

普通高中教科书

# 教师教学用书

人民教育出版社 课程教材研究所  
物理课程教材研究开发中心 编著

# 物理

必修

第二册



人民教育出版社

·北京·

主 编：张 颖 梁 旭

编写人员：丁红明 金加团 金新喜 梁 旭 刘华斌 汤玉林 张 颖 张玉峰

责任编辑：金新喜

美术编辑：王 艾

插图绘制：王 喆

#### 图书在版编目(CIP)数据

普通高中教科书教师教学用书·物理：必修·第二册 / 人民教育出版社课程教材研究所物理课程教材研究开发中心编著. —北京：人民教育出版社，2019. 8

ISBN 978-7-107-33842-7

I. ①普… II. ①人… III. ①中学物理课—高中—教学参考资料 IV. ①G633

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第224177号

普通高中教科书 教师教学用书 物理 必修 第二册

出 版 人民教育出版社

(北京市海淀区中关村南大街17号院1号楼 邮编：100081)

网 址 <http://www.pep.com.cn>

发 行 ×××新华书店

印 刷 ×××印刷厂

版 次 年 月第 版

印 次 年 月第 次印刷

开 本 890毫米×1240毫米 1/16

印 张 8.75

字 数 206千字

印 数 册

书 号 ISBN 978-7-107-33842-7

定 价 元

版权所有·未经许可不得采用任何方式擅自复制或本产品任何部分·违者必究

如发现内容质量问题，请登录中小学教材意见反馈平台：[jcyjfk.pep.com.cn](http://jcyjfk.pep.com.cn)

如发现印、装质量问题，影响阅读，请与×××联系调换。电话：×××-××××××××

# 说 明

本套书是在原《普通高中课程标准实验教科书物理教师教学用书》的基础上，为配合新修订的《普通高中教科书物理》的使用修订而成的。本套书旨在帮助教师更好地使用教科书，为教学提供必要的参考。

本套书介绍了教科书的特色，新的教学理念和一些新的教学方式、方法，与教科书采取“紧密配合”的方式，逐章逐节进行分析说明。

本套书的主要结构如下：

**课程标准的要求** 摘录了《普通高中物理课程标准（2017年版）》（以下简称课程标准）的相关内容，作为教学的依据。

**本章教材概述** 主要介绍本章教科书的编写意图、主要内容、整章的结构和特点，以及在选择内容和讲述方法上的一些考虑。

**教材分析与教学建议** 根据课程标准及教科书，对每一节教学内容提出了具体的教学目标，对教科书内容进行了分析，并且在此基础上提出了比较详细的教学建议。包括教学过程中可能遇到的问题，供选择的教學方法，怎样发展学生的非智力因素，怎样使用教科书中的栏目、插图，怎样以新的教育理念处理教学问题，怎样发展教师自身的教学能力，怎样处理实验，怎样帮助学生进行探究，怎样突出教学重点，怎样突破难点等。

**参考答案与提示** 对教科书“练习与应用”和“复习与提高”中的问题给出参考答案与提示，并说明题目对发展学生核心素养的作用和价值。

**参考资料** 是与教学内容相关的教学资源，包括概念、规律和背景资料，联系生活、科技和社会的资料，以及实验参考资料等内容。课程新理念需要教师进一步提高职业素质，需要教师尽早进入终身学习的轨道，我们在这里围绕教学的需要选择了一些拓展性的内容，为教师的素质发展提供一些帮助。

本书参考答案与提示的编写者有：陈继明、肖晓萍、时长明、张杰、郑维鹏、李坤、谈姝、吴金良。

对于书中存在的缺点和错误，欢迎教师和物理教育工作者及时批评、指正。来函请寄：

100081 北京海淀区中关村南大街17号院1号楼 人民教育出版社物理室 收。

人民教育出版社 物理室

2019年4月



# 目 录

<b>第五章 抛体运动</b> .....	1
一、本章教材概述.....	1
二、教材分析与教学建议.....	5
第1节 曲线运动.....	5
第2节 运动的合成与分解.....	9
第3节 实验：探究平抛运动的特点.....	13
第4节 抛体运动的规律.....	17
三、“复习与提高”参考答案与提示.....	21
四、参考资料.....	25
<b>第六章 圆周运动</b> .....	28
一、本章教材概述.....	28
二、教材分析与教学建议.....	32
第1节 圆周运动.....	32
第2节 向心力.....	35
第3节 向心加速度.....	40
第4节 生活中的圆周运动.....	44
三、“复习与提高”参考答案与提示.....	51
四、参考资料.....	56
<b>第七章 万有引力与宇宙航行</b> .....	61
一、本章教材概述.....	61
二、教材分析与教学建议.....	65
第1节 行星的运动.....	65
第2节 万有引力定律.....	68
第3节 万有引力理论的成就.....	72

第4节 宇宙航行·····	75
第5节 相对论时空观与牛顿力学的局限性·····	78
三、“复习与提高”参考答案与提示·····	82
四、参考资料·····	86
<b>第八章 机械能守恒定律·····</b>	<b>102</b>
一、本章教材概述·····	102
二、教材分析与教学建议·····	105
第1节 功与功率·····	105
第2节 重力势能·····	110
第3节 动能和动能定理·····	114
第4节 机械能守恒定律·····	117
第5节 实验：验证机械能守恒定律·····	121
三、“复习与提高”参考答案与提示·····	125
四、参考资料·····	128

人教版®

# 第五章

## 抛体运动

### 课程标准的要求

2.2.1 通过实验，了解曲线运动，知道物体做曲线运动的条件。

2.2.2 通过实验，探究并认识平抛运动的规律。会用运动合成与分解的方法分析平抛运动。体会将复杂运动分解为简单运动的物理思想。能分析生产生活中的抛体运动。

### 一、本章教材概述

本章既要讨论曲线运动的规律，又要用牛顿运动定律对有关曲线运动的问题进行分析。可以说，本章实际上是运动学和动力学知识在曲线运动中的具体应用，是学生所学运动学和动力学知识的进一步拓展和延伸。从思维上看，本章内容与前面所学内容构成了对运动与相互作用认识由简单到复杂、由浅入深的逐渐深化过程。

教材对运动与相互作用认识的逐渐深化主要体现在两个方面：一是研究的机械运动形式从简单的直线运动到相对复杂的曲线运动；二是从对运动现象的描述到对物体之所以做曲线运动原因的解释。

具体到本章中各节的内容，则体现了循序渐进的逻辑关系，并且渗透了物理学研究方法。各节之间的逻辑关系及研究方法如图5-1所示。

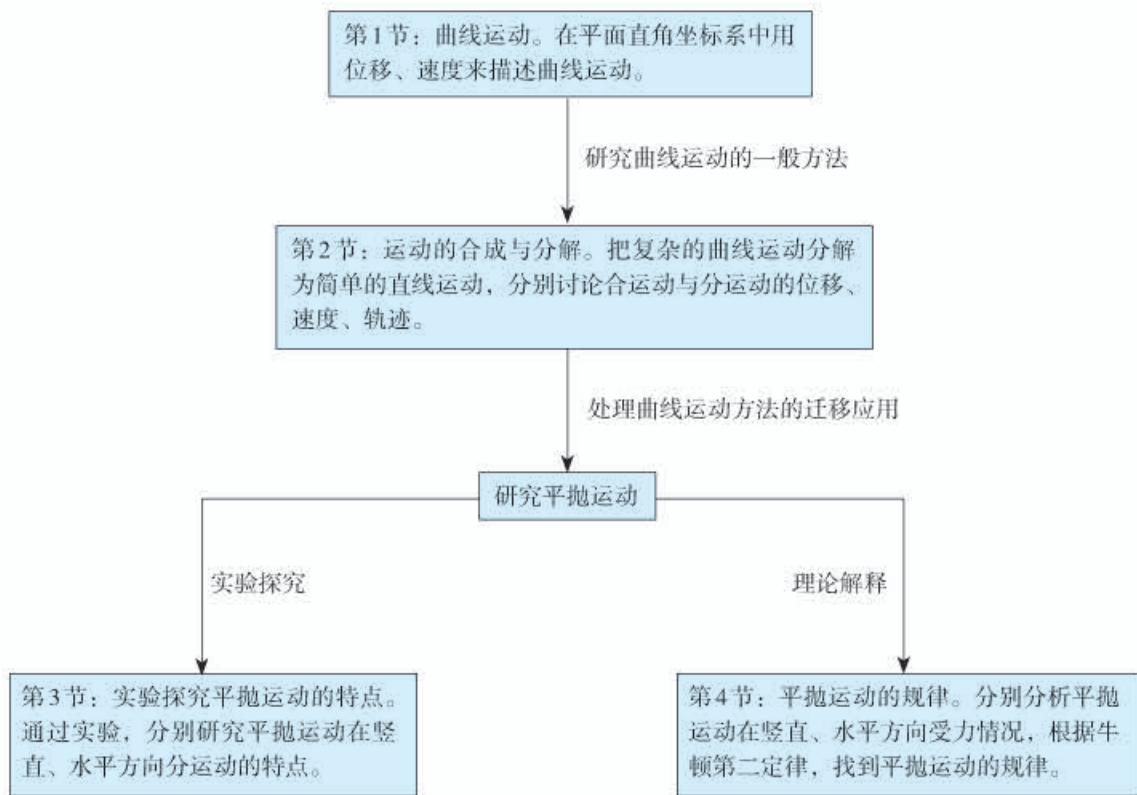


图5-1

本章内容既有物理模型的建立和分析推理过程，又有通过实验获取平抛运动特点的典型的科学探究过程。通过这些内容不仅可以发展学生的运动与相互作用观念，还可以培养学生的科学思维和科学探究素养。

本章按照“曲线运动→运动的合成与分解→平抛运动”的结构进行编排，突出了物理观念的形成，以及科学思维与科学探究素养的发展。（1）突出解决曲线运动问题的“大思路”，即把复杂的曲线运动分解为水平和竖直方向上简单的直线运动，并进一步应用这个“大思路”分析、论证平抛运动的规律。（2）强调科学探究，将“研究平抛运动”实验改为“探究平抛运动的特点”。在得出平抛运动规律之后，再从理论上做出解释，强调了实验和理论在研究客观世界中的价值和作用。（3）注意难点分散和内容编排的内在逻辑性，将“曲线运动”的内容拆分为两节。

具体来说，本章在编写时有如下考虑。

### 1. 关注学习内容的前后联系，深化和拓展运动与相互作用观念

物理观念的形成不是一蹴而就的，需要在物理概念、规律的学习过程中逐步巩固与拓展。在学习过程中，加强物理概念、规律的前后联系，使得新的物理概念、规律建立在原有知识的基础上得到逐渐深化和拓展，并为后续学习留下合适的“接口”。例如，在本章的章首语中就明确指出：“研究直线运动时的基本思路和方法，原则上同样可以用来处理曲线运动。”

从具体知识内容看，本章内容与前面所学知识的具体对应关系可以用图5-2表示。



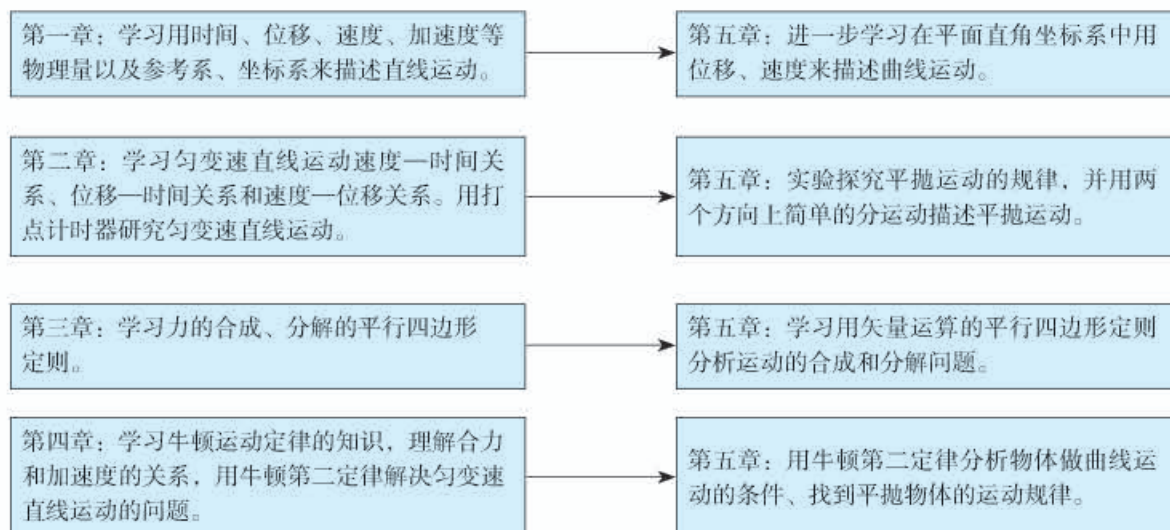


图 5-2

## 2. 优化物理结论的形成过程，突出科学思维和科学探究素养的培养

为了发展学生的科学思维和科学探究等素养，教材特别关注以下几点：第一，突出物理概念、规律的得出过程，并用丰富的实例引导学生在事实经验的基础上，逐步经历抽象、概括、推理的思维过程。第二，在认识物理概念、规律时，引导学生经历先定性后定量的一般认识过程。第三，在认识具体问题时，注重引导学生先通过实验探究得出结论，再进行理论解释，进而突出理论分析与实验探究的统一性。第四，突出科学思维方法的育人价值，引导学生逐步体会极限思想、等效思想等。例如，为得到曲线运动速度方向是沿曲线某点的切线方向这一结论，教材设计了如图5-3所示的过程。

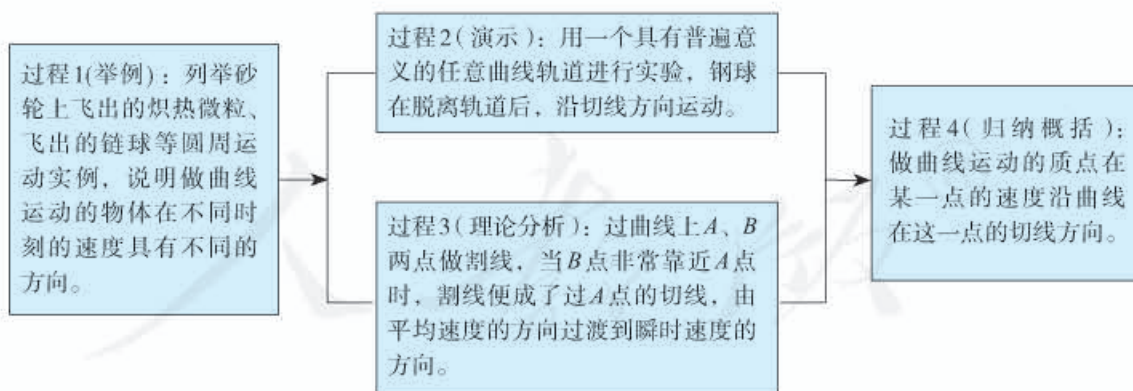


图 5-3

## 3. 用大量实例丰富学生的体验，加强知识与情境的联系

本章采用大量实例丰富学生对一般曲线运动和平抛运动的体验，以加强知识与情境的联系。学生经过深入思考和亲身体验后，不仅更容易领悟物理知识、加深印象，而且更容易将知识应用到具体问题中，从而提升学生在真实情境中解决问题的能力。

教材在“问题”“做一做”“演示”“思考与讨论”“例题”“练习与应用”等栏目中呈现了大量的实例。例如，在学生学习曲线运动后，教材要求学生做一个飞镖，观察飞镖在空中运动时的情景、飞镖落至地面插入泥土后的指向，以便体会曲线运动的速度方向与轨迹曲线的关系。再如，学生学习了运动的合成和分解后，教材在“思考与讨论”中让学生思考：如果将玻璃管紧贴着黑板沿水平方向向右匀加速移动，若玻璃管内壁是光滑的，蜡块的轨迹还是一条直线吗？

#### 4. 突出解决问题的一般思路，为迁移创新打好基础

发展学生的迁移创新能力是发展学生关键能力和核心素养的重要内容。

教材首先从一般曲线运动的描述入手，定性分析物体做曲线运动的条件，然后以分析蜡块的运动为例，让学生初步认识运动合成与分解的方法，再通过实验，探究平抛运动在竖直和水平方向上的特点，逐渐从一般的曲线运动过渡到特殊的平抛运动。最后，应用牛顿第二定律，依据合成与分解的思路从理论上解释平抛运动规律。这样的安排，有助于学生形成结构良好的知识体系，也有助于学生将学到的知识迁移到新情境中解决具体问题。

在“抛体运动的规律”一节中，教材先讨论了平抛运动的速度、位移、轨迹等基本要素，最后简要讨论了一般抛体的运动。学生可以借鉴处理平抛运动的方法处理一般的抛体运动，这样不仅拓展了抛体运动的内容，也为提高学生的迁移创新能力提供了合适的载体。

##### 课时安排建议

1. 曲线运动	1课时
2. 运动的合成与分解	1课时
3. 实验：探究平抛运动的特点	1课时
4. 抛体运动的规律	2课时

人教版®

## 二、教材分析与教学建议

### 第1节 曲线运动

#### 1. 教学目标

(1) 知道曲线运动的瞬时速度方向，能运用极限思想理解瞬时速度的方向，并会在轨迹图上画出某点的速度方向。

(2) 理解曲线运动是变速运动，知道物体做曲线运动的条件。

(3) 能运用牛顿第二定律和分解与合成的方法分析曲线运动，进一步理解运动与相互作用的概念。

#### 2. 教材分析与教学建议

本节是整章教学的知识基础。学生已经学过直线运动、牛顿运动定律，对力与运动的关系有了一定的认识。曲线运动与直线运动的显著区别是它的速度的方向时刻在变化，教学中可通过“生活体验→实验探究→理论认知”逐步推进的方式来解决曲线运动速度方向的确定问题。关于物体做曲线运动的条件教学，可以让学生先依据所学知识提出猜想，然后进行实验探究。教材先研究曲线运动的方向，然后研究物体做曲线运动的条件。从知识结构上看，曲线运动的速度方向是轨迹上某点的切线方向，只反映曲线运动的运动学特征，而曲线运动的条件则是动力学特征，因此教材的安排较好地符合先研究运动特征、再分析运动原因的认识之路。从对学生知识结构建构的过程来看，知道曲线运动的方向只是知道一个事物的结果，掌握曲线运动发生的条件才能理解出现该结果的原因，这样才能在逻辑上有利于学生深刻理解本节的两个重点内容。

##### (1) 认识曲线运动

曲线运动是生活中常见的运动。在引入新课时，可以通过图片创设一些物体做曲线运动的情境，如汽车在弯曲的引桥上的运动、做飞行表演的飞机的运动、盘山公路上汽车的运动等，让学生分析这些运动的共同点。

#### 教学片段

##### 生活中的曲线运动

问题1. 图5-4甲中的汽车在弯曲的引桥上的运动是什么运动？为什么？

问题2. 图5-4乙中的飞机的运动是什么运动？为什么？

问题3. 图5-4丙中的汽车在盘山公路上的运动是什么运动？为什么？

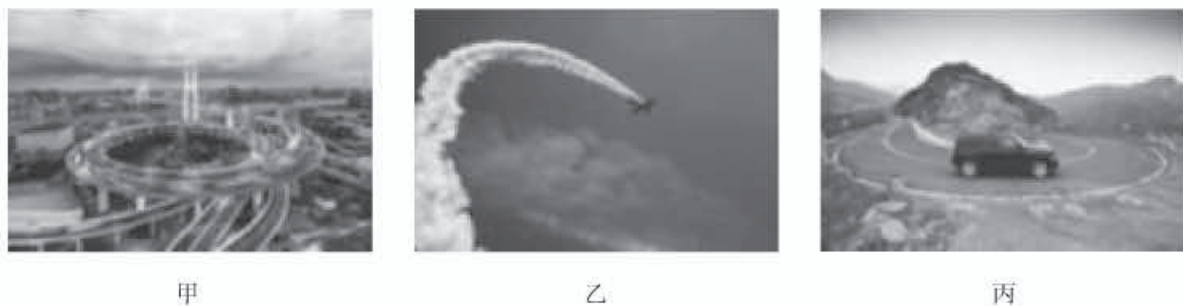


图5-4

问题4. 图5-4中弯曲的引桥、烟雾和公路，对于运动物体（汽车、飞机、汽车）来说，它们共同的本质是什么？

### (2) 曲线运动的速度方向

教材中选取了两幅来自实际情景的图片，并安排了一个演示实验。随后又通过从割线到切线的分析推理过程，最终确定曲线运动的方向。这样的安排充分体现了由简单到复杂、由静态到动态、由生活到实验、由实验到理论的科学认知过程。重视学生学习过程中知识的形成与发展，关注学生科学思维和科学探究过程的实施，有利于促进学生核心素养的培养。

通过观察图片，让学生得出的是感性的、直接的结论（猜想），还需要通过实验来证实。这样的设计可以强化科学探究中的问题与证据素养。在实验探究之后，教材安排了采用极限思想的理论分析，从理论上证明了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。通过实验和理论两个视角的研究，不仅让学生明白了曲线运动速度的方向，还可使学生体会到做曲线运动的物体的速度是时刻改变的，曲线运动是变速运动。

为了进一步丰富上述认识过程，可以创设如下的情境和问题。

### 教学片段

#### 曲线运动的速度方向

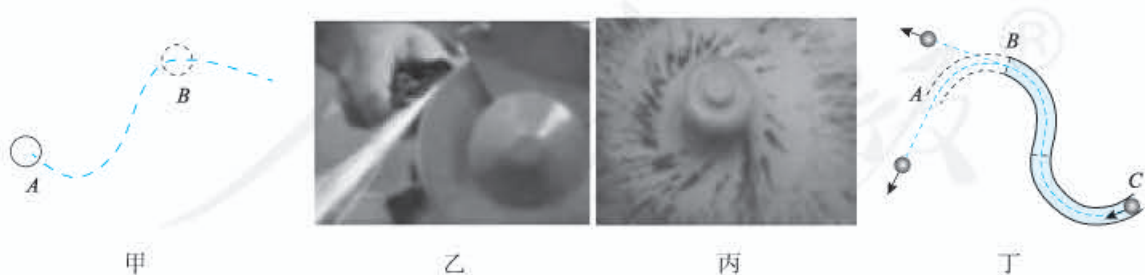


图5-5

问题1. 图5-5甲中的小球沿虚线所示的轨迹运动，小球在A、B位置时的速度方向如何？请在图上画出来。

问题2. 图5-5乙显示了砂轮打磨金属块时，脱落“火星”的运动轨迹。“火星”在脱落前瞬间的速度方向如何？

问题3. 图5-5丙显示了旋转陀螺边沿甩出的红墨水的印迹。墨水在离开陀螺边沿瞬间的速

度方向如何?

问题4. 图5-5丁是从不同(任意)出口处滚出小球留下的轨迹,你能从中归纳得到怎样的结论?

### (3) 物体做曲线运动的条件

速度方向确定后,教材进而引导学生研究物体做曲线运动的条件。从学生已经具有的知识和本节的新认识(曲线运动是变速运动),可以推理得到其所受的合力必不为0。是否受力就一定做曲线运动呢?这可不是依据牛顿第二定律可以直接得到的结果。学生需要提出自己的猜想,针对不同的猜想设计实验方案,进行探究性实验。教材“观察钢球的运动轨迹”的实验方案给出一个比较容易控制方向的作用力(钢球与磁铁间引力),可以方便地探究钢球在运动过程中受不同方向作用力后的运动情景,帮助学生认识物体做曲线、直线运动的条件。在实验现象的基础上,运用力或加速度的分解方法,就可以清晰地解释物体做曲线运动的原因,深刻理解运动与相互作用的观念。有条件的学校,可以把这个演示实验改为学生随堂实验,让学生由观看实验变成自己动手实验。

### 教学片段

#### 物体做曲线运动的条件



图5-6



图5-7

问题1. 做曲线运动的物体的速度一定变化吗? 是否有加速度?

问题2. 做曲线运动的物体是否一定受力? 物体受力是否一定做曲线运动?

问题3. 物体是否做曲线运动可能跟什么因素有关? 用实验研究时需要控制哪些因素?

问题4. 如图5-6所示,从倾斜轨道滚下的钢球在水平面上运动,改变磁铁摆放的位置和钢球下滚的高度,你能得到怎样的结论?

问题5. 如图5-7所示,在水平面上放置倾斜的轨道和几块泡沫构成的曲线轨道,其中1、2、3、4块可撤除,当小钢球在轨道中运动时,撤除哪几块将改变小钢球的运动轨迹? 为什么? 实验结论与你的分析相符吗?

问题6. 做曲线运动的物体所受的合力方向跟轨迹弯曲情况之间存在着怎样的关系?

本节讨论了更一般的运动形式,对学生提出了更高的要求。整节教材紧紧围绕物体做曲线运动的速度方向、曲线运动的条件两个重点,把生活经验、实验探究、分析推理与现象解释有机地结合起来,层层递进,有利于学生核心素养的培养。

### 3. “练习与应用” 参考答案与提示

本节配置了5道习题，其目的是让学生更好地理解所学的物理概念，能在熟悉的问题情境中应用常见的物理模型，能对比较简单的物理现象进行分析和推理，获得结论。第1题和第2题考察学生将实际问题抽象为简单的物理模型的能力，以深化对曲线运动的速度方向沿轨迹上该点的切线方向的理解和认识。第3题和第4题，要求学生理解圆周运动的速度方向沿圆周上该点的切线方向，并能进行简单的科学推理，从而获得结论。第5题要求学生掌握根据物体的受力情况判断物体的运动情况的方法，体会速度方向、合力方向与轨迹的弯曲之间的关系。

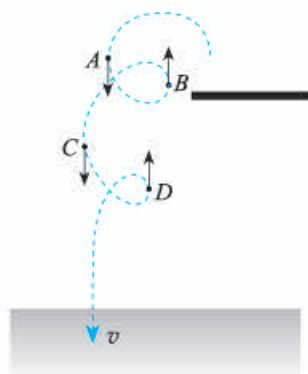


图5-8

1. 如图5-8所示，在A、C位置头部的速度与入水时的速度方向相同；在B、D位置头部的速度与入水时的速度方向相反。

提示：本题以“梦之队”为素材设置问题，加强爱国主义教育。把运动员头部的运动看作质点的运动，深化对曲线运动的速度方向沿该点轨迹的切线方向的认识。

2. 标注略。

提示：在实际问题中理解曲线运动的速度方向为该点轨迹的切线方向。

3. 汽车行驶半周速度的方向改变 $\pi$ 。汽车每行驶10 s，速度方向改变 $\frac{2\pi}{2 \times 60} \times 10 = \frac{\pi}{6}$ ，速度矢量的示意图如图5-9所示。

提示：将汽车的运动抽象为质点的圆周运动，理解圆周运动的速度方向沿圆周上该点的切线方向。根据几何知识，某段时间内速度方向改变的角度就是该段时间内半径转过的角度。

4. 如图5-10所示，设质点与圆心连线所扫过的角度为 $\alpha$ ，质点速度方向改变的角度为 $\beta$ ，则 $180^\circ - \alpha = 180^\circ - \beta$ ，故 $\alpha = \beta$ 。

提示：运用数学知识证明即可。圆周运动某段时间内速度方向改变的角度与该段时间内质点与圆心连线所扫过的角度相等。

5. 如图5-11所示，AB段是曲线运动、BC段是直线运动、CD段是曲线运动。

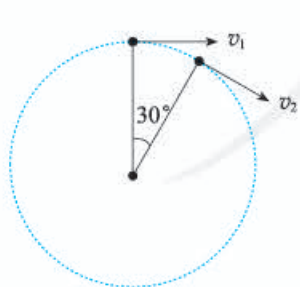


图5-9

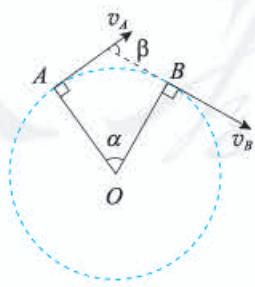


图5-10

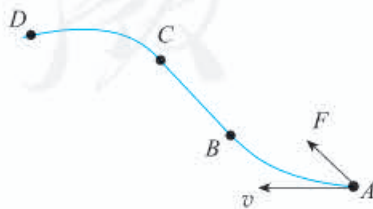


图5-11

## 第2节 运动的合成与分解

### 1. 教学目标

- (1) 会根据研究问题的需要建立合适的平面直角坐标系，并用函数描述直线运动。
- (2) 理解合运动与分运动的概念，能对简单平面运动进行合成与分解。
- (3) 通过运动的合成与分解，初步体会把复杂运动分解为简单运动的物理思想，并能用这个思想解决类似的简单问题。

### 2. 教材分析与教学建议

本节对学生的能力要求较高，着重解决的问题是让学生建立起运动的合成与分解的思想，并用来处理简单的平面运动，为平抛与斜抛运动的研究打好基础。本节内容是学生在学习较简单的直线运动后，从定量研究直线运动规律进入定量研究曲线运动规律的转折点。虽然学生已经知道曲线运动的运动特征和受力特征，但他们不知道如何去描述曲线运动的位移、速度、加速度等运动参量。在此之前，学生已经有合力与分力的概念，力的合成与分解的知识与思想，这些对运动的合成与分解有一定的启发作用。通过本节的学习研究，学生将学会用平面坐标系描述曲线运动，并通过运动的合成与分解，把复杂运动分解成几个简单的分运动，再通过研究分运动的性质来确定物体实际运动的性质和轨迹，进一步研究复杂的曲线运动。

#### (1) 平面运动的实例分析

教材以人在流动的河水中游泳是否能到达河的正对岸这一问题切入，引出蜡块运动实验。由蜡块运动引出合运动的概念，并引导学生猜测蜡块运动的轨迹与运动性质，尝试建立坐标系进行研究。依据蜡块沿玻璃管向上运动与随玻璃管一起水平向右匀速运动的现象，在这两个方向上建立直角坐标系。由于蜡块在这两个方向上的运动分别是匀速直线运动，可以用已有的直线运动规律进行描述，并由此得到轨迹函数和蜡块运动的速度。这样分析蜡块的运动就为合运动与分运动的教学做好了铺垫。教材的编排以情境发展为主线，主要包括“情境体验→实验探究→理论分析”等教学环节，通过逐步推进来实现运动合成与分解的知识构建。这样的编排有利于学生科学思维素养的培养。

蜡块运动实验是本节的重点之一。合运动与分运动两个概念的建立，坐标系的建立、蜡块运动轨迹的探究、蜡块运动速度的探究都基于本实验，因此教师一定要精心准备，确保实验成功。运动合成与分解知识的构建、运动等效思想是本节的另一个重点。

教材中设置了一个问题情境和一个演示实验来展开物体在平面中运动的研究，引出如何描述平面上运动物体的运动轨迹、位移、速度、加速度等问题。这样的安排有助于学生从已有知识出发，去发现新问题，形成探究的意向与目标，为解决新的问题做好准备。实验演示要与学生的思考紧密结合。例如要观察蜡块的运动方向，蜡块的运动轨迹，思考蜡块的运动性质，思考合运动与分运动之间的关系等。

## 教学片段

### 探究合运动与分运动的关系

蜡块的运动如图5-12所示，蜡块运动的视频截图如图5-13所示。

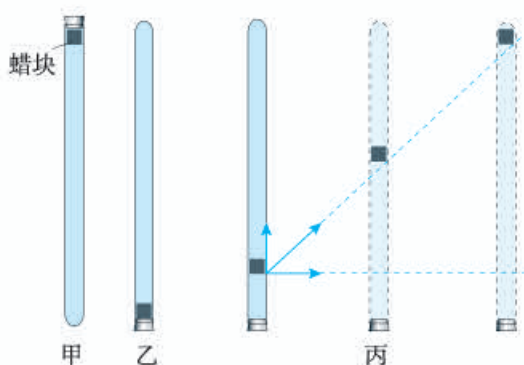


图5-12

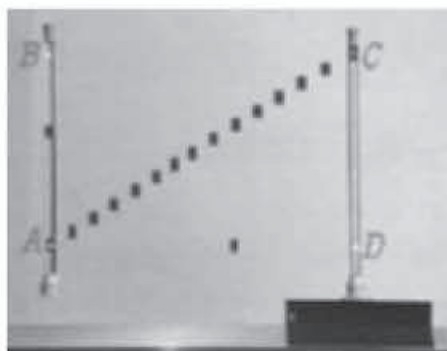


图5-13

问题1. 在图5-12丙中，蜡块同时参与了哪几个运动？蜡块实际的运动是怎样的？

问题2. 合运动与分运动所用的时间有什么关系？

问题3. 如图5-13，改变玻璃管在水平方向运动的速度，蜡块从A(底部)到B(顶端)的运动时间会变吗？玻璃管在水平方向的运动变化会不会影响蜡块在竖直方向的运动？

问题4. 根据图5-13，你能画出分运动与合运动的位移吗？它们之间满足什么关系？

问题5. 根据合运动和分运动的等时性，你觉得合速度与分速度之间是否也满足上述关系？

问题6. 飞机起飞时的速度为300 km/h，飞行方向与水平面的夹角为 $30^\circ$ ，水平分速度和竖直分速度各是多大？

问题7. 一艘炮舰沿河由西向东匀速行驶，在炮舰上发射炮弹，要击中正北岸的目标。能直接向正北方向发射炮弹吗？

做好实验是上好本课的关键。实验时，教师要提醒学生，这里的研究对象是蜡块，学生观察到的蜡块运动是合运动。实验可分几步进行。

- ①将玻璃管倒置并保持竖直不动，看到蜡块沿玻璃管匀速上升。
- ②让竖直、倒置的玻璃管水平匀速运动（蜡块始终在顶部），观察蜡块的运动。
- ③观察玻璃管水平匀速运动时蜡块在玻璃管内的运动。

考虑到学生观察时注意力只能集中在某一处，而分析合运动与分运动的关系时需要不断变换观察的对象，可以用视频截图的方式展示动态过程。

## 教学片段

### 探究合运动的性质和轨迹

用运动合成演示仪演示笔尖的运动，如图5-14所示。

问题1. 如果保持笔尖在水平和竖直方向的运动都是匀速运动，猜想轨迹的形状。图5-14甲所示的轨迹与你的猜想一致吗？你能对此进行解释吗？



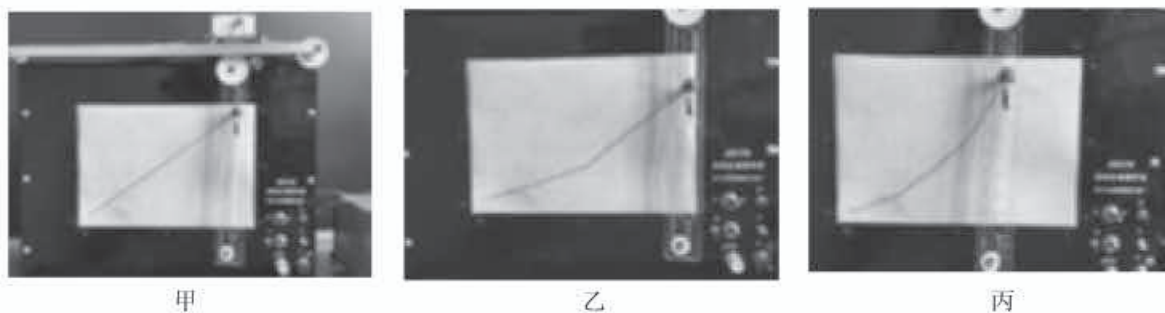


图5-14

问题2. 如果保持笔尖在水平方向的运动是匀速运动，通过改变电动机的转速使笔尖竖直方向的速度在运动过程中突然变大，试猜想轨迹的形状。图5-14乙所示的轨迹与你的猜想一致吗？你能对此进行解释吗？

问题3. 如果保持笔尖在水平方向的运动是匀速运动，笔尖竖直方向的速度在运动过程中均匀增大，试猜想轨迹的形状。图5-14丙所示的轨迹与你的猜想一致吗？你能对此进行解释吗？

问题4. 两个互相垂直的直线运动的合运动一定是直线运动吗？

上述研究可分成三种情况进行。保持一个方向的运动为匀速运动，另一个方向的运动分别为匀速运动、分两段的匀速运动和速度逐渐变化的运动。第一种情况与教材介绍的蜡块运动相似，可以借此帮助学生了解实验装置，为分析第二种情况打好基础。第二种情况是承前启后的。第三种情况可以在第二种情况的基础上，采用分割成多段的方法进行定性分析。最后在定性分析的基础上，写出轨迹方程，验证定性分析。

通过运动合成演示仪可以画出笔尖运动的三种轨迹（直线、折线和曲线）。运动合成演示仪的原实验装置中只有竖直方向电机可以调速，水平、竖直两个电机共用一个电源，速度可以连续变化的时间很短，这样就导致画出的曲线效果不理想，因此要把实验装置稍加改进。将水平电机和竖直电机分别接两个独立的学生电源后，在转动竖直方向速度调节旋钮时不断改变两个电机所接电源的电压，这样就可以画出连续的曲线运动轨迹了。

### (2) 运动的合成与分解

通过运动的分解来研究复杂运动是高中物理中重要的思想方法，也是本节的重点和难点。教学中应避免直接讲解这一方法，可以适当增加一些体验，为学生提供更多生活情景，如商场里自动扶梯正常运行时，在其上面行走的顾客的运动；节日里盛大的焰火表演时，某个火点的运动；田径场上投出的标枪的运动，等等。通过这些情景分析，可以让学生经历运动合成与分解思想的建立过程，体会用运动合成与分解的方法处理问题的等效性。

本节最后安排了“思考与讨论”的问题：如果将玻璃管紧贴着黑板沿水平方向向右匀加速移动，若玻璃管内壁是光滑的，蜡块的轨迹还是一条直线吗？对这一问题的思考，将把前面所学内容延伸到下一节所要研究的问题，起到承上启下的作用。

## 3. “练习与应用” 参考答案与提示

本节配置了5道习题，分别以炮弹、跳伞运动员、炮弹、蜡块、汽艇的实际运动为载体，练

习在不同的的问题情境中建构物理模型，深化对运动的合成与分解的理解和认识。前3题主要让学生熟练运用平行四边形定则定量分析合速度与分速度的关系。第4题用作图法让学生体会互成直角的匀速直线运动和匀变速直线运动的合运动的轨迹是曲线，为下一节的学习埋下伏笔。第5题是让学生在理解合运动与分运动关系的基础上，进一步对常见的物理现象进行分析和推理，获得结论。

1. 如图5-15所示。

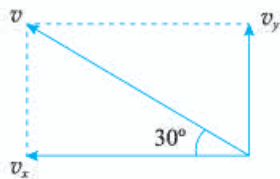


图5-15

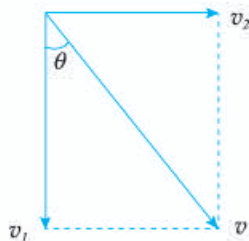


图5-16

$$v_x = v \cos 30^\circ = 800 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ m/s} = 693 \text{ m/s}, \quad v_y = v \sin 30^\circ = 800 \times \frac{1}{2} \text{ m/s} = 400 \text{ m/s}.$$

2. 根据题意，无风时跳伞员着地的速度为  $v_1$ ，风的作用使他获得水平速度  $v_2$ ，落地速度为  $v_1$ 、 $v_2$  的合速度  $v$ ，如图5-16所示。  $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = \sqrt{5^2 + 4^2} \text{ m/s} = 6.4 \text{ m/s}$ 。

设速度方向与竖直方向的夹角为  $\theta$ ，则  $\tan \theta = 0.8$ ， $\theta = 38.7^\circ$ 。

3. 炮弹的实际速度方向指向北岸的目标方向，该速度  $v$  是船的速度  $v_1$  与射击速度  $v_2$  的合速度，根据平行四边形定则可知，射击的方向偏向目标的西侧。俯视图如图5-17所示。

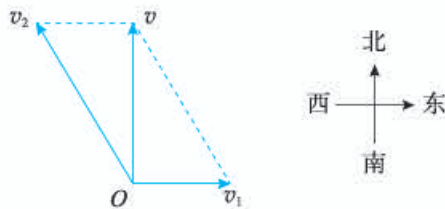


图5-17

提示：以炮弹发射为素材，理解什么是合运动，什么是分运动，练习用平行四边形定则分析合运动与分运动的关系。炮弹的实际速度方向为射击速度与船的速度的合速度的方向。

4. 如图5-18所示。

提示：根据蜡块1 s内的水平位移和竖直位移，在坐标纸上描点(4, 10)、(16, 20)、(36, 30)、(64, 40)，用平滑曲线描绘蜡块的轨迹。

5. 100 s ; 100 s ; 100 m

提示：无论河水是否流动，汽艇驶到对岸的时间

$$\text{都是 } t = \frac{d}{v_1} = \frac{500}{\frac{18}{3.6}} \text{ s} = 100 \text{ s}.$$

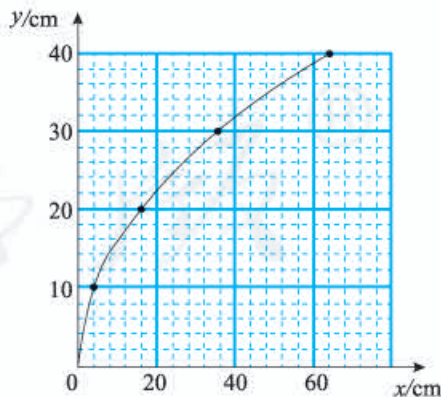


图5-18

由于河水流动，汽艇同时被河水冲向下游，沿河运动的速度跟河水流动的速度相同。汽艇沿

河水流动方向的位移  $l = v_2 t = \frac{3.6}{3.6} \times 100 \text{ m} = 100 \text{ m}$ 。

即汽艇在对岸下游100 m处靠岸。

## 第3节 实验：探究平抛运动的特点

### 1. 教学目标

- (1) 知道抛体运动和平抛运动，知道用运动分解的方法研究平抛运动。
- (2) 知道平抛运动的条件及相应控制方法，会用获得位置的方法确定多个点，并会描绘平抛运动的轨迹。
- (3) 会根据平抛运动的轨迹，研究平抛运动水平和竖直分运动的特点。
- (4) 通过探究平抛运动特点的实验，了解科学探究中获取及处理数据的方法。

### 2. 教材分析与教学建议

本节是整章教学的第3节，是前一节运动合成与分解方法的实际应用。学生通过前一节的学习，已知道可以从分运动的特点切入去认识曲线运动。本节以平抛运动为例，以实验方式展开探究，获得平抛运动特点。既为学生学习平抛运动规律作好铺垫，又可帮助学生加深对所学运动合成与分解方法的理解。

教材中介绍了两种方案。方案一是用频闪照相或者录制视频的方法，记录物体在不同时刻的位置，得到类似教材图5.3-1所示的照片。以小球球心作为小球位置，分别将不同位置的小球球心投影到水平方向和竖直方向的坐标轴上。考虑到频闪（截屏）时间间隔相等，根据相邻时间间隔内水平方向的位移相同，可判断水平方向是匀速运动；根据相邻时间间隔内竖直方向增加的位移相同，可判断竖直方向是匀加速运动。

方案一虽然较为方便和容易理解，但对于培养学生的实验素养来说，方案二具有独特的价值。方案二比方案一更注重实验设计，更具有转化思想，更重视实验条件的控制和实验操作。

方案二分三个步骤来开展探究。首先研究某一方向分运动的特点（可以是水平方向，也可以是竖直方向），然后设法描绘出平抛运动的轨迹，最后根据平抛运动轨迹和某一方向分运动特点分析得到另一方向分运动的特点。

可以通过比较方法先研究水平方向的分运动特点。如图5-19所示，两相同小球分别从A、B处同时滚下，一球做平抛运动，另一球沿光滑的水平轨道运动。改变小球下滑时的高度，观察两球是否始终能够相碰。在此基础上，结合平抛运动的轨迹，获取相同时间间隔的竖直方向位移，就能够确定竖直方向的分运动是匀变速运动。如果再测出小球的水平分速度，就可以确定时间间隔的具体数值，从而得到竖直分运动的加速度值。

方案二中的参考案例，是先研究竖直方向的分运动，然后设法描绘出平抛运动的轨迹，最后根据平抛运动轨迹和竖直方向分运动的特点分析得到水平方向分运动的特点。

教材给出两种方案的大体研究思路，通过问题对关键环节进行引导，帮助学生自行设计、完善实验方案。

参考案例提供的方法既考虑到利用学校已

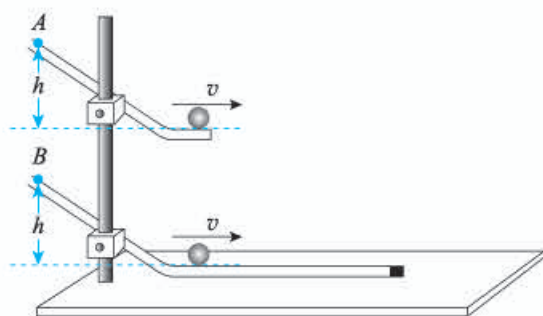


图5-19

有器材进行学生实验，又考虑到学生已经具有自由落体运动的知识。研究竖直方向的分运动时可以避免测量，只需与自由落体运动进行比较即可（不同高度同时下落，是否始终同时落地）。另外，确定竖直方向的分运动为自由落体运动后，也为探究水平方向分运动的特点打好了基础。在现有器材的情况下，我们既无法在同一个平抛运动过程中确定多个位置，也无法做到所确定的几个位置之间的时间间隔都是相等的。所以实验首先要解决的问题是如何保证多次平抛的初速度相同。另一个问题是如何找到时间间隔相等的位置，这就需要先画出轨迹，然后根据竖直方向上初速度为0的匀变速直线运动的位移特点确定时间间隔相同的点。

为培养学生的科学探究和科学思维素养，本节的重点应放在实验方案的设计与改进上。本节的难点是实验操作与数据处理。

### (1) 实验方案设计

#### 教学片段

##### 探究平抛运动特点实验的方案设计

问题1. 平抛运动的轨迹是曲线，我们应当用什么方法来研究曲线运动？

问题2. 平抛运动应分解为哪两个方向的运动？为什么？

问题3. 根据竖直方向上的受力与运动情况，你认为平抛运动在竖直方向上的分运动应是什么运动？

问题4. 若要证明你分析得出的结论，你需要哪些器材？怎样操作？

### (2) 平抛运动竖直方向的运动

#### 教学片段

##### 探究平抛运动竖直方向的运动特点

考虑到学生已有的知识（自由落体运动规律），可设计对比实验。这一实验方法的优点是无须记录具体的时间和竖直方向的位移，只要判断两小球是否同时落地即可。

问题1. 用图5-20所示装置研究平抛运动在竖直方向的运动规律时，能否保证A、B两球同时开始运动？你能否观察到两球同时落地？若不能，又该怎么办？

问题2. 一次同时落地能否说明猜想已经得到了验证？改变小球下落的高度和改变打击力度，多做几次实验的目的是什么？

问题3. 实验的结果说明了什么？你能表述平抛运动在竖直方向分运动的特点吗？

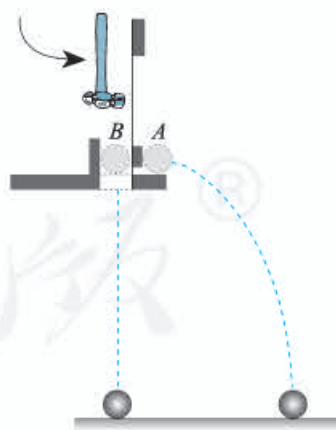


图5-20

由于空间限制、小球速度较快和人眼很难同时注意两个小球的运动等因素，一般很难看到两球同时落地的现象。转化的方法有多种，比较方便的是将“看”转化为“听”，也可以让两个小球落到水槽里，看水花是否同时溅起。当然，还可以通过“先摄像，再慢放录像”的方法。

### (3) 平抛运动水平方向的运动

#### 教学片段

#### 探究平抛运动水平方向的运动特点

如果用频闪照片,可以直接从照片中发现相同时间间隔内水平方向的位移相同这一结论。教材采用了如图5-21甲所示的装置进行学生实验,一方面是考虑到实验条件,另一方面是为了培养学生的科学思维和科学探究等方面的素养。本实验的目的并不是描绘轨迹,但如果有了轨迹,我们就可以运用已有的自由落体运动知识确定这些位置。这一实验设计思路需要通过问题加以引导。

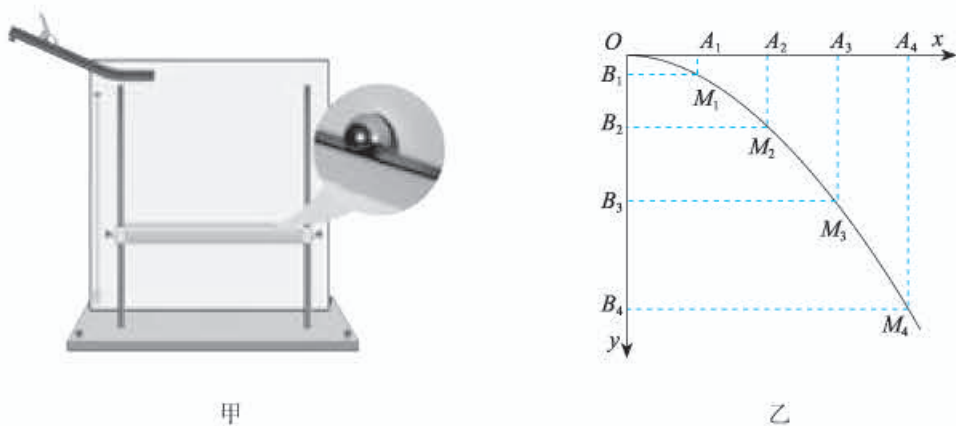


图5-21

问题1. 根据做平抛运动物体的受力和运动情况分析,你认为平抛运动在水平方向的分运动是什么运动?

问题2. 对于从斜槽上滚出的小球,如何保证小球水平抛出?

问题3. 你用什么方法记录小球的位置?

问题4. 你能否同时记录小球在不同时刻的位置?如果需要多次实验才能记录多个时刻的位置,你如果确保运动的同一性?

问题5. 你所记录的多个小球位置之间的时间间隔相等吗?为了获取相同时间间隔的点,你有什么办法?

问题6. 为了定量研究需要建立坐标系,坐标原点在哪里?坐标轴如何确定?

问题7. 如何画出轨迹?如何在轨迹上确定时间间隔相等的点?

问题8. 如图5-21乙所示,这些点之间的水平位移存在什么特点?说明了水平方向的运动是什么运动?你能写出水平方向的速度与位移的表达式吗?

问题9. 如果实验的结果与你的推论之间有一些差异,原因可能有哪些?

### 3. “练习与应用” 参考答案与提示

本节配置了4道习题,培养学生的科学探究能力。前两题是利用身边的器材,用两种不同的方案研究平抛运动水平分速度的特点,让学生根据已有的科学探究方案,陈述科学探究过程。考察学生能否使用所学的基本器材获得数据,对数据进行整理,得到初步的结论。第3题通过对平

抛运动录像数据的分析, 得到结论。第4题练习从图像中获取数据、对数据进行分析并获得结论, 培养学生的科学思维。

1. 还需要的器材是刻度尺, 实验的示意图如图5-22所示。

实验步骤如下。

(1) 调节木板高度, 使木板上表面与水平桌面的距离为某一确定值 $y$ 。

(2) 让钢球从斜面上某一位置无初速释放。

(3) 测量钢球在木板上的落点 $P_1$ 与重垂线之间的距离 $x_1$ 。

(4) 调节木板高度, 使木板上表面与水平桌面的距离为某一确定值 $4y$ 。

(5) 让钢球从斜面上同一位置无初速释放。

(6) 测量钢球在木板上的落点 $P_2$ 与重垂线之间的距离 $x_2$ 。

(7) 比较 $x_1$ 、 $x_2$ , 若 $2x_1 = x_2$ , 则说明钢球在水平方向做匀速直线运动。

提示: 本题利用身边的器材研究平抛运动水平分速度的特点。平抛运动在竖直方向是自由落体运动, 若小球下落时间分别是 $t$ 和 $2t$ , 由 $y = \frac{gt^2}{2}$ 可知下落高度分别为 $y$ 和 $4y$ 。通过测量这两段时间内水平方向的位移, 由 $v = \frac{x}{t}$ 即可研究平抛运动水平分速度的特点。

2. 改变墙与重垂线之间的距离 $x$ , 测量落点与抛出点之间的竖直距离 $y$ , 若 $x_2 = 2x_1$ , 有 $y_2 = 4y_1$ , 则说明钢球在水平方向做匀速直线运动。

提示: 用不同的实验方案研究平抛运动水平分速度的特点, 启迪学生的科学思维, 培养科学探究能力。

3. 可得到10帧照片。

提示: 假设桌面离地高度 $h = 0.8 \text{ m}$ , 根据 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 可得, 下落的时间 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0.4 \text{ s}$ , 每秒拍摄25帧照片, 0.4 s可拍摄10帧。

这个习题可引导学生利用身边的器材进行实验探究, 巩固所学的平抛运动知识。

4. 猜想成立。分析过程如下。

如图5-23所示, 在 $OP$ 图线上取四点 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ , 且 $y_D - y_C = y_C - y_B = y_B - y_A$ , 测出 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 四点在 $x$ 轴上的坐标 $x_A$ 、 $x_B$ 、 $x_C$ 、 $x_D$ , 若有 $(x_D - x_C) - (x_C - x_B) = (x_C - x_B) - (x_B - x_A)$ , 则可判断物体在 $y$ 方向做匀速直线运动, 在 $x$ 方向做匀加速直线运动。

提示: 通过此题, 让学生获取数据, 并对数据进行分析并获得结论, 培养学生对综合性问题进行分析和推理的科学探究能力。

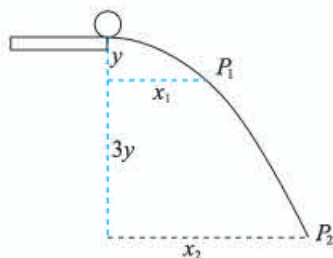


图5-22

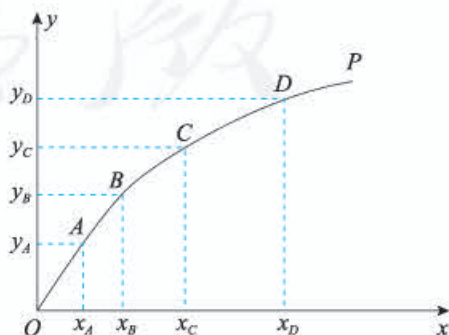


图5-23

## 第4节 抛体运动的规律

### 1. 教学目标

- (1) 知道抛体运动的受力特点，会用运动的合成与分解的方法对平抛运动进行理论分析。
- (2) 理解平抛运动的规律，知道平抛运动的轨迹是抛物线，会计算平抛运动的速度及位移，会解决与平抛运动相关的实际问题。
- (3) 认识平抛运动研究中等效替代的思想和“化繁为简”的思想，并能够用来研究一般的抛体运动。
- (4) 通过用平抛运动的知识解决和解释自然、生活和生产中的例子，认识到平抛运动的普遍性，体会物理学的应用价值。

### 2. 教材分析与教学建议

平抛运动是常见的曲线运动之一，可作为应用运动的合成和分解知识的典型案例，它也是研究一般抛体运动的基础。本节在前一节用实验探究平抛运动特点的基础上，进一步从理论的角度分析得出平抛运动的规律，为一般抛体运动的研究和类平抛问题的求解奠定基础。

本节既是运动和力、牛顿运动定律应用的延续，又是研究曲线运动方法的具体应用，不仅涉及运动规律、牛顿运动定律，还涉及运动分析、受力分析和分解方法，以及建立坐标系、解决问题的程序与规范等，具有很强的综合性。

为了让学生深入体验解决问题的程序与规范，在教学中应将观摩学习与主动学习相结合。首先由教师示范问题解决的过程，并提炼出相应的程序与规范，然后要求学生主动按照这一程序来解决新的实际问题。在学习过程中，教师要充分展示学生的问题解决过程，让全体学生关注解决问题的程序是否完整和规范。

#### (1) 抛体运动的特点

通过实例，让学生分析、判断物体是否做抛体运动，进而理解抛体运动是匀变速运动。

先回顾抛体运动、平抛运动的条件，然后分析这些物体的受力情况与初速度的特点，比较排球、铅球和纸飞机所受重力与空气阻力、空气升力的大小关系，得出排球、铅球所受的空气阻力可忽略（理想化方法），这样就可以确定物体是否做平抛运动。弄清楚受力情况后，利用牛顿运动定律可确定物体运动的加速度。学生虽然不清楚升力的大小，但从纸飞机在竖直方向的运动情况可以推知升力与重力相差不大。

#### 教学片段

##### 抛体运动是匀变速运动

用图片或视频展示如下问题情境：排球比赛时，运动员沿水平方向将球击出；铅球运动员将铅球斜向上推出；小朋友将纸飞机水平扔出。

问题1. 物体做抛体运动、平抛运动的条件是什么？上述情境中，排球、铅球及纸飞机，哪些物体做抛体运动，哪些做平抛运动？

问题2. 若不计空气阻力，排球和铅球的运动有什么共同点？

## (2) 平抛运动的速度

程序与规范对于解决复杂问题来说非常重要，好的程序与规范隐含了正确的思维方式。教师要引导学生建立并掌握解决问题的合理的思路，在本节中具体表现为：①对小球进行运动和受力分析，确定其满足平抛运动的条件；②建立坐标系；③分析小球在不同方向的加速度和初速度；④将相关表述转化为平抛运动的条件；⑤在两个方向上分别应用运动学公式得出运动规律；⑥对分运动进行合成得到结果；⑦对得到的结果是否合理进行论证。

### 教学片段

#### 分析并推导物体做平抛运动的速度

问题1. 为什么平抛运动在水平与竖直方向的分运动是匀速直线运动和自由落体运动？

问题2. 从运动学角度，如何证明平抛运动的加速度为 $g$ ？

问题3. 打排球时沿水平方向向右击球，如果以击球位置为坐标原点，水平向右及竖直向下为两个坐标轴的正方向，你能写出两个方向的速度表达式吗？

问题4. 合速度如何表述？

学生已经知道平抛运动在水平与竖直方向的分运动分别是匀速直线运动和自由落体运动。为什么是这样？需要依据牛顿第二定律求出两个方向上的加速度，再结合两个方向上的初速度进行综合考虑。加速度是速度变化量与时间之比，考虑到水平方向的速度保持不变，平抛运动的加速度等于竖直方向的速度变化量与时间之比，即自由落体加速度。

### 教学片段

#### 运用平抛运动规律解决实际问题之一

##### 分析教材例题1

问题1. 物体受什么力？受力方向与初速度方向之间是什么关系？

问题2. 为求解本题，应如何建立坐标系？

问题3. 物体在水平与竖直方向的加速度和初速度是多大？

问题4. 求“速度方向与水平地面间的夹角”的关键是什么？

问题5. 你能写出竖直方向和水平方向的速度表达式吗？

问题6. 你得到的 $\theta$ 是多少？

拓展问题：你能否得到落地时的时间和速度？落地时间与抛出速度大小有关吗？为什么？

良好的解决问题习惯对于提高解题的正确率有很大关系，也是素养的体现。

## (3) 平抛运动的位移与轨迹

有了研究速度的基础，可以让学生尝试遵循同样的思路自主分析平抛运动的位移。

推导平抛运动的轨迹方程基本上是数学运算的过程。教学时不仅要体现数形结合，更要注重使学生从物理学角度理解轨迹方程。为此，可提出问题：若初速度增大，轨迹形状将如何改变？设想运动物体处在重力加速度比较小的环境中，轨迹又将如何改变？



## 教学片段

### 运用平抛运动规律解决实际问题之二

如图5-24所示，一桥式起重机的起重小车以速度 $v_0 = 2 \text{ m/s}$ 的速度向右匀速运动。假设某时刻有一颗松动的螺钉从桥式起重机上掉下，螺钉到水平地面的距离 $h = 45 \text{ m}$ ，空气阻力不计，求螺钉脱落点与落地点之间的水平距离。



图5-24

问题1. 这颗松动的螺钉从匀速运动的桥式起重机上掉下时的初速度大小和方向怎样？受什么力作用？做什么运动？如何建立坐标系？

问题2. 要计算螺钉水平前进的距离，需要知道哪些物理量？

问题3. 请各位同学把自己的求解结果展示出来，是否相同？求解过程是否符合程序与规范？

拓展问题：怎样用一把刻度尺测量水从管口刚喷出时的速度大小？

提示：刻度尺可以测量水平位移和竖直位移，根据平抛运动的规律列出方程，思考如何避开测量时间而获知速度的方法。

#### (4) 一般的抛体运动

在分析平抛运动的规律并得出轨迹方程的基础上，可通过实验或视频显示各种真实物体（水、排球等）做斜抛运动的轨迹，分析它们的轨迹特征、受力情况。从受到竖直方向的重力以及运动物体的初速度入手进行分析，抽象出一般的抛体运动模型，从而引导学生定性地描述一般抛体运动的情况。对于学有余力的学生，也可以鼓励他们进行定量研究。

### 3. “练习与应用” 参考答案与提示

本节配置了4道习题，目的是让学生更好地理解平抛运动的规律，并用来对实际的物理现象进行推理和获得结论。第1题通过计算平抛运动物体的运动学参量，加深学生对平抛运动规律的理解。第2题和第3题要求学生能在实际的问题情境中应用常见的物理模型，进行分析和推理，解决实际问题。第4题要求学生能对综合性物理问题进行分析和推理，能对已学知识进行拓展和迁移，培养学生的科学思维能力。

1. A. 下落高度， $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$

B. 下落高度和初速度， $x = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$

C. 下落高度和初速度， $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + 2gh} = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$

D. 下落高度和初速度， $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{\sqrt{2gh}}{v_0}$

2. 测量步骤如下。

- ① 让小球从斜面上某一位置A无初速释放。
- ② 测量小球在地面上的落点P与桌子边沿的水平距离x。
- ③ 测量小球在地面上的落点P与水平桌面竖直距离y。

小球离开桌面的初速度  $v = x\sqrt{\frac{g}{2y}}$ 。

提示：应用平抛运动的规律进行推导，得出实验原理的表达式  $v = x\sqrt{\frac{g}{2y}}$ ，再根据表达式设计实验步骤，测量水平初速度。

3. 该车已经超速。

零件做平抛运动，在竖直方向的位移  $y = \frac{1}{2}gt^2$ ，经历时间  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{4.9}{9.8}} \text{ s} = 0.71 \text{ s}$ ，在水平方向位移  $x = vt = 17.3 \text{ m}$ 。

零件做平抛运动的初速度  $v = \frac{x}{t} = \frac{17.3}{0.71} \text{ m/s} = 24.4 \text{ m/s} = 87.8 \text{ km/h} > 60 \text{ km/h}$ ，所以该车已经超速。

提示：卡车与障碍物相撞时，立即停下，车顶上松脱的零件以原来的速度离开卡车后做平抛运动。练习面对真实情境，建立平抛运动模型，应用平抛运动的规律分析解决实际问题。

4. (1) 水平分速度  $v_x = \frac{Ft}{m}$ ，竖直分速度  $v_y = gt$ ；(2)  $y = \frac{mg}{F}x$ ，运动轨迹为一条直线

提示：(1) 物体在力  $F$  的作用下，在水平方向的加速度  $a = \frac{F}{m}$ ，因此在时刻  $t$  的水平分速度  $v_x = at = \frac{F}{m}t$ 。在竖直方向只受重力的作用，在时刻  $t$  的竖直分速度  $v_y = gt$ 。

(2) 水平方向  $x = \frac{1}{2}at^2 = \frac{Ft^2}{2m}$ ，竖直方向  $y = \frac{1}{2}gt^2$ ，由这两式可得  $y = \frac{mg}{F}x$ 。式中  $\frac{mg}{F}$  为一常数，因此物体的运动轨迹为一条直线。

本题要求学生能分别求出物体在水平和竖直两个方向上的速度和位移，最后写出其运动轨迹方程。练习将运动的合成与分解、平抛运动的思想方法加以拓展和迁移。

人教版®

### 三、“复习与提高” 参考答案与提示

通过章末习题加强对曲线运动、运动的合成与分解、平抛运动等基本概念的理解和应用，在中国象棋、飞机飞行、摩托车飞跃壕沟、跳伞、跳台滑雪、蜡块运动、投篮、估测排污量、飞机投弹等一系列实际问题中，练习模型建构，进行推理和论证，进一步巩固所学曲线运动的知识和方法，并能将运动的合成与分解、平抛运动的思想方法进行迁移，处理较复杂的实际问题。

#### A组

1. (1) 棋盘上六个棋子的位置如图5-25所示。

(2) 位移 $l_{甲}$ 和 $l_{乙}$ 如图5-26所示， $l_{甲} = -3 \times 3 \text{ cm} = -9 \text{ cm}$ 。

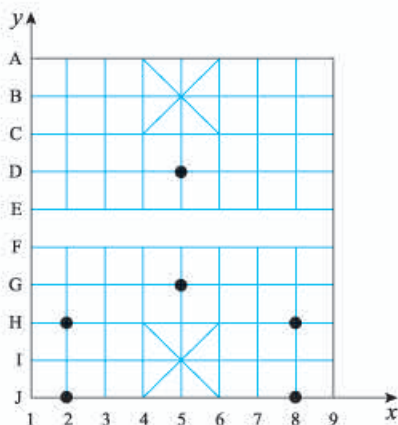


图5-25

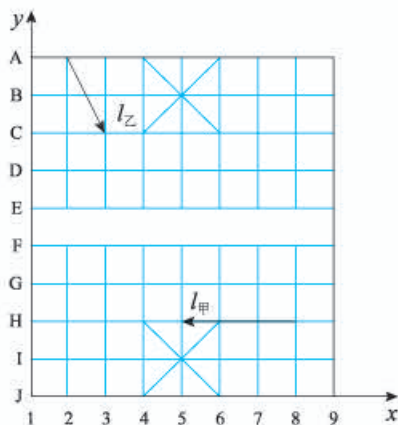


图5-26

甲在 $x$ 方向的分位移为 $-9 \text{ cm}$ ，方向与 $x$ 轴正方向相反，在 $y$ 方向的位移为 $0$ 。

$$l_{乙} = \sqrt{(3 \text{ cm})^2 + (2 \times 3 \text{ cm})^2} = 3\sqrt{5} \text{ cm}。$$

乙在 $x$ 方向的分位移为 $3 \text{ cm}$ ，方向与 $x$ 轴正方向相同，在 $y$ 方向的位移为 $-6 \text{ cm}$ ，方向与 $y$ 轴正方向相反。

提示：本题练习将实际问题中的对象和过程转换成物理模型的能力，将棋子看作质点，将棋子的移动用位移描述，理解合运动与分运动的关系。

2. 可能沿虚线 $a$ 运动。

质点由 $A$ 点运动到 $B$ 点， $F$ 方向为指向曲线弯折方向。在 $B$ 点，速度方向为过 $B$ 点的切线方向，经过 $B$ 点后，质点受到的力 $F$ 反向后，轨迹将向合力 $F$ 的方向弯曲，故可能沿虚线 $a$ 运动。

提示：本题复习质点的速度方向、合力方向和轨迹的弯曲方向之间的关系，加深对力和运动的关系的理解。

3. (1) 飞机飞行的方向如图5-27所示。

由题意得  $\sin \theta = \frac{v_{\text{风}}}{v_{\text{机}}} = \frac{54 \text{ km/h}}{414 \text{ km/h}} = \frac{3}{23}$ ，所以飞机应朝北偏东  $\theta$  角的方向行驶。

(2) 由题意可知  $v_{\text{合}} = v_{\text{机}} \cos \theta = v_{\text{机}} \sqrt{1 - (\sin \theta)^2} = 414 \times \sqrt{1 - \left(\frac{3}{23}\right)^2} \text{ km/h} \approx 410 \text{ km/h}$ 。

故飞行时间  $t = \frac{x}{v_{\text{合}}} \approx 1.5 \text{ h}$ 。

4. 摩托车的速度至少要达到  $15.8 \text{ m/s}$  才能越过壕沟。

5. (1)  $5 : 3 : 1$ ，位置见图5-28；(2) 四名运动员处在同一竖直面内的同一抛物线上

提示：(1) 在竖直方向，根据  $h = \frac{1}{2}gt^2$ ，可得  $h_{12} : h_{23} : h_{34} = (3^2 - 2^2) : (2^2 - 1^2) : 1^2 = 5 : 3 : 1$ 。

如图5-28，第四名运动员刚离开飞机时，若以飞机为参考系，则四名运动员在飞机正下方的同一竖线上；若以地面为参考系，则四名运动员在同一抛物线上。

(2) 以地面为参考系，四名运动员跳伞后在空中运动时，处在同一竖直平面内的同一抛物线上。

6. 圆柱体R的速度为  $\sqrt{37} \text{ cm/s}$ 。

提示：根据运动的分解可知  $y = v_0 t$ ， $x = \frac{v_x}{2} t$ ，由此解得  $v_x = \frac{2x}{y} v_0 = 6 \text{ cm/s}$ 。此时R的速度  $v = \sqrt{v_0^2 + v_x^2} = \sqrt{37} \text{ cm/s}$ 。

7. 运动员在A处的速度为  $10\sqrt{3} \text{ m/s}$ ，在空中飞行的时间为  $2 \text{ s}$ 。

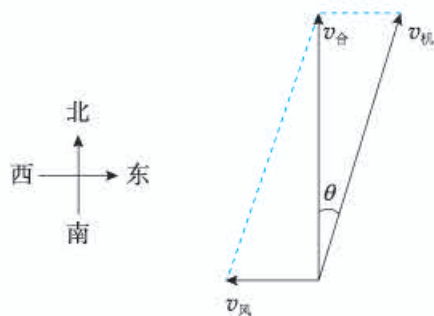


图5-27

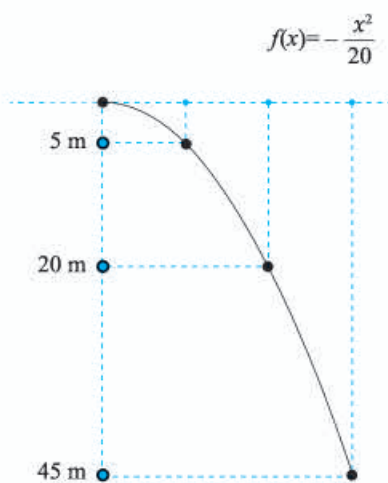


图5-28

## B 组

1. (1)  $9.9 \text{ m/s}$ ；(2)  $2.45 \text{ m}$

提示：(1) 设篮球出手和进筐的速度大小分别为  $v_0$  和  $v$ ，由题意可知  $v = v_0$ 。设篮球从出手到落入篮筐所用的时间为  $t$ ，在竖直方向篮球只受重力，为竖直上抛运动，有  $-v_0 \sin 45^\circ = v_0 \sin 45^\circ - gt$ 。篮球在水平方向的分运动为匀速运动，有  $x = v_0 t \cos 45^\circ$ 。联立解得  $v = \sqrt{98} \text{ m/s} \approx 9.9 \text{ m/s}$ 。

(2) 篮球投出后的最高点相对篮筐的竖直高度  $h = \frac{(v_0 \sin 45^\circ)^2}{2g} = 2.45 \text{ m}$ 。

2. 需测量管口的直径  $D$ ，水平方向的位移  $L$ ，竖直方向的位移  $h$ 。每秒排出污水的体积为  $V = \frac{\pi D^2 L}{4} \sqrt{\frac{g}{2h}}$ 。

提示：设水从管口落到地面的时间为 $t$ ，竖直方向的位移为 $h$ ，水平方向的位移为 $L$ ，则有

$$h = \frac{1}{2}gt^2, L = vt. \text{ 设管口直径为 } D, \text{ 联立解得 } L = \frac{\pi D^2 L}{4} \sqrt{\frac{g}{2h}}.$$

可见，需要测量 $D$ 、 $L$ 、 $h$ 。

3.  $\frac{1}{2 \tan \theta}$

提示：平抛的末速度与竖直方向的夹角等于斜面倾角 $\theta$ ，有 $\tan \theta = \frac{v_0}{gt}$ 。下落高度与水平射程之比 $\frac{y}{x} = \frac{gt^2}{2v_0 t} = \frac{gt}{2v_0} = \frac{1}{2 \tan \theta}$ 。

4.  $\frac{\sqrt{7}v_1^2}{2g}$

提示：小球运动轨迹如图5-29所示。

$A$ 点的竖直分速度 $v_{Ay} = v_1 \sin 30^\circ$ ，水平分速度 $v_0 = v_1 \cos 30^\circ$ ， $B$ 点的竖直分速度 $v_{By} = v_0 \tan 60^\circ$ ，小球从 $A$ 到 $B$ 的运动时间 $t = \frac{v_{By} - v_{Ay}}{g}$ ，由此解得小球从 $A$ 到 $B$ 的运动时间 $t = \frac{v_1}{g}$ 。因 $A$ 、 $B$ 间的水平距离 $x = v_0 t = \frac{\sqrt{3}v_1^2}{2g}$ ， $A$ 、 $B$ 间的竖直距离 $y = \frac{v_{By}^2 - v_{Ay}^2}{2g} = \frac{v_1^2}{g}$ ，故 $A$ 、 $B$ 两点间的距离 $s = \sqrt{x^2 + y^2} = \frac{\sqrt{7}v_1^2}{2g}$ 。

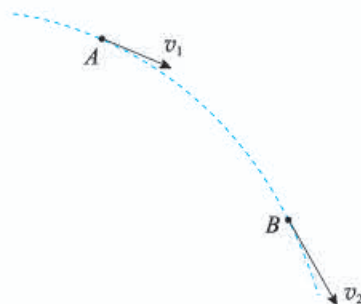


图5-29

5.  $60^\circ; \frac{\sqrt{3}mv}{F}$

提示：质点沿 $x$ 轴方向的分运动为匀速运动，沿 $y$ 轴方向的分运动为先沿正方向做匀减速运动后，再沿负方向做匀加速运动。在最高点仅具有沿 $x$ 轴方向的分速度 $v_{0x}$ ，则 $v_{0x} = v$ 。

(1) 当质点速度大小变为 $v' = 2v$ 时，设速度方向和 $x$ 轴正方向之间的夹角为 $\theta$ ，则 $\cos \theta =$

$$\frac{v_{0x}}{v'} = \frac{v}{2v} = \frac{1}{2}, \text{ 即 } \theta = 60^\circ.$$

(2)  $v_y = \sqrt{(2v)^2 - v^2} = \sqrt{3}v$ ， $v_y = at$ ， $a = \frac{F}{m}$ 。由此解得 $t = \frac{\sqrt{3}mv}{F}$ 。

6. (1)  $5\sqrt{2} \text{ m/s}$ ，方向与 $x$ 轴正方向的夹角为 $45^\circ$ ，斜向第四象限；(2) 质点的位置坐标为 $(2.25 \text{ m}, 7.5 \text{ m})$ ；(3) 轨迹如图5-30所示

(1) 由 $v-t$ 图像可知，在 $x$ 轴上质点做初速为 $v_{0x} = 4 \text{ m/s}$ 的匀加速直线运动，加速度为 $a_x = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 2 \text{ m/s}^2$ 。在时刻 $t$ ，沿 $x$ 轴的分速度为 $v_x = v_{0x} + a_x t = (4 + 2t) \text{ m/s}$ ，方向沿 $x$ 轴正方向。

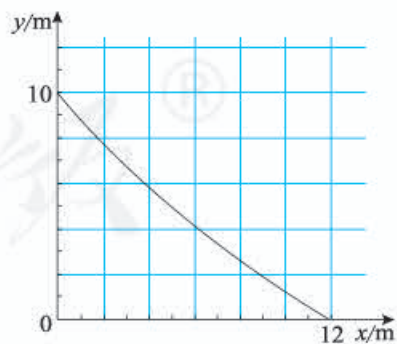


图5-30

由 $y-t$ 图像可知，质点在 $y$ 轴上做匀速直线运动，沿 $y$ 轴的分速度为 $v_y = \frac{\Delta y}{\Delta t} = -5 \text{ m/s}$ ，方向沿 $y$ 轴负方向。故当 $t = 0.5 \text{ s}$ 时， $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = 5\sqrt{2} \text{ m/s}$ ， $\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = 1$ 。该时刻质点速度方向与 $x$ 轴正方向的夹角为 $45^\circ$ ，斜向第四象限。

(2) 质点在 $x$ 轴上的位置坐标 $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ , 在 $y$ 轴上的位置坐标 $y = y_0 + v_yt$ 。将 $t = 0.5 \text{ s}$ 、 $v_{0x} = 4 \text{ m/s}$ 、 $a = 2 \text{ m/s}^2$ 、 $v_y = -5 \text{ m/s}$ 代入, 解得 $x = 2.25 \text{ m}$ ,  $y = 7.5 \text{ m}$ 。故当 $t = 0.5 \text{ s}$ 时, 质点的位置坐标为 $(2.25 \text{ m}, 7.5 \text{ m})$ 。

人教版®

## 四、参考资料

### 1. 相对运动与运动的合成

我们知道，如果物体在静止参考系 $K$ 中的速度叫绝对速度 $v_{\text{绝对}}$ ，物体在运动参考系 $K'$ 中的速度叫相对速度 $v_{\text{相对}}$ ，运动参考系 $K'$ 相对静止参考系 $K$ 的速度叫作牵连速度 $v_{\text{牵连}}$ ，则有

$$v_{\text{绝对}} = v_{\text{相对}} + v_{\text{牵连}}$$

$$v_{\text{相对}} = v_{\text{绝对}} - v_{\text{牵连}}$$

如果把这个方法应用到小船过河的问题中，则有

$$v_{\text{船对地}} = v_{\text{船对水}} + v_{\text{水对地}} \quad (1)$$

其中， $v_{\text{船对地}}$ 为船相对地面的速度， $v_{\text{船对水}}$ 为船相对水的速度， $v_{\text{水对地}}$ 为水流的速度。

我们研究抛体运动时，常把它看成 $x$ 方向和 $y$ 方向两个分运动的合运动，从速度看就是

$$v = v_x i + v_y j \quad (2)$$

看起来，式子(1)与式子(2)形式上相近。都是速度的合成公式，但实质上它们之间还是有区别的。(1)式是不同参考系间的速度变换关系，而(2)式是同一参考系中的速度合成关系。它们的含义不同，适用范围也不同。(2)式是在同一个参考系中由矢量运算得到的，在速度很小到速度很大(大到接近光速)的范围内仍然成立。(1)式由伽利略变换导出，因而只在低速时(远小于光速)才成立。

从狭义相对论可以知道，不同惯性参考系之间的速度变换公式为

$$v = \frac{v' + u}{1 + \frac{v'u}{c^2}} \quad (3)$$

或

$$v' = \frac{v + u}{1 - \frac{vu}{c^2}}$$

其中 $v$ 为质点在惯性参考系 $K$ 中的速度，该质点在另一惯性参考系 $K'$ 中的速度为 $v'$ ， $K'$ 系相对 $K$ 系的速度为 $u$ ， $c$ 为光速。 $v$ 、 $v'$ 、 $u$ 都沿同一直线同方向运动。

当运动速度远小于光速时，(3)式就变为

$$v = v' + u \quad (4)$$

或

$$v' = v - u$$

参考系问题是物理学中的基本问题，教师应该特别重视。由于初学者学习相对运动问题有一定的困难，现行高中教材一般不去区分它们之间的区别。

## 2. 流体介质阻力对物体运动的影响

我们知道，抛射体在真空中的飞行轨迹是一条抛物线。假定弹丸的初速度为  $850 \text{ m/s}$ ，发射角为  $43^\circ$ ，则弹丸在真空中的射程等于  $73 \text{ km}$ ，而当考虑空气阻力时，弹丸的射程只有  $8 \text{ km}$  左右，仅为理想射程的  $\frac{1}{9}$ （图 5-31）。

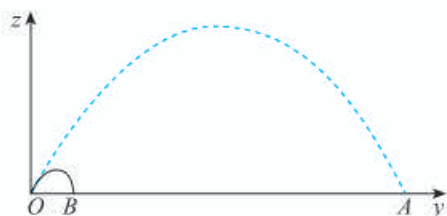


图 5-31

大量实验表明，当物体在空气中的飞行速度  $v < 0.2 \text{ m/s}$  时，阻力  $F = kv$ ；当  $0.2 \text{ m/s} < v < 240 \text{ m/s}$  时， $F = kv^2$ ；当  $240 \text{ m/s} < v < 450 \text{ m/s}$  时， $F = kv^3$ 。其中比例系数  $k$  反映了除物体速度以外的其他诸因素对介质阻力的影响。考虑空气阻力时弹丸的飞行轨迹如图 5-32 所示。容易看出，当考虑空气阻力时，弹丸的落地角  $\beta$  大于发射角  $\alpha$ （在真空中落地角  $\beta$  等于发射角  $\alpha$ ），而且落地角接近  $90^\circ$ 。

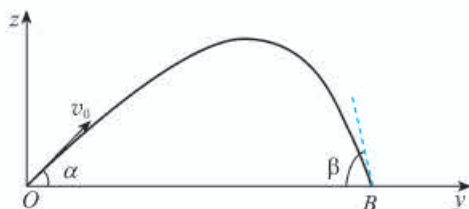


图 5-32

理论计算和实际观察都已证明，物体在空气中运动一段较长时间后，将几乎竖直向下匀速降落，并趋近于它的极限速度。所谓极限速度是，在介质阻力的影响因素已经确定的情况下，物体在介质中运动需经无限长的时间才能达到的速度。在许多实际问题中，如选矿、选种和清洁谷粒等，常利用物体极限速度的不同把不同的颗粒分开。

跳伞运动员自飞行器中跳出后，如果不张开伞，则阻力系数较小，极限速度一般可达到  $50 \sim 60 \text{ m/s}$ 。以这个速度落地，任何人也承受不了。但如果张开伞，则阻力系数变大，极限速度一般不超过  $4 \sim 5 \text{ m/s}$ 。这个速度仅相当于我们从  $1 \text{ m}$  多高的矮墙上跳下时按自由落体的速度公式计算所得到的落地速度。这对于普通健康的人来说，是没有危险的。战争中对伞兵的要求不仅是能安全落地，而且在空中停留的时间越短越好。为此伞兵在刚跳离飞行器后，可先不张伞，等降至一定高度后再把伞张开。

## 3. 地球自转对抛射体的影响

实际上，在计算落地点时，不但要考虑空气阻力的影响，还要考虑地球自转的影响。

当考虑地球自转的影响时，抛射体还将受到科氏惯性力的作用，其飞行轨迹则不再是一条平面曲线，而是一条空间曲线了。所谓科氏惯性力，它是在考虑地球自转这样的非惯性参考系中应



用牛顿第二定律时，必须附加在物体上的一项作用力，否则，物体的质量  $m$ ，加速度  $a$  与作用力  $F$  之间的关系式  $F=ma$  不成立。实际上，即使不考虑地心每年绕太阳一周的公转运动，地球也还有每昼夜绕地轴转一周的自转运动（自转角速度为  $7.29 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$ ）。假如在北半球纬度为  $45^\circ$  处，向正东方向以发射角  $43^\circ$ ，初速度  $850 \text{ m/s}$  发射炮弹，当不考虑地球自转的影响时，炮弹在真空中的飞行轨迹如图 5-33 中的虚线所示，落地点为  $A$ ；当考虑地球自转的影响时，炮弹在真空中飞行的轨迹如图 5-33 中的实线所示，落地点为  $C$ 。与不考虑地球自转时相比，炮弹在真空中飞行的落地点向东偏移的距离  $\Delta y$  约为  $338 \text{ m}$ ，向南偏移的距离  $\Delta x$  约为  $454 \text{ m}$ 。一般普通炮弹的爆炸威力范围只有几十米，因此地球自转对抛射体落地点的影响也应该引起重视。

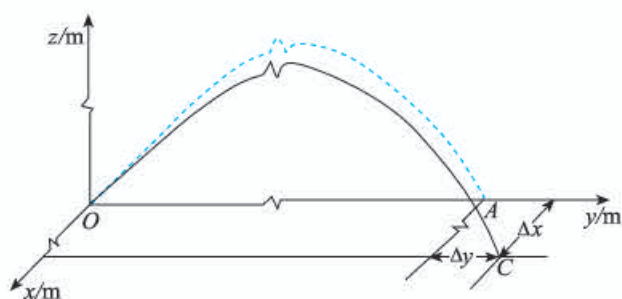


图 5-33

人教版®

# 第六章

## 圆周运动

### 课程标准的要求

2.2.3 会用线速度、角速度、周期描述匀速圆周运动。知道匀速圆周运动向心加速度的大小和方向。通过实验，探究并了解匀速圆周运动向心力大小与半径、角速度、质量的关系。能用牛顿第二定律分析匀速圆周运动的向心力。了解生产生活中的离心现象及其产生的原因。

### 一、本章教材概述

本章是必修课程的第六章。第五章主要以平抛运动为例，讨论处理匀变速曲线运动的方法。而本章则是处理生活中常见的一类运动——圆周运动，它属于曲线运动，但却不是匀变速曲线运动，即加速度不恒定的曲线运动。

圆周运动的研究思路与前面所学内容的研究思路是一致的，即首先描述运动的性质，然后分析做这种运动的受力条件和初速度条件。可以说，本章实际上是运动学和动力学知识在曲线运动特例——圆周运动上的具体应用，是学生所学运动学和动力学知识的进一步拓展和延伸。从整体上看，研究对象的运动和受力情况由简单到复杂，是学生对运动与相互作用认识逐步深入的过程。主要表现在两个方面：一是机械运动从简单的直线运动到相对复杂的匀变速曲线运动（平抛运动），再到非匀变速曲线运动（圆周运动）。二是物体所受的外力从恒力到变力。

本章的内容安排除了关注发展学生的运动与相互作用观念，还紧密联系生产、生活实际，涉及丰富的模型建构和推理过程。另外，本章内容也是培养学生科学思维和科学探究素养的重要载

体，是发展学生社会责任的良好素材。

本章按照“圆周运动的描述→圆周运动的受力分析→圆周运动的联系实际问题的整体结构进行编排，突出物理观念的形成，以及科学思维与科学探究能力的发展。从内容及其结构上主要突出以下三点：（1）强调科学探究。课程标准以学生“必做实验”的形式要求“探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系”。由于要突出实验探究，教材弱化了向心加速度的理论分析，在通过实验探究得出向心力的表达式后，再根据牛顿第二定律推导向心加速度公式。（2）突出内容的弹性，为因材施教留出空间。首先讨论匀速圆周运动的向心力，再应用牛顿第二定律讨论向心加速度，最后把应用矢量运算和极限思想讨论向心加速度的方向作为“拓展学习”内容。（3）突出知识的结构化。通过问题、思考与讨论、拓展学习等栏目，揭示知识间的联系或者引入概念的物理意义。

具体来说，本章在编写时有如下考虑。

### 1. 多途径引导学生深度学习，促进学生物理观念的进一步发展

教材提供了丰富的现象与事实，引导学生在此基础上进行抽象、概括与推理，建构概念或者得出规律。涉及的现象与事实既包括日常生活中学生司空见惯的自行车，还包括游乐场里的游戏项目，在轨飞行的天宫二号空间实验室等。这些现象和事实不仅是学生认知的基础，也是激发学生兴趣的素材。

教材重视概念的建构，着力为揭示概念的物理意义做好铺垫。例如，教材在引入角速度概念时，谈到“自行车前进时，由于链条不可伸长，也不会脱离齿轮打滑，因而大、小齿轮边缘的点在相等时间内通过的弧长是相等的，即线速度大小相等。但同时也可注意到，由于两个齿轮的直径不同，相等时间内它们转过的角度不同”。教材通过这些铺垫力图引导学生理解“线速度和角速度都是描述圆周运动的物理量，两者描述的角度不同”。同样地，教材在引入圆周运动的周期概念时，也注重揭示概念的物理意义。

教材不仅注重对具体概念建构过程的引导，还通过结构调整，引导学生形成结构良好的概念体系。例如，教材的第一节从运动学的角度描述圆周运动，进一步丰富和发展了学生对机械运动的认识，这也是学生第一次认识到具有周期性特征的机械运动，让他们初步掌握了描述圆周运动的物理量。第二节实验探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系，学习影响向心力大小的因素。第三节根据牛顿第二定律分析匀速圆周运动的向心加速度。这一结构与必修1的研究思路是一致的，即首先描述机械运动，再从受力角度分析运动的条件。这种一以贯之的安排不仅有利于学生建立概念体系，也有利于学生形成分析质点力学问题的大思路，即先描述物体的运动情况，再分析质点的受力情况，最后根据牛顿运动定律建立运动与相互作用之间的关系。

教材通过设置合适的内容引导学生反省，促进所学知识的融会贯通，形成解决问题的认知策略。例如，在“向心加速度”一节的“思考与讨论”中设计了讨论向心加速度与圆周运动的半径是成正比还是反比的问题，试图引导学生明白在实际问题中物理量之间成正比或反比的条件，体会物理与数学的关系。在“生活中的圆周运动”一节中讨论了汽车过拱形桥的问题，然后在这个基础上，通过“思考与讨论”栏目，引导学生思考：如果把地球看作一个巨大的拱形桥，汽车速度达到多大时，它对地面的压力为0。这个问题为后面讨论航天器在万有引力作用下的圆周运动

做好了铺垫，也有利于引导学生展开想象的“翅膀”，激发学生的学习兴趣。

教材单独安排“生活中的圆周运动”一节，试图让学生应用圆周运动的知识解释物理现象，并解决一些实际问题，从而促进学生进一步理解运动与相互作用的关系，发展学生的运动与相互作用观念。

## 2. 全面发展学生的科学思维，重点突出学生的建模能力

教材借助不同内容全面体现了促进科学思维能力发展的课程目标。通过对物体做圆周运动的实际情境进行抽象、概括，形成质点在水平面和竖直平面内的圆周运动模型，以此来发展学生的模型建构能力。通过分析线速度、角速度与周期的关系，应用极限思想分析圆周运动的向心加速度等具体问题，发展学生的科学推理能力。通过分析向心加速度与圆周运动的半径之间的关系、向心力来源等问题，发展学生的科学论证能力。通过讨论向心加速度与圆周运动半径的关系，以及汽车“飞离”地面的速度等具体问题，发展学生的质疑与创新能力。

## 3. 丰富学生的体验，培养学生的实践意识

本章内容比较抽象，做圆周运动物体的速度在不断变化，力也在不断变化，这些都造成了教学的难点。增加学生的体验是突破难点的重要方式，而体验的获得离不开真实的物理情境。教材选择的大量实例与学生的日常生活有关，如自行车、游乐项目、汽车，等等。这些实例容易唤醒学生的体验，不仅可以帮助学习有效突破学习难点，还可以培养学生的实践意识。在探究向心力大小的表达式之前，教材在“做一做”栏目中安排了“感受向心力”的体验性实验，引导学生体验向心力大小与物体质量、圆周运动的半径、线速度等物理量之间的关系，以帮助学生在探究实验前提出有依据的猜想假设，培养学生的实践意识。

建构物理概念的意义，或者说引入物理概念的必要性，一直是学生在学习中容易忽视的，也是物理教学中的薄弱环节。教材通过“问题”等栏目，丰富学生体验，引导学生体会建立概念的必要性，体会实践与理论的关系。例如，在“圆周运动”一节中，通过比较自行车大、小齿轮边缘上的点，以及同一齿轮上到转轴距离不同的点运动的快慢，引导学生体会建立线速度和角速度等物理量来描述圆周运动的必要性。在“向心力”一节的“问题”栏目中，以游乐场里的空中飞椅项目为情境，引导学生体会做圆周运动的人的受力情况，丰富学生对向心力的感性认识，为提出向心力概念提供基础。

教材在结构安排上也体现了“从学生的体验入手，逐步上升到理性认识，再由理性认识回到生活实际中去”的基本理念。向心力相对于向心加速度更具感性特征，因此教材在描述圆周运动的基础上，先从感受向心力的大小和方向、探究向心力大小的影响因素入手，再应用牛顿第二定律分析向心加速度的大小和方向。

## 4. 对实例进行理性分析，培养学生的科学态度与社会责任

教材注重通过实例引导学生进行理性思维，通过分析、解决问题的过程，晓之以理，动之以情。概括起来，教材主要通过两个途径来培养学生的科学态度和社会责任。一个是在课文的正文中解释日常生活现象，引导学生认识科学的价值，培养学生的社会责任。例如，教材正文介绍了

离心运动的危害，解释了为什么在公路弯道处车辆不允许超过规定的速度，以引导学生理性认识交通规则，增强安全意识。另一个是在“练习与应用”中设置有针对性的题目，在真实的物理情境中引导学生通过计算、推理、分析、反思，引导学生情感的投入，培养学生的社会责任感。

#### 课时安排建议

1. 圆周运动	1课时
2. 向心力	2课时
3. 向心加速度	1课时
4. 生活中的圆周运动	2课时

人教版®

## 二、教材分析与教学建议

### 第1节 圆周运动

#### 1. 教学目标

(1) 认识圆周运动、匀速圆周运动的特点，了解描述圆周运动快慢的基本思路，了解转速和周期的意义。

(2) 理解线速度的物理意义，知道匀速圆周运动中线速度的方向。

(3) 理解角速度的物理意义，掌握线速度和角速度的关系。

(4) 能在具体的情境中确定线速度和角速度。

#### 2. 教材分析与教学建议

本节涉及圆周运动、匀速圆周运动，以及描述匀速圆周运动的线速度、角速度、周期和转速等概念。圆周运动与日常生产、生活紧密相连，学好圆周运动的知识，不仅为解释生活中的现象和解决相关问题奠定了基础，也为下一章学习万有引力定律打下了知识基础。需要指出的是，高中物理不研究刚体的转动问题。

关于“线速度”的定义常用的有两种方法，一种是沿用曲线运动速度的定义方法——将平均速度取极限，得到圆周运动线速度的大小和方向，这种方法的好处是保持了“速度”定义的统一。教材“线速度”的定义是通过“分步走”的思路建立。首先，定义线速度的大小，它是弧长与时间之比。然后，再确定线速度的方向，根据“质点做曲线运动时某点的速度方向沿该点的切线方向”，得到圆周运动在某点的线速度方向沿该点的切线方向。

在研究圆周运动时，学生可能会想：前面通过运动的分解解决了平抛运动问题，那么圆周运动是否也能运用运动分解的方法来处理呢？其实，用分解的方法也是可以研究的，得到的是用三角函数表达的位移和速度分量。教材现在采用的研究方法，从本质上来说是基于圆周运动的特点，用极坐标来描述（尽管没有明确说出来），由于在半径方向没有变化（变量转化为常量），只剩下角量一种变化。所以从逻辑上讲，径向无速度，可以先研究角速度，线速度通过换算关系得出。但考虑到与前面知识的联系，教材还是首先引入了线速度，再引入角速度。角速度也有方向，但是高中阶段并不要求学生了解。

##### (1) 圆周运动及其快慢的描述

教材在节前“问题”栏目展示了自行车图片，引导学生通过观察自行车大齿轮、小齿轮和后轮的关联转动，提出了如何描述做圆周运动的物体运动快慢的问题。教学中可以多展示一些物体做圆周运动的场景，并把问题进一步细化、分解，引导学生层层递进地思考。

## 教学片段

### 圆周运动及其快慢的描述

教师展示钟表指针、摩天轮、秋千、自行车的图片(图6-1),并说明“圆周运动是针对质点来说的,应该选择物体上的某一点进行研究”。



图6-1

问题1. 认真观察这些图片后思考, 指针的尖端、摩天轮上的游客(可近似看作质点)、秋千座椅, 它们的运动有什么共同点?

问题2. 这些物体的圆周运动有什么不同之处?

问题3. 自行车的脚踏板, 小齿轮边缘上的点和后轮边缘上的点哪个运动得快? 理由是什么?

问题4. 对于描述运动快慢和描述转动快慢的物理量, 如何在名称上加以区分?

利用学生所熟悉的生活中的圆周运动引入课题, 引导学生分析、概括这类运动的共同特点, 得出圆周运动的定义。学生以前只接触运动快慢, 没有涉及转动快慢, 教学中可以用学生熟悉的自行车进行演示, 结合问题, 引发比较圆周运动快慢的不同方式的讨论。

### (2) 圆周运动的线速度和角速度

作为典型的概念课, 本节教学的重点是线速度、角速度、周期和转速等概念, 教师应构建积极有意义的情境, 让学生体会到建立“线速度”“角速度”“周期”和“转速”等概念的必要性, 通过问题引导学生建立这些概念。

## 教学片段

### 圆周运动的线速度和角速度

展示电扇叶片和自行车大、小齿轮的图片(图6-2)。



图6-2

问题1. 电扇叶片上任意点的线速度方向如何确定? 该方向与半径间的关系如何?

问题2. 做圆周运动的物体的运动路径长度如何确定? 线速度大小如何确定?

问题3. 匀速圆周运动的线速度变化吗？匀速圆周运动是什么性质的运动？

问题4. 转动脚踏板，自行车大、小齿轮上的边缘点线速度大小相等吗？大、小齿轮转动的快慢也一样吗？

问题5. 前面已经给描述转动快慢的物理量取了一个名字叫角速度，角速度该怎样定义呢？根据定义式得到的角速度的单位是什么？

问题6. 匀速圆周运动的角速度如何变化？电扇同一叶片上离转轴距离不同的各点，角速度是否相同？

问题7. “线速度”和“角速度”是否存在联系？怎样寻找它们之间的联系？

如果在学生初步认识“线速度”和“角速度”之后，立即让学生推导两者的关系，这样处理仅仅让学生从数学表达式的角度建立了两者的联系，而忽视了物理意义。建议引导学生思考：为什么“线速度”和“角速度”会存在联系？如果有个物理量将它们联系起来，可能的物理量是什么？结合图6-2，先做定性分析、推理和判断，再导出两者之间的关系，自然就水到渠成了。

### (3) 圆周运动的周期和转速

除了用线速度、角速度描述圆周运动外，教材还为我们提供了另外一种更加“宏观”的途径——研究物体转一圈所用的时间或者一秒转几圈，进而引出“周期”“转速”这两个物理量，它们也正是为表征匀速圆周运动具有重复（周期）性而引入的物理量。这四个物理量可以从不同角度去描述圆周运动的快慢，它们之间具有一定的联系。

让学生观察熟悉的电扇，体会圆周运动具有周而复始的周期性特点，思考什么样的物理量能够体现这种特点。具体来说，可以利用转一周所用的时间，即周期来比较运动的快慢，也可以用单位时间内转过的圈数即转速来比较运动的快慢，从而得出周期和转速的定义式。数学中的弧长与半径、圆心角的关系  $\Delta s = r\Delta\theta$  是推导的基础，通过问题可以帮助学生回忆相关知识。“线速度”“角速度”“周期”和“转速”这四个物理量的关系是教学难点，要给学生充分的时间寻找和论证它们之间的关系。

## 教学片段

### 圆周运动的周期和转速及各物理量之间的关系

问题1. 电扇叶片上的每一点都做匀速圆周运动，这种运动整体上具有什么特性？该用什么物理量来描述运动的这种重复性？

问题2. 周期的单位是什么？周期的物理意义是什么？

问题3. 转速的定义是什么？单位是什么？转速的物理意义是什么？

问题4. 选择电扇开关的不同挡位，叶片转动时的周期和转速有什么关系？你的猜想是什么？能证明吗？

问题5. 圆周中的弧长和对应圆心角之间有什么关系？

问题6. 本节学到了哪些物理量？你能列出这些物理量并推出它们之间的关系吗？



### 3. “练习与应用” 参考答案与提示

本节共4道习题，前3道题让学生练习掌握角速度与周期的关系以及角速度与线速度的关系，形成物理观念。第4题是综合题，练习将实际生活中的硬盘的工作过程转换成所学的圆周运动基本模型，结合实际情况加深对匀速圆周运动的理解。

1. 位于赤道和位于北京的两个物体随地球自转做匀速圆周运动的角速度相等，都是  $7.27 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$ 。位于赤道的物体随地球自转做匀速圆周运动的线速度  $v_1 = \omega R = 465.28 \text{ m/s}$ ，位于北京的物体随地球自转做匀速圆周运动的线速度  $v_2 = \omega R \cos 40^\circ = 356.43 \text{ m/s}$ 。

2. (1) 12 : 1 ; (2) 16.8 : 1

提示：分针的周期为  $T_1 = 1 \text{ h}$ ，时针的周期为  $T_2 = 12 \text{ h}$ 。

(1) 分针与时针的角速度之比为  $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{12}{1}$ 。

(2) 分针针尖与时针针尖的线速度之比为  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\omega_1 r_1}{\omega_2 r_2} = \frac{16.8}{1}$ 。

3. (1)  $A$ 、 $B$  两点线速度相等，角速度与半径成反比。

(2)  $A$ 、 $C$  两点角速度相等，线速度与半径成正比。

(3)  $B$ 、 $C$  两点半径相等，线速度与角速度成正比。

提示：引导学生理解传动装置不打滑的物理意义是接触点之间线速度大小相等，进而认识到同缘传动时边缘点的线速度大小相等，同轴转动时角速度大小相等。

4. (1)  $10^{-6} \text{ s}$  ; (2)  $5.12 \times 10^8$

提示：(1) 磁盘转动的周期为  $T = \frac{1}{120} \text{ s}$ ，扫描每个扇区的时间  $t = \frac{T}{8192} = 1.0 \times 10^{-6} \text{ s}$ 。

(2) 每个扇区的字节数为  $n_0 = 512$  个，1 s 内读取的字节数为  $n = n_0 \times \frac{1}{t} = \frac{512}{1.0 \times 10^{-6}} \text{ 个} = 5.12 \times 10^8 \text{ 个}$ 。

以硬盘为背景，引导学生结合硬盘存储信息的基本原理，根据匀速圆周运动中转速和周期的关系，在新的问题情境中根据需要选用恰当的模型分析解决生活中的物理问题。

## 第2节 向心力

### 1. 教学目标

- (1) 知道向心力是根据力的效果命名的，会分析向心力的来源。
- (2) 感受影响向心力大小的因素，通过实验探究它们之间的关系。
- (3) 掌握向心力的表达式，能够计算简单情境中的向心力。
- (4) 知道变速圆周运动和一般曲线运动的分析方法。

### 2. 教材分析与教学建议

本节的编排遵循从特殊到一般、从定性到定量的科学探究过程。本节内容可以看作牛顿运动定律在曲线运动中的应用，进一步深化了运动和相互作用观念。在教学过程中要加强新旧知识的

对比与联系，帮助学生再次体会力是改变运动状态的原因，促进对知识的同化，完善知识结构。

本节教学的重点与难点是建立与理解向心力的概念，以及对向心力来源的分析。本章后面的学习都将围绕向心力的概念展开，它也是分析天体的圆周运动、带电粒子在磁场中的运动的知识基础。

学生第一次接触变力作用下的曲线运动，这是一个新的情境，教学中应注意控制难度，可以把这一节拆分成两课时。第一课时侧重在感性体验的基础上建立向心力的概念，并完成对向心力公式的探究。第二课时侧重分析匀速圆周运动向心力的来源并进行定量的计算，要提供一些典型案例作为支撑。

### (1) 向心力

教材先从力与运动关系的角度说明做匀速圆周运动的物体一定受力，再结合具体实例进行受力分析，进而归纳出做匀速圆周运动的物体所受合力指向圆心这个一般规律，并把这个力命名为向心力，最后以“问题”中的空中飞椅为例分析了实际问题中的向心力的来源。

#### 教学片段

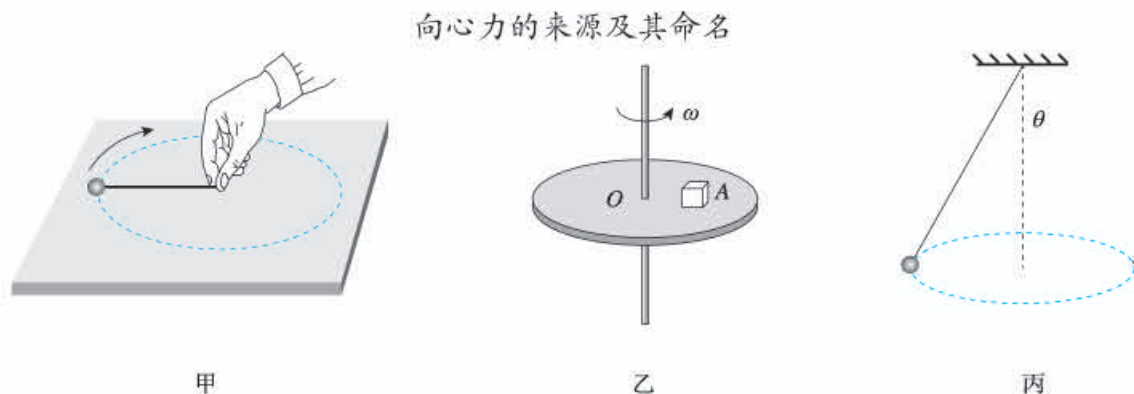


图6-3

问题1. 如图6-3甲所示，小球在细绳的牵引下在光滑的水平桌面上做匀速圆周运动。如果绳子断了，小球还能做圆周运动吗？为什么？

问题2. 在运动过程中，竖直方向的重力与支持力是什么关系？绳子给小球的作用力在整个运动过程中有什么特点？

问题3. 如图6-3乙所示，物块在水平圆盘上随圆盘做匀速圆周运动。如果圆盘光滑，物块还能做圆周运动吗？什么力对物块做圆周运动起了作用？

问题4. 图6-3乙中的物块与图6-3甲中的小球运动情况相同吗？它们的受力是否也应该相似？你想到了什么？

问题5. 如图6-3丙所示，小球在细绳的牵引下在空中做匀速圆周运动。小球运动轨迹的圆心在哪？

问题6. 图6-3丙中的小球与图6-3甲中的小球和图6-3乙中的物块运动情况相同吗？它们的受力是否也应该相似？你想到了什么？

问题7. 图6-3丙中的小球是否真的受到一个指向圆心的力？从力的合成角度看，这个力是什么？从力的分解角度看，这个力又是什么？

问题8. 向心力是否一定是一个真实力？向心力是否可以由几个力的合力或某个力的分力？

图6-3甲中的小球所受的向心力方向可根据绳子受力特点确定（沿绳方向）。对图6-3乙中的物块，可先从运动角度确定它的运动与图6-3甲中小球的运动相同，再根据力与运动关系，判断其受力应该也相似。对图6-3丙中的案例，分析思路与前面相同，但需要结合力的合成与分解知识，得到合力或分力均可提供向心力的结论。

对这三个案例的总结与概括，已经可以让学生认识向心力的特点和本质。向心力可以是弹力、摩擦力、引力中的任一个力、也可以是某几个力的合力或者某一个力的分力，它是一个效果力。在分析具体实例时应该先作受力分析，从中“找”出什么力提供了向心力，而不应凭空“画”出向心力。

### (2) 向心力的大小

在定量研究之前，教材安排了“感受向心力”的沙袋实验，让学生通过体验获得直接的感性认识。研究拉力（近似为向心力）与半径的关系时，要保持转速（角速度）一定，可以用喊口令的方法控制转动的快慢。研究拉力与转速（角速度）的关系时，慢慢增大或减小转速就可以体验到拉力的变化。这个实验需要比较大的空间，很难在课堂上让学生完成，建议课前让学生找开阔的地方体验。

通过“感受向心力”这个活动，让学生体验影响向心力的因素，为接下来进行的“探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系”实验设计提供了方向。

### 教学片段

#### 向心力的定量研究

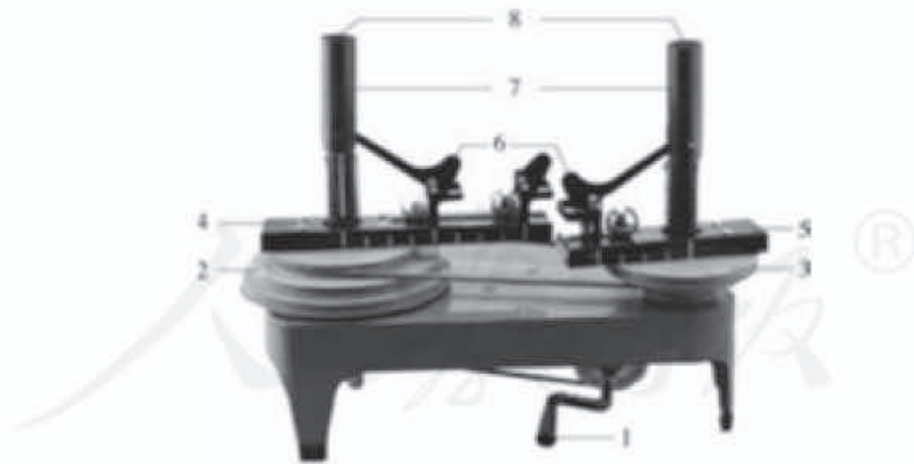


图6-4

问题1. 在如图6-4所示的向心力演示仪中，向心力的大小怎样测量？

问题2. 如何改变物体的质量？如何设定轨道半径？

问题3. 如何控制或测定物体的角速度？

问题4. 你安排的实验步骤是怎样的？

问题5. 得到了怎样的实验结果？根据已有知识，你还能写出怎样的表达式？

小球做圆周运动的向心力由横臂的挡板对小球的压力提供。小球对挡板的反作用力，通过横臂的杠杆作用使弹簧测力套筒下降，从而露出标尺，标尺上露出的红白相间等分格子就可以显示出两个小球所受向心力的比值。通过控制变量法，分别研究向心力 $F$ 和质量 $m$ 、转动半径 $r$ 以及角速度 $\omega$ 之间的关系。先让 $r$ 和 $\omega$ 不变，用大小相同的铝球和铁球，研究向心力与质量之间的关系。再让 $m$ 和 $r$ 不变，将皮带套在不同的转动轮上，研究向心力和角速度之间的关系。最后让 $m$ 和 $\omega$ 不变，将铁球放在不同的位置，研究向心力和半径之间的关系。

### (3) 变速圆周运动和一般曲线运动的受力特点

这部分内容可以让学生在更一般、更广阔背景下认识圆周运动和曲线运动。将向心力的知识从匀速圆周运动推广到变速圆周运动和一般曲线运动，从力的分解角度了解圆周运动速度大小与方向改变的原因，从极限的角度了解一般曲线运动的研究方法。建议教师在教学时把握好难度，学生能够了解物体受到的力的法向分力和切向分力的作用就可以了，不要求掌握这些概念，不要求定量研究。

## 教学片段

### 变速圆周运动和一般曲线运动中的受力分析

问题1. 链球运动员在掷出链球之前的加速过程如图6-5所示，能近似看作圆周运动吗？还是匀速圆周运动吗？

问题2. 做圆周运动需要什么方向的力？速度变大需要什么方向的力？你能画出相应的图示吗？



图6-5

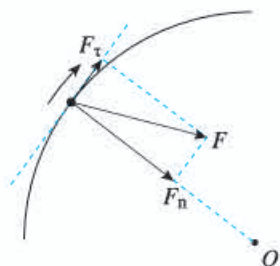


图6-6



图6-7

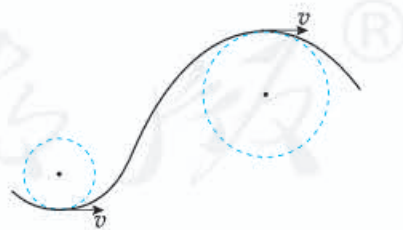


图6-8

问题3. 图6-6中的 $F_n$ 、 $F_t$ 来源于哪里？绳子与速度方向还垂直吗？

问题4. 如图6-7所示，汽车在水平弯曲的道路上行驶时，能近似看作圆周运动吗？它的运动是匀速圆周运动吗？

问题5. 你能大致分析汽车的受力情况吗？

问题6. 汽车在图6-7所示的道路上行驶，如果从速度计读出了汽车运动的速度，为了计算汽车的向心力，还需要知道什么物理量？

问题7. 向心加速度与向心力公式是否只适用于匀速圆周运动? 试结合图6-8进行说明。

图6-5和图6-7呈现的都是真实的问题, 这类问题的处理首先要引导学生通过受力、运动分析确定模型。如果直接确定模型有困难, 还需要综合运用等效、转化、微元等方法。

### 3. “练习与应用” 参考答案与提示

本节共5道习题, 涵盖了向心力在生活中应用的各个层面, 通过本节练习, 让学生能综合应用所学向心力知识解决实际匀速圆周运动问题。第1题应用向心力公式计算引力。第2题和第3题研究向心力来源不同的情形下, 尝试用已有的物理知识解释水平面内的圆周运动问题。第4题通过分析变速圆周运动中最低点的绳子拉力突变问题, 发现规律, 用向心力公式分析绳子拉力并对现象进行解释, 培养学生的科学探究意识。第5题通过定性分析汽车转弯时的合力方向, 获得结论并作出解释, 培养科学思维。

1.  $3.6 \times 10^{22} \text{ N}$

提示: 由于地球在太阳的引力作用下做匀速圆周运动, 地球公转周期为  $T = 365 \times 24 \times 3600 \text{ s} = 3.15 \times 10^7 \text{ s}$ 。设引力为  $F$ , 则  $F = m\omega^2 r = m \frac{4\pi^2}{T^2} r = 6.0 \times 10^{24} \times \frac{4 \times (3.14)^2}{(3.15 \times 10^7)^2} \times 1.5 \times 10^{11} \text{ N} = 3.6 \times 10^{22} \text{ N}$ 。

知道将地球绕太阳的运动简化为匀速圆周运动模型, 理解地球绕太阳做匀速圆周运动的向心力来源于太阳对地球的引力, 在解答时应注意挖掘题目中的隐含条件(地球公转周期)。本题可以为下一章的学习埋下伏笔。

2. 小球在漏斗壁上的受力如图6-9所示。小球所受重力  $G$ 、漏斗壁对小球的支持力  $F_N$  的合力提供了小球做圆周运动的向心力。

提示: 求解本题时, 要知道向心力的来源, 明确向心力是做圆周运动的物体指向圆心方向的合力, 理解向心力是一种效果力。此类模型可用于解决火车转弯、飞机转弯、绳拉小球做圆周运动等问题。

3. (1)  $0.16 \text{ N}$ ; (2) 甲的意见是正确的。静摩擦力的方向与物体相对接触面运动的趋势相反, 假设在匀速转动过程中, 圆盘突然变得光滑, 小物体因为惯性将会沿切线方向飞出。从相对运动的视角来看, 小物体有相对圆盘沿半径方向向外运动的趋势, 故静摩擦力的方向指向圆心。

提示: 练习用向心力公式  $F = m\omega^2 r$  求小物体所受向心力的大小, 用假设法推理分析向心力的来源。此类模型可用于解决汽车在水平路面上转弯以及洗衣机匀速转动等问题。

4. 设小球的质量为  $m$ , 钉子  $A$  与小球的距离为  $r$ 。小球从一定高度摆下, 虽然每次钉子的位置不同, 但是由于每次释放的高度相同, 小球在竖直线以左的运动规律完全相同, 故小球通过最低点的速度相同, 设为  $v$ 。小球通过最低点时做半径为  $r$  的圆周运动, 绳子的拉力  $F_T$  和重力  $mg$  的合力提供了向心力, 即  $F_T - mg = m \frac{v^2}{r}$ , 由此得  $F_T = mg + m \frac{v^2}{r}$ 。在  $m, v$  一定的情况下,  $r$  越小,  $F_T$  越大, 即绳子承受的拉力越大, 绳子越容易断。

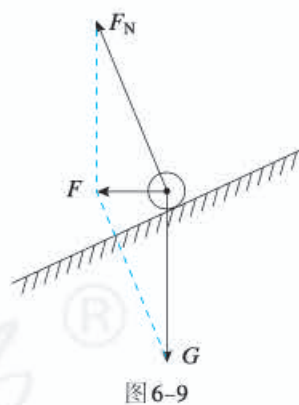


图6-9

提示：练习用  $F_{\text{向}} = \frac{mv^2}{r}$  求细绳的拉力，加深对向心力的理解，培养学生将物理知识应用于生活和生产实践的意识。理想绳是高中阶段常见的研究模型，细绳的形变量极小，形变量发生变化几乎不需要时间，故认为细绳的拉力可以发生突变。本题中绳系小球摆动，绳碰到钉子的瞬间，圆周运动半径变化，但速度大小不变，故拉力发生突变。

5. 丙图正确。汽车在行驶中速度越来越小，所以汽车在轨迹的切线方向做减速运动，切线方向所受合力方向如图6-10中的  $F_{\tau}$  所示。同时汽车做曲线运动，必有向心加速度，向心力如图6-10中的  $F_n$  所示。汽车所受合外力  $F$  为  $F_{\tau}$ 、 $F_n$  的合力，如图中的  $F$  所示。丙图正确。

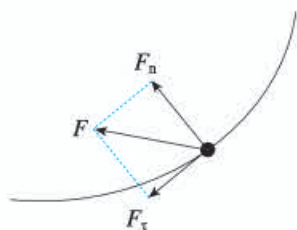


图6-10

提示：以汽车减速运动为背景，让学生学会分析做一般曲线运动的物体的受力情况。物体做曲线运动的条件是合外力的方向与速度的方向不在一条直线上。如图6-11所示，设  $F_{\text{合}}$  与速度  $v$  的夹角为  $\theta$ ，根据牛顿第二定律和力的独立作用原理可知，切向合外力  $F_{\tau}$  只产生切向加速度  $a_{\tau}$ ，法向合外力  $F_n$  只产生法向加速度  $a_n$ ，则  $F_{\tau} = F_{\text{合}} \cos \theta = ma_{\tau}$ ， $F_n = F_{\text{合}} \sin \theta = ma_n$ 。

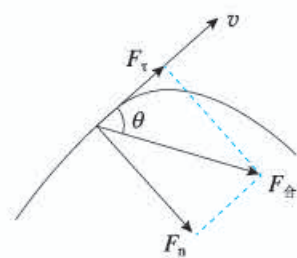


图6-11

在  $0^\circ < \theta < 90^\circ$  时， $a_{\tau}$  和  $v$  同向，物体做加速曲线运动。在  $90^\circ < \theta < 180^\circ$  时， $a_{\tau}$  和  $v$  反向，物体做减速曲线运动，切向合外力  $F_{\tau}$  的作用就是改变线速度  $v$  的大小的原因，切向加速度  $a_{\tau}$  的大小只反映线速度  $v$  大小变化的快慢。法向合外力  $F_n$  的作用是改变线速度  $v$  的方向的原因，法向加速度  $a_n$  的大小反映线速度  $v$  方向变化的快慢。

## 第3节 向心加速度

### 1. 教学目标

(1) 知道匀速圆周运动中向心加速度大小的表达式，理解向心加速度与半径的关系，并会用来进行简单的计算。

(2) 了解分析匀速圆周运动速度变化量时用到的极限思想。

(3) 能根据问题情景选择合适的向心加速度的表达式。

### 2. 教材分析与教学建议

向心加速度是描述匀速圆周运动的又一重要概念，教材在“问题”栏目中，从运动和力的关系出发，确定做圆周运动的物体具有加速度。本节是前一节“向心力”的拓展，同时又是学好后一节“生活中的圆周运动”的前提，具有承上启下的作用。

本节的重点是向心加速度的方向和大小。教材从动力学角度出发，根据“从力推知加速度”的思路，在前一节确定的向心力方向和大小的基础上，得出向心加速度的方向和大小。这种叙述的好处是降低了教学的难度，使学生可以较容易地掌握向心加速度的概念。

教材在“拓展学习”栏目中根据加速度定义式推导向心加速度的方向和大小，在推理过程中渗透极限思想。这是为学有余力的学生开的“窗口”，并不是所有学生需要达到的要求。这种编写思路不仅体现了学习的层次性，也让学生经历多角度认识问题的思维过程，体验多角度分析问题的方法，有利于提升学生科学思维的素养。

### (1) 匀速圆周运动的加速度方向

从动力学的角度得到向心加速度的方向难度并不大。从培养学生科学思维的角度，还可以引导他们从运动学角度分析向心加速度的方向。教材中这部分内容放在“拓展学习”栏目中，对于学有余力的学生，也可以在课堂上进行。

在从运动学角度学习向心加速度的概念时，学生可能会遇到来自三个方面的困难。①已有经验的阻碍作用。受直线运动中加速度概念的影响，学生会认为匀速圆周运动速度大小没有改变，没有加速度。②相关知识经验的不足。学生知道速度是矢量，但对不共线矢量减法运算的知识储备不足，对确定速度变化量的方向感到困难。③不理解近似、极限思想。对小角度时采用的近似、极限处理有很大困难。这就需要教师精心设计问题，并让学生进行充分的讨论。

### 教学片段

#### 探究匀速圆周运动加速度的方向

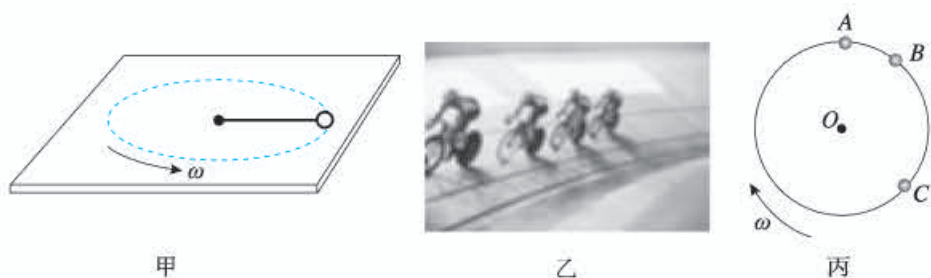


图6-12

问题1. 图6-12甲中的小球与图6-12乙中的运动员正在做匀速圆周运动，是否具有加速度？

问题2. 做匀速圆周运动的物体的加速度方向如何确定？你的依据是什么？

问题3. 除了用牛顿第二定律确定向心加速度的方向外，你还有什么方法可确定向心加速度的方向？

### (2) 匀速圆周运动的加速度大小

### 教学片段

#### 探究匀速圆周运动的加速度大小

问题1. 图6-12甲中的小球正以角速度 $\omega$ 做半径为 $r$ 的匀速圆周运动，它的向心加速度大小是多少？

问题2. 计算向心加速度的公式除了 $a = \omega^2 r$ 外，还有其他表达式吗？

问题3. 根据 $a = \omega^2 r$ 与 $a = \frac{v^2}{r}$ ，请分析向心加速度与半径究竟是成正比，还是成反比？该如何

理解这一问题？

问题4. 物体做变速圆周运动时，向心加速度的表达式 $a = \omega^2 r$ 与 $a = \frac{v^2}{r}$ 是否成立？为什么？

问题5. 我们可以从牛顿第二定律推导出向心加速度大小的表达式，是否还有其他方法？

从牛顿第二定律角度推导向心加速度的表达式是比较容易的。对于基础较好的学生，可以通过问题5启发他们，尝试自己推导。

## 教学片段

### 运用向心加速度的公式解决实际问题

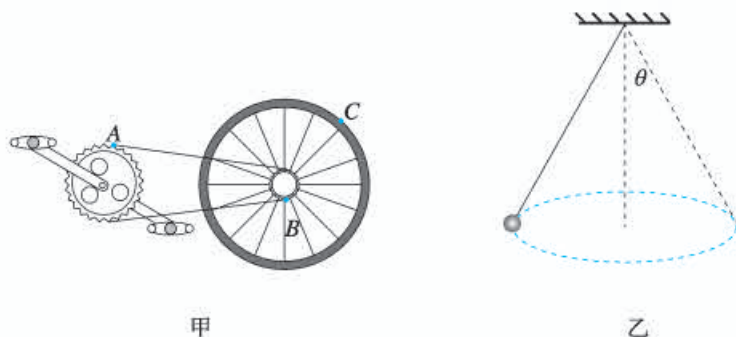


图6-13

问题1. 如图6-13甲所示，A、B、C分别是大齿轮、小齿轮边缘上的点和后轮边缘上的点，当转动脚踏板时，这三点间的加速度大小如何比较？你选择公式的依据是什么？

问题2. 如图6-13乙所示，长为 $l$ 的绳子拴有质量为 $m$ 的小球，在同一水平面内做匀速圆周运动，绳与竖直线的夹角为 $\theta$ 。小球的加速度方向指向哪里？

问题3. 小球受几个力的作用，是什么力提供了向心力？

问题4. 生活经验告诉我们，如果转动得快，绳与竖直线的夹角 $\theta$ 就大，你能够给出理论依据吗？

比较A、B两点的加速度时，考虑到链条的约束，两点的线速度大小相等，应选择 $a = \frac{v^2}{r}$ 进行比较，得 $a_A < a_B$ 。比较B、C两点的加速度时，考虑到是同轴转动，角速度相同，应选择 $a = \omega^2 r$ 进行比较，得 $a_B < a_C$ ，综合可得 $a_A < a_B < a_C$ 。分析圆锥摆时，首先应进行运动和受力分析，建立圆周运动模型。明确圆周是哪个圆？圆心在哪？向心加速度方向如何？在此基础上，再明确什么力产生了向心加速度，最后再列式求解。

## 教学片段

### 从运动学视角确定向心加速度的方向

问题1. 如图6-14甲所示，物体做直线运动，初速度为 $v_1$ ，末速度为 $v_2$ ，如何用矢量图表示速度变化量？

问题2. 如图6-14乙所示，物体做曲线运动，初速度为 $v_1$ ，末速度为 $v_2$ ，如何用矢量图表示



速度变化量?

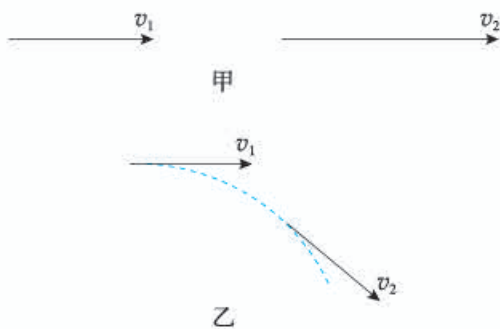


图6-14

问题3. 匀速圆周运动也是曲线运动, 如何在图6-15甲中, 作出质点从A点到B点速度变化量的矢量图呢?

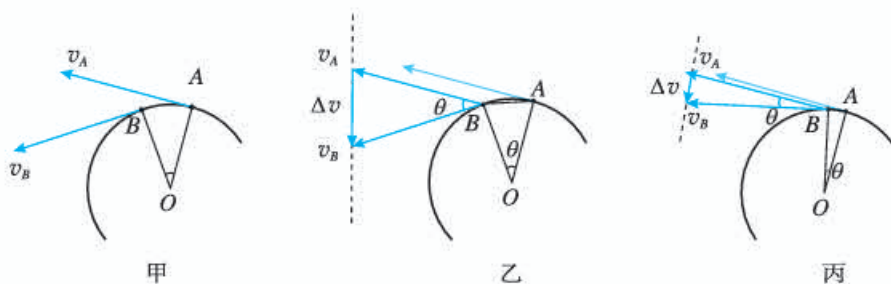


图6-15

问题4. 如果A、B两点之间是整数个圆周, 则 $\Delta v$ 等于多少? 如果A、B两点之间是半个圆周, 则 $\Delta v$ 等于多少, 方向如何? 如果A、B两点之间是四分之一圆周, 则 $\Delta v$ 等于多少? 其方向如何?

问题5. 如何确定图6-15乙中物体的加速度方向?

问题1主要是帮助学生回忆直线运动中如何表示速度的变化量。问题2以平抛运动为例, 慢慢渗透矢量平移的思想。问题3是迁移问题2中所用的方法, 将矢量平移运用到圆周运动中速度变化量的求法。问题4从几个特殊的位置看速度变化量, 降低学生认识的台阶, 遵循从特殊到一般的认知规律。问题5主要是渗透极限的思想, 从运动学的角度解释为什么加速度的方向是指向圆心的。

### 3. “练习与应用” 参考答案与提示

本节共4道习题, 第1题根据向心加速度的不同表达式, 理解向心加速度以及向心加速度公式中各物理量之间的相互关系。第2题和第4题让学生在熟悉的圆周运动情境中建构模型, 进行科学推理。第3题研究实际皮带传动模型, 练习选择恰当的公式解决简单的问题。

1. A. 乙; B. 甲; C. 甲; D. 甲

提示: 甲、乙线速度相等时, 利用 $a_n = \frac{v^2}{r}$ , 半径小的向心加速度大。甲、乙周期相等时, 利用 $a_n = \frac{4\pi^2}{T^2} r$ , 半径大的向心加速度大。甲、乙角速度相等时, 利用 $a_n = v\omega$ , 线速度大的向心

加速度大。甲、乙线速度相等时，利用 $a_n = v\omega$ ，角速度大的向心加速度大。由于在相等时间内甲与圆心的连线扫过的角度比乙大，所以甲的角速度大，甲的向心加速度大。

2.  $2.7 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$

提示：月球公转周期 $T = 27.3 \times 24 \times 3600 \text{ s} = 2.36 \times 10^6 \text{ s}$ ，月球公转的向心加速度 $a_n = \frac{4\pi^2}{T^2} r = \left(\frac{2 \times 3.14}{2.36 \times 10^6}\right)^2 \times 3.84 \times 10^8 \text{ m/s}^2 = 2.7 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$ 。

以月球公转为背景，练习用 $a_n = \frac{4\pi^2}{T^2} r$ 求解月球的向心加速度，计算量较大，为下一章的学习埋下伏笔，培养学生对太空探索的兴趣。

3. (1) 3 : 1 ; (2)  $0.05 \text{ m/s}^2$  ; (3)  $0.3 \text{ m/s}^2$

提示：(1) 由于皮带与两轮之间不发生滑动，所以两轮边缘上各点的线速度大小相等。

设电动机皮带轮与机器皮带轮边缘上质点的线速度大小分别为 $v_1$ 、 $v_2$ ，角速度大小分别为 $\omega_1$ 、 $\omega_2$ ，边缘上质点运动的半径分别为 $r_1$ 、 $r_2$ ，则 $v_1 = v_2$ ， $v_1 = \omega_1 r_1$ ， $v_2 = \omega_2 r_2$ ，又 $\omega = 2\pi n$ ，所以 $n_1 : n_2 = \omega_1 : \omega_2 = r_2 : r_1 = 3 : 1$ 。

(2) A点的向心加速度 $a_{nA} = \omega_2^2 \times \frac{r_2}{2} = 0.10 \times \frac{1}{2} \text{ m/s}^2 = 0.05 \text{ m/s}^2$ 。

(3) 电动机皮带轮边缘上质点的向心加速度 $a_n = \frac{v_1^2}{r_1} = \frac{v_2^2}{r_2} \times \frac{r_2}{r_1} = 0.1 \times 3 \text{ m/s}^2 = 0.3 \text{ m/s}^2$ 。

皮带传动是教学中的一个难点，教学中要注意引导学生根据题设条件挖掘隐含条件，如同轴转动的角速度大小相等，同一皮带上各处的线速度大小相等。

4. 2 : 1

提示：A、B两个快艇做匀速圆周运动，由于在相等时间内它们通过的路程之比是4 : 3，所以它们的线速度之比为4 : 3。由于它们在相等时间内运动方向改变的角度之比是3 : 2，所以它们的角速度之比为3 : 2。由于向心加速度 $a_n = v\omega$ ，所以它们的向心加速度之比为2 : 1。

以快艇在湖面上做匀速圆周运动为背景，练习用 $a_n = v\omega$ 求向心加速度，加深对线速度、角速度物理意义的理解。

## 第4节 生活中的圆周运动

### 1. 教学目标

- (1) 能根据所学知识分析生活中的各种圆周运动现象，在此过程中体会模型建构的方法。
- (2) 知道航天器中的失重现象。
- (3) 观察生活中的离心现象，知道离心运动产生的原因，了解其在生活中的应用，并知道离心运动所带来的危害。

### 2. 教材分析与教学建议

本节旨在通过丰富的实例，让学生通过受力分析、运动分析建立圆周运动模型，再运用牛顿

运动定律和圆周运动知识求解一些具体问题。教材选择了与生活联系紧密，学生易于观察的火车转弯、汽车过拱形桥和凹形桥等例子，另外，教材还分析了航天器中的完全失重状态以及离心运动现象。既有水平面内的匀速圆周运动，也有竖直平面内的圆周运动，能引起学生观察和探究的浓厚兴趣。从地上的圆周运动，到天上的圆周运动，既帮助学生感受物理规律的统一性，也为下一章作了铺垫。

通过对实例的分析，要让学生逐步掌握处理圆周运动的基本方法，引导他们学会确定运动轨迹、圆心和半径，能根据圆心位置确定向心加速度方向，再进行受力分析，确定向心力的来源，并建立力与运动联系的方程。这个过程就是先将实际问题转化为圆周运动的模型，再对问题进行求解。

学生在前面的学习中，已经能用牛顿第二定律求解直线运动的一些问题，对运动与相互作用观有了初步的认识。本节对圆周运动进行分析，本质上仍然是应用牛顿第二定律来解决问题，两者求解的思路是相同的。教学中指出这种相同性不仅有利于学生建构自己的知识结构，也会进一步深化运动与相互作用的概念。

### (1) 火车转弯

解决实际中的汽车和火车转弯问题首先需要建立正确的模型。这个过程的关键是进行运动和受力分析，在这一过程中需要忽略一些次要因素，以建立力与加速度之间的联系。考虑到生活中汽车转弯很常见，教学中也可以引导学生先讨论汽车转弯问题，再讨论火车转弯的问题。汽车在水平面上转弯的模型比较简单，可以先让学生讨论，最后再讨论斜面上汽车转弯的问题。

## 教学片段

### 汽车转弯问题分析

问题1. 如图6-16甲，汽车在水平圆弧路面上做匀速圆周运动。你能确定汽车向心加速度的方向吗？

问题2. 图6-16甲中的汽车受到哪几个力的作用？什么力提供了向心力？

问题3. 你所列的表达式是怎样的？汽车做匀速圆周运动的最大速度与什么因素有关？

问题4. 如图6-16乙，汽车在倾斜的圆弧路面上做匀速圆周运动。你能确定汽车轨道所在平面和向心加速度的方向吗？理由是什么？

问题5. 若图6-16乙中的汽车相对地面既没有向外，又没有向里运动的趋势，此时汽车受到哪几个力的作用？向心力的来源是什么？

问题6. 你所列的表达式是怎样的？汽车做匀速圆周运动的速度是由什么因素决定的？若汽车的速度大于或小于该值，汽车的受力有什么变化？

问题7. 分析汽车在水平面内转弯与在斜面内转弯两种情况，它们的相同点与不同点各是什么？



甲



乙

图6-16

图6-16乙中汽车在倾斜的圆弧路面上做匀速圆周运动，运动平面与向心加速度方向的确定是个难点。如果是盘山公路，圆轨道并不在同一水平面上。因此，通常认为圆轨道在同一水平面上，这其实也是一种理想化处理。

## 教学片段

### 火车转弯问题分析

问题1. 图6-17甲是火车转弯时的情景，你是否见过火车在水平面上转弯的情景？为什么游乐园的小火车可以在水平面内转弯而大火车不行？

问题2. 如图6-17乙所示，为什么火车的轮子都有突出的轮缘，有何作用？

问题3. 如图6-17甲所示，火车转弯时，圆周运动平面是哪个？圆心在哪里？向心加速度的方向向哪？向心力的来源是什么？

问题4. 如图6-17乙所示，若轮缘与轨道没有接触，车轮与轨道间的摩擦力与火车所受重力相比可忽略不计。火车受几个力的作用？向心力的来源是什么？你能画出示意图吗？

问题5. 此时火车运行的速度由什么因素决定？

问题6. 如果火车速度大于或小于前面求得的速度，会出现什么情况？

问题7. 火车转弯与汽车转弯中的哪一种情况有相似之处？



甲



乙

图6-17

### (2) 汽车过拱形桥和凹形路面

学生一般有在拱形桥和凹形路面上乘坐汽车的经历，最好先让学生建立生活体验与路面状态的对应关系，再通过建立物理模型，用物理知识加以解释。

## 教学片段

### 汽车过拱形桥和凹形路面问题分析



甲



乙

图6-18

问题1. 当你坐汽车经过如图6-18甲所示的桥面时，你有什么感觉？汽车在最高点时对桥的压力会有什么特点？

问题2. 在分析这个问题时桥面可近似看作什么形状? 汽车过桥可近似看作是什么运动? 受力情况怎样?

问题3. 若质量为 $m$ 的汽车在拱形桥上以速度 $v$ 行驶, 桥面的圆弧半径为 $R$ 。则汽车对桥的压力多大?

问题4. 如果汽车速度不断变大, 会出现什么情况?

问题5. 当你坐汽车经过如图6-18乙所示因下陷形成的凹形路面时, 你有什么感觉? 汽车在最低点时对路面的压力会有什么特点?

问题6. 为了求解前面的问题, 凹形路面可近似看作什么形状? 汽车过凹形路面可近似看作是什么运动? 受力情况怎样?

问题7. 若质量为 $m$ 的汽车在凹形路面上以速度 $v$ 行驶, 路面的圆弧半径为 $R$ 。则汽车对凹形路面最低点的压力多大?

问题8. 汽车对拱形桥的压力小于汽车的重力与汽车对凹形路面的压力大于汽车的重力的原因是什么? 与电梯中的超、失重现象背后的原因是否相同?

问题9. 汽车以恒定的速度 $v$ 通过图6-19中所示的地段, 在哪个位置更容易爆胎?

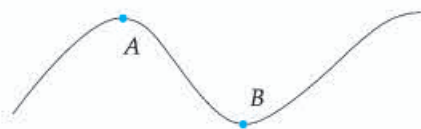


图6-19

对问题8的讨论有利于知识的联系和对本质的把握, 也为下面超、失重问题的讨论做了准备。

### (3) 航天器中的失重现象

教材中的“思考与讨论”以“把地球看作一个巨大的拱形桥”为基础, 引出航天器中的失重现象的讨论, 引导学生用类似的处理方法解决航天器中的失重现象。这也是超重和失重问题在太空情景中的延续。

### 教学片段

#### 探究航天器中的失重现象



甲



乙



丙

图6-20

问题1. 如图6-20甲、乙所示, 太空中的小球与陀螺相对于太空舱处于静止状态, 没有下落。它们受到地球对它的引力吗? 为什么?

问题2. 如图6-20丙所示, 如果把地球看作一个巨大的拱形桥, 汽车速度多大时, 支持力会变成0? 此时汽车是否就成了环绕地球飞行的物体?

问题3. 如图6-20乙所示, 站在太空舱中的王亚萍对太空舱的作用力有多大? 要回答这个问

题首先应该做什么？

问题4. 王亚萍相对地球做什么运动？半径近似为多少？受什么力的作用？向心加速度的方向指向哪？

问题5. 你所列的方程是怎样的？所得的答案是什么？

问题6. 蹦极、过拱形桥和在太空中环绕地球飞行都可能出现完全失重现象（压力或拉力为0），它们的本质相同吗？

通过观察太空中发生的现象，认识完全失重现象。先通过用汽车过拱形桥类比，再建立运动模型后求解。从小球、陀螺到汽车，再到航天员，要注意引导学生关注研究对象的变化。

#### （4）离心现象

学生在生活中都观察过类似的现象，所以认识这种运动并不困难，困难的是如何用科学的概念和规律解释离心运动。学生用生活语言分析离心现象时，经常错误地将“惯性”当成“力”，从生活语言到物理语言是一个逐步发展的过程，教师既要引导学生用自己的语言解释实际现象，又要适时纠正学生不合理的表述，使表述逐步科学规范。

汽车滑移、洗衣机脱水和洗完手后甩几下等，都是生活中较常见的现象，要引导学生用所学的知识分析、解释这些现象。

#### 教学片段

##### 理解离心现象



甲



乙

图6-21

问题1. 如图6-21甲所示，汽车转弯时需要限速，如果速度过大，会出现什么现象？为什么？

问题2. 在图6-21乙所示的甩干桶模型中，放一些沾满水的餐巾纸，用来模拟衣服，启动转动装置，让甩干桶转起来，观察发生的现象。水滴在甩出来之前做圆周运动的向心力是多大？向心力是由谁提供的？随着转速的增大，提供的向心力和需要的向心力两者之间会发生什么变化？

问题3. 洗完手后我们经常甩手，让我们一起来做做（集体甩手）。这样做的目的是什么？甩手的时候，是因为水滴不受力了才被甩出去的吗？

问题4. 生活中还有哪些地方利用了离心现象？

### 3. “练习与应用” 参考答案与提示

本节共5道习题，根据所学知识，通过模型建构、推理论证分析解决实际生产、生活中的圆

周运动问题。第1题求飞轮上螺丝钉的向心力大小。第2题依据 $F = m\omega^2 r$ 结合受力情况分析角速度 $\omega$ 与夹角 $\theta$ 的关系。第3题研究水平面上汽车所受最大静摩擦力是否能保证其安全转弯，让学生恰当地使用证据证明已经发生侧滑的结论。第4、第5题研究竖直面上做变速圆周运动的物体在最高点和最低点的受力问题。

### 1. $7.9 \times 10^4 \text{ N}$

提示：小螺丝钉做匀速圆周运动所需要的向心力 $F$ 由转盘提供，根据牛顿第三定律，小螺丝钉将给转盘向外的作用力，转盘在这个力的作用下，将对转轴产生作用力，大小也是 $F$ 。 $F = m\omega^2 r = m(2\pi n)^2 r = 7.9 \times 10^4 \text{ N}$ 。

联系生活实际，运用向心力公式 $F = m\omega^2 r = m(2\pi n)^2 r$ 求转轴受到的力。通过学习圆周运动规律在生活中的具体应用，结合日常生活中的某些体验，进一步理解圆周运动的规律，加深物理知识在头脑中的印象，使物理课堂更贴近生活，使物理知识真正走近学生，据此激发学生的问题意识，拓宽学生的思维空间。在生活中，手机的震动器（图6-22）就是利用偏心装置在旋转时产生震动进行工作的。

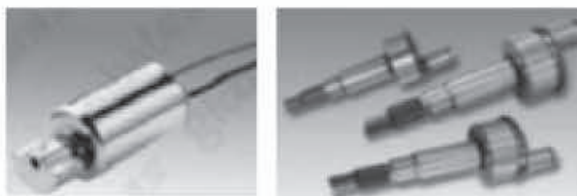


图6-22

$$2. \omega = \sqrt{\frac{g \tan \theta}{r + L \sin \theta}}$$

提示：如图6-23所示，由向心力公式 $F = m\omega^2 r$ 得 $mg \tan \theta =$

$$m\omega^2 (r + L \sin \theta), \text{ 则 } \omega = \sqrt{\frac{g \tan \theta}{r + L \sin \theta}}$$

以游乐项目“飞椅”为素材，练习根据 $F = m\omega^2 r$ 分析角速度 $\omega$ 与夹角 $\theta$ 的关系。

### 3. 会发生侧滑。

提示：解这个题有两种思路。

第一种：假设汽车不发生侧滑，由于是静摩擦力提供的向心力，所以向心力应有最大值，根据牛顿第二定律，有 $F = ma = m\frac{v^2}{r}$ ，所以一定对应有最大拐弯速度，设为 $v_{\max}$ ，则 $v_{\max} = \sqrt{\frac{F_{\max} r}{m}} = \sqrt{\frac{1.4 \times 10^4 \times 50}{2.0 \times 10^3}} \text{ m/s} = 18.7 \text{ m/s} \approx 67 \text{ km/h} < 72 \text{ km/h}$ 。所以，如果汽车以72 km/h的速度拐弯时，将会发生侧滑。

第二种：假设汽车以72 km/h的速度拐弯时不发生侧滑，所需向心力为 $F$ ，则 $F = m\frac{v^2}{r} = 2.0 \times 10^3 \times \frac{20^2}{50} \text{ N} = 1.6 \times 10^4 \text{ N} > 1.4 \times 10^4 \text{ N}$ 。汽车以72 km/h的速度拐弯时，静摩擦力不足以提供相应的向心力，将会发生侧滑。

以汽车转弯为背景，重力与支持力平衡，侧向静摩擦力提供向心力，将所需要的静摩擦力与

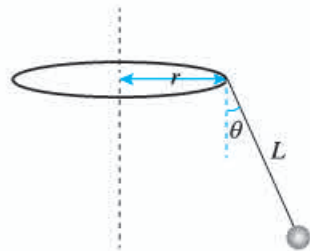


图6-23

最大静摩擦力比较，或者将最大静摩擦力对应的最大转弯速度与72 km/h比较，或者比较半径，从而判断汽车是否发生侧滑。通过实例分析，让学生在巩固知识的同时，拉近物理与生活、模型与实际的距离，培养学生从不同视角分析同一问题的素养和发散思维。同时，从不同角度的分析也能使学生了解交通安全常识，如为保证安全过弯，可以在转弯处设置限速标志、也可以采用摩擦系数更大的轮胎来增大最大静摩擦力，等等。

4. (1)  $7.44 \times 10^3 \text{ N}$  ; (2) 79.6 km/h ; (3) 半径越大越安全; (4) 7.9 km/s

提示：(1) 如图6-24所示，汽车在桥顶部做圆周运动，重力

$mg$  和支持力  $F_N$  的合力提供向心力，即  $mg - F_N = m \frac{v^2}{r}$ 。汽车所受支持力

$F_N = mg - m \frac{v^2}{r} = 800 \times \left( 9.8 - \frac{5^2}{50} \right) \text{ N} = 7.44 \times 10^3 \text{ N}$ 。

根据牛顿第三定律，汽车对桥顶的压力大小也是  $7.44 \times 10^3 \text{ N}$ 。

(2) 根据题意，当汽车对桥顶没有压力时，即  $F_N = 0$ ，对应的速度为  $v$ ，则  $v = \sqrt{gr} = \sqrt{9.8 \times 50} \text{ m/s} = 22.1 \text{ m/s} = 79.6 \text{ km/h}$ 。

(3) 汽车在桥顶部做圆周运动，重力  $mg$  和支持力  $F_N$  的合力提供向心力，即  $mg - F_N = m \frac{v^2}{r}$ 。汽车所受支持力  $F_N = mg - m \frac{v^2}{r}$ 。

对于相同的行驶速度，拱桥圆弧半径越大，桥面所受压力越大，汽车行驶越安全。

(4) 根据第二问的结论，对应的速度  $v = \sqrt{gR} = \sqrt{9.8 \times 6400} \text{ m/s} = 7.9 \times 10^3 \text{ m/s} = 7.9 \text{ km/s}$ 。

以汽车过拱桥最高点为背景，通过计算和分析，使学生认识到汽车过拱桥时的速度不能过大。拱桥圆弧半径越大，桥面所受压力越大，汽车行驶越安全。想象若拱桥的半径增大到地球半径，则汽车从“桥面”上腾空的最小速度为7.9 km/s，可以帮助学生展开思维，培养学生的想象能力和创新思维，为下一章的学习埋下伏笔。

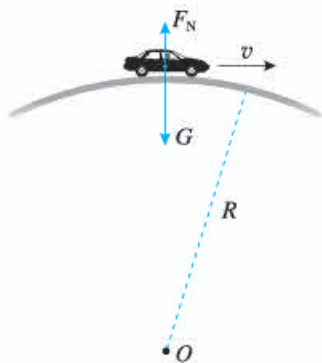


图6-24

5. 500 N

提示：小孩在重力和秋千板的支持力两个力的作用下做圆周运动，在最低点有  $F_N - mg = m \frac{v^2}{r}$ ，

由此得  $F_N = mg + m \frac{v^2}{r} = 500 \text{ N}$ 。

小孩对秋千板的压力与秋千板对他的支持力大小相等，也是500 N，方向竖直向下。

以荡秋千为素材，练习用向心力公式求秋千板对小孩的支持力，用牛顿第三定律求小孩对秋千板的压力。



### 三、“复习与提高” 参考答案与提示

A、B两组共14道习题，大致可分为三个层次。

第一层次的习题。让学生系统理解与圆周运动相关的物理概念和规律，形成物理观念，并进行科学推理。如让学生用思维导图理解、并对运动进行分类，计算圆周运动各个物理量的规律及其相互关系，进行向心加速度方向和公式的理论推导。

第二层次的习题。将各种实际问题转换为一个或者多个物理模型，通过计算推理得出结论，培养学生的科学思维、探究精神，让学生逐步形成对身边观察到的现象进行抽象进而应用物理规律解决实际问题的科学态度。如在空间站中模拟重力，两种洗衣机脱水过程的受力分析，频闪照相中匀速圆周运动的追击问题，圆周运动径向连接体问题，水平面内圆锥摆问题，与平抛运动结合的竖直面内圆周运动的临界问题。

第三层次的习题。练习将实际问题中的对象转换成物理模型的能力，对综合性问题进行分析推理获得结论，并采用不同的方式对同一问题进行分析论证，对学生的能力要求较高。如水平面内圆锥摆问题，杆连接体竖直面内的圆周运动，将竖直面内圆周运动和平抛运动结合并讨论平抛运动的极值问题，场地自行车问题中正交分解法的灵活应用。

#### A组

1. 如图6-25所示。

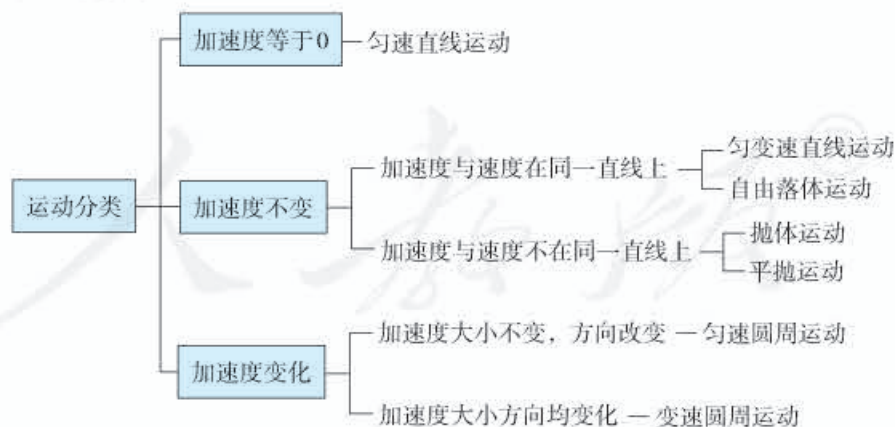


图6-25

2.  $v_A : v_B : v_C : v_D = 2 : 1 : 2 : 4$ ,  $\omega_A : \omega_B : \omega_C : \omega_D = 2 : 1 : 1 : 1$ ;  
 $a_A : a_B : a_C : a_D = 4 : 1 : 2 : 4$

提示：在皮带传动中，同轴转动的角速度大小相等。同一皮带轮缘的线速度大小相等，以此为突破口分析线速度、角速度与半径之间的关系，向心加速度与线速度和角速度之间的关系。

3.  $\sqrt{\frac{g}{r}}$

提示：宇航员站在地球表面时有  $F_N = mg$ ，要使宇航员站在旋转舱内圆柱形侧壁上，受到与他站在地球表面时相同大小的支持力，则  $F_N = mr\omega^2$ ，由此解得  $\omega = \sqrt{\frac{g}{r}}$ 。

4.  $m\omega^2 L$

提示：小球  $A$  受到重力、支持力和杆向右的拉力  $F_A$ ，根据牛顿第二定律有  $F_A = \frac{3m\omega^2 L}{2}$ 。小球  $B$  受到重力、支持力和杆向左的拉力  $F_B$ ，根据牛顿第二定律有  $F_B = \frac{m\omega^2 L}{2}$ 。根据牛顿第三定律，小球  $A$  对杆的拉力大小  $F_A' = F_A = \frac{3m\omega^2 L}{2}$ ，方向水平向左。小球  $B$  对杆的拉力大小  $F_B' = F_B = \frac{m\omega^2 L}{2}$ ，方向水平向右。轻杆受  $F_A'$ 、 $F_B'$ 、转轴对杆的拉力  $F$ ，根据平衡条件得  $F_A' = F + F_B'$ ，由此解得  $F = m\omega^2 L$ ，方向向右。根据牛顿第三定律，杆对转轴的拉力大小  $F' = F = m\omega^2 L$ 。

本题从运动学角度看连接各物体有相同的角速度、周期和圆心，从力学角度看彼此间通过轻杆有拉力相互作用，解题的关键是明确研究对象，用隔离法进行正确的受力分析，列方程求解。

5. 滚筒洗衣机的脱水筒匀速旋转时，附着在筒壁上的衣服做圆周运动的向心力由重力和弹力提供。衣服在最高点时，附着在潮湿衣服上的水的重力和衣服与水之间的分子力的合力提供向心力。对比最高点和最低点水的受力情况可知，在同一转速的情况下，水在最低点所受到的分子力更大，所以更容易在最低点从漏水孔甩出，做离心运动。

6. 0.06 N ; 3.55 N

提示：分析硬币的受力情况如图 6-26 所示。

由表格中的数据可知，脱水桶的转速  $n = 600 \text{ r/min} = 10 \text{ r/s}$ ，脱水桶的直径  $D = 0.3 \text{ m}$ ，则半径  $r = 0.15 \text{ m}$ 。在水平方向由弹力提供向心力，即  $F_N = m\omega^2 r$ ，得  $F_N = 3.55 \text{ N}$ 。

在竖直方向上，摩擦力与重力平衡，故  $F_f = G = 0.06 \text{ N}$ 。

让学生分析并计算生活中常见的波轮洗衣机中物体的受力情况，以培养学生应用理论知识解决实际问题的能力。

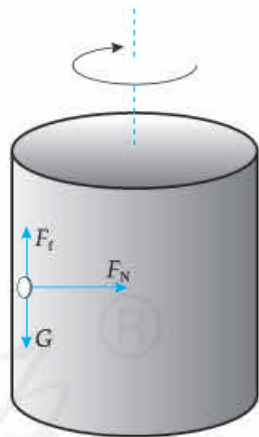


图 6-26

7.  $\sqrt{\frac{2g}{R}}$

提示：小物块不受摩擦力，由重力和支持力的合力提供向心力。小物块在水平面内做匀速圆周运动，故其半径为  $R \sin 60^\circ$ ，再根据向心力公式求得  $\omega = \sqrt{\frac{2g}{R}}$ 。

### B 组

1. (1) 2 m/s ; (2) 0.8 m

提示：(1) 小球在  $B$  点速度最小时，小球与半圆环轨道间的弹力恰好等于 0，此时小球仅受竖直向下的重力作用，根据牛顿第二定律有  $mg = m \frac{v_{\min}^2}{R}$ ，解得  $v_{\min} = \sqrt{gR} = 2 \text{ m/s}$ 。

(2) 小球从B点水平飞出后做平抛运动, 小球以最小速度平抛时距离最小, 设小球做平抛运动的时间为 $t$ , AC间最小距离为 $x$ , 则水平方向有 $x = vt$ , 竖直方向有 $2R = \frac{1}{2}gt^2$ 。由此解得 $t = 0.4\text{ s}$ ,  $x = 0.8\text{ m}$ 。

2. (1)  $\frac{l\theta}{t^2}$ ; (2)  $\frac{\Delta v}{t}$

提示: (1) 质点做圆周运动的半径 $r = \frac{l}{\theta}$ , 角速度 $\omega = \frac{\theta}{t}$ , 向心加速度的大小 $a_n = r\omega^2 = \frac{l\theta}{t^2}$ 。

(2) 如图6-27甲所示, 设物体在A点时速度为 $v_A$ , 经过很短的时间 $\Delta t$ 运动到B点, 速度为 $v_B$ , 转过的角度为 $\theta$ , 速度变化量 $\Delta v = v_B - v_A$ , 如图6-27乙所示。

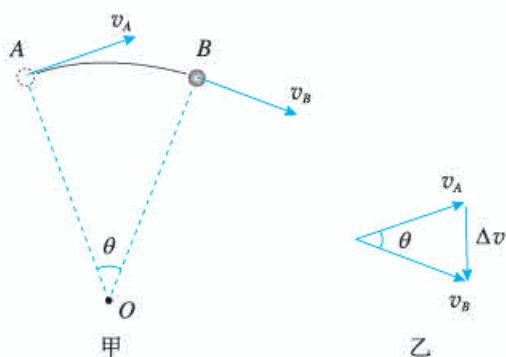


图6-27

比值 $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 是物体在 $\Delta t$ 时间内的平均加速度, 方向与 $\Delta v$ 的方向相同。当 $\Delta t$ 趋近于0时,  $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ 就表示物体在A点的瞬时加速度。在图示的矢量三角形中,  $v_A = v_B = v$ , 当 $\Delta t$ 趋近于0时,  $\theta$ 也趋近于0,  $\Delta v$ 的方向趋近于跟 $v_A$ 垂直, 且指向圆心, 所以向心加速度的方向沿半径指向圆心。由以上分析知, 向心加速度大小 $a_n = \frac{\Delta v}{t}$ 。

向心加速度的方向和公式的推导是一个难点内容, 本题用三角形法则较好地突破了速度与速度变化量的方向关系的难点, 并结合极限思想推导向心加速度公式, 加强用数学工具解决物理问题的训练, 培养学生严谨的科学态度和科学推理能力。

3. 观察到白点逆时针转动, 周期为1 s。

提示: 圆盘转动一周所需要的时间为 $T_1 = \frac{1}{20}\text{ s}$ , 频闪光源每隔 $T_2 = \frac{1}{21}\text{ s}$ 闪一次, 所以频闪光源每闪一次, 白点尚未运动一周, 故观察到白点逆时针转动。每次闪光, 白点与原位置相差的角度 $\Delta\theta = 2\pi - \omega_1 T_2 = 2\pi - \frac{2\pi}{T_1} \times T_2 = \frac{2\pi}{21}$ , 所以白点转动的周期 $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\frac{\Delta\theta}{T_2}} = 1\text{ s}$ 。

本题实际上是两个质点以不同的角速度做匀速圆周运动的追击问题, 即 $\frac{1}{T} = \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} = n_2 - n_1$ 。学生在分析问题时, 会错误地认为频闪比圆盘转动的快, 看到白点的转动会更快, 其实应当分析每次闪光时白点所在位置的变化才能判断白点转动的方向, 并计算出白点转动的周期。

4. (1) 因转动的角速度大小未知, 故小球在最高点时, 杆对球的作用力 $F_1$ 方向不能确定。

假设  $F_1$  的方向竖直向下。根据  $F_1 + mg = m\omega^2 l$  解得  $F_1 = m(\omega^2 l - g)$ 。

若  $\omega > \sqrt{\frac{g}{l}}$ ，杆对小球的拉力大小为  $F_1 = m(g - \omega^2 l)$ ，方向竖直向下。

若  $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$ ， $F_1 = 0$ ，杆对小球恰好无作用力。

若  $\omega < \sqrt{\frac{g}{l}}$ ，杆对小球的支持力大小为  $F_1 = m(g - \omega^2 l)$ ，方向竖直向上。

(2) 小球运动到水平位置  $A$  处时，杆对球的竖直方向分力  $F_y = mg$ ，水平分力  $F_x = m\omega^2 l$ ，故杆对球的作用力大小  $F_2 = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{m^2 \omega^4 l^2 + m^2 g^2}$ 。设该作用力与水平方向夹角为  $\theta$ ，则有  $\tan \theta =$

$$\frac{F_y}{F_x} = \frac{mg}{m\omega^2 l} = \frac{g}{\omega^2 l}$$

故在位置  $A$  处杆对球的作用力方向斜向上，与水平方向夹角为  $\theta = \arctan \frac{g}{\omega^2 l}$

提示：对于竖直平面内的圆周运动，要注意在最高点，杆对球的作用力可能是拉力，也可能是支持力，还可能无作用力。通过分类讨论，以培养学生的发散思维和全面分析问题的能力。第(2)问求在  $A$  点杆对球的作用力时，要注意该作用力是杆对球在水平和竖直两个方向的分力的合力。

5. (1)  $m\omega^2 l$ ；(2)  $\omega$  与  $l$  无关；(3) 成正比

提示：(1) 如图 6-28 甲所示，小球受到重力和沿细绳方向的拉力，设细绳与竖直方向的夹角为  $\theta$ 。沿水平方向轴方向有  $F_n = F \sin \theta = m\omega^2 l \sin \theta$ ，解得细绳对小球的拉力  $F = m\omega^2 l$ 。

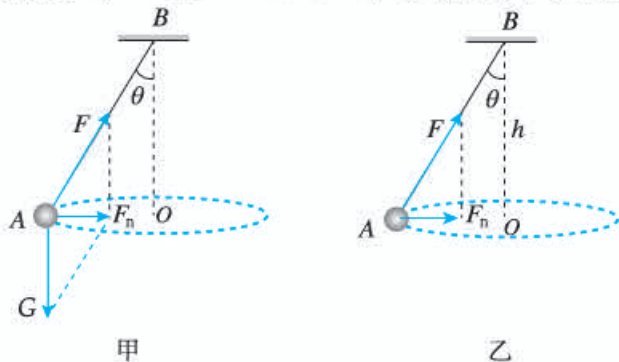


图 6-28

(2) 如图 6-28 乙所示，小球受到重力和细绳拉力的合力指向圆心，有  $mg \tan \theta = m\omega^2 h \tan \theta$ ，解得  $\omega = \sqrt{\frac{g}{h}}$ 。可见，轨迹圆的圆心  $O$  到悬点  $B$  的距离  $h$  不变，改变绳长  $l$  时，角速度  $\omega$  保持不变，与绳长  $l$  无关。

(3) 由第(1)(2)两问的结论  $F = m\omega^2 l$  和  $\omega = \sqrt{\frac{g}{h}}$ ，解得  $F = \frac{mgl}{h}$ 。可见，细绳的拉力  $F$  与绳长  $l$  成正比。

6. (1)  $\frac{11}{3} mg$ ；(2) 绳长为  $\frac{d}{2}$ ，最大水平距离为  $\frac{2d}{\sqrt{3}}$

提示：(1) 已知手与球之间的绳长为  $\frac{d}{4}$ ，平抛的水平位移为  $d$ ，设小球在最低点时绳能承受

的最大拉力为  $F_{\max}$ ，根据向心力公式和平抛运动规律，有  $F_{\max} - mg = \frac{mv^2}{d}$ ， $d = vt$ ， $d - \frac{d}{4} = \frac{1}{2}gt^2$ 。

由此解得  $F_{\max} = \frac{11}{3}mg$ 。

(2) 如图6-29所示，设手与球之间的绳长为  $r$ ，平抛的水平位移为  $x$ ，由第1问可知绳能承受的最大拉力为  $F_{\max} = \frac{11}{3}mg$ ，根据向心力公式和平抛运动规律，有  $F_{\max} - mg = \frac{mv^2}{r}$ ， $x = vt$ ， $d - r = \frac{1}{2}gt^2$ ，由此解得  $F_{\max} = mg + \frac{x^2}{2r(d-r)}mg$ 。当  $F_{\max} = \frac{11}{3}mg$  时，代入上式有  $x^2 = \frac{16}{3}r(d-r)$ ，则当  $r = \frac{d}{2}$  时， $x_{\max} = \frac{2d}{\sqrt{3}}$ 。

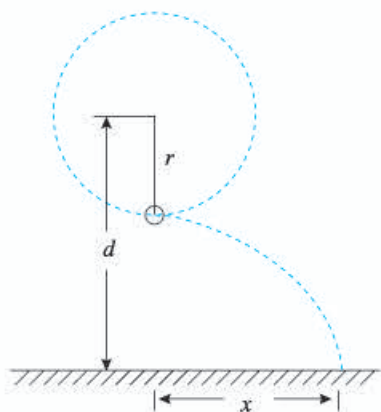


图6-29

根据临界状态下圆周运动和平抛运动表达式求解最大拉力，并进一步建立二次函数表达式进行分析讨论，体现数理结合的方法。

7. (1) 12.7 m/s ; (2) 263 N，方向沿着倾斜路面指向内侧

提示：(1) 自行车恰好不受摩擦力时，运动员和自行车所受重力及赛道支持力的合力提供向心力，根据牛顿第二定律有  $mg \tan 15^\circ = m \frac{v_0^2}{r}$ ，解得  $v_0 = \sqrt{gr \tan 15^\circ} = 12.7 \text{ m/s}$ 。

(2) 运动员骑自行车以  $v_1 = 18 \text{ m/s}$  做匀速圆周运动时，因  $v_1 > v_0$ ，故赛道给自行车的静摩擦力  $F_f$  沿斜面向下，受力分析如图6-30所示。

在  $x$  轴方向由牛顿第二定律可知  $F_f + mg \sin 15^\circ = ma_x$ 。将自行车水平加速度沿  $x$  轴分解得  $a_x = a \cos 15^\circ$ ，再根据向心加速度公式  $a = \frac{v^2}{r}$ ，联立解得  $a = 5.4 \text{ m/s}^2$ ， $a_x = 5.22 \text{ m/s}^2$ ， $F_f = 263 \text{ N}$ 。

摩擦力方向沿着倾斜路面指向内侧。

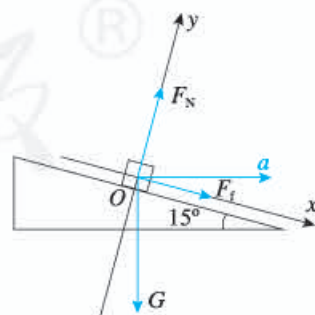


图6-30

以场地自行车比赛圆形赛道为背景，在新的情景中巩固处理火车转弯问题的思路和方法。当恰好无摩擦力时，赛道的支持力和重力的合力提供向心力，当圆周运动的速度超过临界速度时，向心力增大，使赛道提供向内的静摩擦力。实际上，场地自行车赛道并不是圆形，各处的坡度和对应的曲率半径也不相同，所以应是特指在赛道上的某一处，且不能说做匀速圆周运动。

## 四、参考资料

### 1. 速度方向变化的快慢

(1) 怎样描述速度的方向和方向变化的快慢?

速度是矢量, 一般情况下它们的方向都用表示速度的有向线段与坐标轴的夹角表示。对于平面运动可在平面上选定一轴  $Ox$ , 速度方向由速度矢量与  $Ox$  轴的夹角  $\varphi$  表示,  $\varphi$  也称为速度的方位角, 如图 6-31 所示。

当质点做曲线运动时, 速度方向时时改变, 方位角亦随之改变。设  $t$  时刻速度为  $v$ , 方位角为  $\varphi$ 。  $t+\Delta t$  时刻速度为  $v'$ , 方位角为  $\varphi' = \varphi + \Delta\varphi$ 。方位角的改变量  $\Delta\varphi = \varphi' - \varphi$  就表示速度的方向在  $\Delta t$  时间内的变化。比值  $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$  表示方位角的变化快慢, 称为速度方向的平均变化率, 取此值的极限得

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}$$

它表示在  $t$  时刻速度方向的变化率。所以速度方向的变化快慢, 由速度的方位角对时间的导数来描述。

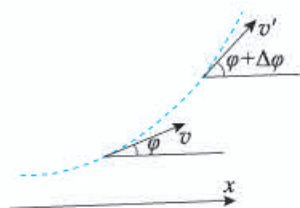


图 6-31

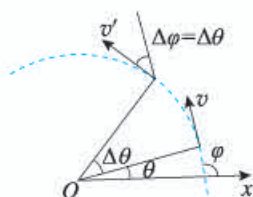


图 6-32

设质点作圆周运动, 如图 6-32 所示建立  $Ox$  轴, 则质点速度的方位角  $\varphi$  与角坐标  $\theta$  之间的关系为

$$\varphi = \theta + \frac{\pi}{2}$$

所以有

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{d\theta}{dt} = \omega$$

即速度方向的变化率等于质点的角速度  $\omega$ 。可见, 对于圆周运动, 角速度就表示了速度方向变化的快慢。

(2) 向心加速度不描述速度方向变化的快慢

向心加速度  $a_n = \frac{v^2}{r} = v\omega$ , 即向心加速度等于速率与角速度之积。前面已指出, 角速度描述

速度方向变化的快慢，因而不能说向心加速度描述了速度方向变化的快慢。

例如，有三个质点做匀速率圆周运动，它们的角速度 $\omega$ 相同，半径不同，分别为 $r_1$ 、 $r_2$ 和 $r_3$ 。由 $a=r\omega$ 可知，它们的向心加速度不同。而速度方向的变化率 $\omega=\frac{d\theta}{dt}$ 却相同，如图6-33所示。

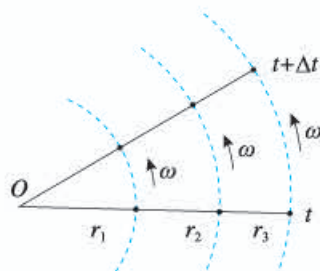


图6-33

又如两个质点作匀速率圆周运动，一个半径为 $r_1$ ，角速度为 $\omega_1$ ；另一个半径为 $r_2=4r_1$ ，而角速度 $\omega_2=\frac{1}{2}\omega_1$ ，它们的向心加速度相同，即 $r_1\omega_1^2=r_2\omega_2^2$ 。它们的速度方向的变化率之比为2:1。

可见，不能认为向心加速度描述了速度方向变化的快慢。

根据公式 $a_n=\frac{v^2}{r}=v\omega$ ，只能说，对速率相同的质点，向心加速度的大小可描述速度方向变化的快慢。

### (3) 怎样正确理解向心加速度的意义

向心加速度（或法向加速度）是由速度的方向变化引起的。根据定义可知

$$a_n = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta v|}{\Delta t}$$

其中 $\Delta v$ 是由于速度方向变化而引起的速度矢量的改变量， $|\Delta v|$ 既与速度方向的改变量 $\Delta\theta$ 有关，又与速度的大小 $v$ 有关。所以 $a_n$ 不只是表示方向角的变化 $\Delta\theta$ 。

根据向心加速度的定义，向心加速度或法向加速度的物理意义是：它描述了由于速度方向的变化而引起的速度矢量的变化率。

## 2. 离心运动的应用

一池污水，若顺其自然靠重力沉降，往往需要几个月才能清浊分明。微粒的沉降，由于存在着分子热运动的干扰作用，靠重力作为推动力不仅极其缓慢有时甚至是不可能的。例如，在蔗糖水溶液中，蔗糖分子要沉降1 mm就需要100年。啤酒、果汁何以清澈透亮？如何从牛奶中提取奶油？如何将油田中喷出的油水混合液进行油水分离？如何将血液中的血细胞和血浆分开？究竟依靠的是何种推动力呢？

### (1) 离心分层现象

在一个盛有清水的圆筒形容器（转鼓）中，倒入一组同样大小的钢球和木球，然后启动电机使其绕轴高速旋转。此时，由于离心力的大小正比于物体的质量（在体积相同的正比于它的密度），所以钢球很快被甩到最外层，而木球则被推向转轴，清水则占据了“中间地带”（图6-34）。可见，一旦转鼓高速转动起来，容器中的物质就会按密度分层排列。密度小者（轻相）聚集在“中央”即转轴附近，密度大者（重相）则分散在“边区”即转鼓壁附近。这种现象称为离心沉降。如果在转鼓上开满小孔，则其中的液体就会在离心力作用下通过小孔被“驱逐出境”，而固体颗粒则停留在转鼓壁面上，从而达到脱水的目的，这种现象称为离心过滤。例如，奶油的提取，啤酒、酒、果汁的澄清，污水的净化，就属于离心沉降；而煤、矿石和海盐的脱水等则属于离心过滤。

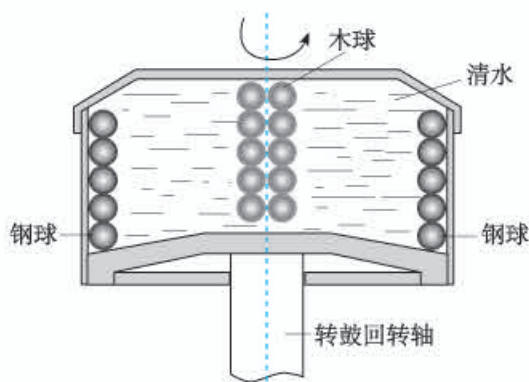


图 6-34

上面这个实验告诉我们，要将存在密度差的两种物体（液体或固体）高效地分离开来，可以依靠惯性离心力，它是由物体做高速转动所产生的。瑞典科学家斯维伯格和比姆斯曾使用比重力场大五万至十万倍的离心力场，高效地完成像细菌、病毒等超细微粒（直径只有万分之几乃至十万分之几毫米）的沉降，将它们从水状悬浮液中分离出来。

### (2) 离心分离术

啤酒何以清澈透亮？原来，这也与离心分离密切相关。在麦汁中含有一种极不稳定的凝固物，应尽量减少其含量才能保证成品啤酒不致出现冷混浊现象。然而这种凝固物的粒子极其微小，直径仅有  $0.1\sim 0.5\ \mu\text{m}$ ，很难除净。若采用高速离心机进行处理，就比较容易实现净化。因为这种粒子虽然极微小，但由于它与液相之间存在密度差，所以一旦进入强大的离心力场后，二者立即“分道扬镳”，从而可以很容易把凝固物粒子剔除。

一种名叫“离心浇铸”的先进技术，也得益于这种分离术。当模具绕一固定轴旋转达到  $500\ \text{r/min}$  时，将熔化了的金属倒入其中，夹杂在液态金属里的气体和熔渣，由于其密度远小于液态金属，因此它们将从金属里被分离出来跑向模具的空处。按此法浇铸出的金属零件密实、均匀，可以大大提高使用寿命。

## 3. 高速转动物体的极限转速

转动物体各媒质元都做圆周运动，因而都需要向心力。这些向心力由它与周围媒质元的相互作用提供。因此，在转动物体形成一种因转动而产生的应力。当转速过高时，物体会因应力过大而断裂。那么，高速转动的物体断裂前的极限转速是多大呢？

设一个半径为  $R$ 、厚度为  $a$ 、密度为  $\rho$  的匀质圆盘，以角速度  $\omega$  绕过盘心的固定轴转动。在圆盘上任取一半径为  $r$  ( $r < R$ )，宽度为  $dr$  的细圆环（见图 6-35），由对称性知，环上各处应力相同。在环上再任取一小段  $dl$ ，其质量为  $dm$ ， $dl$  所对应的张角为  $d\theta$ 。可以看出， $dl = r d\theta$ 。而且

$$dm = \rho a dl dr = \rho a r dr d\theta$$

它所受到的向心力为

$$F = \omega^2 r dm = \rho a r^2 \omega^2 dr d\theta \quad (1)$$

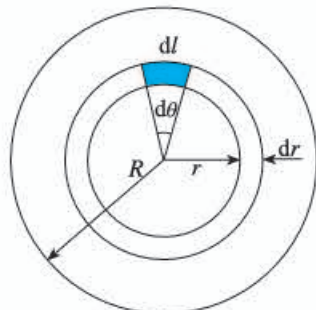


图 6-35



而其他媒质元对它的作用应力  $F_T$  可看作是沿切线且方向相反的一对力 (见图 6-36)。从几何关系可以看出, 这对力产生的合力  $F$  指向圆心, 大小为

$$F = 2F_T \sin\left(\frac{d\theta}{2}\right) = \rho ar^2 \omega^2 dr d\theta \quad (2)$$

当  $d\theta$  足够小时,  $\sin\left(\frac{d\theta}{2}\right) \approx \frac{d\theta}{2}$ 。联立求解式 (1) 与式 (2) 得切应力为

$$F_T = \rho ar^2 \omega^2 dr$$

又因为  $\omega = 2\pi n$  ( $n$  为转速), 则

$$F_T = 4\pi^2 n^2 \rho ar^2 dr$$

可见  $F_T$  与  $r^2$  成正比, 应力最大处应在圆盘边缘, 即最大切应力为

$$F_{T\max} = 4\pi^2 n^2 \rho a R^2 dr$$

对于一根棒 (或杆) 来说, 若对其施以拉力  $F_T$ , 则  $F_T$  与棒的截面积  $A$  之比称为抗张强度。当拉力与截面积之比超过某一临界值时, 棒就会断裂。这个临界值  $S$  称为极限抗张强度, 所以转动物体的极限抗张强度  $S$  为

$$S = \frac{F_{T\max}}{adr} = \frac{4\pi^2 n^2 \rho a R^2 dr}{adr} = 4\pi^2 n^2 \rho R^2 \quad (3)$$

由式 (3) 解得极限转速  $n_{\max}$  为

$$n_{\max} = \frac{1}{2\pi R} \sqrt{\frac{S}{\rho}} \quad (4)$$

例如, 某砂轮的外径  $D$  为 400 mm、安全工作线速度  $v$  为  $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。根据线速度与转速的关系, 可以求出安全工作转速  $n$  为

$$n = \frac{60v}{2\pi R} = \frac{60v}{\pi D} = 2389 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$$

这种砂轮的极限抗张强度  $S$  约为  $1.50 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ , 密度  $\rho$  约为  $2.5 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。由式 (4) 知它的极限转速  $n_{\max}$  为

$$n_{\max} = \frac{1}{\pi D} \sqrt{\frac{S}{\rho}} = 61.7 \text{ r} \cdot \text{s}^{-1} = 3700 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$$

为了保证砂轮在高速磨削过程中有足够的强度不破裂, 出厂前应按安全工作转速的 1.5 倍进行检测。

#### 4. 匀速率圆周运动的向心力、频率和半径

选一根圆珠笔杆, 取一根 2.5 m 长的尼龙丝, 一端系一个橡胶塞 (或小沙袋); 另一端穿过圆珠笔杆, 然后吊上 6 个 1 cm 外径的铁垫圈或两个 M10 的螺母, 最后再在尾端打一死结。用一枚曲别针穿过死结, 作为防止垫圈滑脱的阻挡物, 见图 6-37。调节尼龙丝, 使橡胶塞距圆珠笔杆的顶口 (笔尖部) 的线长为 1 m。握住圆珠笔杆, 并在头的上方尽量使橡胶塞在一个水平面内做匀速圆周运动。此时垫圈或螺母的重力成为橡胶塞圆周运动的向心力。为了检查转

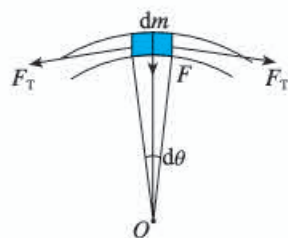


图 6-36

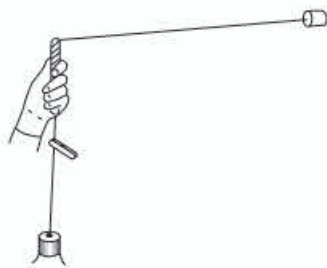


图 6-37

动是否平稳，可用一个鳄鱼夹夹在圆珠笔杆下口的线上。记录垫圈的个数和使橡胶塞保持匀速转动的频率。调节水平部分线的长度，使旋转半径先增加 $\frac{1}{2}$ 倍，然后再减小 $\frac{1}{2}$ ，分别数出使橡胶塞仍能做匀速转动的频率。看频率的增减与旋转半径的变化相同还是相反？是否成正比？取下曲别针，先后增加垫圈的数量至最初的1.5倍和2倍（这相当于增大了向心力），保持初态的半径1 m，分别数出橡胶塞匀速转动的频率，看向心力如何影响转动的频率。

## 5. 用圆锥摆验证向心力的表达式

用电动机做一个电动的圆锥摆，可以改变摆长、转速以及小球的质量，做到转速稳定、半径不变、摆角 $\theta$ 不变。

选用220 V交直流电动机（有电刷），如图6-38所示，加长转轴，加长轴的端部有螺杆和螺母，用薄铁片做一个圆片中间打一个圆孔套在轴杆的螺杆上，两侧各打一个小孔做悬挂小球的支架。用直径1 mm左右的铁丝穿过小球做成图中所示的形状，选择不同的长度和不同的小球可以完成不同半径、不同质量的实验。电动机选择不同的低压直流电压，并且用滑动变阻器调速，可获得不同的转速，以改变小球的线速度与角速度。在转动的小球下方靠近轴的位置水平放置一根刻度尺，可以确定摆角。

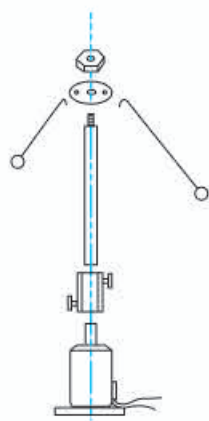


图6-38

## 6. 拱形桥、凹形桥的压力实验

用3 mm的粗铁丝做成如图6-39所示的凹形桥和拱形桥，两个桥的宽度由所用的钢球直径而定，为2~3 cm，小于钢球直径。钢球直径选择在3~4 cm、质量在200 g左右。

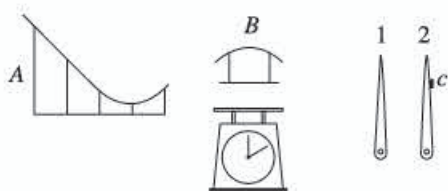


图6-39

将弹簧台秤（测力计）的玻璃卸下，再卸下指针。把薄铁片剪成指针的形状，侧面留出一小块铁皮 $c$ 如图中2所示，向上弯折与指针垂直，作为记忆指针，记忆指针的轴孔略大于原指针1。将记忆指针安装在原指针的下面。

实验时先将拱形桥 $B$ 用夹子固定在台秤上，记下示数，再将钢球放在台秤上，记下示数，将记忆指针推回指针1的位置。将凹形桥 $A$ 安装在铁架台上，并使出口弧线与拱形桥 $B$ 的入口弧线相切，留2~3 mm的间隙，钢球从 $A$ 的某处释放，并能从拱形桥 $B$ 上通过。当钢球从拱形桥 $B$ 通过后，可以看到记忆指针的位置小于钢球静止放在台秤上的示数。改变钢球在凹形桥上的高度，台秤失重的示数也会改变。

将凹形桥固定在台秤上，让钢球从某处开始滚下，可以看出记忆指针的位置所指示的示数大于钢球静止时的示数。改变钢球的高度，超重的数值也会改变。