$ 做匀速运动, 则 $\frac{P}{2v} = \frac{2B^2 L^2 v}{R}$, 故 $a_2 = \frac{3B^2 L^2 v}{mR} = 3a_1$, 选项 C、D 错误. 由以上分析可知, 在瞬时速度相同的情况下, 恒力 F 作用时棒的加速度比拉力的功率 P 恒定时的加速度小, 故 $t_1 > t_2$, 选项 B 正确, A 错误.

答案 B

即学即练 2 如图 3 甲所示, MN 、 PQ 两条平行的光滑金属轨道与水平面成 $\theta = 30^\circ$ 角固定, M 、 P 之间接电阻箱 R , 导轨所在空间存在匀强磁场, 磁场方向垂直于轨道平面向上, 磁感应强度为 $B = 0.5 \text{ T}$. 质量为 m 的金属杆 ab 水平放置在轨道上, 其接入电路的电阻值为 r . 现从静止释放杆 ab , 测得其在下滑过程中的最大速度为 v_m . 改变电阻箱的阻值 R , 得到 v_m 与 R 的关系如图乙所示. 已知轨道间距为 $L = 2 \text{ m}$, 重力加速度 g 取 10 m/s^2 , 轨道足够长且电阻不计.

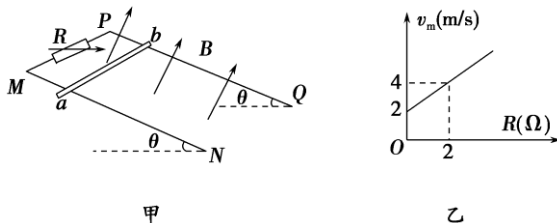


图 3

- (1) 当 $R = 0$ 时, 求杆 ab 匀速下滑过程中产生的感应电动势 E 的大小及杆中电流的方向;
- (2) 求杆 ab 的质量 m 和阻值 r ;
- (3) 当 $R = 4 \Omega$ 时, 求回路瞬时电功率每增加 1 W 的过程中合外力对杆做的功 W .

解析 (1) 由图可知, 当 $R = 0$ 时, 杆 ab 最终以 $v = 2 \text{ m/s}$ 的速度匀速运动, 杆 ab 切割磁感线产生的电动势为: $E = BLv = 2 \text{ V}$

根据楞次定律可知杆 ab 中电流方向为 $b \rightarrow a$.

(2) 设杆 ab 下滑过程中的最大速度为 v_m , 杆切割磁感线产生的感应电动势 $E = BLv_m$

由闭合电路欧姆定律: $I = \frac{E}{R + r}$

杆 ab 达到最大速度时满足 $mgsin \theta - BIL = 0$

解得: $v_m = \frac{mgsin \theta}{B^2 L^2} R + \frac{mgsin \theta}{B^2 L^2} r$

由图象可知斜率为 $k = \frac{4-2}{2} \text{ m/(s}\cdot\Omega) = 1 \text{ m/(s}\cdot\Omega)$ ，纵截距为 $v_0 = 2 \text{ m/s}$

根据图象和上式可知图象的截距为 $\frac{mg\sin\theta}{B^2L^2}r = 2 \Omega$

图象的斜率为 $\frac{mg\sin\theta}{B^2L^2} = 1 \text{ m/(s}\cdot\Omega)$

解得 $m = 0.2 \text{ kg}$ ， $r = 2 \Omega$.

(3)由法拉第电磁感应定律得 $E = BLv$

回路的瞬时电功率 $P = \frac{E^2}{R+r}$

由以上两式解得 $P = \frac{B^2L^2v^2}{R+r}$

杆 ab 的速度由 v_1 变到 v_2 时，回路瞬时电功率的变化量为 $\Delta P = \frac{B^2L^2v_2^2}{R+r} - \frac{B^2L^2v_1^2}{R+r}$

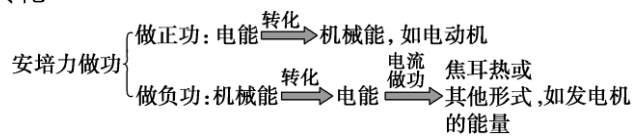
由动能定理得 $W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$

由以上两式得： $W = \frac{m(R+r)}{2B^2L^2}\Delta P$ ，解得 $W = 0.6 \text{ J}$.

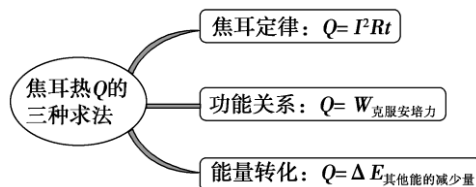
答案 (1)2 V $b \rightarrow a$ (2)0.2 kg 2 Ω (3)0.6 J

二、电磁感应中的能量问题

1. 电磁感应中的能量转化



2. 求解焦耳热 Q 的三种方法



【典例 2】 间距为 $L=2 \text{ m}$ 的足够长的金属直角导轨如图 4 甲所示放置，它们各有一边在同一水平面内，另一边垂直于水平面。质量均为 $m=0.1 \text{ kg}$ 的金属细杆 ab 、 cd 与导轨垂直放置形成闭合回路。杆与导轨之间的动摩擦因数均为 $\mu=0.5$ ，导轨的电阻不计，细杆 ab 、 cd 的电阻分别为 $R_1=0.6 \Omega$ ， $R_2=0.4 \Omega$ 。整个装置处于磁感应强度大小为 $B=0.50 \text{ T}$ 、方向竖直向上的匀强磁场中(图中未画出)。当 ab 在平行于水平导轨的拉力 F 作用下从静止开始沿导轨匀加速运动时， cd 杆也同时从静止开始沿导轨向下运动。测得拉力 F 与时间 t 的关系如图乙所示。 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。

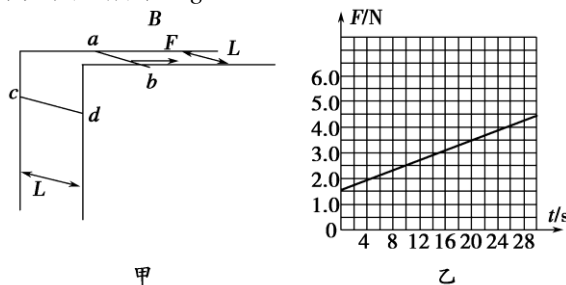


图 4

(1)求 ab 杆的加速度 a 。

(2)求当 cd 杆达到最大速度时 ab 杆的速度大小。

(3)若从开始到 cd 杆达到最大速度的过程中拉力 F 做了 5.2 J 的功，通过 cd 杆横截面的电荷量为 2 C ，求该过程中 ab 杆所产生的焦耳热。

审题指导

第一步：读题——抓关键词

① ab 杆做匀加速运动——隐含——加速度是定值。

② 读图($F-t$ 图象)——在 $t=0$ 时, $F=1.5\text{ N}$ ——隐含——此时安培力为零。

③ cd 杆达到最大速度——隐含——此时 cd 杆合力为零。

第二步：找突破口——理思路

① 对 ab 杆受力分析：由 $F-t$ 图象得 $t=0$ 时, $F=1.5\text{ N}$ ——由牛顿第二定律求加速度 a 。

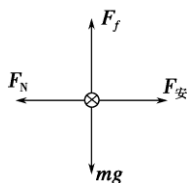
② 对 cd 杆受力分析：由平衡条件——得 cd 杆的最大速度。

③ 由运动学公式求 ab 杆全过程的位移——再由动能定理得 $W_{\text{安}}$ ——由功能关系得 $Q_{\text{总}}$ ——再由电阻的串联知识得 ab 杆上热的量 Q_{ab} 。

解析 (1) 由题图乙可知, 在 $t=0$ 时, $F=1.5\text{ N}$

对 ab 杆进行受力分析, 由牛顿第二定律得 $F - \mu mg = ma$

代入数据解得 $a = 10\text{ m/s}^2$



(2) 从 d 向 c 看, 对 cd 杆进行受力分析如图所示, 当 cd 速度最大时, 有

$$F_f = mg = \mu F_N, F_N = F_{\text{安}}, F_{\text{安}} = BIL, I = \frac{BLv}{R_1 + R_2}$$

综合以上各式, 解得 $v = 2\text{ m/s}$

(3) 整个过程中, ab 杆发生的位移 $x = \frac{v^2}{2a} = \frac{2^2}{2 \times 10}\text{ m} = 0.2\text{ m}$

对 ab 杆应用动能定理, 有 $W_F - \mu mgx - W_{\text{安}} = \frac{1}{2}mv^2$

代入数据解得 $W_{\text{安}} = 4.9\text{ J}$, 根据功能关系 $Q_{\text{总}} = W_{\text{安}}$

所以 ab 杆上产生的热量 $Q_{ab} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} Q_{\text{总}} = 2.94\text{ J}$ 。

答案 见解析

反思总结 分析“双杆模型”问题时, 要注意双杆之间的制约关系, 即“动”杆与“被动”杆之间的关系, 需要注意的是, 最终两杆的收尾状态的确定是分析该类问题的关键。

即学即练 3 (2013 天津卷, 3) 如图 5 所示, 纸面内有一矩形导体闭合线框 $abcd$, ab 边长大于 bc 边长, 置于垂直纸面向里、边界为 MN 的匀强磁场外, 线框两次匀速地完全进入磁场, 两次速度大小相同, 方向均垂直于 MN 。第一次 ab 边平行 MN 进入磁场, 线框上产生的热量为 Q_1 , 通过线框导体横截面的电荷量为 q_1 ; 第二次 bc 边平行 MN 进入磁场, 线框上产生的热量为 Q_2 , 通过线框导体横截面的电荷量为 q_2 , 则()。

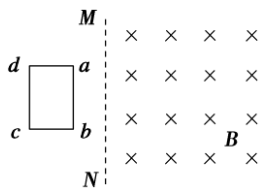


图 5

- A. $Q_1 > Q_2, q_1 = q_2$ B. $Q_1 > Q_2, q_1 > q_2$
 C. $Q_1 = Q_2, q_1 = q_2$ D. $Q_1 = Q_2, q_1 > q_2$

解析 由法拉第电磁感应定律得： $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ①

$$\bar{I} = \frac{E}{R} \text{ ②}$$

$$q = \bar{I} \Delta t \text{ ③}$$

由 ①②③得： $q = \frac{\Delta\Phi}{R}$ 所以 $q_1 = q_2$

由 $Q = |W_{安}| = BIlx$ 得

$$Q_1 = \frac{B^2 l_{ab}^2 v}{R} l_{bc}, Q_2 = \frac{B^2 l_{bc}^2 v}{R} l_{ab}$$

所以 $Q_1 > Q_2$ 选项 A 正确.

答案 A

即学即练 4 如图 6 所示，足够长的光滑平行金属导轨 MN 、 PQ 竖直放置，一匀强磁场垂直穿过导轨平面，导轨的上端 M 与 P 间连接阻值为 $R=0.40 \Omega$ 的电阻，质量为 $m=0.01 \text{ kg}$ 、电阻为 $r=0.30 \Omega$ 的金属棒 ab 紧贴在导轨上. 现使金属棒 ab 由静止开始下滑，其下滑距离与时间的关系如下表所示，导轨电阻不计，重力加速度 g 取 10 m/s^2 . 试求：

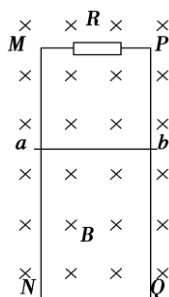


图 6

时间 $t(\text{s})$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
下滑距离 $s(\text{m})$	0	0.1	0.3	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5

- (1) 当 $t=0.7 \text{ s}$ 时，重力对金属棒 ab 做功的功率；
- (2) 金属棒 ab 在开始运动的 0.7 s 内，电阻 R 上产生的焦耳热；
- (3) 从开始运动到 $t=0.4 \text{ s}$ 的时间内，通过金属棒 ab 的电荷量.

解析 (1) 由表格中数据可知：金属棒先做加速度减小的加速运动，最后以 7 m/s 的速度匀速下落，则 $t=0.7 \text{ s}$ 时，重力对金属棒 ab 做功的功率为 $P_G = mgv = 0.7 \text{ W}$.

(2) 根据动能定理： $W_G + W_{安} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

$$W_{安} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 - mgh = -0.105 \text{ J}$$

$$Q_R = \frac{R}{R+r} |W_{安}| = 0.06 \text{ J}.$$

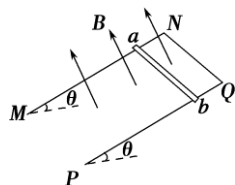
(3) 当金属棒 ab 匀速下落时， $G = F_{安}$ ，则 $mg = BIL = \frac{B^2 L^2 v}{R+r}$ ，解得 $BL = 0.1 \text{ T m}$

$$\text{则电荷量 } q = It = \frac{\Delta\Phi}{R+r} = \frac{BLs}{R+r} = 0.2 \text{ C}.$$

答案 (1) 0.7 W (2) 0.06 J (3) 0.2 C

附：对应高考题组(PPT 课件文本，见教师用书)

1. (2011 福建高考，17) 如图，足够长的 U 型光滑金属导轨平面与水平面成 θ 角 ($0 < \theta < 90^\circ$)，其中 MN 与 PQ 平行且间距为 L ，导轨平面与磁感应强度为 B 的匀强磁场垂直，导轨电阻不计. 金属棒 ab 由静止开始沿导轨下滑，并与两导轨始终保持垂直且良好接触， ab 棒接入电路的电阻为 R ，当流过 ab 棒某一横截面的电量为 q 时，棒的速度大小为 v ，则金属棒 ab 在这一过程中().

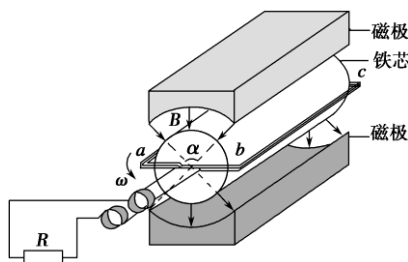


- A. 运动的平均速度大小为 $\frac{1}{2}v$
 B. 下滑的位移大小为 $\frac{qR}{BL}$
 C. 产生的焦耳热为 $qBLv$
 D. 受到的最大安培力大小为 $\frac{B^2L^2v}{R}\sin\theta$

解析 流过 ab 棒某一截面的电量 $q = \bar{I}t = \frac{B\Delta S}{Rt}t = \frac{BLx}{R}$, ab 棒下滑的位移 $x = \frac{qR}{BL}$, 其平均速度 $\bar{v} = \frac{x}{t}$, 而棒下滑过程中做加速度减小的加速运动, 故平均速度不等于 $\frac{1}{2}v$, A 错误 B 正确; 由能量守恒 $mgx\sin\theta = Q + \frac{1}{2}mv^2$, 产生的焦耳热 $Q = mgx\sin\theta - \frac{1}{2}mv^2 = mg\frac{qR}{BL}\sin\theta - \frac{1}{2}mv^2$, C 错误; 当 $mg\sin\theta = \frac{B^2L^2v}{R}$ 时 v 最大, 安培力最大, 即 $F_{安m} = mg\sin\theta = \frac{B^2L^2v}{R}$, D 错误.

答案 B

2. (2012 江苏单科, 13)某兴趣小组设计了一种发电装置, 如图所示. 在磁极和圆柱状铁芯之间形成的两磁场区域的圆心角 α 均为 $\frac{4}{9}\pi$, 磁场均沿半径方向. 匝数为 N 的矩形线圈 $abcd$ 的边长 $ab = cd = l$, $bc = ad = 2l$. 线圈以角速度 ω 绕中心轴匀速转动, bc 边和 ad 边同时进入磁场. 在磁场中, 两条边所经过处的磁感应强度大小均为 B , 方向始终与两边的运动方向垂直. 线圈的总电阻为 r , 外接电阻为 R . 求:



- (1) 线圈切割磁感线时, 感应电动势的大小 E_m ;
 (2) 线圈切割磁感线时, bc 边所受安培力的大小 F ;
 (3) 外接电阻上电流的有效值 I .

解析 (1) bc 、 ad 边的运动速度 $v = \omega\frac{l}{2}$,

感应电动势 $E_m = 4NBlv$

解得 $E_m = 2NB l^2 \omega$.

(2) 电流 $I_m = \frac{E_m}{r+R}$, 安培力 $F = 2NB I_m l$,

解得 $F = \frac{4N^2 B^2 l^3 \omega}{r+R}$.

(3) 一个周期内, 通电时间 $t = \frac{4}{9}T$

R 上消耗的电能 $W = I_m^2 R t$ 且 $W = I^2 R T$,

解得 $I = \frac{4NB l^2 \omega}{3(r+R)}$.

答案 (1) $2NB l^2 \omega$ (2) $\frac{4N^2 B^2 l^3 \omega}{r+R}$ (3) $\frac{4NB l^2 \omega}{3(r+R)}$

专题强化练九

A 对点训练——练熟基础知识

1. (多选)如图 7 所示, 水平固定放置的足够长的 U 形金属导轨处于竖直向上的匀强磁场中, 在导轨上放着金属棒 ab , 开始时 ab 棒以水平初速度 v_0 向右运动, 最后静止在导轨上, 就导轨光滑和导轨粗糙的两种情况相比较, 这个过程().

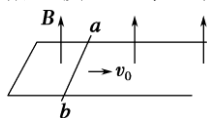


图 7

- A. 安培力对 ab 棒所做的功不相等
- B. 电流所做的功相等
- C. 产生的总内能相等
- D. 通过 ab 棒的电荷量相等

解析 光滑导轨无摩擦力, 导轨粗糙的有摩擦力, 动能最终都全部转化为内能, 所以内能相等, C 正确; 对光滑的导轨有 $\frac{1}{2}mv_0^2 = Q_{安}$, 对粗糙的导轨有 $\frac{1}{2}mv_0^2 = Q_{安'} + Q_{摩}$, $Q_{安} \neq Q_{安'}$, 则 A 正确, B 错; $q = It = \frac{Blvt}{R} = \frac{Blx}{R}$, 且 $x_{光} > x_{粗}$, 所以 $q_{光} > q_{粗}$, D 错.

答案 AC

2. (单选)如图 8 所示, 用粗细相同的铜丝做成边长分别为 L 和 $2L$ 的两只闭合线框 a 和 b , 以相同的速度从磁感应强度为 B 的匀强磁场区域中匀速地拉到磁场外, 若外力对环做的功分别为 W_a 、 W_b , 则 $W_a : W_b$ 为().

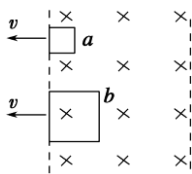


图 8

- A. 1 : 4
- B. 1 : 2
- C. 1 : 1
- D. 不能确定

解析 根据能量守恒可知, 外力做的功等于产生的电能, 而产生的电能又全部转化为焦耳热

$$W_a = Q_a = \frac{(BLv)^2}{R_a} \frac{L}{v}, \quad W_b = Q_b = \frac{(B \cdot 2Lv)^2}{R_b} \frac{2L}{v}$$

由电阻定律知 $R_b = 2R_a$, 故 $W_a : W_b = 1 : 4$. A 项正确.

答案 A

3. (单选)如图 9 所示, 边长为 L 的正方形导线框质量为 m , 由距磁场 $H = \frac{4}{3}L$ 高处自由下落, 其下边 ab 进入匀强磁场后, 线圈开始做减速运动, 直到其上边 cd 刚刚穿出磁场时, 速度减为 ab 边进入磁场时的一半, 磁场的宽度也为 L , 则线框穿越匀强磁场过程中产生的焦耳热为().

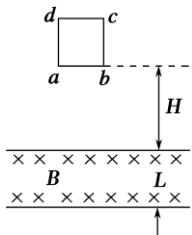


图 9

- A. $2mgL$
- B. $\frac{10}{3}mgL$
- C. $3mgL$
- D. $\frac{7}{3}mgL$

解析 设线框刚进入磁场时的速度为 v_1 ，刚穿出磁场时的速度 $v_2 = \frac{v_1}{2}$ ；线框自开始进入磁场到完全穿出磁场共下落高度为 $2L$ 。由题意 $\frac{1}{2}mv_1^2 = mgH$ ， $\frac{1}{2}mv_1^2 + mg2L = \frac{1}{2}mv_2^2 + Q$ 。联立解得 $Q = 2mgL + \frac{3}{4}mgH = 3mgL$ ，选项 C 正确。

答案 C

4. (单选)如图 10 所示，足够长的光滑金属导轨 MN 、 PQ 平行放置，且都倾斜着与水平面成夹角 θ 。在导轨的最上端 M 、 P 之间接有电阻 R ，不计其他电阻。导体棒 ab 从导轨的最底端冲上导轨，当没有磁场时， ab 上升的最大高度为 H ；若存在垂直导轨平面的匀强磁场时， ab 上升的最大高度为 h 。在两次运动过程中 ab 都与导轨保持垂直，且初速度都相等。关于上述情景，下列说法正确的是()。

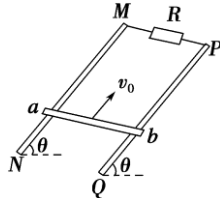


图 10

- A. 两次上升的最大高度相比较为 $H < h$
- B. 有磁场时导体棒所受合力的功等于无磁场时合力的功
- C. 有磁场时，电阻 R 产生的焦耳热为 $\frac{1}{2}mv_0^2$
- D. 有磁场时， ab 上升过程的最小加速度大于 $g \sin \theta$

解析 当有磁场时，导体棒除受到沿斜面向下的重力的分力外，还切割磁感线有感应电流受到安培力的作用，所以两次上升的最大高度相比较为 $h < H$ ，两次动能的变化量相等，所以导体棒所受合力的功相等，选项 A 错误，B 正确，有磁场时，电阻 R 产生的焦耳热小于 $\frac{1}{2}mv_0^2$ ， ab 上升过程的最小加速度为 $g \sin \theta$ ，选项 C、D 错误。

答案 B

5. (多选)如图 11，两根足够长光滑平行金属导轨 PP' 、 QQ' 倾斜放置，匀强磁场垂直于导轨平面，导轨的上端与水平放置的两金属板 M 、 N 相连，板间距离足够大，板间有一带电微粒，金属棒 ab 水平跨放在导轨上，下滑过程中与导轨接触良好。现同时由静止释放带电微粒和金属棒 ab ，则()。

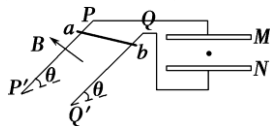


图 11

- A. 金属棒 ab 最终可能匀速下滑
- B. 金属棒 ab 一直加速下滑
- C. 金属棒 ab 下滑过程中 M 板电势高于 N 板电势
- D. 带电微粒不可能先向 N 板运动后向 M 板运动

解析 金属棒沿光滑导轨加速下滑，棒中有感应电动势而对金属板 M 、 N 充电，充电电流通过金属棒时金属棒受安培力作用，只有金属棒速度增大时才有充电电流，因此总有 $mg \sin \theta - BIL > 0$ ，金属棒将一直加速下滑，A 错，B 对；由右手定则可知，金属棒 a 端(即 M 板)电势高，C 对；若微粒带负电，则电场力向上，与重力反向，开始时电场力为 0，微粒向下加速，当电场力增大到大于重力时，微粒的加速度向上，可能向 N 板减速运动到零后再向 M 板运动，D 错。

答案 BC

6. (多选)如图 12 所示， MN 和 PQ 是两根互相平行竖直放置的光滑金属导轨，已知导轨足够长，且电阻不计。有一垂直导轨平面向里的匀强磁场，磁感应强度为 B ，宽度为 L ， ab 是一根不但与导轨垂直而且始终与导轨接触良好的金属杆。开始，将开关 S 断开，让 ab 由静止开始自由下落，过段时间后，再将 S 闭合，若从 S 闭合开始计时，则金属杆 ab 的速度 v 随时间 t 变化的图象可能是()。

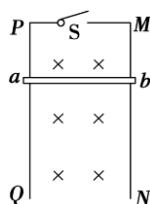
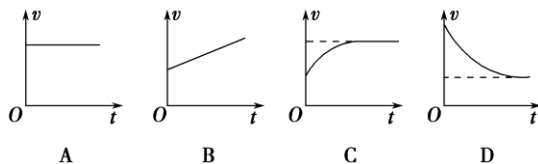


图 12



解析 设闭合 S 时, ab 的速度为 v , 则 $E = BLv$, $I = \frac{E}{R} = \frac{BLv}{R}$, $F_{安} = BIL = \frac{B^2 L^2 v}{R}$,

若 $F_{安} = \frac{B^2 L^2 v}{R} = mg$, 则选项 A 正确.

若 $F_{安} = \frac{B^2 L^2 v}{R} < mg$, 则选项 C 正确.

若 $F_{安} = \frac{B^2 L^2 v}{R} > mg$, 则选项 D 正确.

答案 ACD

B 深化训练——提高能力技巧

7. (多选)如图 13 甲所示, 在竖直方向上有四条间距相等的水平虚线 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 , 在 $L_1 L_2$ 之间、 $L_3 L_4$ 之间存在匀强磁场, 大小均为 1 T , 方向垂直纸面向里. 现有一矩形线圈 $abcd$, 宽度 $cd = 0.5 \text{ m}$, 质量为 0.1 kg , 电阻为 2Ω , 将其从图示位置静止释放(cd 边与 L_1 重合), 速度随时间的变化关系如图乙所示, t_1 时刻 cd 边与 L_2 重合, t_2 时刻 ab 边与 L_3 重合, t_3 时刻 ab 边与 L_4 重合, 已知 $t_1 \sim t_2$ 的时间间隔为 0.6 s , 整个运动过程中线圈平面始终处于竖直方向. 重力加速度 g 取 10 m/s^2 , 则().

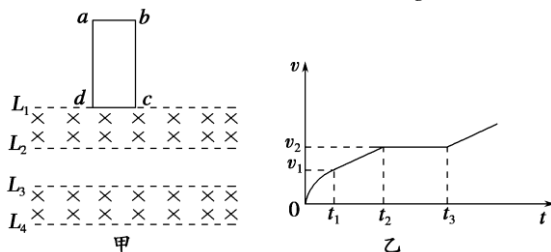


图 13

- A. 在 $0 \sim t_1$ 时间内, 通过线圈的电荷量为 0.25 C
- B. 线圈匀速运动的速度大小为 8 m/s
- C. 线圈的长度为 1 m
- D. $0 \sim t_3$ 时间内, 线圈产生的热量为 4.2 J

解析 $t_2 \sim t_3$ 时间 ab 在 $L_3 L_4$ 内匀速直线运动, 而 $E = BLv_2$, $F = \frac{E}{R}L$, $F = mg$ 解得: $v_2 = \frac{mgR}{B^2 L^2} = 8 \text{ m/s}$, 选项 B 正确; 从 cd 边出 L_2 到 ab 边刚进入 L_3 一直是匀加速, 因而 ab 刚进磁场时, cd 也应刚进磁场, 设磁场宽度是 d , 有: $3d = v_2 t - \frac{1}{2}gt^2$, 得: $d = 1 \text{ m}$, 有: $ad = 2d = 2 \text{ m}$, 选项 C 错误; 在 $0 \sim t_3$ 时间内由能量守恒得: $Q = mg5d - \frac{1}{2}mv_2^2 = 1.8 \text{ J}$, 选项 D 错误; $0 \sim t_1$ 时间内, 通过线圈的电荷量为 $q = \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{BdL}{R} = 0.25 \text{ C}$, 选项 A 正确.

答案 AB

8. 如图 14 甲所示, MN 、 PQ 两条平行的光滑金属轨道与水平面成 $\theta = 30^\circ$ 角固定, 两轨道间距为 $L = 1 \text{ m}$. 质量为 m 的金属杆 ab 垂直放置在轨道上, 其阻值忽略不计. 空间存在匀强磁场, 磁场方向垂直于轨道平面向上, 磁感应强度为 $B = 0.5 \text{ T}$. P 、 M 间接有阻值为 R_1 的定值电阻, Q 、 N 间接电阻箱 R . 现

从静止释放 ab ，改变电阻箱的阻值 R ，测得最大速度为 v_m ，得到 $\frac{1}{v_m}$ 与 $\frac{1}{R}$ 的关系如图乙所示。若轨道足够长且电阻不计，重力加速度 g 取 10 m/s^2 。求：

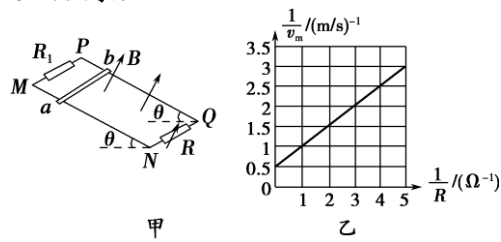


图 14

- (1) 金属杆的质量 m 和定值电阻的阻值 R_1 ；
- (2) 当电阻箱 R 取 4Ω 时，且金属杆 ab 运动的加速度为 $\frac{1}{2}g\sin\theta$ 时，此时金属杆 ab 运动的速度；
- (3) 当电阻箱 R 取 4Ω 时，且金属杆 ab 运动的速度为 $\frac{v_m}{2}$ 时，定值电阻 R_1 消耗的电功率。

解析 (1) 总电阻为 $R_{\text{总}} = R_1 R / (R_1 + R)$ ，电路的总电流 $I = BLv / R_{\text{总}}$

当达到最大速度时金属棒受力平衡，有 $mg\sin\theta = BIL = \frac{B^2 L^2 v_m}{R_1 R} (R_1 + R)$ ， $\frac{1}{v_m} = \frac{B^2 L^2}{mgR\sin\theta} + \frac{B^2 L^2}{mgR_1 \sin\theta}$ ，

根据图象代入数据，可以得到金属杆的质量 $m = 0.1 \text{ kg}$ ， $R_1 = 1 \Omega$ 。

(2) 金属杆 ab 运动的加速度为 $\frac{1}{2}g\sin\theta$ 时， $I' = BLv' / R_{\text{总}}$

根据牛顿第二定律得 $mg\sin\theta - BI'L = ma$

即 $mg\sin\theta - \frac{B^2 L^2 v'}{R_1 R} (R_1 + R) = \frac{1}{2}mg\sin\theta$ ，代入数据，得到 $v' = 0.8 \text{ m/s}$ 。

(3) 当电阻箱 R 取 4Ω 时，根据图象得到 $v_m = 1.6 \text{ m/s}$ ，则 $v = \frac{v_m}{2} = 0.8 \text{ m/s}$ ， $P = \frac{E^2}{R_1} = \frac{B^2 L^2 v^2}{R_1} = 0.16 \text{ W}$ 。

答案 (1) 0.1 kg 1Ω (2) 0.8 m/s (3) 0.16 W

9. 如图 15 所示，竖直平面内有无限长，不计电阻的两组平行光滑金属导轨，宽度均为 $L = 0.5 \text{ m}$ ，上方连接一个阻值 $R = 1 \Omega$ 的定值电阻，虚线下方的区域内存在磁感应强度 $B = 2 \text{ T}$ 的匀强磁场。完全相同的两根金属杆 1 和 2 靠在导轨上，金属杆与导轨等宽且与导轨接触良好，电阻均为 $r = 0.5 \Omega$ 。将金属杆 1 固定在磁场的上边缘(仍在此磁场内)，金属杆 2 从磁场边界上方 $h_0 = 0.8 \text{ m}$ 处由静止释放，进入磁场后恰做匀速运动。(g 取 10 m/s^2)

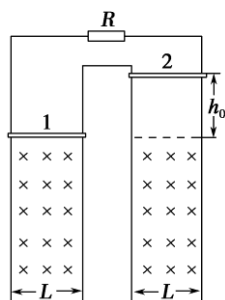


图 15

- (1) 求金属杆的质量 m 为多大？
- (2) 若金属杆 2 从磁场边界上方 $h_1 = 0.2 \text{ m}$ 处由静止释放，进入磁场经过一段时间后开始做匀速运动。在此过程中整个回路产生了 1.4 J 的电热，则此过程中流过电阻 R 的电荷量 q 为多少？

解析 (1) 金属杆 2 进入磁场前做自由落体运动，则

$$v_m = \sqrt{2gh_0} = 4 \text{ m/s}$$

金属杆 2 进入磁场后受两个力而处于平衡状态，即

$$mg = BIL, \text{ 且 } E = BLv_m, I = \frac{E}{2r + R}$$

$$\text{解得 } m = \frac{B^2 L^2 v_m}{(2r + R)g} = \frac{2^2 \times 0.5^2 \times 4}{(2 \times 0.5 + 1) \times 10} \text{ kg} = 0.2 \text{ kg}.$$

(2) 金属杆 2 从下落到再次匀速运动的过程中, 设金属杆 2 在磁场内下降 h_2 , 由能量守恒定律得

$$mg(h_1 + h_2) = \frac{1}{2}mv_m^2 + Q$$

$$\text{解得 } h_2 = \frac{\frac{1}{2}mv_m^2 + Q}{mg} - h_1 = \frac{0.2 \times 4^2 + 2 \times 1.4}{2 \times 0.2 \times 10} \text{ m} - 0.2 \text{ m} = 1.3 \text{ m}$$

金属杆 2 进入磁场到匀速运动的过程中, 感应电动势和感应电流的平均值分别为 $E = \frac{BLh_2}{t_2}$, $I = \frac{E}{2r + R}$

故流过电阻 R 的电荷量 $q = It_2$

$$\text{联立解得 } q = \frac{BLh_2}{2r + R} = \frac{2 \times 0.5 \times 1.3}{2 \times 0.5 + 1} \text{ C} = 0.65 \text{ C}.$$

答案 (1) 0.2 kg (2) 0.65 C

10. (2013 全国新课标 I, 25) 如图 16 所示, 两条平行导轨所在平面与水平地面的夹角为 θ , 间距为 L . 导轨上端接有一平行板电容器, 电容为 C . 导轨处于匀强磁场中, 磁感应强度大小为 B , 方向垂直于导轨平面. 在导轨上放置一质量为 m 的金属棒, 棒可沿导轨下滑, 且在下滑过程中保持与导轨垂直并良好接触. 已知金属棒与导轨之间的动摩擦因数为 μ , 重力加速度大小为 g . 忽略所有电阻. 让金属棒从导轨上端由静止开始下滑, 求:

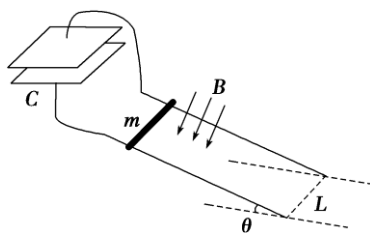


图 16

(1) 电容器极板上积累的电荷量与金属棒速度大小的关系;

(2) 金属棒的速度大小随时间变化的关系.

解析 (1) 设金属棒下滑的速度大小为 v , 则感应电动势为 $E = BLv$ ①

平行板电容器两极板之间的电势差为 $U = E$ ②

设此时电容器极板上积累的电荷量为 Q , 按定义有

$$C = \frac{Q}{U} \quad \text{③}$$

联立①②③式得 $Q = CBLv$ ④

(2) 设金属棒的速度大小为 v 时经历的时间为 t , 通过金属棒的电流为 i . 金属棒受到的磁场的作用力方向沿导轨向上, 大小为 $F = BLi$ ⑤

设在时间间隔 $(t, t + \Delta t)$ 内流经金属棒的电荷量为 ΔQ , 按定义有 $i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ ⑥

ΔQ 也是平行板电容器极板在时间间隔 $(t, t + \Delta t)$ 内增加的电荷量,

由④式得 $\Delta Q = CBL\Delta v$ ⑦

式中, Δv 为金属棒的速度变化量. 按定义有 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ⑧

金属棒所受到的摩擦力方向斜向上, 大小为 $F_f = \mu F_N$ ⑨

式中, F_N 是金属棒对于导轨的正压力的大小, 有

$$F_N = mg \cos \theta \quad \text{⑩}$$

金属棒在时刻 t 的加速度方向沿斜面向下, 设其大小为 a , 根据牛顿第二定律有 $mg \sin \theta - F - F_f =$

$$ma \quad \textcircled{11}$$

$$\text{联立⑤至⑪式得 } a = \frac{m(\sin \theta - \mu \cos \theta)}{m + B^2 L^2 C} g \quad \textcircled{12}$$

由⑫式及题设可知，金属棒做初速度为零的匀加速运动。t时刻金属棒的速度大小为 $v = \frac{m(\sin \theta - \mu \cos \theta)}{m + B^2 L^2 C} g t$

$$\text{答案 } (1) Q = CBLv \quad (2) v = \frac{m(\sin \theta - \mu \cos \theta)}{m + B^2 L^2 C} g t$$

章末定时练九

(时间：60分钟)

一、选择题(在每小题给出的四个选项中，第1~6题只有一项符合题目要求，第7~9题有多项符合题目要求)。

1. (2014漳州模拟)如图1所示，在载流直导线近旁固定有两平行光滑导轨A、B，导轨与直导线平行且在同一水平面内，在导轨上有两可自由滑动的导体ab和cd。当载流直导线中的电流逐渐增强时，导体ab和cd的运动情况是()。

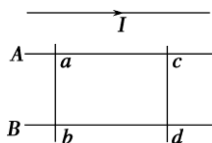


图1

- A. 一起向左运动
- B. 一起向右运动
- C. ab和cd相向运动，相互靠近
- D. ab和cd相背运动，相互远离

解析 电流增强时，电流在abcd回路中产生的垂直向里的磁场增强，回路磁通量增大，根据楞次定律推论，可知回路要减小面积以阻碍磁通量的增加，因此，两导体要相向运动，相互靠拢。故C正确。

答案 C

2. 如图2所示，一带铁芯线圈置于竖直悬挂的闭合铝框右侧，与线圈相连的导线abcd内有水平向里变化的磁场。下列哪种变化磁场可使铝框向左偏离()。

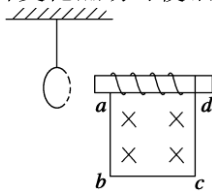
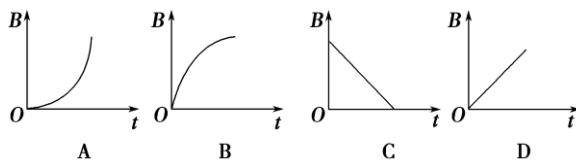


图2



解析 铝框向左运动，是为了阻碍本身磁通量的增加，由楞次定律可知：带铁芯线圈产生的电流增加，其产生的磁场增强。为使线圈产生的电流变大，由法拉第电磁感应定律可知：线框abcd中的磁场的 $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ 逐渐增加，选项A正确，B、C、D错误。

答案 A

3. 如图3所示，竖直放置的两根平行金属导轨之间接有定值电阻R，质量不能忽略的金属棒与两导轨始终保持垂直并良好接触且无摩擦，棒与导轨的电阻均不计，整个装置放在匀强磁场中，磁场方向与导轨平面垂直，棒在竖直向上的恒力F作用下加速上升的一段时间内，力F做的功与安培力做的功的

代数和等于().

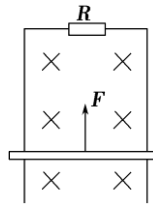


图 3

- A. 棒的机械能增加量
- B. 棒的动能增加量
- C. 棒的重力势能增加量
- D. 电阻 R 上放出的热量

解析 棒加速上升时受到重力、拉力 F 及安培力. 根据功能关系可知力 F 与安培力做的功的代数和等于棒的机械能的增加量, A 选项正确.

答案 A

4. (2013 浙江卷, 15)磁卡的磁条中有用于存储信息的磁极方向不同的磁化区, 刷卡器中有检测线圈. 当以速度 v_0 刷卡时, 在线圈中产生感应电动势, 其 $E-t$ 关系如图 4 所示. 如果只将刷卡速度改为 $\frac{v_0}{2}$, 线圈中的 $E-t$ 关系图可能是().

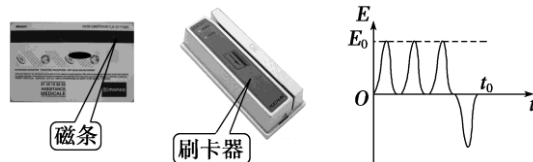
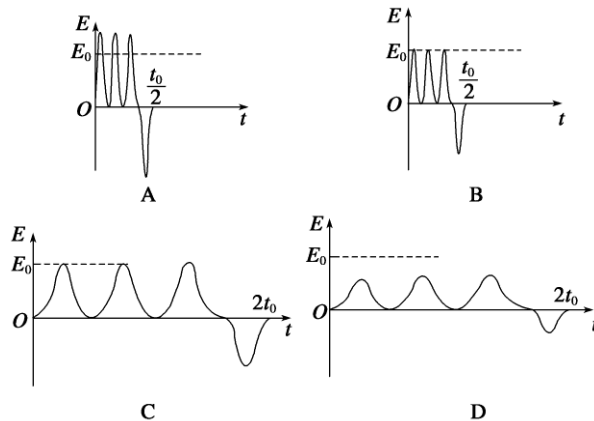


图 4



解析 当以不同速度刷卡时, 磁卡的不同的磁化区经过线圈时, 线圈内的磁通量的变化量 $\Delta\Phi$ 是相同的, 刷卡速度由 v_0 变为 $\frac{v_0}{2}$ 时, 完成相同磁通量变化的时间 Δt 变为原来的 2 倍, 由 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 得线圈产生的感应电动势相应的都变为原来的 $\frac{1}{2}$, 故 D 选项正确.

答案 D

5. 如图 5 所示, 倾斜的平行导轨处在匀强磁场中, 导轨上、下两边的电阻分别为 $R_1=3\ \Omega$ 和 $R_2=6\ \Omega$, 金属棒 ab 的电阻 $R_3=4\ \Omega$, 其余电阻不计. 则金属棒 ab 沿着粗糙的导轨加速下滑的过程中().

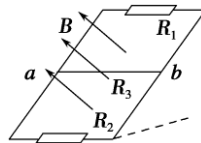


图 5

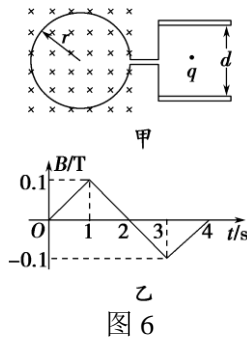
- A. 安培力对金属棒做功等于金属棒机械能的减少量
- B. 重力和安培力对金属棒做功之和大于金属棒动能的增量
- C. R_1 和 R_2 发热功率之比 $P_1:P_2=1:2$

D. R_1 、 R_2 和 R_3 产生的焦耳热之比 $Q_1 : Q_2 : Q_3 = 1 : 2 : 6$

解析 由能量守恒定律，安培力对金属棒做功小于金属棒机械能的减少量，选项 A 错误；由动能定理可知，重力和安培力对金属棒做功之和大于金属棒动能的增量，选项 B 正确；导轨上、下两边的电阻属于并联关系，两者电压相等， R_1 和 R_2 发热功率之比 $P_1 : P_2 = 2 : 1$ ，选项 C 错误； R_1 和 R_2 并联等效电阻为 2Ω ， ab 中电流等于 R_1 和 R_2 二者中电流之和，金属棒 ab 的电阻 R_3 产生的焦耳热是 R_1 和 R_2 并联等效电阻产生焦耳热的 2 倍，选项 D 错误。

答案 B

6. 半径为 r 的带缺口的刚性金属圆环在纸面上固定放置，在圆环的缺口两端引出两根导线，分别与两块水平放置的平行金属板连接，两板间距为 d ，如图 6 甲所示。圆环内有一变化的磁场垂直于纸面，规定向里为正，变化规律如图乙所示。在 $t=0$ 时刻平行板中心线的中心处有一重力不计，电荷量为 q 的静止微粒。则以下说法正确的是()。

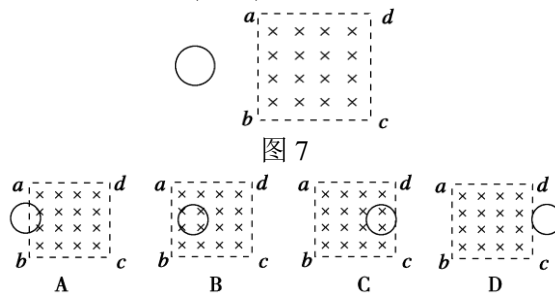


- A. 第 2 秒内上极板为正极
- B. 第 3 秒内上极板为负极
- C. 第 2 秒末微粒回到了原来的位置
- D. 第 2 秒末两极板之间的电场强度大小为 $0.2\pi r^2/d$

解析 根据楞次定律，结合图象可以判断：在 $0 \sim 1$ s 内，下极板为正极，上极板为负极；第 2 秒内上极板为正极，下极板为负极；第 3 秒内上极板为正极，下极板为负极；第 4 秒内上极板为负极，下极板为正极，故 A 选项正确，B 选项错误；由于磁感应强度均匀变化，故产生的感应电动势的大小是恒定的，感应电动势大小为 $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta BS}{\Delta t} = 0.1\pi r^2$ ，第 2 秒末两极板间的电场强度为 $\frac{U}{d} = \frac{0.1\pi r^2}{d}$ ，D 选项错误；在第 1 秒内微粒从静止沿向上或向下的方向开始做匀加速运动，第 2 秒内电场反向，微粒沿该方向做匀减速运动，第 2 秒末速度为 0，第 3 秒内微粒做反向的匀加速运动，第 4 秒内微粒沿反向做匀减速运动，第 4 秒末回到原来的位置，故 C 选项错误。

答案 A

7. 如图 7 所示，虚线矩形 $abcd$ 为匀强磁场区域，磁场方向竖直向下，圆形闭合金属线框以一定的速度沿光滑绝缘水平面向磁场区域运动。如图所示给出的是圆形闭合金属线框的四个可能到达的位置，则圆形闭合金属线框的速度可能为零的位置是()。



解析 因为线框在进、出磁场时，线框中的磁通量发生变化，产生感应电流，安培力阻碍线框运动，使线框的速度可能减为零，故 A、D 正确。

答案 AD

8. 如图 8 所示，固定放置在同一水平面内的两根平行长直金属导轨的间距为 d ，其右端接有阻值为

R 的电阻, 整个装置处在竖直向上磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中. 一质量为 m (质量分布均匀) 的导体杆 ab 垂直于导轨放置, 且与两导轨保持良好接触, 杆与导轨之间的动摩擦因数为 μ . 现杆在水平向左、垂直于杆的恒力 F 作用下从静止开始沿导轨运动距离 l 时, 速度恰好达到最大 (运动过程中杆始终与导轨保持垂直). 设杆接入电路的电阻为 r , 导轨电阻不计, 重力加速度大小为 g . 则此过程 ().

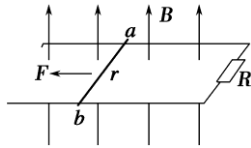


图 8

- A. 杆的速度最大值为 $\frac{(F - \mu mg)R}{B^2 d^2}$
- B. 流过电阻 R 的电荷量为 $\frac{Bdl}{R+r}$
- C. 恒力 F 做的功与摩擦力做的功之和等于杆动能的变化量
- D. 恒力 F 做的功与安培力做的功之和大于杆动能的变化量

解析 当杆的速度达到最大时, 安培力 $F_{安} = \frac{B^2 d^2 v}{R+r}$, 杆受力平衡, 故 $F - \mu mg - F_{安} = 0$, 所以 $v =$

$\frac{(F - \mu mg)(R+r)}{B^2 d^2}$, 选项 A 错; 流过电阻 R 的电荷量为 $q = It = \frac{\Delta\Phi}{R+r} = \frac{Bdl}{R+r}$, 选项 B 对; 根据动能定理,

恒力 F 、安培力、摩擦力做功的代数和等于杆动能的变化量, 由于摩擦力做负功, 所以恒力 F 、安培力做功的代数和大于杆动能的变化量, 选项 C 错、D 对.

答案 BD

9. 在如图 9 甲所示的电路中, 螺线管匝数 $n=1500$ 匝, 横截面积 $S=20 \text{ cm}^2$. 螺线管导线电阻 $r=1.0 \Omega$, $R_1=4.0 \Omega$, $R_2=5.0 \Omega$, $C=30 \mu\text{F}$. 在一段时间内, 穿过螺线管的磁场的磁感应强度 B 按如图乙所示的规律变化. 则下列说法中正确的是 ().

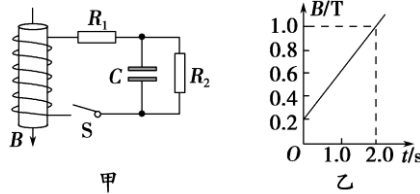


图 9

- A. 螺线管中产生的感应电动势为 1 V
- B. 闭合 S, 电路中的电流稳定后, 电阻 R_1 的电功率为 $5 \times 10^{-2} \text{ W}$
- C. 电路中的电流稳定后电容器下极板带正电
- D. S 断开后, 流经 R_2 的电量为 $1.8 \times 10^{-5} \text{ C}$

解析 根据法拉第电磁感应定律 $E = \frac{n\Delta\Phi}{\Delta t} = nS \frac{\Delta B}{\Delta t}$ 求出 $E = 1.2 \text{ V}$, 选项 A 错; 根据电路欧姆定律 $I = \frac{E}{R_1 + R_2 + r} = 0.12 \text{ A}$, 根据 $P = I^2 R_1$, 求出 $P = 5.76 \times 10^{-2} \text{ W}$, 选项 B 错; 由楞次定律得选项 C 对; S

断开后, 流经 R_2 的电荷量即为 S 闭合时 C 板上所带的电荷量 Q , 电容器两端的电压 $U = IR_2 = 0.6 \text{ V}$, 流经 R_2 的电量 $Q = CU = 1.8 \times 10^{-5} \text{ C}$, 选项 D 对.

答案 CD

二、非选择题

10. 如图 10 甲所示, 一边长 $L=2.5 \text{ m}$ 、质量 $m=0.5 \text{ kg}$ 的正方形金属线框, 放在光滑绝缘的水平面上, 整个装置放在方向竖直向上、磁感应强度 $B=0.8 \text{ T}$ 的匀强磁场中, 金属线框的一边与磁场的边界 MN 重合. 在水平力 F 作用下金属线框由静止开始向左运动, 经过 5 s 金属线框被拉出磁场, 测得金属线框中的电流随时间变化的图象如图乙所示.

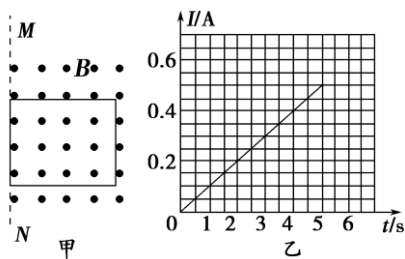


图 10

- (1)在金属线框被拉出的过程中,求通过线框截面的电荷量及线框的电阻.
 (2)写出水平力 F 随时间变化的表达式.
 (3)已知在这 5 s 内力 F 做功 1.92 J,那么在此过程中,线框产生的焦耳热是多少?

解析 (1)根据 $q = \bar{I}\Delta t$, 由 $I-t$ 图象得: $q = 1.25 \text{ C}$

又根据 $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{R} = \frac{\Delta\Phi}{R\Delta t} = \frac{BL^2}{R\Delta t}$, 得 $R = 4 \Omega$.

(2)由电流图象可知,感应电流随时间变化的规律: $I = 0.1t$

由感应电流 $I = \frac{BLv}{R}$, 可得金属线框的速度随时间也是线性变化的, $v = \frac{RI}{BL} = 0.2t$

线框做匀加速直线运动, 加速度 $a = 0.2 \text{ m/s}^2$

线框在外力 F 和安培力 F_A 作用下做匀加速直线运动,

$$F - F_A = ma$$

所以水平力 F 随时间变化的表达式为

$$F = (0.2t + 0.1) \text{ N}.$$

(3)当 $t = 5 \text{ s}$ 时,线框从磁场中拉出时的速度 $v_5 = at = 1 \text{ m/s}$, 线框中产生的焦耳热为 $Q = W - \frac{1}{2}mv_5^2 = 1.67 \text{ J}$.

答案 (1)1.25 C 4Ω (2) $F = (0.2t + 0.1) \text{ N}$

(3)1.67 J

11. (2013 常州水平检测)如图 11 所示,水平的平行虚线间距为 d , 其间有磁感应强度为 B 的匀强磁场. 一个长方形线圈的边长分别为 L_1 、 L_2 , 且 $L_2 < d$, 线圈质量 m , 电阻为 R . 现将线圈由其下边缘离磁场的距离为 h 处静止释放, 其下边缘刚进入磁场和下边缘刚穿出磁场时的速度恰好相等. 求:

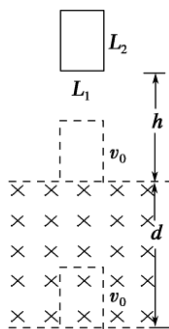
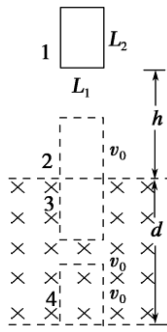


图 11

- (1)线圈刚进入磁场时的感应电流的大小;
 (2)线圈从下边缘刚进磁场到下边缘刚出磁场(图中两虚线框所示位置)的过程做何种运动, 求出该过程最小速度 v ;
 (3)线圈进出磁场的全过程中产生的总焦耳热 $Q_{\text{总}}$.

解析 (1) $mgh = \frac{1}{2}mv_0^2$, $v_0 = \sqrt{2gh}$,

$$E = BL_1v_0, I = \frac{E}{R} = \frac{BL_1\sqrt{2gh}}{R}$$



(2)先做加速度减小的减速运动，后做加速度为 g 的匀加速运动，3 位置时线圈速度最小，而 3 位置到 4 位置线圈是自由落体运动，因此有 $v_0^2 - v^2 = 2g(d - L_2)$ ，得 $v = \sqrt{2g(h + L_2 - d)}$

(3)由于线圈完全处于磁场中时不产生电热，线圈进入磁场过程中产生的电热 Q 就是线圈从图中 2 位置到 4 位置产生的电热，而 2、4 位置动能相同。

由能量守恒 $Q = mgd$

由对称性可知： $Q_{总} = 2Q = 2mgd$

答案 (1) $\frac{BL_1\sqrt{2gh}}{R}$ (2)先做加速度减小的减速运动，后做加速度为 g 的匀加速运动 $\sqrt{2g(h + L_2 - d)}$

(3) $2mgd$

12. 如图 12(a)所示，间距为 l 、电阻不计的光滑导轨固定在倾角为 θ 的斜面上。在区域 I 内有方向垂直于斜面的匀强磁场，磁感应强度为 B ；在区域 II 内有垂直于斜面向下的匀强磁场，其磁感应强度 B_t 的大小随时间 t 变化的规律如图(b)所示。 $t=0$ 时刻在轨道上端的金属棒 ab 从如图所示位置由静止开始沿导轨下滑，同时下端的另一金属棒 cd 在位于区域 I 内的导轨上由静止释放。在 ab 棒运动到区域 II 的下边界 EF 处之前， cd 棒始终静止不动，两棒均与导轨接触良好。已知 cd 棒的质量为 m 、电阻为 R ， ab 棒的质量、阻值均未知，区域 II 沿斜面的长度为 $2l$ ，在 $t=t_x$ 时刻(t_x 未知) ab 棒恰进入区域 II，重力加速度为 g 。求：

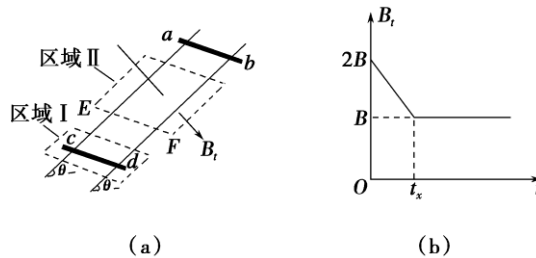


图 12

- (1)通过 cd 棒电流的方向和区域 I 内磁场的方向；
- (2)当 ab 棒在区域 II 内运动时 cd 棒消耗的电功率；
- (3) ab 棒开始下滑的位置离 EF 的距离；
- (4) ab 棒从开始下滑至 EF 的过程中回路中产生的热量。

解析 (1)由楞次定律知通过 cd 棒的电流方向为 $d \rightarrow c$

区域 I 内磁场方向为垂直于纸面向上。

(2)对 cd 棒： $F_{安} = BIl = mg \sin \theta$ ，所以通过 cd 棒的电流大小 $I = \frac{mg \sin \theta}{Bl}$

当 ab 棒在区域 II 内运动时 cd 棒消耗的电功率

$$P = I^2 R = \frac{m^2 g^2 R \sin^2 \theta}{B^2 l^2}$$

(3) ab 棒在到达区域 II 前做匀加速直线运动，加速度

$$a = g \sin \theta$$

cd 棒始终静止不动， ab 棒在到达区域 II 前、后回路中产生的感应电动势不变，则 ab 棒在区域 II 中一

定做匀速直线运动，可得 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = Blv_t$ ，即 $\frac{B \cdot 2l \cdot l}{t_x} = Blg \sin \theta t_x$ ，所以 $t_x = \sqrt{\frac{2l}{g \sin \theta}}$

ab 棒在区域II中做匀速直线运动的速度 $v_t = \sqrt{2gl \sin \theta}$

则 ab 棒开始下滑的位置离 EF 的距离

$$h = \frac{1}{2}at_x^2 + 2l = 3l.$$

(4) ab 棒在区域II中运动的时间 $t_2 = \frac{2l}{v_t} = \sqrt{\frac{2l}{g \sin \theta}}$

ab 棒从开始下滑至 EF 的总时间 $t = t_x + t_2 = 2\sqrt{\frac{2l}{g \sin \theta}}$ ， $E = Blv_t = Bl\sqrt{2gl \sin \theta}$

ab 棒从开始下滑至 EF 的过程中闭合回路产生的热量

$$Q = EIt = 4mgl \sin \theta.$$

答案 (1) $d \rightarrow c$ 垂直斜面向上 (2) $\frac{m^2 g^2 R \sin^2 \theta}{B^2 l^2}$ (3) $3l$

(4) $4mgl \sin \theta$

选修3-2 第十章

交变电流 传感器

第1讲 交变电流的产生和描述

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

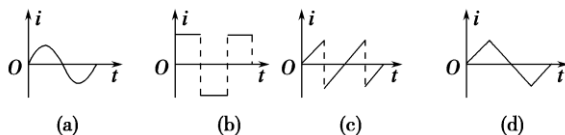
考点1

交变电流、交变电流的图象 (考纲要求 I)

1. 交变电流

(1)定义: 大小和方向都随时间做周期性变化的电流.

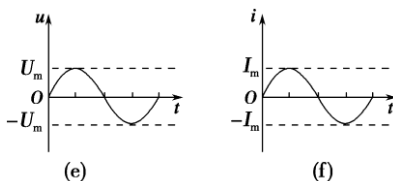
(2)图象: 如图(a)、(b)、(c)、(d)所示都属于交变电流. 其中按正弦规律变化的交变电流叫正弦交流电, 如图(a)所示.



2. 正弦交流电的产生和图象

(1)产生: 在匀强磁场里, 线圈绕垂直于磁场方向的轴匀速转动.

(2)图象: 用以描述交流电随时间变化的规律, 如果线圈从中性面位置开始计时, 其图象为正弦曲线. 如图(e)、(f)所示.



思维深化 1 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1)交变电流的主要特征是电流的方向随时间发生周期性变化. ()

(2)线圈平面与磁感线垂直的位置称为中性面. ()

(3)矩形线圈在匀强磁场中匀速转动经过中性面时, 线圈中的感应电动势为最大. ()

答案 (1)√ (2)√ (3)×

考点2

正弦交变电流的函数表达式、峰值和有效值(考纲要求 I)

1. 周期和频率

(1)周期(T): 交变电流完成一次周期性变化(线圈转一周)所需的时间, 单位是秒(s), 公式 $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

(2)频率(f): 交变电流在 1 s 内完成周期性变化的次数. 单位是赫兹(Hz).

(3)周期和频率的关系: $T = \frac{1}{f}$ 或 $f = \frac{1}{T}$

2. 正弦式交变电流的函数表达式(线圈在中性面位置开始计时)

(1)电动势 e 随时间变化的规律: $e = E_m \sin \omega t$.

(2)负载两端的电压 u 随时间变化的规律: $u = U_m \sin \omega t$.

(3)电流 i 随时间变化的规律: $i = I_m \sin \omega t$. 其中 ω 等于线圈转动的角速度, $E_m = nBS\omega$.

3. 交变电流的瞬时值、峰值、有效值

(1)瞬时值: 交变电流某一时刻的值, 是时间的函数.

(2)峰值: 交变电流(电流、电压或电动势)所能达到的最大的值, 也叫最大值.

(3)有效值: 跟交变电流的热效应等效的恒定电流的值叫做交变电流的有效值. 对正弦交流电, 其有效值和峰值的关系为: $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$, $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$, $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$.

思维深化 2 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1)在一个周期内交变电流的方向要改变两次. ()

(2)交流电气设备上所标的电压和电流值及交流电压表和电流表测量的是交流电的有效值. ()

(3)交变电流的峰值总是有效值的 $\sqrt{2}$ 倍. ()

答案 (1)√ (2)√ (3)×

基础自测

1. (单选)关于线圈在匀强磁场中转动产生的交变电流, 下列说法中正确的是().

- A. 线圈平面每经过中性面一次，感应电流的方向就改变一次，感应电动势的方向不变
- B. 线圈每转动一周，感应电流的方向改变一次
- C. 线圈平面经过中性面一次，感应电动势和感应电流的方向都改变一次
- D. 线圈每转动一周，感应电动势和感应电流的方向都改变一次

解析 依据交流电的变化规律可知，如果从中性面开始计时，有 $e = E_m \sin \omega t$ 和 $i = I_m \sin \omega t$ ；如果从垂直于中性面的位置开始计时，有 $e = E_m \cos \omega t$ 和 $i = I_m \cos \omega t$ 。不难看出：线圈平面每经过中性面一次，感应电流的方向就改变一次，感应电动势的方向也改变一次；线圈每转动一周，感应电流的方向和感应电动势的方向都改变两次。故正确答案为 C。

答案 C

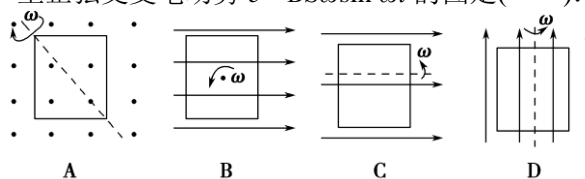
2. (单选)风力发电机为一种新能源产品，功率为 200 W 到 15 kW，广泛应用于分散住户。若风力发电机的矩形线圈在匀强磁场中匀速转动，当线圈通过中性面时，下列说法正确的是()。

- A. 穿过线圈的磁通量最大，线圈中的感应电动势最大
- B. 穿过线圈的磁通量等于零，线圈中的感应电动势最大
- C. 穿过线圈的磁通量最大，线圈中的感应电动势等于零
- D. 穿过线圈的磁通量等于零，线圈中的感应电动势等于零

解析 当线圈通过中性面时，感应电动势为零，但此时穿过线圈的磁通量最大；当线圈平面转到与磁感线平行时，穿过线圈的磁通量为零，但此时感应电动势最大。

答案 C

3. (2013 福建泉州模拟)(单选)如图所示，面积均为 S 的单匝线圈绕其对称轴或中心轴在匀强磁场 B 中以角速度 ω 匀速转动，能产生正弦交变电动势 $e = BS\omega \sin \omega t$ 的图是()。



解析 线圈在匀强磁场中绕垂直于磁场方向的轴(轴在线圈所在平面内)匀速转动，产生的正弦交变电动势为 $e = BS\omega \sin \omega t$ ，由这一原理可判断，A 图中感应电动势为 $e = BS\omega \sin \omega t$ ；B 图中的转动轴不在线圈所在平面内；C、D 图转动轴与磁场方向平行，而不是垂直。

答案 A

4. (多选)一个单匝矩形线框的面积为 S ，在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，从线圈平面与磁场垂直的位置开始计时，转速为 n 转/秒，则()。

- A. 线框交变电动势的最大值为 $n\pi BS$
- B. 线框交变电动势的有效值为 $\sqrt{2}n\pi BS$
- C. 从开始转动经过 $\frac{1}{4}$ 周期，线框中的平均感应电动势为 $2nBS$
- D. 感应电动势瞬时值为 $e = 2n\pi BS \sin 2n\pi t$

解析 线框交变电动势的最大值为 $E_m = BS\omega = 2n\pi BS$ ，产生的感应电动势瞬时值为 $e = 2n\pi BS \sin 2n\pi t$ ，A 错、D 对；该线框交变电动势的有效值为 $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}n\pi BS$ ，B 对；线框中的平均感应电动势 $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 4nBS$ ，C 错。

答案 BD

5. (单选)在匀强磁场中一矩形金属框绕与磁感线垂直的转轴匀速转动，如图 10-1-1 甲所示，产生的交变电动势的图象如图乙所示，则()。

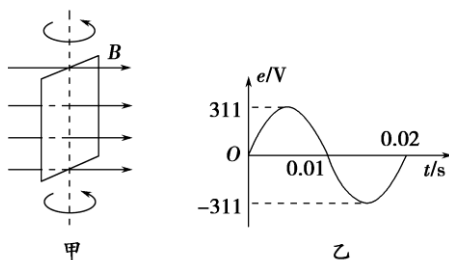


图 10 - 1 - 1

- A. $t=0.005\text{ s}$ 时线框的磁通量变化率为零
- B. $t=0.01\text{ s}$ 时线框平面与中性面重合
- C. 线框产生的交变电动势有效值为 311 V
- D. 线框产生的交变电动势频率为 100 Hz

解析 由图象知, 该交变电流电动势峰值为 311 V , 交变电动势频率为 $f=50\text{ Hz}$, C、D 错; $t=0.005\text{ s}$ 时, $e=311\text{ V}$, 磁通量变化最快, $t=0.01\text{ s}$ 时, $e=0$, 磁通量最大, 线圈处于中性面位置, A 错, B 对. 答案 B

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 正弦交变电流的产生及变化规律

1. 正弦式交变电流的变化规律

线圈在中性面位置时开始计时

物理量	函数	图象
磁通量	$\Phi = \Phi_m \cos \omega t$ $= BS \cos \omega t$	
电动势	$e = E_m \sin \omega t = nBS\omega \sin \omega t$	

电压	$u = U_m \sin \omega t = \frac{E_m R}{R+r} \sin \omega t$	
电流	$i = I_m \sin \omega t = \frac{E_m}{R+r} \sin \omega t$	

2. 两个特殊位置的特点

(1) 线圈平面与中性面重合时, $S \perp B$, Φ 最大, $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = 0$, $e = 0$, $i = 0$, 电流方向将发生改变.

(2) 线圈平面与中性面垂直时, $S // B$, $\Phi = 0$, $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 最大, e 最大, i 最大, 电流方向不改变.

【典例 1】(2013 山东卷, 17)如图 10-1-2 甲是小型交流发电机的示意图, 两磁极 N、S 间的磁场可视为水平方向的匀强磁场, ④为交流电流表. 线圈绕垂直于磁场的水平轴 OO' 沿逆时针方向匀速转动, 从图示位置开始计时, 产生的交变电流随时间变化的图象如图乙所示. 以下判断正确的是().

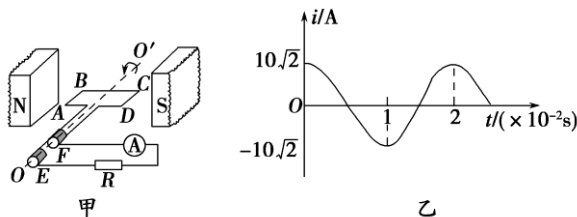


图 10 - 1 - 2

- A. 电流表的示数为 10 A
- B. 线圈转动的角速度为 $50\pi\text{ rad/s}$

- C. 0.01 s 时线圈平面与磁场方向平行
 D. 0.02 s 时电阻 R 中电流的方向自右向左

解析 电流表的示数为交变电流的有效值 10 A, A 项正确; 由 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 可得, 线圈转动的角速度为 $\omega = 100\pi \text{ rad/s}$, B 项错; 0.01 s 时, 电路中电流最大, 故该时刻通过线圈的磁通量最小, 即该时刻线圈平面与磁场平行, C 项正确; 根据楞次定律可得, 0.02 s 时电阻 R 中电流的方向自左向右, D 项错.

答案 AC

反思总结 解决交变电流图象问题的三点注意

(1) 只有当线圈从中性面位置开始计时, 电流的瞬时值表达式才是正弦形式, 其变化规律与线圈的形状及转动轴处于线圈平面内的位置无关.

(2) 注意峰值公式 $E_m = nBS\omega$ 中的 S 为有效面积.

(3) 在解决有关交变电流的图象问题时, 应先把交变电流的图象与线圈的转动位置对应起来, 再根据特殊位置求特征解.

【跟踪短训】

1. 如图 10-1-3 所示, 图线 a 和图线 b 分别表示线圈 A 和线圈 B 在同一匀强磁场中匀速转动时, 通过线圈的磁通量随时间的变化规律. 已知线圈 A 的匝数与线圈 B 的匝数分别为 10 和 30, 以下说法正确的是().

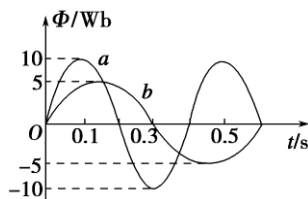


图 10-1-3

- A. 线圈 A 与线圈 B 转速之比 2 : 3
 B. 线圈 A 与线圈 B 产生的最大电动势之比为 1 : 1
 C. 线圈 A 的感应电动势的瞬时值表达式为 $e = 500\pi \cos 5\pi t(\text{V})$
 D. 线圈 B 在 $t = 0.3 \text{ s}$ 时刻时, 感应电流为零

解析 由图象可得 $T_a = 0.4 \text{ s}$, $T_b = 0.6 \text{ s}$, 则转速 $n_a = \frac{1}{T_a} = 2.5 \text{ r/s}$, $n_b = \frac{1}{T_b} = \frac{5}{3} \text{ r/s}$, 所以线圈 A 与线圈 B 转速之比为 3:2, A 错误. 线圈 A 、 B 中产生的最大电动势分别为 $E_{ma} = N_a \Phi_{ma} \omega_a = N_a \Phi_{ma} \frac{2\pi}{T_a} = 10 \times 10 \times \frac{2\pi}{0.4} \text{ V} = 500\pi \text{ V}$, $E_{mb} = N_b \Phi_{mb} \omega_b = 30 \times 5 \times \frac{2\pi}{0.6} \text{ V} = 500\pi \text{ V}$, 所以线圈 A 与线圈 B 产生的最大电动势之比为 1:1, B 正确; 在 $t = 0$ 时刻, 线圈 A 的感应电动势最大, 因此感应电动势的瞬时值表达式为 $e = 500\pi \cos 5\pi t(\text{V})$, C 正确; 在 $t = 0.3 \text{ s}$ 时刻, 通过线圈 B 的磁通量为零, 磁通量的变化率最大, 故感应电流最大, D 错误.

答案 BC

热点二 交变电流“四值”的应用

对交变电流的“四值”的比较和理解

物理量	物理意义	适用情况及说明
瞬时值	$e = E_m \sin \omega t$ $u = U_m \sin \omega t$ $i = I_m \sin \omega t$	计算线圈某时刻的受力情况
峰值(最大值)	$E_m = nBS\omega$, $I_m = \frac{E_m}{R+r}$	讨论电容器的击穿电压

有效值	对正(余)弦交流电有: $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$ $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$	(1)计算与电流的热效应有关的量(如电功、电功率、电热等) (2)电气设备“铭牌”上所标的一般是有效值 (3)保险丝的熔断电流为有效值 (4)电表的读数为有效值
平均值	$\overline{E} = BLv$ $\overline{E} = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ $\overline{I} = \frac{\overline{E}}{R+r}$	计算通过电路截面的电荷量

【典例 2】 如图 10-1-4 所示, 有一矩形线圈, 面积为 S , 匝数为 N , 内阻为 r , 在匀强磁场中绕垂直磁感线的对称轴 OO' 以角速度 ω 匀速转动, 从图示位置转过 90° 的过程中, 下列说法正确的是 () .

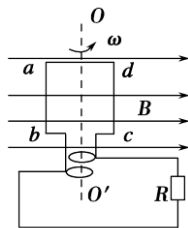


图 10-1-4

- A. 通过电阻 R 的电荷量 $Q = \frac{\pi NBS}{2\sqrt{2}(R+r)}$
- B. 通过电阻 R 的电荷量 $Q = \frac{NBS}{R+r}$
- C. 外力做功的平均功率 $P = \frac{N^2 B^2 S^2 \omega^2}{2(R+r)}$
- D. 从图示位置开始计时, 则感应电动势随时间变化的规律为 $e = NBS\omega \sin \omega t$

解析 从图示位置转过 90° 的过程中, 磁通量的变化量 $\Delta\Phi = BS$, 通过电阻 R 的电荷量 $Q = \overline{I} \Delta t = \frac{\overline{E}}{R+r} \Delta t = N \frac{\Delta\Phi}{R+r} = \frac{NBS}{R+r}$, 故选项 A 错误、B 正确; 矩形线圈绕垂直磁感线的对称轴 OO' 以角速度 ω 匀

速转动, 产生的感应电动势最大值为 $E_m = NBS\omega$, 感应电流有效值为 $I = \frac{E_m}{\sqrt{2}(R+r)}$, 外力做功的平均功

率为 $P = I^2(R+r) = \frac{N^2 B^2 S^2 \omega^2}{2(R+r)}$, 选项 C 正确; 从图示位置开始计时, 则感应电动势随时间变化的规律为 e

$= NBS\omega \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$, 选项 D 错误.

答案 BC

反思总结 交变电流瞬时值表达式的求法

(1)先求电动势的最大值 $E_m = nBS\omega$;

(2)求出角速度 ω , $\omega = \frac{2\pi}{T}$;

(3)明确从哪一位置开始计时，从而确定是正弦函数还是余弦函数；

(4)写出瞬时值的表达式。

【跟踪短训】

2. 如图 10-1-5 所示，在匀强磁场中匀速转动的矩形线圈的周期为 T ，转轴 O_1O_2 垂直于磁场方向，线圈电阻为 $2\ \Omega$ 。从线圈平面与磁场方向平行时开始计时，线圈转过 60° 时的感应电流为 $1\ \text{A}$ 。那么 ()。

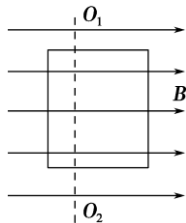


图 10-1-5

- A. 线圈消耗的电功率为 $4\ \text{W}$
- B. 线圈中感应电流的有效值为 $2\ \text{A}$
- C. 任意时刻线圈中的感应电动势为 $e = 4\cos\frac{2\pi}{T}t$
- D. 任意时刻穿过线圈的磁通量为 $\Phi = \frac{T}{\pi}\sin\frac{2\pi}{T}t$

解析 线圈转动角速度 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ，线圈平面从与磁场方向平行开始计时，当转过 60° 时，电流的瞬时值表达式为 $i = I_m \cos 60^\circ = 1\ \text{A} \Rightarrow I_m = 2\ \text{A}$ ，正弦交变电流有效值 $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}\ \text{A}$ ，B 项错；线圈消耗的功率 $P = I^2 R = 4\ \text{W}$ ，A 项正确；由欧姆定律可知，感应电动势最大值 $E_m = I_m R = 4\ \text{V}$ ，所以瞬时值表达式为 $e = 4 \cos\frac{2\pi}{T}t$ ，C 项正确；通过线圈的磁通量 $\Phi = \Phi_m \sin \omega t = \Phi_m \sin\frac{2\pi}{T}t$ ，由感应电动势的最大值 $E_m = BS\omega = \Phi_m \times \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \Phi_m = \frac{E_m T}{2\pi}$ ，解两式得： $\Phi = \frac{E_m T}{2\pi} \sin\frac{2\pi}{T}t = \frac{2T}{\pi} \sin\frac{2\pi}{T}t$ ，D 项错。

答案 AC

3. (2015 东北三校一模，19)如图 10-1-6 所示，一个“ \square ”形线框处在磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中， OO' 为磁场的边界。现使线框以角速度 ω 绕轴 OO' 匀速转动，通过金属转轴和电刷与阻值为 R 的外电阻相连。已知线框各边长为 L ，总电阻为 r ，不计转轴与电刷的电阻，则电路中电流的有效值为()。

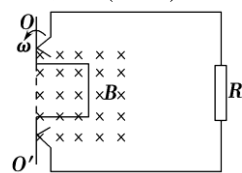


图 10-1-6

- A. $\frac{B\omega L^2}{R+r}$
- B. $\frac{\sqrt{2}B\omega L^2}{2(R+r)}$
- C. $\frac{\sqrt{2}B\omega L^2}{4(R+r)}$
- D. $\frac{B\omega L^2}{2(R+r)}$

解析 由交流电产生的原理可知，线框以图示位置为起点，以转过角度为阶段分析，在 $0 \sim \frac{\pi}{2}$ 内产生顺时针方向的电流， $\frac{\pi}{2} \sim \frac{3}{2}\pi$ 内无电流产生， $\frac{3}{2}\pi \sim 2\pi$ 内产生逆时针方向的电流， $\frac{\pi}{2}$ 、 $\frac{3}{2}\pi$ 时产生的电流值最大为 $I_m = \frac{BL^2\omega}{R+r}$ 。由交流电有效值定义可得： $\left(\frac{I_m}{\sqrt{2}}\right)^2 R \cdot \frac{T}{4} + 0 + \left(\frac{I_m}{\sqrt{2}}\right)^2 R \cdot \frac{T}{4} = I_x^2 R \cdot T$ ，得 $I_x = \frac{I_m}{2} = \frac{BL^2\omega}{2(R+r)}$ ，

所以 D 正确。

答案 D

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

思想方法 16.求交变电流有效值的方法

1. 公式法

利用 $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$, $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$, $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ 计算, 只适用于正余弦式交流电.

2. 利用有效值的定义计算(非正弦式交流电)

在计算有效值“相同时间”至少取一个周期或周期的整数倍.

3. 利用能量关系

当有电能和其他形式的能转化时, 可利用能的转化和守恒定律来求有效值.

【典例 1】(利用有效值的定义计算——分段转化为直流电)

如图 10-1-7 所示为一交变电流随时间变化的图象, 此交流电的有效值是().

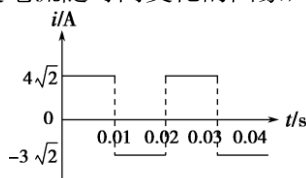


图 10-1-7

- A. $5\sqrt{2}$ A B. 5 A C. $3.5\sqrt{2}$ A D. 3.5 A

解析 选择一个周期(0.02 s)的时间, 根据交流电有效值的定义和焦耳定律, 有:

$$I^2 R \times 0.02 = (4\sqrt{2})^2 R \times 0.01 + (3\sqrt{2})^2 R \times 0.01$$

解之得: $I = 5$ A, 即 B 项正确.

答案 B

【典例 2】(利用有效值的定义计算——分段转化为正弦交变电流)

图 10-1-8 是表示一交变电流随时间变化的图象, 其中, 从 $t=0$ 开始的每个 $\frac{T}{2}$ 时间内的图象均为半个周期的正弦曲线. 求此交变电流的有效值.

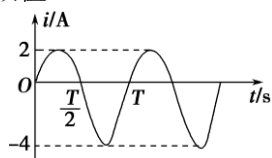


图 10-1-8

解析 虽然此题所给交变电流正、负半周的最大值不同, 但在任意一个周期内, 前半周期和后半周期的有效值是可以求的, 分别为 $I_1 = \frac{2}{\sqrt{2}}$ A, $I_2 = \frac{4}{\sqrt{2}}$ A. 设所求交变电流的有效值为 I , 根据有效值的定义, 选择一个周期的时间, 利用在相同时间内通过相同的电阻所产生的热量相等, 由焦耳

$$\text{定律得 } I^2 R T = I_1^2 R \frac{T}{2} + I_2^2 R \frac{T}{2}$$

$$\text{即 } I^2 = \left(\frac{2}{\sqrt{2}}\right)^2 \times \frac{1}{2} + \left(\frac{4}{\sqrt{2}}\right)^2 \times \frac{1}{2}$$

答案 $\sqrt{5}$ A

即学即练 如图 10-1-9 所示的区域内有垂直于纸面的匀强磁场, 磁感应强度为 B . 电阻为 R 、半径为 L 、圆心角为 45° 的扇形闭合导线框绕垂直于纸面的 O 轴以角速度 ω 匀速转动(O 轴位于磁场边界). 则线框内产生的感应电流的有效值为().

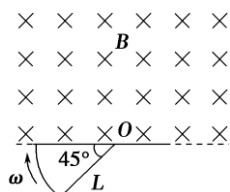


图 10-1-9

- A. $\frac{BL^2\omega}{2R}$ B. $\frac{\sqrt{2}BL^2\omega}{2R}$ C. $\frac{\sqrt{2}BL^2\omega}{4R}$ D. $\frac{BL^2\omega}{4R}$

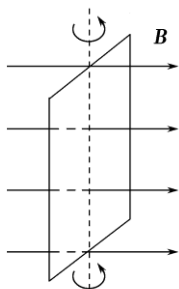
解析 线框转动的角速度为 ω ，进磁场的过程用时 $\frac{1}{8}$ 周期，出磁场的过程用时 $\frac{1}{8}$ 周期，进、出磁场时

产生的感应电流大小均为 $I' = \frac{\frac{1}{2}BL^2\omega}{R}$ ，则转动一周产生的感应电流的有效值 I 满足 $I^2RT = \left(\frac{\frac{1}{2}BL^2\omega}{R}\right)^2 R \times \frac{1}{4}T$ ，解得 $I = \frac{BL^2\omega}{4R}$ ，D 项正确。

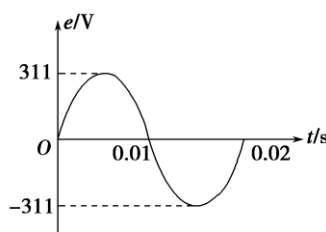
答案 D

附：对应高考题组(PPT 课件文本，见教师用书)

1. (2011 天津理综，4) 在匀强磁场中，一矩形金属线框绕与磁感线垂直的转轴匀速转动，如图甲所示，产生的交变电动势的图象如图乙所示，则()。



图甲



图乙

- A. $t=0.005$ s 时线框的磁通量变化率为零
 B. $t=0.01$ s 时线框平面与中性面重合
 C. 线框产生的交变电动势有效值为 311 V
 D. 线框产生的交变电动势频率为 100 Hz

解析 线框中感应电动势与磁通量的变化率成正比，而 $t=0.005$ s 时 e 最大，故 A 错误。 $t=0.01$ s 时 $e=0$ ，故 B 正确。电动势有效值为 $311 \times \frac{\sqrt{2}}{2}$ V ≈ 220 V，故 C 错误。周期 $T=0.02$ s，频率 $f=\frac{1}{T}=50$ Hz，故 D 错误。

答案 B

2. (2012 北京理综，15) 一个小电热器若接在输出电压为 10 V 的直流电源上，消耗电功率为 P ；若把它接在某个正弦式交流电源上，其消耗的电功率为 $\frac{P}{2}$ 。如果电热器电阻不变，则此交流电源输出电压的最大值为()。

- A. 5 V B. $5\sqrt{2}$ V C. 10 V D. $10\sqrt{2}$ V

解析 根据 $P = \frac{U^2}{R}$ ，对直流电有 $P = \frac{10^2}{R}$ ，对正弦式交流电有 $\frac{P}{2} = \frac{U'^2}{R}$ ，所以正弦式交流电的有效值为 $U' = \sqrt{\frac{PR}{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}}$ V，故交流电源输出电压的最大值 $U_m' = \sqrt{2}U' = 10$ V，故选项 C 正确，选项 A、B、D 错误。

答案 C

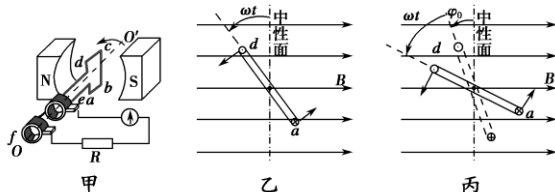
3. (2012 广东理综，19) 某小型发电机产生的交变电动势为 $e=50\sin 100\pi t$ (V)。对此电动势，下列表述正确的有()。

- A. 最大值是 $50\sqrt{2}$ V B. 频率是 100 Hz
 C. 有效值是 $25\sqrt{2}$ V D. 周期是 0.02 s

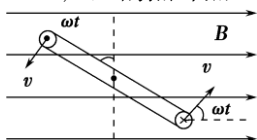
解析 交变电动势 $e = E_m \sin \omega t$ 或 $e = E_m \cos \omega t$ ，其中 E_m 为电动势的最大值， ω 为角速度，有效值 $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$ ，周期 $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ，频率 $f = \frac{1}{T}$ 。由 $e = 50\sin 100\pi t$ (V) 知， $E_m = 50$ V， $E = \frac{50}{\sqrt{2}}$ V $= 25\sqrt{2}$ V， $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{100\pi}$ s $= 0.02$ s， $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.02}$ Hz $= 50$ Hz，所以选项 C、D 正确。

答案 CD

4. (2012 安徽卷, 23)如图甲所示是交流发电机模型示意图. 在磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 有一矩形线圈 $abcd$ 可绕线圈平面内垂直于磁感线的轴 OO' 转动, 由线圈引出的导线 ae 和 df 分别与两个跟线圈一起绕 OO' 转动的金属圆环相连接, 金属圆环又分别与两个固定的电刷保持滑动接触, 这样矩形线圈在转动中就可以保持和外电路电阻 R 形成闭合电路. 图乙是线圈的主视图, 导线 ab 和 cd 分别用它们的横截面来表示. 已知 ab 长度为 L_1 , bc 长度为 L_2 , 线圈以恒定角速度 ω 逆时针转动. (只考虑单匝线圈)



- (1) 线圈平面处于中性面位置时开始计时, 试推导 t 时刻整个线圈中的感应电动势 e_1 的表达式;
 (2) 线圈平面处于与中性面成 φ_0 夹角位置时开始计时, 如图丙所示, 试写出 t 时刻整个线圈中的感应电动势 e_2 的表达式;
 (3) 若线圈电阻为 r , 求线圈每转动一周电阻 R 上产生的焦耳热. (其它电阻均不计)



解析 (1) 矩形线圈 $abcd$ 在磁场中转动时, ab 、 cd 切割磁感线, 且转动的半径为 $r = \frac{L_2}{2}$, 转动时 ab 、 cd 的线速度 $v = \omega r = \frac{\omega L_2}{2}$, 且与磁场方向的夹角为 ωt , 所以, 整个线圈中的感应电动势 $e_1 = 2BL_1v\sin\omega t = BL_1L_2\omega\sin\omega t$.

(2) 当 $t=0$ 时, 线圈平面与中性面的夹角为 φ_0 , 则某时刻 t 时, 线圈平面与中性面的夹角为 $(\omega t + \varphi_0)$, 故此时感应电动势的瞬时值 $e_2 = 2BL_1v\sin(\omega t + \varphi_0) = BL_1L_2\omega\sin(\omega t + \varphi_0)$.

(3) 线圈匀速转动时感应电动势的最大值 $E_m = BL_1L_2\omega$, 故有效值 $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{BL_1L_2\omega}{\sqrt{2}}$

回路中电流的有效值 $I = \frac{E}{R+r} = \frac{B\omega L_1L_2}{\sqrt{2}(R+r)}$, 根据焦耳定律知转动一周电阻 R 上的焦耳热为 $Q = I^2RT$

$$= \left[\frac{B\omega L_1L_2}{\sqrt{2}(R+r)} \right]^2 R \frac{2\pi}{\omega} = \frac{\pi\omega RB^2L_1^2L_2^2}{(R+r)^2}$$

答案 (1) $e_1 = BL_1L_2\omega\sin\omega t$ (2) $e_2 = BL_1L_2\omega\sin(\omega t + \varphi_0)$ (3) $\frac{\pi\omega RB^2L_1^2L_2^2}{(R+r)^2}$

活页·作业

知能分级练

A 对点训练——练熟基础知识

题组一 交变电流的产生及变化规律

1. (单选) 一矩形线框在匀强磁场内绕垂直于磁场的轴匀速转动的过程中, 线框输出的交流电压随时间变化的图象如图 10-1-10 所示, 下列说法中正确的是().

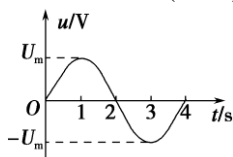


图 10-1-10

- A. $t=0$ 时刻线框平面与磁场平行
 B. 交流电压的频率为 4 Hz
 C. 1 s 末线框平面垂直于磁场, 通过线框的磁通量变化最快

D. 2 s 末线框平面垂直于磁场，通过线框的磁通量最大

解析 由 $u-t$ 图象可知， $t=0$ 时刻瞬时电压为零，线框处于中性面，频率 $f = \frac{1}{T} = 0.25 \text{ Hz}$ ，故选项 A、B 错误；由图象可知，1 s 末交变电压最大，通过线框的磁通量变化率最大，此时线框与磁场方向平行，而 2 s 末交变电压为零，此时线框经过中性面与磁场垂直，穿过线框的磁通量最大，故选项 C 错误、D 正确。

答案 D

2. (单选)如图 10-1-11 所示为发电机结构示意图，其中 N、S 是永久磁铁的两个磁极，其表面呈半圆柱面状。M 是圆柱形铁芯，它与磁极柱面共轴，铁芯上绕有矩形线框，可绕与铁芯共轴的固定轴转动。磁极与铁芯间的磁场均匀辐向分布。从图示位置开始计时，当线框匀速转动时，图中能正确反映线框感应电动势 e 随时间 t 的变化规律的是()。

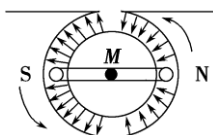
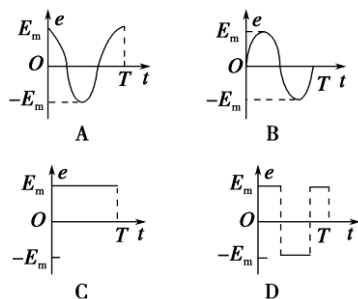


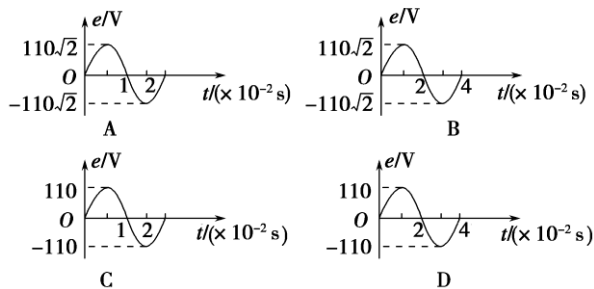
图 10-1-11



解析 矩形线框在均匀辐向磁场中转动， v 始终与 B 垂直，由 $E = BLv$ 知 E 大小不变，方向周期性变化。

答案 D

3. (单选)某台家用柴油发电机正常工作时能够产生与我国照明电网相同的交变电流。现在该发电机出现了故障，转子匀速转动时的转速只能达到正常工作时的一半，则它产生的交变电动势随时间变化的图象是()。



解析 线圈转速为正常时的一半，据 $\omega = 2\pi n = \frac{2\pi}{T}$ 知，周期变为正常时的 2 倍，又据 $E_m = NBS\omega$ 知，最大值变为正常时的一半，结合我国电网交流电实际情况，知正确选项为 B。

答案 B

题组二 交变电流有效值的计算

4. (单选)如图 10-1-12 所示，图甲和图乙分别表示正弦脉冲波和方波的交变电流与时间的变化关系。若使这两种电流分别通过两个完全相同的电阻，则经过 1 min 的时间，两电阻消耗的电功之比 $W_{甲} : W_{乙}$ 为()。

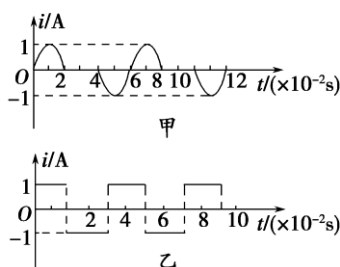


图 10-1-12

- A. $1:\sqrt{2}$ B. $1:2$ C. $1:3$ D. $1:6$

解析 电功的计算中, I 要用有效值计算. 图甲中, 由有效值的定义得

$$\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 R \times 2 \times 10^{-2} + 0 + \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 R \times 2 \times 10^{-2} = I_1^2 R \times 6 \times 10^{-2}$$

$$\text{得 } I_1 = \frac{\sqrt{3}}{3} \text{ A}$$

图乙中, I 的值不变, $I_2 = 1 \text{ A}$

由 $W = Ut = I^2 R t$ 可以得到 $W_{\text{甲}}:W_{\text{乙}} = 1:3$.

答案 C

5. (多选)如图 10-1-13 所示, 先后用不同的交流电源给同一盏灯泡供电. 第一次灯泡两端的电压随时间按正弦规律变化, 如图 10-1-14 甲所示; 第二次灯泡两端的电压变化规律如图乙所示. 若图甲、乙中的 U_0 、 T 所表示的电压、周期值是相等的, 则以下说法正确的是().

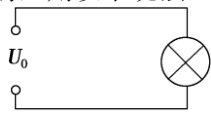


图 10-1-13

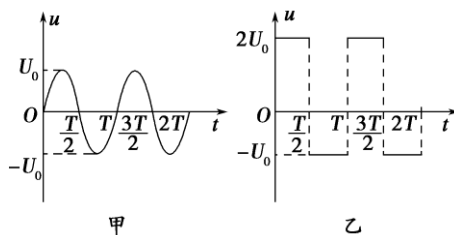


图 10-1-14

- A. 第一次灯泡两端的电压有效值是 $\frac{\sqrt{2}}{2}U_0$
 B. 第二次灯泡两端的电压有效值是 $\frac{3}{2}U_0$
 C. 第一次和第二次灯泡的电功率之比是 $2:9$
 D. 第一次和第二次灯泡的电功率之比是 $1:5$

解析 第一次所加正弦交流电压的有效值为 $U_1 = \frac{\sqrt{2}}{2}U_0$, A 项正确; 设第二次所加交流电压的有效

值为 U_2 , 则根据有效值的含义有 $\frac{U_2^2}{R}T = \frac{(2U_0)^2}{R} \frac{T}{2} + \frac{U_0^2}{R} \frac{T}{2}$, 解得 $U_2 = \frac{\sqrt{10}}{2}U_0$, B 项错; 根据电功率的定义式

$P = \frac{U^2}{R}$ 可知, $P_1:P_2 = 1:5$, C 项错、D 项正确.

答案 AD

题组三 交变电流“四值”的应用

6. (单选)电阻 R_1 、 R_2 与交流电源按照如图 10-1-15 甲所示方式连接, $R_1 = 10 \Omega$ 、 $R_2 = 20 \Omega$. 合上开关 S 后, 通过电阻 R_2 的正弦交变电流 i 随时间 t 变化的情况如图乙所示. 则().

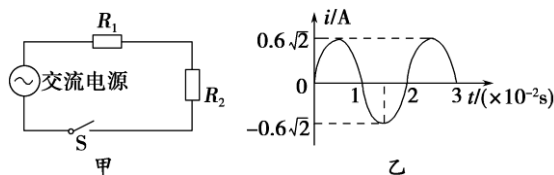


图 10 - 1 - 15

- A. 通过 R_1 的电流的有效值是 1.2 A
- B. R_1 两端的电压有效值是 6 V
- C. 通过 R_2 的电流的有效值是 $1.2\sqrt{2}$ A
- D. R_2 两端的电压有效值是 $6\sqrt{2}$ V

解析 由题图知流过 R_2 交流电电流的最大值 $I_{2m} = 0.6\sqrt{2}$ A, 有效值 $I_2 = \frac{I_{2m}}{\sqrt{2}} = 0.6$ A, 故选项 C 错误; 由 $U_{2m} = I_{2m}R_2 = 12\sqrt{2}$ V 知, $U_2 = 12$ V, 选项 D 错误; 因串联电路电流处处相同, 则 $I_{1m} = 0.6\sqrt{2}$ A, 电流的有效值 $I_1 = \frac{I_{1m}}{\sqrt{2}} = 0.6$ A, 故选项 A 错误; 由 $U_1 = I_1R_1 = 6$ V, 故选项 B 正确.

答案 B

7. (多选)如图 10-1-16 所示, 闭合的矩形导体线圈 $abcd$ 在匀强磁场中绕垂直于磁感线的对称轴 OO' 匀速转动, 沿着 OO' 方向观察, 线圈沿逆时针方向转动. 已知匀强磁场的磁感应强度为 B , 线圈匝数为 n , ab 边的边长为 l_1 , ad 边的边长为 l_2 , 线圈的电阻为 R , 转动的角速度为 ω , 则当线圈转至图示位置时().

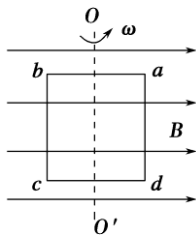


图 10-1-16

- A. 线圈中感应电流的方向为 $abcda$
- B. 线圈中的感应电动势为 $2nBl_2\omega$
- C. 穿过线圈磁通量随时间的变化率最大
- D. 线圈 ad 边所受安培力的大小为 $\frac{n^2B^2l_1l_2^2\omega}{R}$

解析 当线圈转到图示的位置时, 线圈的磁通量即将向右增加, 由楞次定律结合安培定则可知, 线圈中感应电流的方向为 $adcba$, 故 A 错误; 当转到图示的位置时产生的电动势最大, 由法拉第电磁感应定律可得, 穿过线圈的磁通量的变化率最大. 此时电动势的大小为: $e = 2nBl_2\omega \frac{l_1}{2} = nBl_1l_2\omega$, B 错误, C 正确; 线圈此时的感应电流大小为: $I = \frac{e}{R} = \frac{nBl_1l_2\omega}{R}$, 所以 ad 边所受的安培力的大小为: $F = nBIl_2$, 代入 I 可得: $F = \frac{n^2B^2l_1l_2^2\omega}{R}$, D 正确.

答案 CD

8. (单选)一台小型发电机产生的电动势随时间变化的正弦规律图象如图 10-1-17 甲所示. 电路组成如图乙所示, 已知发电机线圈内阻为 5.0Ω , 外接灯泡阻值为 95.0Ω , 灯泡正常发光, 则().

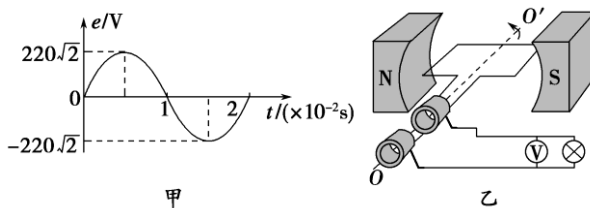


图 10 - 1 - 17

- A. 电压表④的示数为 220 V
- B. 电路中的电流方向每秒钟改变 50 次
- C. 灯泡消耗的功率为 509 W
- D. 发电机线圈内阻每秒钟产生的焦耳热为 24.2 J

解析 电压表④的示数应为有效值, $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{R}{R+r} = 209 \text{ V}$, A 项错; 电路中的电流方向每秒钟改变

100 次, B 项错; $P_{\text{灯}} = \frac{U^2}{R} = 459.8 \text{ W}$, C 项错; 发电机线圈内阻的发热功率为 $P' = I^2 r = \left(\frac{U}{R}\right)^2 r = 24.2 \text{ W}$, 每秒生热 24.2 J, D 项对.

答案 D

9. (2013 福建卷, 15)(单选)如图 10-1-18 所示, 实验室一台手摇交流发电机, 内阻 $r=1.0 \Omega$, 外接 $R=9.0 \Omega$ 的电阻. 闭合开关 S, 当发电机转子以某一转速匀速转动时, 产生的电动势 $e=10\sqrt{2}\sin 10\pi t$ (V), 则().

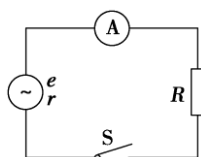


图 10-1-18

- A. 该交变电流的频率为 10 Hz
- B. 该电动势的有效值为 $10\sqrt{2} \text{ V}$
- C. 外接电阻 R 所消耗的电功率为 10 W
- D. 电路中理想交流电流表④的示数为 1.0 A

解析 由 $e=10\sqrt{2}\sin 10\pi t$ (V) 知电动势的有效值 $E_{\text{有}} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{10\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \text{ V} = 10 \text{ V}$, 故 B 选项错误; 电路

中的理想电流表示数为电流的有效值: $I_{\text{有}} = \frac{E_{\text{有}}}{r+R} = 1.0 \text{ A}$, 故 D 选项正确; 电阻 R 消耗的电功率 $P = I_{\text{有}}^2 R$

$= 9.0 \text{ W}$, 故 C 选项错误; 交流电的角速度 $\omega = 10\pi \text{ rad/s}$, 所以频率 $f = \frac{\omega}{2\pi} = 5 \text{ Hz}$, 故 A 选项错误.

答案 D

10. (单选)如图 10-1-19 所示, 矩形线圈面积为 S , 匝数为 N , 线圈电阻为 r , 在磁感应强度为 B 的匀强磁场中绕 OO' 轴以角速度 ω 匀速转动, 外电路电阻为 R , 当线圈由图示位置转过 60° 的过程中, 下列判断正确的是().

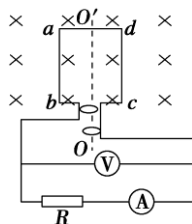


图 10-1-19

- A. 电压表的读数为 $\frac{NBS\omega}{\sqrt{2}}$
- B. 通过电阻 R 的电荷量为 $q = \frac{NBS}{2(R+r)}$
- C. 电阻 R 所产生的焦耳热为 $Q = \frac{N^2 B^2 S^2 \omega R \pi}{4(R+r)^2}$
- D. 当线圈由图示位置转过 60° 时的电流为 $\frac{NSB\omega}{2(R+r)}$

解析 线圈在磁场中转动产生正弦交流电, 其电动势的最大值为 $E_m = NBS\omega$, 电动势的有效值为 E

$= \frac{NBS\omega}{\sqrt{2}}$, 电压表的读数等于交流电源的路端电压, 且为有效值, 则 $U = \frac{NBS\omega R}{\sqrt{2}(R+r)}$, A 错误; 求通过电阻

R 的电荷量要用交流电的平均电流, 即 $q = \overline{I}t = \frac{N\Delta\Phi}{R+r} = \frac{N\left(BS - \frac{1}{2}BS\right)}{R+r} = \frac{NBS}{2(R+r)}$, 故 B 正确; 计算电阻 R

上产生的焦耳热应该用有效值, 则电阻 R 产生的焦耳热为 $Q = I^2Rt = \left[\frac{NBS\omega}{\sqrt{2}(R+r)}\right]^2 R \frac{\pi}{\omega} = \frac{\pi N^2 B^2 S^2 R \omega}{6(R+r)^2}$, 故 C

错误; 线圈由图示位置转过 60° 时的电流为瞬时值, 则符合电流瞬时值表达式, 大小为 $i = \frac{NBS\omega}{R+r} \sin \frac{\pi}{3} =$

$\frac{\sqrt{3}NBS\omega}{2(R+r)}$, 故 D 错误.

答案 B

B 深化训练——提高能力技巧

11. (2013 西安五校联考)(单选)如图 10-1-20 所示, N 匝矩形导线框以角速度 ω 在磁感应强度为 B 的匀强磁场中绕轴 OO' 匀速转动, 线框面积为 S , 线框的电阻、电感均不计, 外电路接有电阻 R 、理想电流表 A 和二极管 D . 二极管 D 具有单向导电性, 即正向电阻为零, 反向电阻无穷大. 下列说法正确的是().

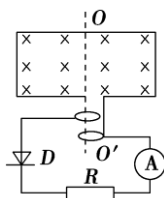


图 10-1-20

- A. 图示位置电流表的示数为 0
- B. R 两端电压的有效值 $U = \frac{\omega}{\sqrt{2}}NBS$
- C. 一个周期内通过 R 的电荷量 $q = 2NBS/R$
- D. 交流电流表的示数 $I = \frac{\omega}{2R}NBS$

解析 图示位置电流表测的是有效值, 故其示数不为 0, 选项 A 错误; 由于接有二极管, 二极管 D 具有单向导电性, 由 $\left(\frac{\omega}{\sqrt{2}R}NBS\right)^2 RT/2 = U^2 T/R$ 解得 R 两端电压的有效值 $U = \omega NBS/2$, 交流电流表的示数 $I = \frac{\omega}{2R}NBS$, 选项 B 错误、D 正确; 一个周期内通过 R 的电荷量 $q = 2NBS/R$, 选项 C 错误.

答案 D

12. (多选)如图 10-1-21 甲所示, 将阻值为 $R = 5 \Omega$ 的电阻接到内阻不计的正弦交变电源上, 电流随时间变化的规律如图乙所示, 电流表串联在电路中测量电流的大小. 对此, 下列说法正确的是().

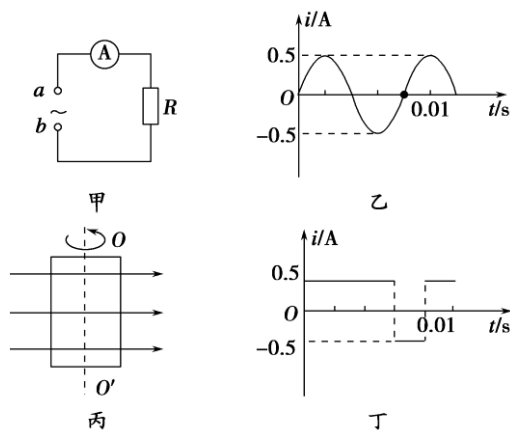


图 10 - 1 - 21

- A. 电阻 R 两端电压变化规律的函数表达式为 $u=2.5\sin(200\pi t)$ V
 B. 电阻 R 消耗的电功率为 1.25 W
 C. 如图丙所示, 若此交变电流由一矩形线框在匀强磁场中匀速转动产生, 当线圈的转速提升一倍时, 电流表的示数为 1 A
 D. 这一交变电流与图丁所示电流比较, 其有效值之比为 $\frac{1}{\sqrt{2}}$

解析 图乙所示电流的最大值为 $I_m=0.5$ A, 周期为 $T=0.01$ s, 其角速度为 $\omega=\frac{2\pi}{T}=200\pi$ rad/s, 由欧姆定律得 $U_m=I_mR=2.5$ V. 所以 R 两端电压的表达式为 $u=2.5\sin(200\pi t)$ V, 选项 A 正确. 该电流的有效值为 $I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$, 电阻 R 消耗的电功率为 $P=I^2R$, 解得 $P=0.625$ W, B 选项错误. $\odot A$ 的示数为有效值, 该交变电流由图丙所示矩形线圈在匀强磁场中匀速转动产生, 当转速提升一倍时, 电动势的最大值 $E_m=nBS\omega$ 为原来的 2 倍. 电路中电流的有效值也是原来的 2 倍, 为 $2\times\frac{0.5}{\sqrt{2}}$ A $\neq 1$ A. 选项 C 错误. 图乙中的正弦交变电流的有效值为 $\frac{0.5}{\sqrt{2}}$ A. 图丁所示的交变电流虽然方向发生变化, 但大小恒为 0.5 A, 可知选项 D 正确.

答案 AD

13. (2014 郑州模拟)如图 10-1-22 甲所示, 一固定的矩形导体线圈水平放置, 线圈的两端接一只小灯泡, 在线圈所在空间内存在着与线圈平面垂直的均匀分布的磁场. 已知线圈的匝数 $n=100$ 匝, 总电阻 $r=1.0$ Ω , 所围成矩形的面积 $S=0.040$ m^2 , 小灯泡的电阻 $R=9.0$ Ω , 磁感应强度随时间按如图乙所示的规律变化, 线圈中产生的感应电动势瞬时值的表达式为 $e=nB_mS\frac{2\pi}{T}\cos\frac{2\pi}{T}t$, 其中 B_m 为磁感应强度的最大值, T 为磁场变化的周期, 不计灯丝电阻随温度的变化, 求:

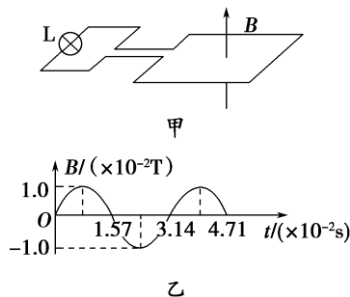


图 10 - 1 - 22

- (1)线圈中产生感应电动势的最大值;
 (2)小灯泡消耗的电功率;
 (3)在磁感应强度变化的 $0\sim\frac{T}{4}$ 时间内, 通过小灯泡的电荷量.

解析 (1)由图象知, 线圈中产生的交变电流的周期 $T=3.14\times 10^{-2}$ s, 所以 $E_m=nB_mS\omega=\frac{2\pi nB_mS}{T}=\frac{2\pi\times 100\times 1.0\times 0.040}{3.14\times 10^{-2}}=800$ V

8.0 V.

$$(2) \text{ 电流的最大值 } I_m = \frac{E_m}{R+r} = 0.80 \text{ A}$$

$$\text{有效值 } I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\sqrt{2}}{5} \text{ A}$$

$$\text{小灯泡消耗的电功率 } P = I^2 R = 2.88 \text{ W.}$$

$$(3) \text{ 在 } 0 \sim \frac{T}{4} \text{ 时间内, 电动势的平均值 } \overline{E} = \frac{nS\Delta B}{\Delta t}$$

$$\text{平均电流 } \overline{I} = \frac{\overline{E}}{R+r} = \frac{nS\Delta B}{(R+r)\Delta t}$$

$$\text{流过灯泡的电荷量 } Q = \overline{I} \Delta t = \frac{nS\Delta B}{R+r} = 4.0 \times 10^{-3} \text{ C.}$$

答案 (1)8.0 V (2)2.88 W (3) 4.0×10^{-3} C

第2讲 变压器 电能的输送

梳理深化·强基固本

必考必会 必记必做

考点 I

理想变压器 (考纲要求 II)

1. 构造: 如图 10-2-1 所示, 变压器是由闭合铁芯和绕在铁芯上的两个线圈组成的.

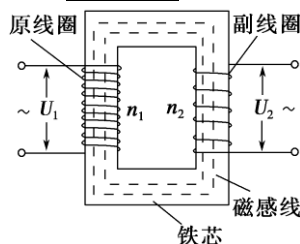


图 10-2-1

(1)原线圈: 与交流电源连接的线圈, 也叫初级线圈.

(2)副线圈: 与负载连接的线圈, 也叫次级线圈.

2. 原理: 电流磁效应、电磁感应.

3. 基本关系式

$$(1) \text{ 功率关系: } P_{\text{入}} = P_{\text{出}}$$

$$(2) \text{ 电压关系: } \frac{U_1}{n_1} = \frac{U_2}{n_2}$$

$$\text{有多个副线圈时 } \frac{U_1}{n_1} = \frac{U_2}{n_2} = \frac{U_3}{n_3} = \dots$$

$$(3) \text{ 电流关系: 只有一个副线圈时 } \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\text{由 } P_{\text{入}} = P_{\text{出}} \text{ 及 } P = UI \text{ 推出有多个副线圈时, } U_1 I_1 = U_2 I_2 + U_3 I_3 + \dots + U_n I_n$$

4. 几种常用的变压器

(1)自耦变压器——调压变压器

(2)互感器

- 电压互感器: 用来把高电压变成低电压.
- 电流互感器: 用来把大电流变成小电流.

思维深化 1 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1)没有能量损失的变压器叫理想变压器. ()

(2)变压器只对变化的电流起作用, 对恒定电流不起作用. ()

(3)变压器不但能改变交变电流的电压, 还能改变交变电流的频率. ()

(4)变压器能改变交变电压、交变电流, 但不改变功率即输入功率总等于输出功率. ()

答案 (1)√ (2)√ (3)× (4)√

考点2

远距离输电 (考纲要求 1)

1. 输电过程(如图 10-2-2 所示)

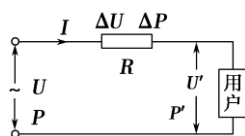


图 10-2-2

2. 输电导线上的能量损失: 主要是由输电线的电阻发热产生的, 表达式为 $Q = I^2 R t$.

3. 电压损失

(1) $\Delta U = U - U'$; (2) $\Delta U = IR$

4. 功率损失

(1) $\Delta P = P - P'$; (2) $\Delta P = I^2 R = \left(\frac{P}{U}\right)^2 R$

5. 输送电流

(1) $I = \frac{P}{U}$; (2) $I = \frac{U - U'}{R}$.

思维深化 2 判断正误, 正确的划“√”, 错误的划“×”.

(1) 变压器副线圈并联更多的用电器时, 原线圈输入的电流随之增大. ()

(2) 增大输电导线的横截面积有利于减少输电过程中的电能损失. ()

(3) 高压输电是通过减小输电电流来减少电路的发热损耗. ()

(4) 在输送电压一定时, 输送的电功率越大, 输电过程中的电能损失越小. ()

答案 (1)√ (2)√ (3)√ (4)×

基础自测

1. (多选)关于理想变压器的工作原理, 以下说法正确的是().

- A. 通过正弦交变电流的原线圈产生的磁通量不变
- B. 穿过原、副线圈的磁通量在任何时候都相等
- C. 穿过副线圈磁通量的变化使得副线圈产生感应电动势
- D. 原线圈中的电流通过铁芯流到了副线圈

解析 由于是交变电流, 交变电流的磁场不断变化, 磁通量也在变化, A 错误; 因理想变压器无漏磁, 故 B、C 正确; 原线圈中的电能转化为磁场能又转化为电能, 故 D 错.

答案 BC

2. (多选)如图 10-2-3 所示, 理想变压器原、副线圈匝数比为 2:1, 电池和交变电源的电动势都为 6 V, 内阻均不计. 下列说法正确的是().

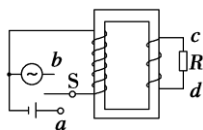


图 10-2-3

- A. S 与 a 接通的瞬间, R 中无感应电流
- B. S 与 a 接通稳定后, R 两端的电压为 0
- C. S 与 b 接通稳定后, R 两端的电压为 3 V
- D. S 与 b 接通稳定后, 原、副线圈中电流的频率之比为 2:1

解析 S 与 a 接通的瞬间, 副线圈有瞬间的感应电流, A 错误; S 与 a 接通稳定后, 理想变压器的原线圈电流稳定不变, 副线圈电压为零, B 正确; S 与 b 接通稳定后, 根据 $U_1:U_2 = n_1:n_2$, 可得 R 两端的电压为 3 V, C 正确; 原、副线圈的频率相同, D 错误.

答案 BC

3. (单选)一输入电压为 220 V, 输出电压为 36 V 的变压器副线圈烧坏. 为获知此变压器原、副线圈匝数, 某同学拆下烧坏的副线圈, 用绝缘导线在铁芯上新绕了 5 匝线圈, 如图 10-2-4 所示, 然后

将原线圈接到 220 V 交流电源上, 测得新绕线圈的端电压为 1 V. 按理想变压器分析, 该变压器烧坏前的原、副线圈匝数分别为().

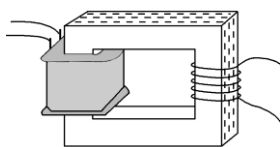


图 10-2-4

- A. 1 100,360 B. 1 100,180 C. 2 200,180 D. 2 200,360

解析 根据 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 可得 $\frac{220}{1} = \frac{n_1}{n_2}$, 可知 $n_1 = 1\ 100$. 排除 C、D 两项. 再由 $\frac{220}{36} = \frac{n_1}{n_2}$ 可知 $n_2 = 180$, 故 A

错、B 对.

答案 B

4. (多选) 在远距离输电中, 当输电线的电阻和输送的电功率不变时, 那么().

- A. 输电线路路上损失的电压与输送电流成正比
 B. 输电的电压越高, 输电线路路上损失的电压越大
 C. 输电线路路上损失的功率跟输送电压的平方成反比
 D. 输电线路路上损失的功率跟输电线上的电流成正比

解析 输电线路路上损失电压 $\Delta U = IR$, 在 R 一定时, ΔU 和 I 成正比. 若 U 越高, $I = \frac{P}{U}$, I 越小, 那么 ΔU 越小. 输电线路路上损失的功率 $\Delta P = I^2 R$, 当 P 一定时, $I = \frac{P}{U}$, 所以 $\Delta P = \left(\frac{P}{U}\right)^2 R$, 即 ΔP 和 U 的平方成反比, 跟 I 的平方成正比, 故 A、C 正确.

答案 AC

5. (2013 汕头质量测评)(单选) 如图 10-2-5 所示为远距离输电的电路原理图, 下列判断正确的是().

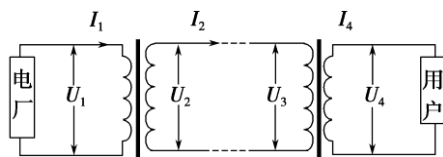


图 10-2-5

- A. $U_1 > U_2$ B. $U_2 = U_3$ C. $I_4 < I_2$ D. $I_1 > I_2$

解析 在远距离输电的过程中, 第一级为升压过程, 故 $U_1 < U_2$, 理想变压器输入功率等于输出功率, 即 $U_1 I_1 = U_2 I_2$, 可得 $I_1 > I_2$, A 错误、D 正确; 由部分电路欧姆定律可得 $U_3 = U_2 - I_2 R_{\text{线}}$, B 错误; 由于第二级为降压过程, 故 $U_3 > U_4$, 由 $U_3 I_2 = U_4 I_4$, 可知 $I_2 < I_4$, C 错误.

答案 D

多维课堂·热点突破

师生互动 教学相长

热点一 变压器基本规律的应用

理想变压器的规律

理想变压器		①没有能量损失; ②没有磁通量损失
基本关系	功率关系	原线圈的输入功率等于副线圈的输出功率 $P_{\text{入}} = P_{\text{出}}$
	电压关系	原、副线圈的电压比等于匝数比, 即 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$, 与负载情况、副线圈个数的多少无关

	电流关系	①只有一个副线圈：电流和匝数成反比，即 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$ ； ②多个副线圈：由输入功率和输出功率相等确定电流关系，即 $U_1 I_1 = U_2 I_2 + U_3 I_3 + \dots + I_n U_n$
	频率关系	原、副线圈中电流的频率相等
制约关系	电压	副线圈电压 U_2 由原线圈电压 U_1 和匝数比决定，即 $U_2 = \frac{n_2}{n_1} U_1$ (原制约副)
	功率	副线圈中的功率 P_2 由用户负载决定，原线圈的输入功率 P_1 由副线圈的输出功率 P_2 决定，即 $P_1 = P_2$ (副制约原)
	电流	原线圈的电流 I_1 由副线圈的电流 I_2 和匝数比决定，即 $I_1 = \frac{n_2}{n_1} I_2$ (副制约原)

【典例 1】

(2013 广东卷, 16)如图 10-2-6, 理想变压器原、副线圈匝数比 $n_1 : n_2 = 2 : 1$, ①和②均为理想电表, 灯泡电阻 $R_L = 6 \Omega$, AB 端电压 $u_1 = 12\sqrt{2}\sin 100\pi t$ (V), 下列说法正确的是()。

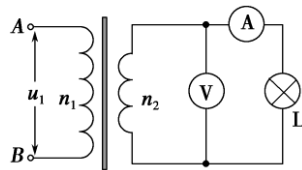


图 10-2-6

- A. 电流频率为 100 Hz B. ①的读数为 24 V
 C. ②的读数为 0.5 A D. 变压器输入功率为 6 W

解析 由 $\omega = 2\pi f = 100\pi \text{ rad/s}$ 得: $f = 50 \text{ Hz}$, A 错. 有效值 $U_1 = 12 \text{ V}$, 又: $\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1}$ 得: $U_2 = 6 \text{ V}$, $I_2 = \frac{U_2}{R_L} = 1 \text{ A}$, B、C 项错. 由能量守恒得 $P_1 = P_2 = U_2 I_2 = 6 \text{ W}$, D 对.

答案 D

【跟踪短训】

1. (2012 重庆卷, 15)如图 10-2-7 所示, 理想变压器的原线圈接入 $u = 11\,000 \sqrt{2}\sin 100\pi t$ (V) 的交变电压, 副线圈通过电阻 $r = 6 \Omega$ 的导线对“220 V, 880 W”的电器 R_L 供电, 该电器正常工作. 由此可知()。

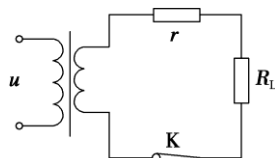


图 10-2-7

- A. 原、副线圈的匝数比为 50 : 1
 B. 交变电压的频率为 100 Hz
 C. 副线圈中电流的有效值为 4 A
 D. 变压器的输入功率为 880 W

解析 由电器 R_L 正常工作, 可得通过副线圈的电流为 $I = \frac{P}{U} = \frac{880}{220} \text{ A} = 4 \text{ A}$, 故 C 对; 副线圈导线所分电压为 $U_r = 4 \times 6 \text{ V} = 24 \text{ V}$, 副线圈两端电压 $U_2 = 220 \text{ V} + 24 \text{ V} = 244 \text{ V}$, 因此原、副线圈的匝数比 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{11\,000}{244} = \frac{2\,750}{61}$, 故 A 错; 又 $P_1 = P_2 = U_2 I_2 = 244 \times 4 \text{ W} = 976 \text{ W}$, 故 D 错; 交变电压的频率 $f = \frac{\omega}{2\pi} = 50 \text{ Hz}$, 故 B 错.

答案 C

热点二 理想变压器的动态分析

解决理想变压器中有关物理量的动态分析问题的方法

1. 分清不变量和变量, 弄清理想变压器中电压、电流、功率之间的联系和相互制约关系, 利用闭合电路欧姆定律, 串、并联电路特点进行分析判定.

2. 分析该类问题的一般思维流程是:

$$U_1 \xrightarrow{\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}} U_2 \xrightarrow{I_2 = \frac{U_2}{R_{\text{负载}}}} I_2 \xrightarrow{\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}} I_1 \xrightarrow{P_1 = I_1 U_1} P_1$$

【典例 2】如图 10-2-8 所示, 理想变压器原、副线圈的匝数之比为 10:1, b 是原线圈的中心抽头, 电压表和电流表均为理想电表, 从某时刻开始在原线圈 c 、 d 两端加上交变电压, 其瞬时值表达式为 $u_1 = 220\sqrt{2}\sin 100\pi t (\text{V})$, 则().

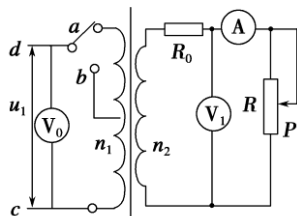


图 10-2-8

A. 当单刀双掷开关与 a 连接时, 电压表 V_1 的示数为 22 V

B. 当 $t = \frac{1}{600} \text{ s}$ 时, 电压表 V_0 的读数为 220 V

C. 单刀双掷开关与 a 连接, 当滑动变阻器滑片 P 向上移动的过程中, 电压表 V_1 的示数增大, 电流表示数变小

D. 当单刀双掷开关由 a 扳向 b 时, 电压表 V_1 和电流表的示数均变小

解析 原线圈输入电压的有效值为 220 V, 由变压比 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 及电表测得的有效值可知, 当单刀双掷开关与 a 连接时, 副线圈的输出电压 $U_2 = 22 \text{ V}$, 而 $U_2 = UR_0 + UV_1$, 所以电压表 V_1 的示数小于 22 V, A 错; 由瞬时值表达式可知, 当 $t = \frac{1}{600} \text{ s}$ 时, 电压的瞬时值为 $110\sqrt{2} \text{ V}$, 而电压表示数为有效值, 故电压表 V_0 的读数为 220 V, B 对; 单刀双掷开关与 a 连接, 当滑动变阻器滑片 P 向上移动的过程中, R 接入电路的阻值增大, 而 U_2 不变, 故电流表读数减小, 电压表 V_1 示数增大, C 对; 当单刀双掷开关由 a 扳向 b 时, 变压器原线圈匝数减小, 所以副线圈输出电压增大, 电压表 V_1 和电流表的示数均变大, D 错.

答案 BC

反思总结 常见的理想变压器的动态分析问题一般有两种: 匝数比不变的情况和负载电阻不变的情况.

1. 匝数比不变的情况

(1) U_1 不变, 根据 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$, 输入电压 U_1 决定输出电压 U_2 , 不论负载电阻 R 如何变化, U_2 也不变.

(2) 当负载电阻发生变化时, I_2 变化, 输出电流 I_2 决定输入电流 I_1 , 故 I_1 发生变化.

(3) I_2 变化引起 P_2 变化, 由 $P_1 = P_2$ 知 P_1 发生变化.

2. 负载电阻不变的情况

(1) U_1 不变, $\frac{n_1}{n_2}$ 发生变化, U_2 变化.

(2) R 不变, U_2 变化, I_2 发生变化.

(3) 根据 $P_2 = \frac{U_2^2}{R}$ 和 $P_1 = P_2$, 可以判断 P_2 变化时, P_1 发生变化, U_1 不变时, I_1 发生变化.

【跟踪短训】

2. (2013 辽宁五校联考)如图 10-2-9 所示, 有一矩形线圈的面积为 S , 匝数为 N , 电阻不计, 绕 OO' 轴在水平方向的磁感应强度为 B 的匀强磁场中以角速度 ω 做匀速转动, 从图示位置开始计时. 矩形线圈通过滑环接一理想变压器, 滑动触头 P 上下移动时可改变输出电压, 副线圈接有可调电阻 R , 下列判断正确的是().

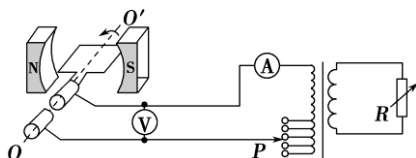


图 10-2-9

A. 矩形线圈产生的感应电动势的瞬时值表达式为 $e = NBS\omega \cos \omega t$

B. 矩形线圈从图示位置经过 $\frac{\pi}{2\omega}$ 时间时, 通过电流表的电荷量为 0

C. 当 P 不动、 R 增大时, 电压表读数也增大

D. 当 P 向上移动、 R 不变时, 电流表读数减小

解析 矩形线圈切割磁感线产生的感应电流为正弦式交变电流, 图示时刻线圈切割磁感线产生的感应电动势最大, 最大值为 $E_m = NBS\omega$, 则其瞬时值表达式为 $e = NBS\omega \cos \omega t$, 选项 A 正确; 矩形线圈从图示位置经过 $\frac{\pi}{2\omega}$ 时间, 刚好为 $\frac{1}{4}$ 周期, 磁通量的变化量不为 0, 通过电流表的电荷量不为 0, 选项 B 错误; 电压表读数为电压的有效值, 矩形线圈的电阻不计, 故电压表的示数为交流电压的有效值, 恒定不变, 选项 C 错误; 当 P 向上移动、 R 不变时, 原线圈的电压不变, 副线圈的电压增大, 输出功率变大, 故原线圈中的电流增大, 选项 D 错误.

答案 A

热点三 远距离输电问题

远距离输电问题的“三二一”

1. 理清三个回路

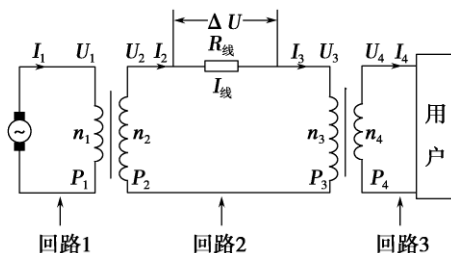


图 10-2-10

2 抓住两个联系

(1) 理想的升压变压器联系了回路 1 和回路 2, 由变压器原理可得: 线圈 1(匝数为 n_1)和线圈 2(匝数为 n_2)中各个量间的关系是 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$, $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$, $P_1 = P_2$.

(2) 理想的降压变压器联系了回路 2 和回路 3, 由变压器原理可得: 线圈 3(匝数为 n_3)和线圈 4(匝数为 n_4)中各个量间的关系是 $\frac{U_3}{U_4} = \frac{n_3}{n_4}$, $\frac{I_3}{I_4} = \frac{n_4}{n_3}$, $P_3 = P_4$.

3. 掌握一个守恒

能量守恒关系式 $P_1 = P_{损} + P_3$

【典例 3】

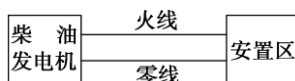


图 10-2-11

2013 年 4 月 20 日 8 时 2 分在四川省雅安市芦山县发生 7.0 级地震后，常州常发集团向灾区人民捐赠一批柴油发电机，该发电机说明书的部分内容如下表所示，现在用一台该型号的柴油发电机给灾民临时安置区供电，如图 10-2-11 所示。发电机到安置区的距离是 400 m，输电线路中的火线和零线均为 GBCZ60 型单股铜导线，该型号导线单位长度的电阻为 $2.5 \times 10^{-4} \Omega$ ，安置区家用电器的总功率为 44 kW，当这些额定电压为 220 V 的家用电器都正常工作时()。

型号	AED6500S
输出电压范围	220~300 V
最大输出功率	60 kW

- A. 输电线路中的电流为 20 A
- B. 发电机的实际输出电压为 300 V
- C. 在输电线路中损失的电功率为 8 kW
- D. 如果该柴油发电机发的电是正弦式交变电流，则其输出电压最大值是 300 V

解析 当这些额定电压为 220 V 的家用电器都正常工作时，输电线路中的电流为 $I = \frac{P}{U} = 200 \text{ A}$ ，A 错；导线电阻为 $R = 2.5 \times 10^{-4} \times 400 \times 2 \Omega = 0.2 \Omega$ ，则发电机的实际输出电压为 $U_{\text{输}} = U + IR = 260 \text{ V}$ ，B 错；在输电线路中损失的电功率为 $P_{\text{损}} = I^2 R = 8 \text{ kW}$ ，C 对；如果该柴油发电机发的电是正弦式交变电流，则其输出电压的最大值是 $U_m = \sqrt{2} U_{\text{输}} = 368 \text{ V}$ ，D 错。

答案 C

【跟踪短训】

3. 随着社会经济的发展，人们对能源的需求也日益增大，节能变得越来越重要。某发电厂采用升压变压器向某一特定用户供电，用户通过降压变压器用电，若发电厂输出电压为 U_1 ，输电导线总电阻为 R ，在某一时段用户需求的电功率为 P_0 ，用户的用电器正常工作的电压为 U_2 。在满足用户正常用电的情况下，下列说法正确的是()。

- A. 输电线上损耗的功率为 $\frac{P_0^2 R}{U_2^2}$
- B. 输电线上损耗的功率为 $\frac{P_0^2 R}{U_1^2}$
- C. 若要减少输电线上损耗的功率可以采用更高的电压输电
- D. 采用更高的电压输电会降低输电的效率

解析 设发电厂输出功率为 P ，则输电线上损耗的功率为 $\Delta P = P - P_0$ ， $\Delta P = I^2 R = \frac{P^2 R}{U_1^2}$ ，A、B 选项错误；采用更高的电压输电，可以减小导线上电流，故可以减小输电导线上损耗的功率，C 项正确；采用更高的电压输电，输电线上损耗的功率减小，则发电厂输出的总功率减小，故可提高输电的效率，D 项错误。

答案 C

4. 某小型水电站的电能输送示意图如图 10-2-12 所示，发电机通过升压变压器 T_1 和降压变压器 T_2 向用户供电。已知输电线的总电阻为 R ，降压变压器 T_2 的原、副线圈匝数之比为 4:1，降压变压器副线圈两端交变电压 $u = 220\sqrt{2}\sin(100\pi t) \text{ V}$ ，降压变压器的副线圈与阻值 $R_0 = 11 \Omega$ 的电阻组成闭合电路。若将变压器视为理想变压器，则下列说法中正确的是()。

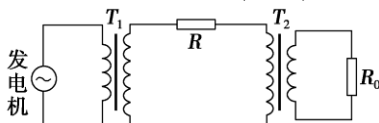


图 10-2-12

- A. 通过 R_0 电流的有效值是 20 A
- B. 降压变压器 T_2 原、副线圈的电压比为 4:1
- C. 升压变压器 T_1 的输出电压等于降压变压器 T_2 的输入电压

D. 升压变压器 T_1 的输出功率大于降压变压器 T_2 的输入功率

解析 降压变压器副线圈两端交变电压有效值为 220 V ，负载电阻为 $11\ \Omega$ ，所以通过 R_0 电流的有效值是 20 A ，选项 A 正确；降压变压器 T_2 的原、副线圈匝数之比为 $4:1$ ，所以降压变压器 T_2 原、副线圈的电压比为 $4:1$ ，选项 B 正确；升压变压器 T_1 的输出电压等于降压变压器 T_2 的输入电压加上输电线上损失的电压，选项 C 错误；升压变压器 T_1 的输出功率等于降压变压器 T_2 的输入功率加上输电线上损失的功率，选项 D 正确。

答案 ABD

思维建模·素养提升

探究思想 增知提能

物理建模 11. 三种特殊的变压器模型

► 模型一 自耦变压器

高中物理中研究的变压器本身就是一种忽略了能量损失的理想模型，自耦变压器(又称调压器)，它只有一个线圈，其中的一部分作为另一个线圈，当交流电源接不同的端点时，它可以升压也可以降压，变压器的基本关系对自耦变压器均适用如图 10-2-13 所示。

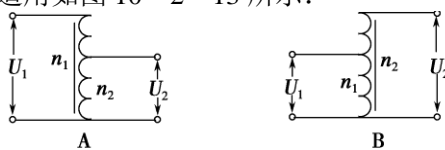


图 10-2-13

【典例 1】 (2012 课标全国卷, 17)自耦变压器铁芯上只绕有一个线圈，原、副线圈都只取该线圈的某部分。一升压式自耦调压变压器的电路如图 10-2-14 所示，其副线圈匝数可调。已知变压器线圈总匝数为 $1\ 900$ 匝；原线圈为 $1\ 100$ 匝，接在有效值为 220 V 的交流电源上。当变压器输出电压调至最大时，负载 R 上的功率为 2.0 kW 。设此时原线圈中电流有效值为 I_1 ，负载两端电压的有效值为 U_2 ，且变压器是理想的，则 U_2 和 I_1 分别约为()。

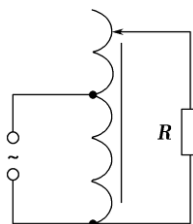


图 10-2-14

- A. 380 V 和 5.3 A B. 380 V 和 9.1 A
C. 240 V 和 5.3 A D. 240 V 和 9.1 A

解析 根据理想变压器电压比关系 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ ，代入数据解得副线圈两端的电压有效值 $U_2 = 380\text{ V}$ ，因理想变压器原、副线圈输入和输出的功率相等，即 $P_{\text{入}} = P_{\text{出}} = U_1 I_1$ ，解得 $I_1 = \frac{2 \times 10^3}{220}\text{ A} \approx 9.1\text{ A}$ ，选项 B 正确；选项 A、C、D 错误。

答案 B

即学即练 1 如图 10-2-15 甲所示，为一种可调压自耦变压器的结构示意图，线圈均匀绕在圆环形铁芯上，若 AB 间输入如图乙所示的交变电压，转动滑动触头 P 到如图甲中所示位置，在 BC 间接一个理想的交流电压表(图甲中未画出)，则()。

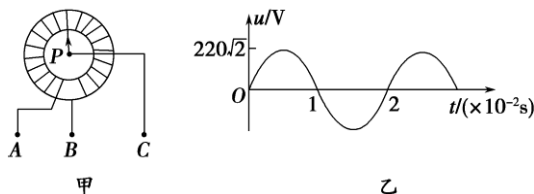


图 10-2-15

- A. AB 间输入的交流电的电压瞬时值表达式为 $u = 220\sqrt{2}\sin(100\pi t)\text{ V}$

- B. 该交流电的频率为 100 Hz
 C. $t=1 \times 10^{-2}$ s 时电压表的读数为零
 D. BC 间输出的电功率为零

解析 由乙图可读出交流电的最大值为 $U_m = 220\sqrt{2}$ V, 周期 $T = 2 \times 10^{-2}$ s, $\omega = \frac{2\pi}{T} = 100\pi$ rad/s. 则交流电的电压瞬时值 $u = U_m \sin \omega t = 220\sqrt{2} \sin(100\pi t)$ V, A 正确. 由 $f = \frac{1}{T} = 50$ Hz, 知 B 错. 因电压表测交流电电压时, 读数为交流电的有效值, 不能读出瞬时值, 所以读数为 220 V, 则 C 错. 由于 BC 间接理想电压表, R_V 无穷大, 则 $P = \frac{U^2}{R} = 0$, D 正确.

答案 AD

模型二 互感器

分为电压互感器和电流互感器, 比较如下:

类型 比较项目	电压互感器	电流互感器
原理图		
原线圈的连接	并联在高压电路中	串联在待测交流电路中
副线圈的连接	连接电压表	连接电流表
互感器的作用	将高电压变为低电压	将大电流变成小电流
利用的公式	$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$	$I_1 n_1 = I_2 n_2$

【典例 2】 电流互感器和电压互感器如图 10-2-16 所示. 其中 n_1 、 n_2 、 n_3 、 n_4 分别为四组线圈的匝数, a、b 为两只交流电表, 则().

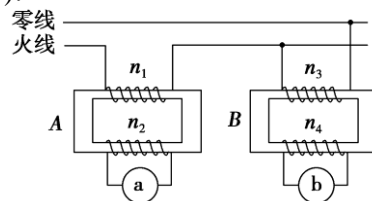


图 10-2-16

- A. A 为电流互感器, 且 $n_1 < n_2$, a 是电流表
 B. A 为电压互感器, 且 $n_1 > n_2$, a 是电压表
 C. B 为电流互感器, 且 $n_3 < n_4$, b 是电流表
 D. B 为电压互感器, 且 $n_3 > n_4$, b 是电压表

解析 由题图可知 A 为电流互感器, B 为电压互感器, 因此 a 是电流表, b 是电压表. 在 A 中, 有 $I_1 n_1 = I_2 n_2$, 要把大电流变为小电流, 有 $n_2 > n_1$; 在 B 中, 有 $\frac{U_3}{U_4} = \frac{n_3}{n_4}$, 要把高电压变成低电压, 则有 $n_3 > n_4$; 综上所述可知, 选项 A、D 正确.

答案 AD

即学即练 2 (2013 天津卷, 4)普通的交流电流表不能直接接在高压输电线路测量电流, 通常要通过电流互感器来连接, 图 10-2-17 中电流互感器 ab 一侧线圈的匝数较少, 工作时电流为 I_{ab} , cd 一侧线圈的匝数较多, 工作时电流为 I_{cd} , 为了使电流表能正常工作, 则().

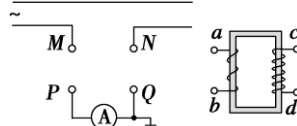


图 10-2-17

- A. ab 接 MN 、 cd 接 PQ , $I_{ab} < I_{cd}$
 B. ab 接 MN 、 cd 接 PQ , $I_{ab} > I_{cd}$
 C. ab 接 PQ 、 cd 接 MN , $I_{ab} < I_{cd}$
 D. ab 接 PQ 、 cd 接 MN , $I_{ab} > I_{cd}$

解析 测电流时,需副线圈中的电流较小,由 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$ 可知; n_2 较大, n_1 较小,所以 ab 接 MN , cd 接

PQ , $I_{ab} > I_{cd}$. 选项 B 正确.

答案 B

模型三 双副线圈变压器

计算具有两个(或两个以上)副线圈的变压器问题时,应注意三个关系:

- (1)电压关系: $\frac{U_1}{n_1} = \frac{U_2}{n_2} = \frac{U_3}{n_3} = \dots$
 (2)电流关系: $n_1 I_1 = n_2 I_2 + n_3 I_3 + \dots$
 (3)功率关系: $P_1 = P_2 + P_3 + \dots$

【典例 3】如图 10-2-18 所示,理想变压器有两个副线圈, L_1 、 L_2 是两盏规格为“8 V, 10 W”的灯泡, L_3 、 L_4 是两盏规格为“6 V, 12 W”的灯泡,当变压器的输入电压为 $U_1 = 220$ V 时,四盏灯泡恰好都能正常发光,如果原线圈的匝数 $n_1 = 1\ 100$ 匝,求:

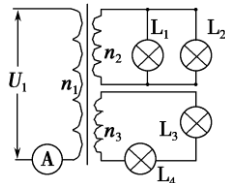


图 10-2-18

- (1)副线圈 n_2 、 n_3 的匝数.
 (2)电流表的读数.

解析 (1)由变压器原理可知 $n_1:n_2:n_3 = U_1:U_2:U_3$, 则 $n_2 = \frac{U_2}{U_1} n_1 = \frac{8}{220} \times 1\ 100$ 匝 = 40 匝

$$n_3 = \frac{U_3}{U_1} n_1 = \frac{2 \times 6}{220} \times 1\ 100$$
 匝 = 60 匝.

(2)由输入功率等于输出功率知 $I_1 U_1 = P_2 + P_3 + P_4 + \dots$ 即有 $I_1 = \frac{2P_2 + 2P_3}{U_1} = \frac{2 \times 10 + 2 \times 12}{220}$ A = 0.2 A.

答案 (1)40 匝 60 匝 (2)0.2 A

即学即练 3 如图 10-2-19 所示,接于理想变压器中的四个规格相同的灯泡都正常发光,那么,理想变压器的匝数比 $n_1:n_2:n_3$ 为().

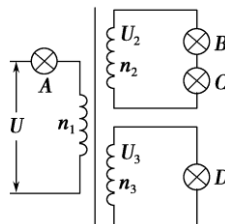


图 10-2-19

- A. 1:1:1
 B. 3:2:1
 C. 6:2:1
 D. 2:2:1

解析 灯泡正常发光,可得 $U_A = U_B = U_C = U_D$, 所以 $U_2 = 2U_3$. 由变压器的电压比公式 $\frac{n_2}{n_3} = \frac{U_2}{U_3} = \frac{2U_3}{U_3} =$

$\frac{2}{1}$, 所以 $n_2 = 2n_3$, 同理,灯泡正常发光,功率相等,即

$$P_A = P_B = P_C = P_D.$$

由 $P = I^2 R$, 得 $I_A = I_B = I_C = I_D$, 即 $I_1 = I_2 = I_3$.

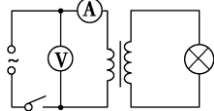
由 $U_1 I_1 = U_2 I_2 + U_3 I_3$ 得 $n_1 I_1 = n_2 I_2 + n_3 I_3$,

即 $n_1 = n_2 + n_3 = 2n_3 + n_3 = 3n_3$, 所以 $n_1:n_2:n_3 = 3:2:1$.

答案 B

对应高考题组

1. (2011 课标全国, 17) 如图所示, 一理想变压器原、副线圈的匝数比为 1:2; 副线圈电路中接有灯泡, 灯泡的额定电压为 220 V, 额定功率为 22 W; 原线圈电路中接有电压表和电流表. 现闭合开关, 灯泡正常发光. 若用 U 和 I 分别表示此时电压表和电流表的读数, 则().



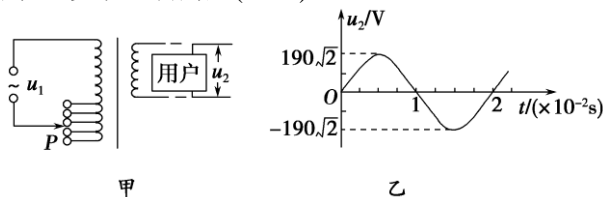
- A. $U=110\text{ V}, I=0.2\text{ A}$
- B. $U=110\text{ V}, I=0.05\text{ A}$
- C. $U=110\sqrt{2}\text{ V}, I=0.2\text{ A}$
- D. $U=110\sqrt{2}\text{ V}, I=0.2\sqrt{2}\text{ A}$

解析 由变压原理 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2}$ 可得 $U_1 = 110\text{ V}$, 即电压表示数为 110 V. 由 $P_{\text{入}} = P_{\text{出}}$, 灯泡正常发光可

得 $P_{\text{入}} = U_1 I_1 = P_{\text{出}} = 22\text{ W}$, $I_1 = \frac{22}{110}\text{ A} = 0.2\text{ A}$, 故 A 正确.

答案 A

2. (2011 山东理综, 20) 为保护用户电压稳定在 220 V, 变电所需适时进行调压, 图甲为调压变压器示意图. 保持输入电压 u_1 不变, 当滑动接头 P 上下移动时可改变输出电压. 某次检测得到用户电压 u_2 随时间 t 变化的曲线如图乙所示. 以下正确的是().



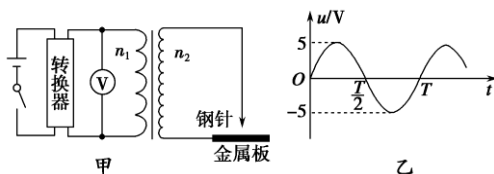
- A. $u_2 = 190\sqrt{2}\sin(50\pi t)\text{ V}$
- B. $u_2 = 190\sqrt{2}\sin(100\pi t)\text{ V}$
- C. 为使用户电压稳定在 220 V, 应将 P 适当下移
- D. 为使用户电压稳定在 220 V, 应将 P 适当上移

解析 由题图乙知交变电流的周期 $T = 2 \times 10^{-2}\text{ s}$, 所以 $\omega = \frac{2\pi}{T} = 100\pi\text{ rad/s}$, 故 $u_2 = U_m \sin \omega t = 190\sqrt{2}$

$\sin(100\pi t)\text{ V}$, A 错误, B 正确. 由 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 得 $U_2 = \frac{n_2}{n_1} U_1$, 欲使 U_2 升高, n_1 应减小, P 应上移, C 错误, D 正确.

答案 BD

3. (2012 山东卷, 18) 如图甲所示是某燃气炉点火装置的原理图. 转换器将直流电压转换为图乙所示的正弦交变电压, 并加在一理想变压器的原线圈上, 变压器原、副线圈的匝数分别为 n_1 、 n_2 , V 为交流电压表. 当变压器副线圈电压的瞬时值大于 5 000 V 时, 就会在钢针和金属板间引发电火花进而点燃气体. 以下判断正确的是().

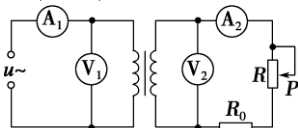


- A. 电压表的示数等于 5 V
- B. 电压表的示数等于 $\frac{5}{\sqrt{2}}\text{ V}$
- C. 实现点火的条件是 $\frac{n_2}{n_1} > 1\ 000$
- D. 实现点火的条件是 $\frac{n_2}{n_1} < 1\ 000$

解析 由 $u-t$ 图象知, 交流电压的最大值 $U_m = 5 \text{ V}$, 所以电压表的示数 $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} \text{ V}$, 故选项 A 错误, 选项 B 正确; 根据 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 得 $\frac{n_2}{n_1} = \frac{U_2}{U_1}$, 变压器副线圈电压的最大值 $U_{2m} = 5000 \text{ V}$ 时, 有效值 $U_2 = \frac{U_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{5000}{\sqrt{2}} \text{ V}$, 所以点火的条件 $\frac{n_2}{n_1} > \frac{\frac{5000}{\sqrt{2}}}{\frac{5}{\sqrt{2}}} = 1000$, 故选项 C 正确, 选项 D 错误.

答案 BC

4. (2012 福建卷, 14) 如图所示, 理想变压器原线圈输入电压 $u = U_m \sin \omega t$, 副线圈电路中 R_0 为定值电阻, R 是滑动变阻器, V_1 和 V_2 是理想交流电压表, 示数分别用 U_1 和 U_2 表示; A_1 和 A_2 是理想交流电流表, 示数分别用 I_1 和 I_2 表示. 下列说法正确的是().



- A. I_1 和 I_2 表示电流的瞬时值
- B. U_1 和 U_2 表示电压的最大值
- C. 滑片 P 向下滑动过程中, U_2 不变、 I_1 变大
- D. 滑片 P 向下滑动过程中, U_2 变小、 I_1 变小

解析 交流电表的示数为有效值, 故 A、B 两项均错误; P 向下滑动过程中, R 变小, 由于交流电源、原副线圈匝数不变, U_1 、 U_2 均不变, 所以 $I_2 = \frac{U_2}{R_0 + R}$ 变大, 由 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$, 得 $I_1 = \frac{n_2}{n_1} I_2$ 变大, 故 C 项正确、

D 项错误.

答案 C

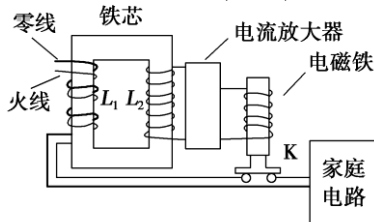
5. (2012 天津卷, 4) 通过一理想变压器, 经同一线路输送相同的电功率 P , 原线圈的电压 U 保持不变, 输电线路的总电阻为 R . 当副线圈与原线圈的匝数比为 k 时, 线路损耗的电功率为 P_1 , 若将副线圈与原线圈的匝数比提高到 nk , 线路损耗的电功率为 P_2 , 则 P_1 和 $\frac{P_2}{P_1}$ 分别为().

- A. $\frac{PR}{kU}$, $\frac{1}{n}$
- B. $\left(\frac{P}{kU}\right)^2 R$, $\frac{1}{n}$
- C. $\frac{PR}{kU}$, $\frac{1}{n^2}$
- D. $\left(\frac{P}{kU}\right)^2 R$, $\frac{1}{n^2}$

解析 根据变压器的变压规律, 得 $\frac{U_1}{U} = k$, $\frac{U_2}{U} = nk$, 所以 $U_1 = kU$, $U_2 = nkU$. 根据 $P = UI$, 知匝数比为 k 和 nk 的变压器副线圈的电流分别为 $I_1 = \frac{P}{U_1} = \frac{P}{kU}$, $I_2 = \frac{P}{U_2} = \frac{P}{nkU}$. 根据 $P = I^2 R$, 输电线路损耗的电功率分别为 $P_1 = I_1^2 R = \left(\frac{P}{kU}\right)^2 R$, $P_2 = I_2^2 R = \left(\frac{P}{nkU}\right)^2 R$, 所以 $\frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{n^2}$. 选项 D 正确, A、B、C 错误.

答案 D

6. (2012 江苏高考) 某同学设计的家庭电路保护装置如图所示, 铁芯左侧线圈 L_1 由火线和零线并绕成. 当右侧线圈 L_2 中产生电流时, 电流经放大器放大后, 使电磁铁吸起铁质开关 K , 从而切断家庭电路. 仅考虑 L_1 在铁芯中产生的磁场, 下列说法正确的有().



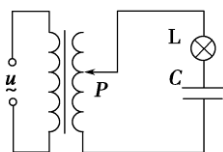
- A. 家庭电路正常工作时, L_2 中的磁通量为零
- B. 家庭电路中使用的电路增多时, L_2 中的磁通量不变
- C. 家庭电路发生短路时, 开关 K 将被电磁铁吸起

D. 地面上的人接触火线发生触电时, 开关 K 将被电磁铁吸起

解析 当家庭电路正常工作时, 火线和零线中的电流大小始终相等, 方向始终相反, 由于采用双线绕成, 当电路正常工作时, 火线和零线在铁芯内部产生的磁场大小相等, 方向相反, 所以内部的磁通量为零, A 正确; 当电路中的电器增多时, 火线和零线中的电流都增大了, 但大小始终相等, 方向始终相反, 铁芯内部的磁通量还是零, 即 L_2 中的磁通量不变, B 正确; 当电路发生短路时, 电流不经用电器, 火线和零线中电流很大, 但大小始终相等, 方向始终相反, 铁芯内部的磁通量还是零, L_2 不产生感应电流, 开关 K 不会被电磁铁吸起, C 错误; 当地面上的人接触火线发生触电时, 电流经人体流向地面, 不经过零线, 所以火线和零线中的电流大小不等, 在铁芯内产生的磁通量不为零, L_2 中产生感应电流, 开关 K 被电磁铁吸起, D 正确.

答案 ABD

7. (2013 江苏卷, 8) 如图所示, 理想变压器原线圈接有交流电源, 当副线圈上的滑片 P 处于图示位置时, 灯泡 L 能发光. 要使灯泡变亮, 可以采取的方法有().



- A. 向下滑动 P
- B. 增大交流电源的电压
- C. 增大交流电源的频率
- D. 减小电容器 C 的电容

解析 滑片 P 向下滑动, 副线圈匝数减小, 变压器输出电压减小灯泡变暗, 则 A 项错; 增大原线圈的输入电压, 输出电压增大, 小灯泡变亮, B 项正确; 增大交流电的频率, 电容器对交流电的阻碍减小, 因此灯泡变亮, C 项正确; 减小电容器的电容, 电容器对交流电的阻碍会增大, 因此 D 项错误.

答案 BC

活页·作业

知能分级练

A

对点训练——练熟基础知识

题组一 理想变压器基本规律的应用

1. (2012 海南单科, 4)(单选) 如图 10-2-20 所示, 理想变压器原、副线圈匝数比为 20:1, 两个标有“12 V, 6 W”的小灯泡并联在副线圈的两端. 当两灯泡都正常工作时, 原线圈电路中电压表和电流表(可视为理想的)的示数分别是().

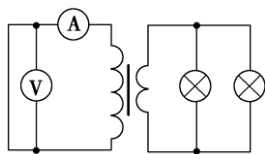


图 10-2-20

- A. 120 V, 0.10 A
- B. 240 V, 0.025 A
- C. 120 V, 0.05 A
- D. 240 V, 0.05 A

解析 副线圈电压 $U_2 = 12 \text{ V}$, 由 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 得 $U_1 = 240 \text{ V}$, 副线圈中电流 $I_2 = \frac{2P_{\text{灯}}}{U_{\text{灯}}} = 2 \times \frac{6}{12} \text{ A} = 1 \text{ A}$, 由 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$ 得 $I_1 = 0.05 \text{ A}$.

答案 D

2. (多选) 如图 10-2-21 甲所示, 变压器原、副线圈的匝数比为 3:1, L_1 、 L_2 、 L_3 为三只规格均为“9 V, 6 W”的相同的灯泡, 各电表均为理想交流电表, 输入端交变电压 u 的图象如图乙所示. 则以下说法中正确的是().

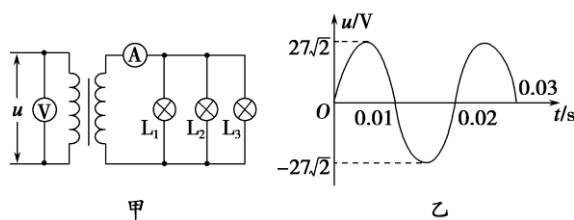


图 10-2-21

- A. 电压表的示数为 $27\sqrt{2}\text{V}$
- B. 三只灯泡均能正常发光
- C. 电流表的示数为 2 A
- D. 变压器副线圈两端交变电流的频率为 50 Hz

解析 交流电表读数为有效值，故电压表示数 $U_1 = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 27\text{ V}$ ，A 错误；由 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ ， $\frac{n_1}{n_2} = 3$ ，得知副线圈两端电压为 9 V，则三只灯泡均正常发光，B 正确；副线圈中电流 $I_2 = 3I_L = 2\text{ A}$ ，C 正确；变压器不改变交流电的频率，原、副线圈频率均为 50 Hz，D 正确。

答案 BCD

3. (2013 四川卷, 2)(单选)用 220 V 的正弦交流电通过理想变压器对一负载供电，变压器输出电压是 110 V，通过负载的电流图象如图 10-2-22 所示，则()。

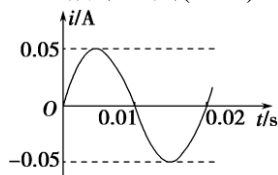


图 10-2-22

- A. 变压器输入功率约为 3.9 W
- B. 输出电压的最大值是 110 V
- C. 变压器原、副线圈匝数比是 1 : 2
- D. 负载电流的函数表达式 $i = 0.05 \sin(100\pi t + \frac{\pi}{2})\text{ A}$

解析 由题意知： $U_1 = 220\text{ V}$ ， $U_2 = 110\text{ V}$ ，所以 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = 2:1$ ， $U_{2m} = 110\sqrt{2}\text{ V}$ ，选项 B、C 均错误。由图象可知： $I_{2m} = 0.05\text{ A}$ ， $T = 0.02\text{ s}$ ，则负载电流的表达式为 $i = 0.05 \sin(100\pi t)\text{ A}$ ，选项 D 错误。变压器的输入功率 $P_1 = P_2 = I_2 U_2 = \frac{0.05}{\sqrt{2}} \times 110\text{ W} \approx 3.9\text{ W}$ ，选项 A 正确。

答案 A

4. (2013 江西盟校一联, 18)(单选)如图 10-2-23 所示，匝数为 50 匝的矩形闭合导线框 ABCD 处于磁感应强度大小 $B = \frac{\sqrt{2}}{10}\text{ T}$ 的水平匀强磁场中，线框面积 $S = 0.5\text{ m}^2$ ，线框电阻不计。线框绕垂直于磁场的轴 OO' 以角速度 $\omega = 100\text{ rad/s}$ 匀速转动，并与理想变压器原线圈相连，副线圈接入一只“220 V, 60 W”灯泡，且灯泡正常发光，熔断器允许通过的最大电流为 10 A，下列说法正确的是()。

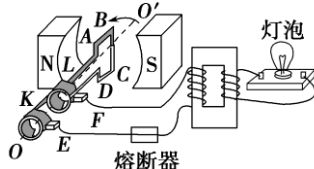


图 10-2-23

- A. 在图示位置线框中产生的感应电动势最大
- B. 线框中产生电动势的有效值为 $250\sqrt{2}\text{ V}$
- C. 变压器原、副线圈匝数之比为 25 : 22
- D. 允许变压器输出的最大功率为 1 000 W

解析 在图示位置线框和磁感线垂直，磁通量最大，线框中产生的感应电动势为零，选项 A 错误；线框中产生的感应电动势的最大值 $E_m = NBS\omega = 250\sqrt{2}$ V，其有效值 $E = \frac{\sqrt{2}}{2}E_m = 250$ V，选项 B 错误；灯泡能正常发光，则电压 $U_2 = 220$ V，由 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ ，可知变压器原、副线圈匝数之比为 25:22，选项 C 正确；熔断器允许通过的最大电流为 10 A，即 $I_1 = 10$ A， $P_1 = U_1 I_1 = 250 \times 10$ W = 2 500 W，因此变压器允许输出的最大功率为 2 500 W，选项 D 错误。

答案 C

题组二 理想变压器的动态分析

5. (单选)如图 10-2-24 所示的电路中，有一自耦变压器，左侧并联一只理想电压表 V_1 后接在稳定的交流电源上；右侧串联灯泡 L 和滑动变阻器 R，R 上并联一只理想电压表 V_2 。下列说法中正确的是 ()。

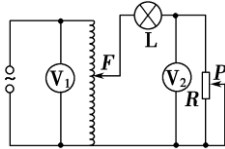


图 10-2-24

- A. 若 F 不动，滑片 P 向下滑动时， V_1 示数变大， V_2 示数变小
- B. 若 F 不动，滑片 P 向下滑动时，灯泡消耗的功率变小
- C. 若 P 不动，滑片 F 向下移动时， V_1 、 V_2 的示数均变小
- D. 若 P 不动，滑片 F 向下移动时，灯泡消耗的功率变大

解析 若 F 不动，滑片 P 向下滑动时，滑动变阻器接入电路中的电阻变大，则副线圈回路中总电阻变大，则回路中电流减小，灯泡两端电压减小，功率变小，滑动变阻器两端电压变大， V_2 的示数变大，而原线圈两端电压不变，则 A 错误；B 正确；若 P 不动，滑片 F 向下移动时，根据理想变压器特点可知原线圈两端电压不变，电压表 V_1 示数不变，副线圈两端电压减小，则副线圈回路中电流变小，灯泡 L 消耗的功率减小，电压表 V_2 的示数变小，C、D 错误。

答案 B

6. (多选)如图 10-2-25 甲所示，理想变压器原、副线圈的匝数比为 10:1， b 是原线圈的中心抽头，图中电表均为理想的交流电表，定值电阻 $R = 10 \Omega$ ，其余电阻均不计，从某时刻开始在原线圈 c 、 d 两端加上如图乙所示的交变电压，则下列说法中正确的是 ()。

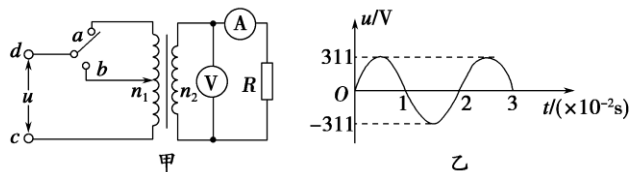


图 10-2-25

- A. 当单刀双掷开关与 a 连接时，电压表的示数为 22 V
- B. 当单刀双掷开关与 a 连接，且 $t = 0.01$ s 时，电流表示数为零
- C. 当单刀双掷开关由 a 拨向 b 时，原线圈的输入功率变大
- D. 当单刀双掷开关由 a 拨向 b 时，副线圈输出电压的频率变为 25 Hz

解析 原线圈输入电压的有效值为 $U_1 = \frac{311}{\sqrt{2}} \text{ V} = 220 \text{ V}$ ，当单刀双掷开关与 a 连接时， $U_2 = \frac{1}{10} U_1 = 22$ V，A 选项正确；当 $t = 0.01$ s 时，电流表示数不为零，电流表测量的是有效值，B 选项错误；当单刀双掷开关由 a 拨向 b 时， $U_2' = \frac{1}{5} U_1 = 44$ V，输出功率增大，原线圈的输入功率也增大，此时输出电压的频率不变，C 选项正确，D 选项错误。

答案 AC

7. (2013 江西八校联考, 17)(单选)调压变压器就是一种自耦变压器, 它的构造如图 10-2-26 乙所示. 线圈 AB 绕在一个圆环形的铁芯上, CD 之间输入交变电压, 转动滑动触头 P 就可以调节输出电压. 图乙中两电表均为理想交流电表, R_1 、 R_2 为定值电阻, R_3 为滑动变阻器. 现在 CD 两端输入图甲所示正弦式交流电, 变压器视为理想变压器, 那么().

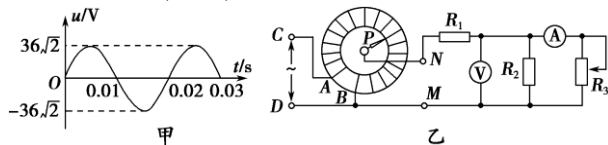


图 10-2-26

- A. 由甲图可知 CD 两端输入交流电压 u 的表达式为 $u = 36\sqrt{2}\sin(100t)(V)$
- B. 当滑动触头 P 逆时针转动时, MN 之间输出交流电压的频率变大
- C. 当滑动变阻器滑动触头向下滑动时, 电流表读数变大, 电压表读数也变大
- D. 当滑动变阻器滑动触头向下滑动时, 电阻 R_2 消耗的电功率变小

解析 由图甲可知 $u = 36\sqrt{2}\sin 100\pi t(V)$, A 错误. M 、 N 之间输出交流电压的频率由输入的交流电压的频率决定, B 错误. 滑动变阻器的滑动触头向下滑动时, R_3 减小, 由“串反并同”可知电压表读数减小, 电流表读数增大, R_2 消耗的电功率 $P_2 = \frac{U^2}{R_2}$ 减小, C 错误, D 正确.

答案 D

题组三 远距离输电

8. (单选)中国已投产运行的 1 000 kV 特高压输电, 是目前世界上电压最高的输电工程. 假设甲、乙两地原来用 500 kV 的超高压输电, 在保持输送电功率和输电线电阻都不变的条件下, 现改用 1 000 kV 特高压输电, 不考虑其他因素的影响. 则().

- A. 送电电流变为原来的 2 倍
- B. 输电线上降落的电压将变为原来的 2 倍
- C. 输电线上降落的电压将变为原来的 $\frac{1}{2}$
- D. 输电线上损耗的电功率将变为原来的 $\frac{1}{2}$

解析 根据输送电功率 $P_{\text{输}} = U_{\text{输}} I_{\text{输}}$ 及 $P_{\text{输}}$ 不变可知, 送电电流 $I_{\text{输}} = P_{\text{输}} / U_{\text{输}} \propto 1 / U_{\text{输}}$, 当 $U_{\text{输}}$ 变为原来的 2 倍时, $I_{\text{输}}$ 变为原来的 $\frac{1}{2}$, 选项 A 错误; 输电线上降落的电压 $U_{\text{降}} = I_{\text{输}} R_{\text{降}} \propto I_{\text{输}}$, 所以, 当送电电流变为原来的 $\frac{1}{2}$ 时, 输电线上降落的电压也变为原来的 $\frac{1}{2}$, 选项 B 错误、C 正确; 输电线上损耗的电功率 $P_{\text{损}} = I_{\text{输}}^2 R_{\text{降}} \propto I_{\text{输}}^2$, 所以输电线上损耗的电功率将变为原来的 $\frac{1}{4}$, 选项 D 错误.

答案 C

9. (多选)如图 10-2-27 所示, 一交流发电机经升压变压器向远处用户输电, 因某种原因发电机输出电压增大, 设输电线的电阻和用户负载均不变(设用户负载为纯电阻), 电流表和电压表为理想交流电表, 则().

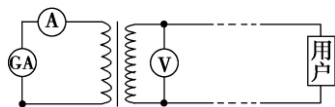


图 10-2-27

- A. 电流表示数增大
- B. 电压表示数增大
- C. 输电线上消耗的电功率减小
- D. 输电线上消耗的电功率增大

解析 副线圈输出电压增大, 输电线和用户负载为两电阻串联, 电流增大, 输电线电阻消耗功率增大, 由理想变压器电流关系得, 原线圈中电流增大, ABD 选项正确.

答案 ABD

10. (单选)如图 10-2-28 所示为重庆某中学教学区供电示意图, 供电部门通过理想变压器原线圈 A、B 端送电, 虚线框内表示教学区内各教室的照明电路. 已知变压器副线圈 C、D 两端距教学区输入端 E、F 距离较远, 电路之间输电线电阻不能忽略, 设定 A、B 端输入电压一定, 则以下说法正确的是().

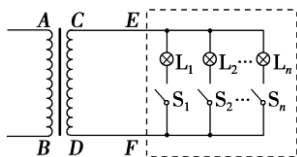


图 10-2-28

- A. 如果教学区同时使用的电灯减少, A、B 端输入功率仍不变
- B. C、D 端电压一定为 220 V
- C. E、F 端电压一定为 220 V
- D. 教学区内同时使用的电灯越多, E、F 端输入电压越低

解析 使用的电灯减少时, 输电线与照明电路的总电阻变大, 副线圈两端电压 U_2 不变, 故 $P_{\text{出}} = \frac{U_2^2}{R_{\text{总}}}$

变小, 又 $P_{\text{入}} = P_{\text{出}}$, 所以 A、B 端输入功率变小, A 项错误; 由于输电线电阻的分压, 要保证教室内照明灯正常工作, 则应有 $U_{CD} > 220 \text{ V}$; 而 U_{EF} 会因为使用的电灯数量不同而获得不同电压, B、C 项错误; 当使用的电灯越多时, 输电线上损失的电压就越多, EF 端输入的电压就越低, D 项正确.

答案 D

11. (多选)如图 10-2-29 所示, 某变电站用 10 kV 的高压向 10 km 外的小区供电, 输送的电功率为 200 kW. 现要求在输电线路损耗的功率不超过输送电功率的 2%, 下列不同规格的输电线中, 符合要求的是().

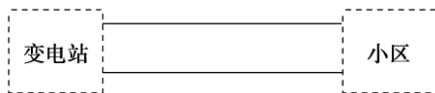


图 10-2-29

选项	型号	千米电阻(Ω/km)
A	DYD30/C	1
B	DYD50/C	0.6
C	DYD100/C	0.3
D	DYD150/C	0.2

解析 由 $P = UI$ 解得输电电流 $I = P/U = 20 \text{ A}$. 输电线路损耗的功率不超过 $P_{\text{线}} = 200 \text{ kW} \times 2\% = 4 \text{ kW}$, 由 $P_{\text{线}} = I^2 R$ 解得 $R = 10 \Omega$. 由于输电线长度需要 20 km, 所以可以选择千米电阻 $0.5 \Omega/\text{km}$ 以下的型号 DYD100/C 或型号 DYD150/C, 符合要求的是选项 C、D.

答案 CD

B 深化训练——提高能力技巧

12. (2013 陕西西工大附中模拟)(多选)如图 10-2-30 所示, 理想变压器原、副线圈的匝数比为 1 : 10, 接线柱 a、b 接在电压为 $u = 22\sqrt{2}\sin(100\pi t) \text{ V}$ 的交流电源上, R_1 为定值电阻, 其阻值为 100Ω , R_2 为用半导体热敏材料制成的传感器. 下列说法中正确的是().

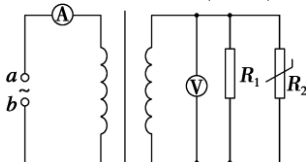


图 10-2-30

- A. $t = \frac{1}{600} \text{ s}$ 时, a、b 两点间电压的瞬时值为 11 V
- B. $t = \frac{1}{600} \text{ s}$ 时, 电压表的读数为 220 V

- C. 当 R_2 的温度升高时, 电压表示数不变, 电流表示数变大
 D. 在 1 分钟内电阻 R_1 上产生的热量为 2 904 J

解析 根据 $u = 22\sqrt{2}\sin(100\pi t)\text{V}$, 知 $t = \frac{1}{600}\text{s}$ 时, a 、 b 两点间电压的瞬时值为 $11\sqrt{2}\text{V}$, 所以 A 错. 根据 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2}$ 可知, 电压表示数 $U_2 = \frac{n_2}{n_1} \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = 220\text{V}$, 所以 B 正确. 在原副线圈匝数比不变时, 变压器输入电压决定输出电压, 知输出电压不变, 温度升高, R_2 变小, R_1 、 R_2 并联, 总阻值也变小, 输出电流变大, 由 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1}$ 可知输入电流也变大, C 正确. 电阻 R_1 上在 1 分钟内产生的热量 $Q = \frac{U_2^2}{R_1}t = 29\ 040\text{J}$, 所以 D 错.

答案 BC

13. (多选)如图 10-2-31 甲所示, 理想变压器原、副线圈的匝数比为 5:1, $R_1 = 30\ \Omega$, $R_2 = 60\ \Omega$, $R_3 = 20\ \Omega$, 已知开关 S 闭合时, 通过 R_1 的正弦交流电如图乙所示, 则开关 S 断开后().

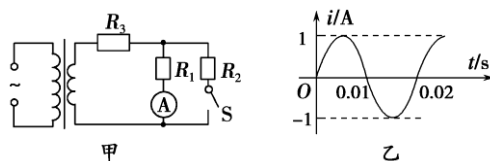


图 10-2-31

- A. 原线圈输入交流电的频率为 0.02 Hz
 B. 原线圈输入电压的最大值为 $300\sqrt{2}\text{V}$
 C. 电流表示数为 $\frac{3\sqrt{2}}{5}\text{A}$
 D. R_3 消耗的功率为 14.4 W

解析 根据理想变压器原理可知原、副线圈中电流的周期、频率相同, 周期为 0.02 s、频率为 50 Hz, A 错; 当开关 S 闭合时, 由图乙可知通过 R_1 的电流最大值为 $I_m = 1\text{A}$, 根据欧姆定律可知, R_1 两端的最大电压为 $U_m = 30\text{V}$, 通过计算得副线圈两端的最大电压为 60 V, 再根据原、副线圈的电压之比等于匝数之比, 可知原线圈输入电压的最大值为 300 V, B 错; 当开关 S 断开后, 原、副线圈上的电压不变, 故流过 R_1 的电流的最大值为 $\frac{U_m'}{R_3 + R_1} = 1.2\text{A}$, 而电流表测的是电流的有效值, 故电流表示数为 $\frac{3\sqrt{2}}{5}\text{A}$, C

正确; 由 $P_3 = I^2 R_3$ 得 R_3 消耗的功率为 14.4 W, D 正确.

答案 CD

14. (单选)如图 10-2-32 所示, 有一理想变压器, 原、副线圈的匝数比为 $n:1$, 原线圈接正弦交流电, 电压为 $u = U_0 \cos 100\pi t(\text{V})$, 副线圈接有一个交流电流表和一个电动机. 电动机线圈电阻为 R , 当电键 S 接通后, 电流表读数为 I , 电动机带动一电阻为 r 、质量为 m 、长为 l 的金属杆在光滑的没有电阻的导轨上以速度 v 匀速上升. 下列判断正确的是().

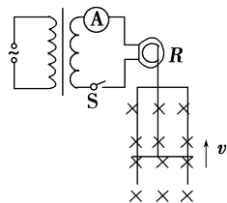


图 10-2-32

- A. 电动机两端电压为 IR , 其消耗的电功率为 $I^2 R$
 B. 原线圈中的电流为 nI , 变压器的输入功率为 $I^2 R + mgv$, 副线圈电流的频率为 50 Hz
 C. 变压器的输入功率为 $I^2 R + mgv + \frac{B^2 l^2 v^2}{r}$
 D. 电动机的热功率为 $I^2 R$, 副线圈电压的有效值为 $\frac{U_0}{n}$

解析 电动机两端电压大于 IR , IR 是电动机线圈电阻 R 上的电压, 用于发热, A 错; 原线圈中的

电流为 $\frac{I}{n}$, B 错; 变压器的输入功率为 $I^2R + mgv + \frac{B^2l^2v^2}{r}$, 即一部分在电动机线圈电阻 R 上发热变成内能; 另一部分用于对外做功, 将其中一部分电能转化为金属杆的机械能, 其余部分克服安培力做功, 转化为电能, 电流通过纯电阻电路转化为金属杆上的焦耳热, C 对; 副线圈电压的有效值为 $\frac{U_0}{\sqrt{2n}}$, D 错.

答案 C

实验十一 传感器的简单应用

基本实验要求

必考必会 必记必做

实验目的

1. 认识热敏电阻、光敏电阻等传感器的特性.
2. 了解传感器在技术上的简单应用.

实验器材

热敏电阻、光敏电阻、多用电表、铁架台、烧杯、冷水、热水、小灯泡、学生电源、继电器、滑动变阻器、开关、导线等.

实验过程

一、研究热敏电阻的热敏特性

实验原理

闭合电路的欧姆定律, 用欧姆表进行测量和观察

实验器材

NTC热敏电阻, 多用电表, 温度计, 水杯, 凉水和热水

实验步骤

- (1)按图所示连接好电路, 将热敏电阻绝缘处理
- (2)把多用电表置于“欧姆”挡, 并选择适当的量程测出烧杯中没有热水时热敏电阻的阻值, 并记下温度计的示数
- (3)向烧杯中注入少量的冷水, 使热敏电阻浸没在冷水中, 记下温度计的示数和多用电表测量的热敏电阻的阻值
- (4)将热水分几次注入烧杯中, 测出不同温度下热敏电阻的阻值, 并记录

数据处理

在图1坐标系中, 粗略画出热敏电阻的阻值随温度变化的图线

实验结论

热敏电阻的阻值随温度的升高而减少, 随温度的降低而增大, 半导体热敏电阻也可以用作温度传感器

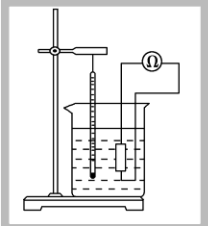


图1

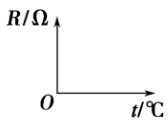
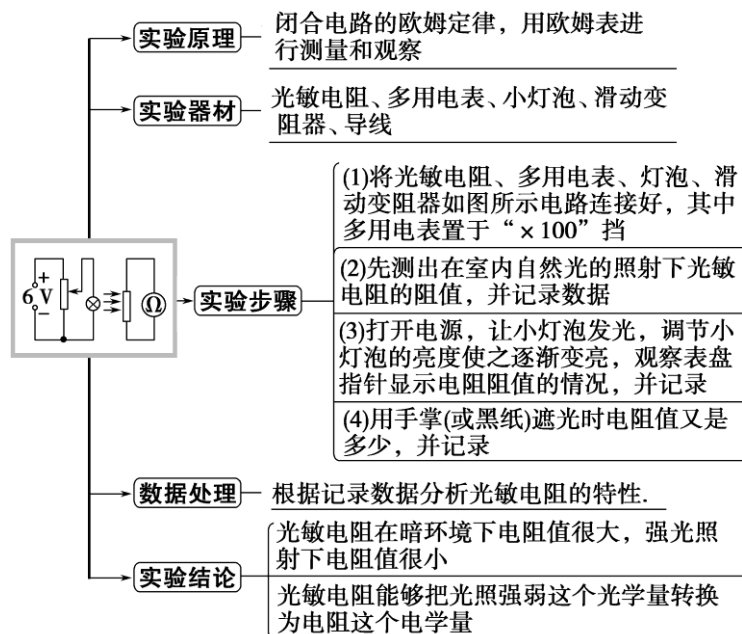


图1

二、研究光敏电阻的光敏特性



注意事项

1. 在做热敏实验时，加开水后要等一会儿再测其阻值，以使电阻温度与水的温度相同，并同时读出水温。
2. 光敏实验中，如果效果不明显，可将电阻部分电路放入带盖的纸盒中，并通过盖上小孔改变射到光敏电阻上的光的多少。
3. 欧姆表每次换挡后都要重新调零。

实验热点聚焦

考向预测 热点聚焦

热点一 热敏电阻的原理及应用

【典例 1】 用对温度敏感的半导体材料制成的某热敏电阻 R_T ，在给定温度范围内，其阻值随温度的变化是非线性的。某同学将 R_T 和两个适当的固定电阻 R_1 、 R_2 连成图 2 虚线框内所示的电路，以使该电路的等效电阻 R_L 的阻值随 R_T 所处环境温度的变化近似为线性的，且具有合适的阻值范围。为了验证这个设计，他采用伏安法测量在不同温度下 R_L 的阻值，测量电路如图所示，图中的电压表内阻很大。 R_L 的测量结果如下表所示。

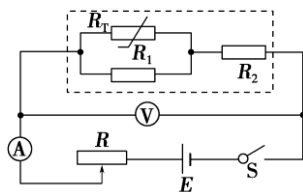


图 2

温度 $t(^{\circ}\text{C})$	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0
阻值 $R_L(\Omega)$	54.3	51.5	48.3	44.7	41.4	37.9	34.7

回答下列问题：

(1)根据图 2 所示的电路，在图 3 所示的实物图上连线。

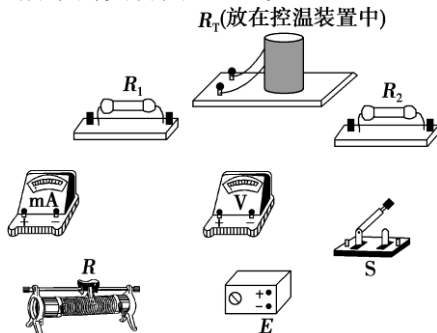


图 3

(2)为了验证 R_L 与 t 之间近似为线性关系, 在图 4 坐标纸上作 R_L-t 关系图线.

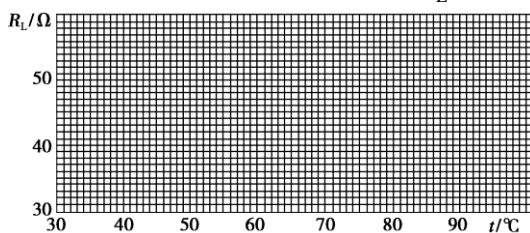


图 4

(3)在某一温度下, 电路中的电流表、电压表的示数如图 5 所示. 电流表的读数为_____, 电压表的读数为_____. 此时等效电阻 R_L 的阻值为_____; 热敏电阻所处环境的温度约为_____.

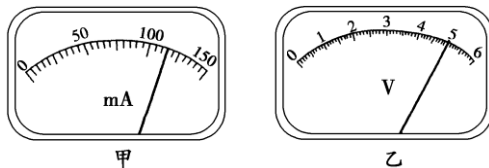


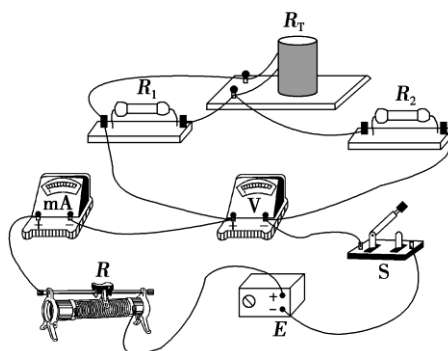
图 5

解析 (1)根据电路图连接实物图, R_1 与 R_T 并联, 再与 R_2 串联, 滑动变阻器为限流接法, 注意各电表的极性, 开关控制整个电路.

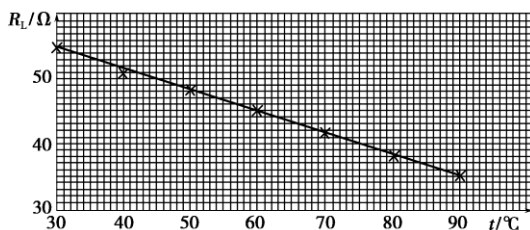
(2)根据表中数据, 在 R_L-t 图象中描点, 作 R_L-t 图象为一条直线.

(3)读出电压 $U=5.00\text{ V}$, 电流 $I=115\text{ mA}$. $R_L = \frac{U}{I} = 43.5\ \Omega$, 再由 R_L-t 关系图线找出 $R_L=43.5\ \Omega$ 对应的温度 $t=64.0\ ^\circ\text{C}$.

答案 (1)连线如图所示



(2) R_L-t 关系图线如图所示



(3)115 mA 5.00 V 43.5 Ω 64.0 $^\circ\text{C}$ (62 $^\circ\text{C}$ ~ 66 $^\circ\text{C}$ 均正确)

【跟踪短训】

1. 利用负温度系数热敏电阻制作的热传感器, 一般体积很小, 可以用来测量很小范围内的温度变化, 反应快, 而且精确度高.

(1)如果将负温度系数热敏电阻与电源、电流表和其他元件串联成一个电路, 其他因素不变, 只要热敏电阻所处区域的温度降低, 电路中电流将变_____ (填“大”或“小”).

(2)上述电路中, 我们将电流表中的电流刻度换成相应的温度刻度, 就能直接显示出热敏电阻附近的温度. 如果刻度盘正中的温度为 20 $^\circ\text{C}$ (如图 6 甲所示), 则 25 $^\circ\text{C}$ 的刻度应在 20 $^\circ\text{C}$ 的刻度的_____ (填“左”或“右”)侧.

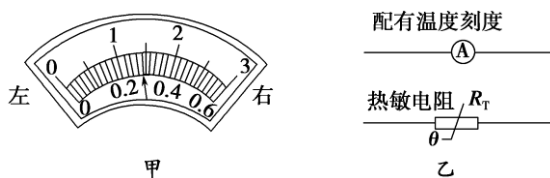
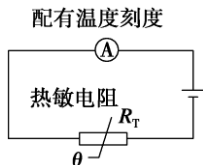


图 6

(3)为了将热敏电阻放置在某蔬菜大棚内检测大棚内温度变化, 请用图乙中的器材(可增加元器件)设计一个电路.

解析 (1)因为负温度系数热敏电阻温度降低时, 电阻增大, 故电路中电流会减小.



(2)由(1)的分析知, 温度越高, 电流越大, 25 °C 的刻度应对应较大电流, 故在 20 °C 的刻度的右侧.

(3)如图所示.

答案 (1)小 (2)右 (3)见解析

热点二 光敏电阻传感器的应用

【典例 2】为了节能和环保, 一些公共场所使用光控开关控制照明系统. 光控开关可采用光敏电阻来控制, 光敏电阻是阻值随着光的照度而发生变化的元件(照度可以反映光的强弱, 光越强照度越大, 照度单位为 lx). 某光敏电阻 R_p 在不同照度下的阻值如表:

照度/lx	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
电阻/kΩ	75	40	28	23	20	18

(1)根据表中数据, 请在图 7 甲给定的坐标系中描绘出光敏电阻阻值随照度变化的曲线, 并说明阻值随照度变化的特点.

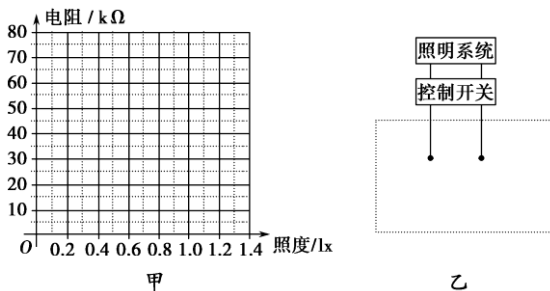


图 7

(2)如图乙所示, 当 1、2 两端所加电压上升至 2 V 时, 控制开关自动启动照明系统, 请利用下列器材设计一个简单电路. 给 1、2 两端提供电压, 要求当天色渐暗照度降低至 1.0 lx 时启动照明系统, 在虚线框内完成电路原理图.

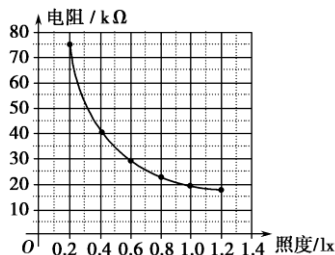
(不考虑控制开关对所设计电路的影响)提供的器材如下:

光敏电阻 R_p (符号 , 阻值见图表)

直流电源 E (电动势 3 V, 内阻不计);

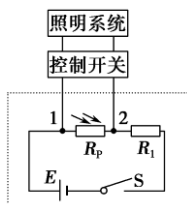
定值电阻: $R_1=10\text{ k}\Omega$, $R_2=20\text{ k}\Omega$, $R_3=40\text{ k}\Omega$ (限选其中之一并在图中标出); 开关 S 及导线若干.

解析 (1)根据表中的数据, 在坐标纸上描点连线, 得到如图所示的变化曲线.



阻值随照度变化的特点: 光敏电阻的阻值随光的照度的增大非线性减小.

(2)因天色渐暗照度降低至 1.0 lx 时启动照明系统，此时光敏电阻阻值为 20 kΩ，两端电压为 2 V，电源电动势为 3 V，故应加上一个分压电阻，分压电阻阻值为 10 kΩ，即选用 R_1 ；此电路的原理图如图所示。



答案 (1)光敏电阻的阻值随光照变化的曲线见解析
光敏电阻的阻值随光的照度的增大非线性减小。

(2)电路原理图见解析图。

【跟踪短训】

2. 利用光敏电阻制作的光传感器，记录了传送带上工件的输送情况，如图 8 甲所示为某工厂成品包装车间的光传感记录器，光传感器 B 能接收到发光元件 A 发出的光，每当工件挡住 A 发出的光时，光传感器就输出一个电信号，并在屏幕上显示出电信号与时间的关系，如图乙所示。若传送带始终匀速运动，每两个工件间的距离为 0.2 m，则下列说法正确的是()。

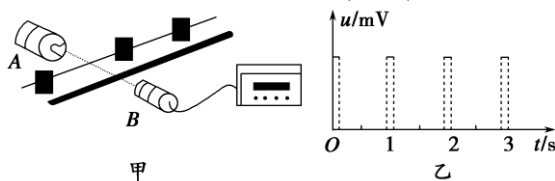


图 8

- A. 传送带运动的速度是 0.1 m/s
- B. 传送带运动的速度是 0.2 m/s
- C. 该传送带每小时输送 3 600 个工件
- D. 该传送带每小时输送 7 200 个工件

解析 从乙图可以知道：每间隔 1 秒的时间光传感器就输出一个电信号，而在这一段时间内传送带运动了两个工件之间的距离，所以传送带运动的速度是 $v = \frac{0.2}{1} \text{ m/s} = 0.2 \text{ m/s}$ 。故 A 错误、B 正确；传送带每小时传送的距离为 $s = vt = 0.2 \times 3\,600 \text{ m}$ ，工件个数为 $n = \frac{s}{L} = 3\,600$ 个，C 正确、D 错误。

答案 BC

随堂达标演练

通关达标 技能提升

1. 关于传感器工作的一般流程，下列说法中正确的是()。
 - A. 非电学量→敏感元件→转换电路→电学量→转换元件
 - B. 电学量→敏感元件→转换电路→转换元件→非电学量
 - C. 非电学量→敏感元件→转换元件→转换电路→电学量
 - D. 非电学量→转换电路→转换元件→敏感元件→电学量

解析 传感器工作的一般流程为：非电学量被敏感元件感知，然后通过转换元件转换成电信号，再通过转换电路将此信号转换成易于传输或测量的电学量，因此 A、B、D 错，C 对。

答案 C

2. 如图 9 所示的电路中，当半导体材料做成的热敏电阻浸泡到热水中时，电流表示数增大，则说明()。

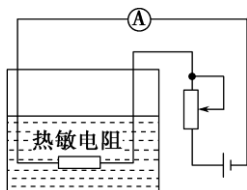


图 9

- A. 热敏电阻在温度越高时，电阻越大
- B. 热敏电阻在温度越高时，电阻越小
- C. 半导体材料温度升高时，导电性能变差
- D. 半导体材料温度升高时，导电性能变好

答案 BD

3. 如图 10 所示，电容式触摸屏的构造主要是在玻璃屏幕上镀一层透明的薄膜导体层，再在导体层外加上一块保护玻璃，电容式触摸屏在触摸屏四边均镀上狭长的电极，在导体层内形成一个低电压交流电场。在触摸屏幕时，由于人体是导体，手指与内部导体层间会形成一个特殊电容(耦合电容)，四边电极发出的电流会流向触点，而电流强弱与手指到电极的距离成正比，位于触摸屏后的控制器便会计算电流的比例及强弱，准确算出触摸点的位置。由以上信息可知()。

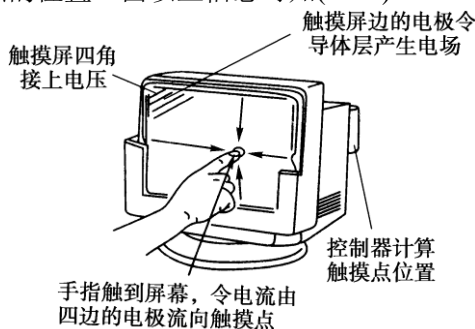


图 10

- A. 电容式触摸屏的两极板分别是导体层和手指
- B. 当用手触摸屏幕时，手指与屏的接触面积越大，电容越大
- C. 当用手触摸屏幕时，手指与屏的接触面积越大，电容越小
- D. 如果用带了手套的手触摸屏幕，照样能引起触摸屏动作

解析 电容触摸屏在原理上把人体当做一个电容器元件的一个极板，把导体层当做另一个极板，故 A 正确；手指与屏的接触面积越大，即两个极板的正对面积越大，故电容越大，B 正确，C 错误；如果带了手套或手持不导电的物体触摸时没有反应，这是因为手与导体层距离较大，不能引起导体层电场的变化，D 错误。

答案 AB

4. 如图 11 所示， R_1 、 R_2 为定值电阻，L 为小灯泡， R_3 为光敏电阻，当照射光强度增大时()。

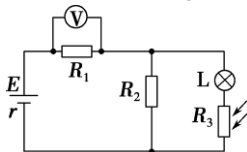


图 11

- A. 电压表的示数增大
- B. R_2 中电流减小
- C. 小灯泡的功率增大
- D. 电路的路端电压增大

解析 当照射光强度增大时， R_3 阻值减小，外电路总电阻随 R_3 的减小而减小， R_1 两端电压因干路电流增大而增大，电压表的示数增大，同时内电压增大，故电路路端电压减小，A 项正确，D 项错误；由路端电压减小， R_1 两端电压增大知， R_2 两端电压必减小，则 R_2 中电流减小，故 B 项正确；结合干路电流增大知流过小灯泡的电流必增大，则小灯泡的功率增大，故 C 项正确。

答案 ABC

5. 如图 12 所示，由电源、小灯泡、电阻丝、开关组成的电路中，当闭合开关 S 后，小灯泡正常发光，若用酒精灯加热电阻丝时，发现小灯泡亮度变化是_____，发生这一现象的主要原因是_____ (填字母代号)。

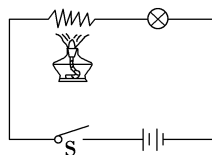


图 12

- A. 小灯泡的电阻发生了变化
- B. 小灯泡灯丝的电阻率随温度发生了变化
- C. 电阻丝的电阻率随温度发生了变化
- D. 电源的电压随温度发生了变化

解析 电阻丝的电阻率随温度的升高而增大，电阻也增大，根据闭合电路欧姆定律 $I = \frac{E}{R+r}$ 可知，

电流减小，小灯泡的实际功率减小，所以变暗。

答案 变暗 C

6. 热敏电阻是传感电路中常用的电子元件，现用伏安法研究电阻在不同温度下的伏安特性曲线，要求特性曲线尽可能完整。已知常温下待测热敏电阻的阻值约 $4\sim 5\ \Omega$ 。将热敏电阻和温度计插入带塞的保温杯中，杯内有一定量的冷水，其他备用的仪表和器具有：盛有热水的热水瓶(图中未画出)、电源(3 V、内阻可忽略)、直流电流表(内阻约 $1\ \Omega$)、直流电压表(内阻约 $5\ \text{k}\Omega$)、滑动变阻器($0\sim 20\ \Omega$)、开关、导线若干。

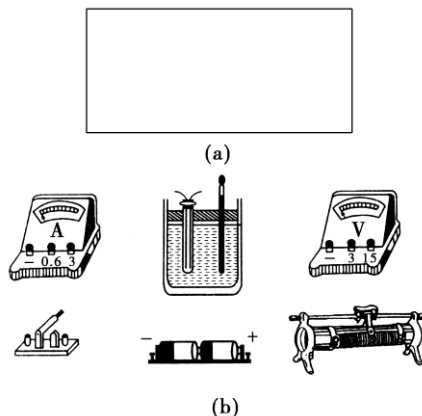
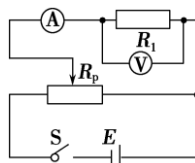


图 13

- (1)在图 13(a)中画出实验电路图。
- (2)根据电路图，在图(b)所示的实物图上连线。
- (3)简要写出完成接线后的主要实验步骤。

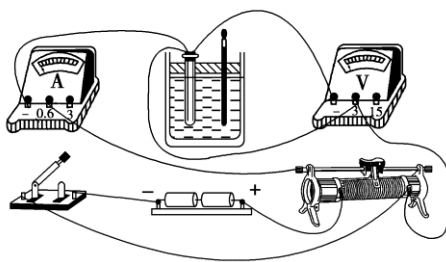
解析



图甲

常温下待测热敏电阻的阻值(约 $4\sim 5\ \Omega$)较小，应该选用安培表外接法。热敏电阻的阻值随温度的升高而减小，热敏电阻两端的电压由零逐渐增大，滑动变阻器选用分压式。

- (1)实验电路如图甲所示。
- (2)根据电路图，连接实物图如图乙所示。



图乙

(3)完成接线后的主要实验步骤：①往保温杯里加一些热水，待温度稳定时读出温度计值；②调节滑动变阻器，快速测出几组电压表和电流表的值；③重复①和②，测量不同温度下的数据；④绘出各测量温度下的热敏电阻的伏安特性曲线。

答案 见解析

7. 如图 14 所示，一热敏电阻 R_T 放在控温容器 M 内； A 为毫安表，量程 6 mA ，内阻为数十欧姆； E 为直流电源，电动势约为 3 V ，内阻很小； R 为电阻箱，最大阻值为 $999.9\ \Omega$ ， S 为开关。已知 R_T 在 $95\text{ }^\circ\text{C}$ 时的阻值为 $150\ \Omega$ ，在 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时的阻值约为 $550\ \Omega$ 。现要求在降温过程中测量在 $20\text{ }^\circ\text{C}\sim 95\text{ }^\circ\text{C}$ 之间的多个温度下 R_T 的阻值。

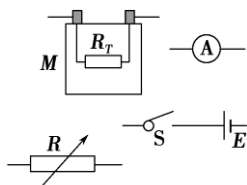


图 14

(1)在图中画出连线，完成实验原理电路图。

(2)完成下列实验步骤中的填空：

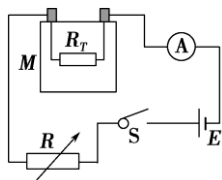
- a. 依照实验原理电路图连线。
- b. 调节控温容器 M 内的温度，使得 R_T 的温度为 $95\text{ }^\circ\text{C}$ 。
- c. 将电阻箱调到适当的初值，以保证仪器安全。
- d. 闭合开关，调节电阻箱，记录电流表的示数 I_0 ，并记录_____。
- e. 将 R_T 的温度降为 $T_1(20\text{ }^\circ\text{C} < T_1 < 95\text{ }^\circ\text{C})$ ；调节电阻箱，使得电流表的读数_____，记录_____。
- f. 温度为 T_1 时热敏电阻的电阻值 $R_{T1} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
- g. 逐步降低 T_1 的数值，直到 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 为止；在每一温度下重复步骤 e、f。

解析 (1)电阻箱的最大阻值与热敏电阻的最大阻值相差不大，因此电阻箱应与热敏电阻串联。

(2)本实验原理是当电路的两种状态的电流相等时，外电路的总电阻相等。

$95\text{ }^\circ\text{C}$ 和 R_T 时对应的电路的电阻相等，有 $150 + R_0 = R_T + R_1$ ，即 $R_T = R_0 - R_1 + 150\ \Omega$ 。

答案 (1)实验原理电路图如图所示



(2)d. 电阻箱的读数 R_0

e. 仍为 I_0 电阻箱的读数 R_1

f. $R_0 - R_1 + 150\ \Omega$

章末定时练十

(时间：60 分钟)

一、选择题(每小题给出的四个选项中第 1~8 题只有一项符合题目要求，第 9~12 题有多项符合题目要求)

1. 某线圈在匀强磁场中绕垂直于磁场的转轴匀速转动, 产生的交变电流的图象如图 1 所示, 由图中信息可以判断().

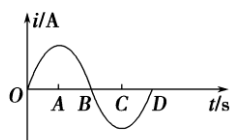


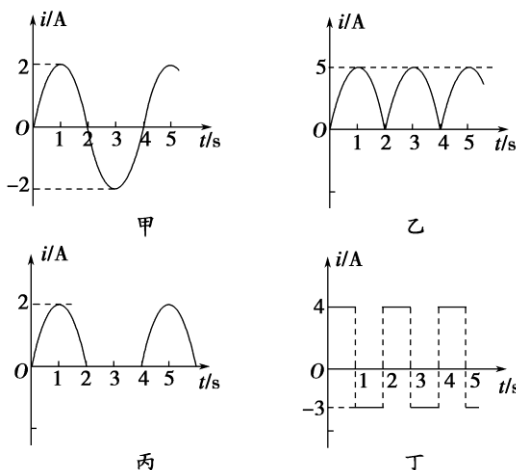
图 1

- A. 在 A 和 C 时刻线圈处于中性面位置
- B. 在 B 和 D 时刻穿过线圈的磁通量为零
- C. 从 A 时刻到 D 时刻线圈转过的角度为 2π
- D. 若从 O 时刻到 D 时刻历时 0.02 s, 则在 1 s 内交变电流的方向改变 100 次

解析 在 A 和 C 时刻产生的感应电流最大, 此时对应的感应电动势最大, 线圈平面与磁感线方向平行, A 错误; 在 B 和 D 时刻, 产生的感应电流为零, 此时通过线圈的磁通量最大, B 错误; 从 A 时刻到 D 时刻, 对应 $\frac{3}{4}$ 周期, 即线圈转过的角度为 $\frac{3\pi}{2}$, C 错误; 若从 O 时刻到 D 时刻历时 0.02 s, 则交变电流的周期为 0.02 s, 而一个周期内交变电流的方向改变 2 次, 故在 1 s 内交变电流的方向改变 100 次, D 正确.

答案 D

2. (2013 东北三校联考, 8) 关于图甲、乙、丙、丁, 下列说法正确的是().



- A. 图甲中电流的峰值为 2 A, 有效值为 $\sqrt{2}$ A, 周期为 5 s
- B. 图乙中电流的峰值为 5 A, 有效值为 $2.5\sqrt{2}$ A
- C. 图丙中电流的峰值为 2 A, 有效值为 $\sqrt{2}$ A
- D. 图丁中电流的最大值为 4 A, 有效值为 $\sqrt{2}$ A, 周期为 2 s

解析 图甲是正弦式交变电流图线, 峰值(最大值)为 2 A, 有效值是峰值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$, 即 $\sqrt{2}$ A, 周期为 4 s, 所以 A 项错误; 图乙电流大小改变但方向不变, 所以不是交变电流, 计算有效值时因为热效应与电流方向无关, 所以仍是峰值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$, 即 $2.5\sqrt{2}$ A, 所以 B 选项正确; 图丙是图甲减半的脉冲电流, 有效值不可能为峰值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$, 所以 C 选项错误; 图丁是交变电流图线, 周期为 2 s, 根据有效值定义则有: $4^2 \times R \times \frac{T}{2} + 3^2 \times R \times \frac{T}{2} = I^2 RT$, 解得电流有效值 $I = 2.5\sqrt{2}$ A, 所以 D 选项错误.

答案 B

3. 一理想变压器原、副线圈匝数比 $n_1 : n_2 = 11 : 5$, 原线圈与正弦交变电源连接, 输入电压 u 随时间 t 的变化规律如图 2 所示, 副线圈仅接入一个 10Ω 的电阻, 则().

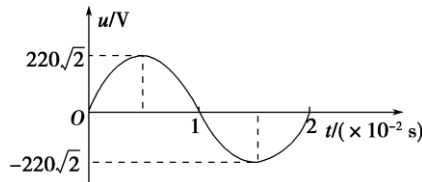


图 2

- A. 流过电阻的最大电流是 20 A
- B. 与电阻并联的电压表的示数是 141 V
- C. 变压器的输入功率是 1×10^3 W
- D. 在交变电流变化的一个周期内, 电阻产生的焦耳热是 2×10^3 J

解析 由交流电压 u 随时间 t 的变化规律可知, 输入的最大电压为 $220\sqrt{2}$ V, 由电压关系可知 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$, 可得输出电压的最大值为 $100\sqrt{2}$ V, 电压的有效值为 100 V, 最大电流为 $10\sqrt{2}$ A, 电流的有效值为 10 A, 选项 A 错误; 电压表示数应为电压有效值, 因此选项 B 错误; 变压器的输出输入功率相等, 可得 $P = UI = 1 \times 10^3$ W, 选项 C 正确; 在交变电流变化的一个周期内, 电阻产生的焦耳热为 $Q = I^2 R t = 20$ J, 选项 D 错误.

答案 C

4. (2013 河南郑州一模)如图 3 甲为小型旋转电枢式交流发电机的原理图, 其矩形线圈在磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 绕垂直于磁场方向的固定轴 OO' 匀速转动, 线圈的两端经集流环和电刷与电阻 $R = 10 \Omega$ 连接, 与电阻 R 并联的交流电压表为理想电压表, 示数是 10 V. 图乙是矩形线圈中磁通量 Φ 随时间 t 变化的图象. 则().

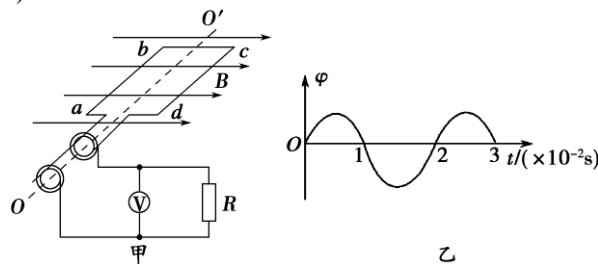


图 3

- A. 电阻 R 上的电功率为 20 W
- B. 0.02 s 时 R 两端的电压瞬时值为零
- C. R 两端的电压 u 随时间 t 变化的规律是 $u = 14.1 \cos 100\pi t$ (V)
- D. 通过 R 的电流 i 随时间 t 变化的规律是 $i = 1.41 \cos 50\pi t$ (A)

解析 电阻 R 上的电功率为 $P = \frac{U^2}{R} = 10$ W, 选项 A 错误; 由图乙知 0.02 s 时磁通量变化率最大, R 两端的电压瞬时值最大, 选项 B 错误; R 两端的电压 u 随时间 t 变化的规律是 $u = 14.1 \cos 100\pi t$ (V), 通过 R 的电流 i 随时间 t 的变化规律是 $i = \frac{u}{R} = 1.41 \cos 100\pi t$ (A), 选项 C 正确, D 错误.

答案 C

5. 如图 4 所示, 接在照明电路中的自耦变压器的副线圈上通过输电线接有三个灯泡 L_1 、 L_2 和 L_3 , 输电线的等效电阻为 R . 当滑动触头 P 向上移动一段距离后, 下列说法正确的是().

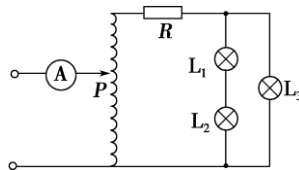


图 4

- A. 等效电阻 R 上消耗的功率变大
- B. 三个灯泡都变亮
- C. 原线圈两端的输入电压减小

D. 原线圈中电流表示数减小

解析 自耦变压器的原、副线圈是同一个线圈，只是匝数不同而已。由题意知原线圈是副线圈的一部分， $\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1}$ ，当 P 上移时， U_1 、 n_2 不变， n_1 变大时， U_2 变小，因负载电路结构不变，因此负载上的总电流 $I_2 = \frac{U_2}{R_{总}}$ 应变小， R 上消耗的功率变小，由串、并联电路特点知三个灯泡都变暗，A、B 都错误。由于原线圈的输入电压由外部电路决定，是不变的，C 错误；由 $P_{入} = P_{出}$ ， $U_1 I_1 = U_2 I_2 = \frac{U_2^2}{R_{总}}$ 知， $P_{出}$ 减小时， I_1 一定减小，电流表示数减小，D 项正确。

答案 D

6. 电阻为 1Ω 的矩形线圈绕垂直于磁场方向的轴，在匀强磁场中匀速转动，产生的交变电动势随时间变化的图象如图 5 所示。现把交流电加在电阻为 9Ω 的电热丝上，下列判断正确的是()。

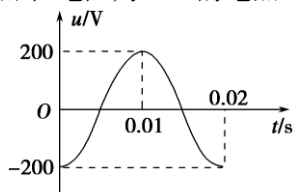


图 5

- A. 线圈转动的角速度 $\omega = 100 \text{ rad/s}$
- B. 在 $t = 0.01 \text{ s}$ 时刻，穿过线圈的磁通量最大
- C. 电热丝两端的电压 $U = 100\sqrt{2} \text{ V}$
- D. 电热丝此时的发热功率 $P = 1800 \text{ W}$

解析 由题图可以看出该交变电流的周期 $T = 0.02 \text{ s}$ ，则角速度 $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0.02} = 100\pi \text{ rad/s}$ ，A 项错。 $t = 0.01 \text{ s}$ 时刻，电压达到最大，则此时磁通量变化率最大，磁通量为零，B 项错。电热丝两端电压为路端电压 $U_R = \frac{R}{R+r} U = \frac{9}{9+1} \times \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 90\sqrt{2} \text{ V}$ ，故 C 项错。根据电功率公式 $P = \frac{U_R^2}{R} = \frac{(90\sqrt{2})^2}{9} \text{ W} = 1800 \text{ W}$ ，故 D 项正确。

答案 D

7. 理想变压器原、副线圈的匝数比为 $10:1$ ，原线圈输入电压的变化规律如图 6 甲所示，副线圈所接电路如图乙所示， P 为滑动变阻器的滑片，下列说法中正确的是()。

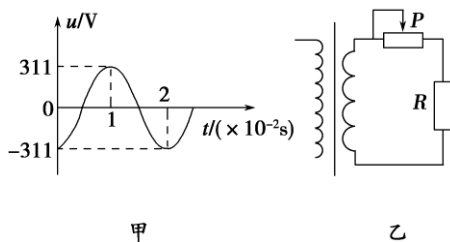


图 6

- A. 副线圈输出电压的频率为 50 Hz
- B. 副线圈输出电压的有效值为 31 V
- C. P 向右移动时，原、副线圈的电流比减小
- D. P 向右移动时，变压器的输出功率减小

解析 由交变电压的图象可知交变电流的周期为 $T = 2 \times 10^{-2} \text{ s}$ ，故 $f = \frac{1}{T} = 50 \text{ Hz}$ ，且变压器不能改变交变电流的频率，故选项 A 正确；由于交变电压的最大值为 $U_m = 311 \text{ V}$ ，故其有效值为 $U_1 = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 220 \text{ V}$ ，经变压器后，由 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 可得： $U_2 = 22 \text{ V}$ ，故选项 B 错误； P 向右移动时接入电路的电阻变小，故负载电

阻变小，输出电流变大，输出电功率也变大，而原、副线圈的电流比不变，故选项 C、D 错误。

答案 A

8. 如图 7 甲所示，理想变压器的原线圈电路中装有熔断电流 0.5 A 的保险丝 L ，原线圈匝数 $n_1=600$ 匝，副线圈匝数 $n_2=120$ 匝。当原线圈接在如图乙所示的交流电源上时，要使整个电路和用电器都正常工作，则副线圈两端可以接()。

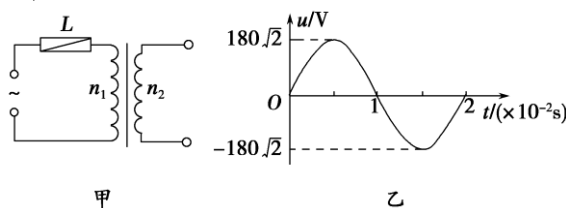


图 7

- A. 阻值为 $12\ \Omega$ 的电阻
- B. 并联两盏“36 V,40 W”的灯泡
- C. 工作频率为 10 Hz 的用电设备
- D. 耐压值为 36 V 的电容器

解析 根据图乙可知，原线圈输入的交变电压的最大值 $U_{1m}=180\sqrt{2}$ V，有效值 $U_1=180$ V，周期 $T_1=0.02$ s，频率 $f_1=1/T_1=50$ Hz。又 $n_1:n_2=5:1$ ，所以副线圈的输出电压的最大值为 $U_{2m}=36\sqrt{2}$ V，有效值 $U_2=36$ V，周期 $T_2=T_1=0.02$ s，频率 $f_2=f_1=50$ Hz；若副线圈两端接阻值为 $12\ \Omega$ 的电阻，则 $I_2=U_2/R=3$ A， $I_1=n_2I_2/n_1=0.6$ A > 0.5 A，即流过保险丝的电流超过了其熔断电流，选项 A 错误；若并联两盏“36 V,40 W”的灯泡，那么，灯泡两端电压刚好为其额定电压，此外，流过保险丝的电流 $I_1=n_2I_2/n_1=0.2I_2=0.2\times 2\times \frac{40}{36}$ A $=\frac{4}{9}$ A < 0.5 A，显然，整个电路和用电器均能正常工作，所以选项 B 正确；由于输出交流电的频率为 50 Hz，所以副线圈两端不可以接工作频率为 10 Hz 的用电设备，选项 C 错误；电容器的耐压值指的是允许通过的最大电压值，题中副线圈输出电压的最大值为 $U_{2m}=36\sqrt{2}$ V > 36 V，即超过了电容器的耐压值，所以选项 D 错误。

答案 B

9. 某小型水电站的电能输送示意图如图 8 甲所示，发电机的输出电压变化规律如图乙。输电线总电阻为 r ，升压变压器原、副线圈匝数分别为 n_1 、 n_2 ，降压变压器原、副线圈匝数分别为 n_3 、 n_4 (变压器均为理想变压器)。要使额定电压为 220 V 的用电器正常工作，则()。

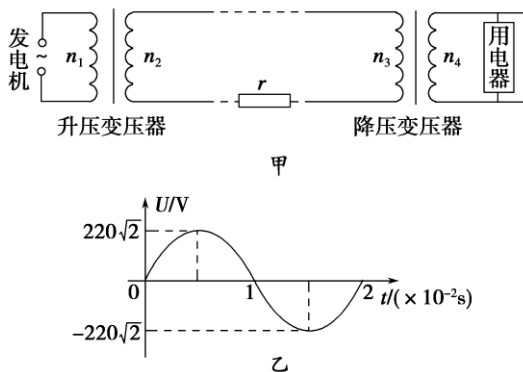


图 8

- A. 乙图中电压的瞬时值表达式为 $u=220\sqrt{2}\sin 100\pi t$ V
- B. 乙图中电压的有效值和用电器的额定电压都是 220 V，所以 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{n_4}{n_3}$
- C. 通过升压变压器的电流频率比通过降压变压器的电流频率大
- D. 升压变压器的输出功率大于降压变压器的输入功率

解析 由于输电线上电阻会损失电压、电功率，使得 $U_2>U_3$ ，故 $P_2>P_3$ ，选项 D 正确；因为 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{U_1}{U_2}$ ，

$\frac{n_4}{n_3} = \frac{U_4}{U_3}$, 由于 $U_1 = U_4 = 220 \text{ V}$, $U_2 > U_3$, 所以 $\frac{n_1}{n_2} < \frac{n_4}{n_3}$, 选项 B 错误; 由交流电及变压器基础知识可知选项 A 对, C 错.

答案 AD

10. 如图 9 所示, 有一台交流发电机 E , 通过理想升压变压器 T_1 和理想降压变压器 T_2 向远处用户供电, 输电线的总电阻为 R . T_1 的输入电压和输入功率分别为 U_1 和 P_1 , 它的输出电压和输出功率分别为 U_2 和 P_2 ; T_2 的输入电压和输入功率分别为 U_3 和 P_3 , 它的输出电压和输出功率分别为 U_4 和 P_4 . 设 T_1 的输入电压 U_1 一定, 当用户消耗的电功率变大时, 有().

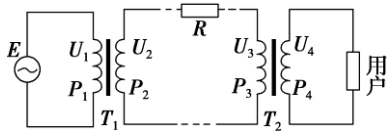


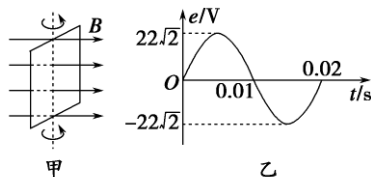
图 9

- A. U_2 减小, U_4 变大 B. U_2 不变, U_3 变小
C. P_1 变小, P_2 变小 D. P_2 变大, P_3 变大

解析 当用户消耗的电功率增大时, 升压变压器的输入功率必增大, 即 P_1 增大, 由于输入电压 U_1 为定值不变, 升压变压器的匝数不变, 故输出电压 U_2 不变, 由于 P_1 增大, 由 $P_1 = U_1 I_1 = P_2 = U_2 I_2$ 可得, I_1 增加, P_2 、 I_2 增加, 由闭合电路欧姆定律得: $U_3 = U_2 - I_2 R$, 故 U_3 减小, 降压变压器原、副线圈匝数不变, 所以随着 U_3 减小, U_4 减小, A 错误, B 正确; 由于用户消耗的电功率增加, 即 P_4 增加, 理想变压器无功率损耗可得: $P_3 = P_4$, 功率 P_3 也增加, 故 C 错误, D 正确.

答案 BD

11. (2013 中山模拟)如图 10 甲所示, 矩形金属线框绕与磁感线垂直的转轴在匀强磁场中匀速转动, 输出交流电的电动势图象如图乙所示, 经原副线圈的匝数比为 1:10 的理想变压器给一灯泡供电, 如图丙所示, 副线圈电路中灯泡额定功率为 22 W. 现闭合开关, 灯泡正常发光. 则().



丙
图 10

- A. $t=0.01 \text{ s}$ 时刻穿过线框回路的磁通量为零
B. 交流发电机的转速为 50 r/s
C. 变压器原线圈中电流表示数为 1 A
D. 灯泡的额定电压为 $220\sqrt{2} \text{ V}$

解析 由题图知 $t=0.01 \text{ s}$ 时 $e=0$, 此时线圈平面位于中性面, 磁通量最大, A 错; 周期 $T=0.02 \text{ s}$, 所以 $n = \frac{1}{T} = 50 \text{ r/s}$, B 对; 由理想变压器原理得: $\frac{U_1}{U_L} = \frac{n_1}{n_2}$, 其中 $U_1 = \frac{22\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \text{ V}$, 得 $U_L = 220 \text{ V}$, $I_L = \frac{P}{U_L} = 0.1 \text{ A}$, 而 $\frac{I_1}{I_L} = \frac{n_2}{n_1}$, 得 $I_1 = 1 \text{ A}$, C 对; 灯泡的额定电压为交流电压的有效值 220 V, D 错.

答案 BC

12. 如图 11 所示, 边长为 L 、匝数为 N , 电阻不计的正方形线圈 $abcd$ 在磁感应强度为 B 的匀强磁场中绕转轴 OO' 转动, 轴 OO' 垂直于磁感线, 在线圈外接一含有理想变压器的电路, 变压器原、副线圈的匝数分别为 n_1 和 n_2 . 保持线圈以恒定角速度 ω 转动, 下列判断正确的是().

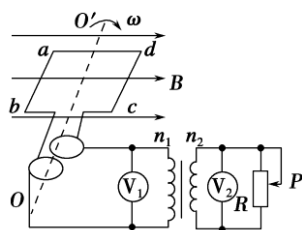


图 11

- A. 两电压表的示数之比为 $U_1 : U_2 = n_1 : n_2$
- B. 电压表 V_1 示数等于 $NB\omega L^2$
- C. 当滑动变阻器 R 的滑片 P 向上滑动时, 电压表 V_2 的示数变大
- D. 变压器的输入功率与输出功率之比为 $1 : 1$

解析 变压器的电压之比等于线圈匝数之比, A 正确; 由于线圈电阻不计, ①示数即为线圈产生的电动势的有效值 $U_1 = E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{NB\omega L^2}{\sqrt{2}}$, B 错误; ②的示数由①和线圈匝数比决定, R 的变化不影响②的示数, C 错误; 理想变压器输出功率等于输入功率, D 正确.

答案 AD

二、非选择题

13. 交流发电机的发电原理是矩形线圈在匀强磁场中绕垂直于磁场的轴 OO' 匀速转动. 一小型发电机的线圈共 220 匝, 线圈面积 $S=0.05 \text{ m}^2$, 线圈转动的频率为 50 Hz, 线圈内阻不计, 磁场的磁感应强度 $B = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \text{ T}$. 为了用此发电机所发出的交流电带动两个标有“220 V, 11 kW”的电机正常工作, 需在发电机的输出端 a 、 b 与电机之间接一个理想变压器, 电路如图 12 所示, 求:

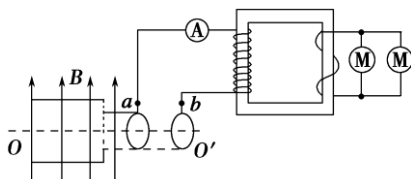


图 12

- (1) 发电机的输出电压为多少?
- (2) 变压器原、副线圈的匝数比为多少?
- (3) 与变压器原线圈串联的交流电流表的示数为多大?

解析 (1) $E_m = NBS\omega = 1100\sqrt{2} \text{ V}$

输出电压的有效值为 $U_1 = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 1100 \text{ V}$

(2) 根据 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 得 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{5}{1}$

(3) 根据 $P_{\lambda} = P_{\text{出}} = 2.2 \times 10^4 \text{ W}$

再根据 $P_{\lambda} = U_1 I_1$, 解得 $I_1 = 20 \text{ A}$

答案 (1) 1100 V (2) $\frac{5}{1}$ (3) 20 A

14. 图 13 中, 降压变压器的变压系数是 3, 即初级线圈匝数与次级线圈的匝数之比是 3 : 1. 初级线圈的输入电压是 660 V, 次级线圈的电阻为 0.2Ω , 这台变压器供给 100 盏“220 V, 60 W”的电灯用电. 求:

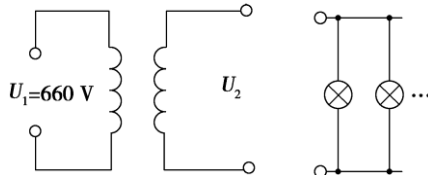


图 13

- (1) 空载时次级线圈的电压和输出功率;

(2)接通时次级线圈的电压;

(3)每盏灯的实际功率.

解析 (1)将变压器视为理想变压器, 设空载时次级线圈的电压为 U_2 .

$$\text{由 } \frac{n_2}{n_1} = \frac{U_2}{U_1}, \text{ 得到 } U_2 = \frac{n_2}{n_1} U_1 = 220 \text{ V}$$

因为空载, 次级线圈的负载电阻 $R_2 \rightarrow \infty$, 次级线圈中的电流为零, 即 $I_2 = 0$, 故 $P = I_2 U_2 = 0$

(2)接通电路后, 100 盏灯并联的总电阻为

$$R_{\text{外}} = \frac{R}{100} = \frac{\frac{U_{\text{额}}^2}{P_{\text{额}}}}{100} = 8.07 \Omega$$

$$\text{次级线圈的电流 } I_2 = \frac{U_2}{R_{\text{外}} + R_{\text{线}}} = \frac{220}{8.07 + 0.2} \text{ A} = \frac{220}{8.27} \text{ A}$$

次级线圈的电压 $U_2' = I_2 R_{\text{外}} = 214.68 \text{ V}$

$$(3)\text{每盏灯的实际功率 } P = \frac{I_2}{100} U_2' = \frac{220 \times 214.86}{8.27 \times 100} \text{ W} = 57.1 \text{ W}$$

答案 (1)220 V 0 (2)214.68 V (3)57.1 W