

上海科技教育出版社 阅览

普通高中教科书

物理

必修

第二册

教师用书



上海科技教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通高中教科书物理必修第二册教师用书 / 束炳如,
何润伟主编. —上海: 上海科技教育出版社, 2019.12

ISBN 978-7-5428-7067-4

I. ①普… II. ①束… ②何… III. ①中学物理课—
高中—教学参考资料 IV. ①G633.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 167868 号

责任编辑 李志棣

封面设计 符 劼

普通高中教科书

物理 必修 第二册

教师用书

总主编 束炳如 何润伟

出版发行 上海科技教育出版社有限公司

(上海市柳州路 218 号 邮政编码 200235)

网 址 www.sste.com www.ewen.co

经 销 各地新华书店

印 刷 上海颀辉印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 9

版 次 2019 年 12 月第 1 版

印 次 2019 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5428-7067-4/G·4110

定 价 27.00 元

总 主 编 束炳如 何润伟

副总主编 母小勇 仲扣庄

本册主编 郭怀中 母小勇

本册作者 (按姓氏笔画为序)

王 苏 王 高

母小勇 李文波

郭怀中 路文艳

上海科技教育出版社

目 录 contents

第0章 本册教材编写思路与教材分析

- 本册教材的教学要求和学业要求 / 1
- 本册教材的地位与作用 / 2
- 本册教材在实现物理学科核心素养和课程目标方面的措施 / 2
- 本册教材的框架结构和逻辑体系 / 6

第1章 功和机械能

- 本章教学目标 / 8
- 全章教材分析与教学要求 / 9
- 各节教材的说明与教学建议 / 12
 - 1.1 动能变化跟做功的关系 / 12
 - 1.2 功与功率 / 15
 - 1.3 动能定理的应用 / 19
 - 1.4 势能的变化与机械功 / 22
 - 1.5 机械能守恒定律 / 25
- 课程资源 / 30
- 补充习题及参考解答 / 34
- 教学案例 / 36

第2章 抛体运动

- 本章教学目标 / 39
- 全章教材分析与教学要求 / 40
- 各节教材的说明与教学建议 / 42
 - 2.1 飞机投弹与平抛运动 / 42
 - 2.2 平抛运动的规律 / 46
 - 2.3 斜抛运动 / 50
- 课程资源 / 53
- 补充习题及参考解答 / 56
- 教学案例 / 57

第3章 圆周运动

本章教学目标 / 61

全章教材分析与教学要求 / 62

各节教材的说明与教学建议 / 64

3.1 怎样描述圆周运动 / 64

3.2 匀速圆周运动的规律 / 68

3.3 圆周运动的案例分析 / 72

3.4 离心现象及其应用 / 76

课程资源 / 81

补充习题及参考解答 / 83

教学案例 / 85

第4章 万有引力与航天

本章教学目标 / 89

全章教材分析与教学要求 / 90

各节教材的说明与教学建议 / 91

4.1 从托勒密到开普勒 / 91

4.2 万有引力定律是怎样发现的 / 94

4.3 飞出地球去 / 99

课程资源 / 104

补充习题及参考解答 / 109

教学案例 / 110

第5章 经典力学的局限性与相对论初步

本章教学目标 / 116

全章教材分析与教学要求 / 117

各节教材的说明与教学建议 / 119

5.1 经典力学的巨大成就和局限性 / 119

5.2 狭义相对论的基本原理 / 121

5.3 相对论的时空观与宇宙演化 / 122

课程资源 / 124

补充习题及参考解答 / 127

教学案例 / 129

亲爱的老师：

欢迎你使用新的沪科教版高中物理教材！

根据《普通高中物理课程标准(2017年版)》的要求，沪科教版高中物理教材编写组完成了普通高中教科书《物理 必修 第一册》《物理 必修 第二册》《物理 必修 第三册》《物理 选择性必修 第一册》《物理 选择性必修 第二册》《物理 选择性必修 第三册》的设计和编写，通过了国家教材委员会专家委员会的审核，并由上海科技教育出版社出版(以下简称“新‘沪科教版’高中《物理》”)，已被教育部列入全国高中新教材用书目录。

新“沪科教版”高中《物理》，严格按照新的普通高中物理课程标准要求，坚持“立德树人”的指导思想，突出科学探究，通过生活情境、物理情境的创设，以问题串、问题链呈现教科书内容，力图全面发展学生的物理学科核心素养和为学生个性化发展创造条件。

本书是配合《物理 必修 第二册》而编写的教师用书。

我们认为，教师用书首先应该充分体现课程改革的理念，展示教科书的特点；要多为教师着想，为教师提供方便；既要提出切实可行的教学建议，又要给教师以充分施展自己才能的空间；既要为教师提供丰富的课程资源，又要帮助教师自己去开发课程资源……

本书努力体现《物理 必修 第二册》的特色，阐明编者编写本模块教材的思路，对教师组织“实验探究”“分析与论证”“学生必做实验”等科学探究活动提供了一些参考建议，并在各章提供了教学案例供参考。本书力求体现师生互动、学生自主学习的新课程理念，旨在提升学生的核心素养，增强学生的创新意识，发展学生的自主学习能力和独立探究能力。

本书还十分重视评价改革，就如何实施过程性评价和总结性评

价,构建发展性的评价体系,与教师进行交流;并且就怎样更多地关注学生的个性差异,帮助学生认识自我、树立自信,促进学生在原有水平上发展,以及如何促进教师的提高与改进教学实践等方面的问题,提出了编者的看法。

教科书和教师用书的编写过程是一个合作、对话、协商、共建的过程,我们真诚地希望你加入到共建的行列里来,为编写有中国特色的教科书和教师用书而共同努力!

预祝你和你的学生在高中物理课程改革中获得成功!

编 者

2019 年 7 月

第0章

本册教材编写思路与教材分析

高中物理《必修2》是高中物理课程必修内容的第2个模块,由“机械能及其守恒定律”“曲线运动与万有引力定律”和“牛顿力学的局限性与相对论初步”三个主题组成。在本册教材中,学生将通过学习机械能及其守恒定律、曲线运动与万有引力定律和牛顿力学的局限性与相对论初步知识等内容,进一步了解物理学的核心内容,体会高中物理的特点和学习方法,为后续课程的学习和终身发展打好基础。

本册教材的教学要求和学业要求

1. 教学要求

(1) 通过实验及理论推导等方法,让学生理解重力势能与重力做功的关系,理解动能定理和机械能守恒定律,学会从机械能转化和守恒的视角分析问题,形成初步的能量观念。

(2) 在应用机械能守恒定律解决问题的过程中,体会守恒的思想,领悟从守恒的角度分析问题的方法,增强分析问题和解决问题的能力。

(3) 让学生通过研究平抛运动、匀速圆周运动等运动形式,体会物理学中化繁为简的研究方法,拓展对运动多样性的认识,深化对位移、速度、加速度等重要概念的理解,进一步提高关于力与运动关系的认识。

(4) 引导学生关注物理学定律与航天技术的联系,了解人类对宇宙天体的探索历程,从万有引力定律的普适性认识自然界的统一性。

(5) 通过对相对论的初步介绍,引导学生认识牛顿力学的局限性,体会人类对自然界的探索是不断深入的。

2. 学业要求

(1) 能对常见的机械运动进行分类。会用运动与相互作用的知识分析曲线运动问题,能用万有引力定律分析简单的天体运动问题,初步了解相对论时空观。能用能量的观点分析和解释常见的有关机械运动问题。

(2) 能认识平抛运动、匀速圆周运动的物理模型特征。通过研究平抛运动、匀速圆周运动等运动形式,体会物理学中实验或理论推导的方法,以及化繁为简的研究方法。能使用证据说明自己的观点,能对关于机械能、曲线运动、引力的一些错误认识提出质疑。

(3) 会做“探究平抛运动的特点”等实验。能明确实验需要测量的物理量,由此设计实验方案。会使用所提供的实验器材进行实验并获得数据,通过分析数据发现平抛运动的特点,进而归纳出实验结论,并尝试对其作出解释。能撰写简单的实验报告。

(4) 通过学习行星运动规律和相对论,认识到科学研究包含大胆的想象和创新,科学理论既具有相对稳定性,又是不断发展的,人类对自然的探索永无止境。具有探索自然、造福人类的意识。

本册教材的地位与作用

本册教材内容是根据学生全面发展需要设置的,是普通高中学生学科核心素养发展的共同基础,是全体学生必须学习的课程内容,也是高中生学业水平合格性考试和高考学业水平等级性考试的考查内容。它关注全体学生终身发展的共同基础和现代公民应具备的物理知识的要求,是高中物理课程的核心内容。

能量观念是物理学科核心素养的一个重要要素。学生在高中物理《必修1》中已学习了匀变速直线运动、力、牛顿运动定律等内容,初步具有了关于物体做机械运动的一些基础知识和物理观念,初步经历了科学探究过程,形成了一定的科学思维方法。物理学科核心素养有了一定的发展。本册教材以此为基础,进一步引导学生分析讨论功和能的问题,理解能量变化和做功的关系,理解动能定理和机械能守恒定律,认识机械能转化和守恒定律的意义,并强化能量概念。

抛体运动、匀速圆周运动是常见的曲线运动形式,在生活和生产中有着广泛的应用。本册教材以生活和生产中的平抛运动和圆周运动为例,把机械运动从一维变速直线运动形式拓展到更为普遍的曲线运动形式,引导学生学习研究二维曲线运动的基本方法,体会物理学中化繁为简、以简驭繁的思维方式,拓展对运动多样性的认识,深化对位移、速度、加速度等重要概念的理解,进一步提高对力与运动关系的认识。

万有引力定律是自然界中的一条基本规律。万有引力定律的发现,是17世纪自然科学的伟大成就之一。万有引力定律对物理学和天文学的发展产生了重要的影响,改变了人们的思维方式,对人类文明的进步起到了积极的推动作用。本册教材展现重要的史实和航天科技发展的重要历程,引导学生了解万有引力定律的发现过程,认识发现万有引力定律的意义,认识科学定律对探索未知世界的作用,体会科学探索的艰辛历程。

人类对自然的探索是不断深入的。本册教材引导学生简要回顾经典力学的发展历程和经典力学的巨大成就,知道经典力学的局限性,初步了解相对论时空观,关注宇宙的起源和演化,认识到科学研究包含大胆的想象和创新,科学理论既具有相对稳定性,又是不断发展的,人类对自然的探索永无止境。

物理学科核心素养主要包括“物理观念”“科学思维”“科学探究”和“科学态度与责任”四个方面。以上所述教材内容对提升学生物理学科核心素养都有重要作用。

本册教材在实现物理学科核心素养和 课程目标方面的措施

本册教材注重落实“立德树人”根本任务,力求体现《普通高中物理课程标准(2017年版)》(以下简称《课程标准》)的基本理念,切实将物理学科核心素养贯串于整本教材之中,把“物理观念”“科学思维”“科学探究”和“科学态度与责任”等方面的物理学科核心素养要素渗透到教材内容中,引导学生经历科学探究和理论思维的过程,学习物理学的基本概念、基本规律和基本方法,关注物理学与科技进步和社会发展的关系,激发全体学生的物理学习兴趣与发展潜能,进而实现教材的育人功能。

为了培养学生的物理学科核心素养,实现课程目标,本册教材采取的主要措施如下。

1. 重视基础知识和科学方法的学习,重视基本技能的训练

本册教材认真落实物理核心素养和物理课程目标的要求,选择、组织、编排和呈现机械能及其守恒定律、抛体运动、圆周运动、天体运动与万有引力定律、牛顿力学的局限性与相对论初步知识等物理学科的基础知识,通过“实验探究”“分析与论证”“学生必做实验”“课外活动”以及合作交流等活动,让学生在物理实验、理论思维与数学方法应用等方面得到比较充分的训练,学习探索物理世界的方法和策略,形成物理观念和科学思维,提升学生的物理学科核心素养。

教材重视把科学方法列为教学内容,引导学生经历模型建构的过程,学习物理学的研究方法,以提升物理学科核心素养。例如,第2章关于抛体运动的研究中,常见的教材通常是罗列一大堆公式让学生解题,把学生搞得不知所措。本册教材则把重点放在帮助学生学会研究二维曲线运动的方法上。教材首先阐述了伽利略是如何用几何方法研究抛体运动的,然后引导学生通过实验探究、分析论证,用运动合成与分解的方法,建立坐标系,探究平抛运动规律,初步学会研究二维曲线运动的基本方法。

教材重视物理过程的分析与讨论,全书设有10个“分析与论证”栏目,以利于学生学习科学思维方法。例如,1.5节的“分析与论证:研究重锤自由下落过程中机械能是否守恒”,教材只给出了重锤下落中的几个具体位置,要求学生“比较重锤在这三个位置时的机械能 E_1 、 E_2 、 E_3 ”,得出结论。

本册教材力求把《课程标准》对实验技能的要求落到实处,十分重视实验技能的训练,重视采用常用仪器和身边的器材做实验。例如,2.3节的“实验探究”中用喷水枪喷出的水流研究斜抛运动的射程,3.2节中用细线拴小塑料球做向心力的演示实验,1.5节的“学生必做实验”中用常见的打点计时器验证机械能守恒定律,等等。这次修订时增加的“学生必做实验”,所需要的实验器材都是普通高中学校物理实验室中必备的器材。

2. 让学生经历科学探究过程,培养学生的科学探究能力

本册教材既关注相对完整的、系统的科学探究活动,又注重通过多样化的探究途径,呈现机械能及其守恒定律、平抛运动、圆周运动和万有引力定律等物理学核心内容,帮助学生提升包括“问题、证据、解释、交流”诸要素在内的科学探究能力。

教材尽可能地引导学生经历相对完整的探究过程,让学生对科学探究有整体的认识,使科学探究能力得到发展。例如,在1.1节的“实验探究:恒力做功与物体动能变化的关系”中,要求学生经历完整的科学探究过程,并深入思考从理论推导得出的动能定理:“能否用实验对此进行验证呢?”在这个实验探究活动中,学生既经历了比较系统的科学探究过程,又对做功与动能的变化关系有更深入的认识。这不仅仅是一种科学探究活动,更重要的是让学生在经历探究过程中得到科学思维能力的训练,认识到科学理论需要通过实验检验,还有利于学生对科学探究活动形成较全面的认识。

为了通过多样化的途径引导学生经历科学探究过程,发展自主学习能力,养成良好的科学思维习惯,并在探究情境中动手动脑,学会运用物理知识和科学探究方法解决实际问题,学会学习,形成自己的学习能力,教材中安排的实验探究,通常并没有一包到底,而是引导学生积极参与实验设计、进行实验、收集证据等活动并完成探究活动。对其中的科学探究要

素,也只是引导学生分析讨论,并不包办代替。对实验探究计划、实验方案的制订、数据的分析处理,教材通常也只给出参考性的建议(如用旁批形式对探究计划提出建议,对选用实验器材提出建议等),不加限定,使学生能够自主学习,体现出探究性。例如,1.1节的“实验探究:恒力做功与物体动能变化的关系”中,教材只提出问题,推荐可供使用的实验器材,给出必要的提示,余下的实验方案、数据收集和分析论证等都要求学生自己完成。又如,2.1节的“实验探究:研究平抛运动”中,要求学生用常用的实验器材,动手动脑,分析实验现象,自己得出结论。再如,3.2节的“学生必做实验:探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系”中,教材只介绍实验仪器,提出实验要求,其余的实验方案设计、数据收集、分析论证等都要求学生自主进行,得出结论。此外,还在1.2节讨论“正功、负功的含义”之后,提出“请思考并讨论:在汽车启动、加速、减速、制动等各个过程中,分别有哪些力对汽车做功?哪些力对汽车做正功?哪些力对汽车做负功?”在2.3节中研究斜抛运动时,教材引导学生用两种方案分解斜抛运动后,要求学生进一步思考:“是不是可将斜抛运动作为平抛运动来分析处理呢?”等等。

对于物理学史上的某些重要史实或学生无法自己探究的内容,教材充分展示了人类的探索过程,引导学生沿着科学家的足迹去领略物理学的魅力,感知其中的科学探究活动。例如,第4章中的天体运动规律和牛顿万有引力定律,许多问题在中学阶段是难以直接探究的。教材呈现了从托勒密到哥白尼、再到第谷和开普勒的古代天文学的发展历程,阐述了牛顿发现万有引力定律的过程,让学生从历史过程中获得对自然规律的认识,理解其中的模型建构、科学推理、质疑创新,并涉及科学本质、科学态度与社会责任等要素,从而强化学生学习物理的好奇心与求知欲。

为了进一步培养学生的科学探究能力,课本还设置了“课题研究”和“课外活动”栏目。在5个“课题研究”和2个“课外活动”栏目中,所提出的课题大都是既与物理学有关,又与社会发展、生产和生活关系密切的多学科交叉问题,学生可以根据自己的兴趣和特长自主选择课题研究,也可以另选课题研究,以满足学生的不同发展需求。例如第4章设计的“为‘神舟’飞船设计一项搭载实验”,就是类似的课题。

3. 以问题串、问题链的形式设计问题情景,引导学生开展科学探究活动

在开展科学探究中,本册教材不是生硬地提出问题,而是通过两种方式,用问题串和问题链创设问题情景,引导学生开展科学探究活动。第一种方式是,以学生已有知识为基础或基于学生具体的感知活动,创设问题情景,产生问题串、问题链;第二种方式是,通过社会实践、有关的人类探索活动,营造问题情景,产生问题串、问题链。具体做法简述如下。

第1章“功和机械能”中以问题串的形式,引导学生开展分析论证和实验活动。1.1节教材以汽车的运动为背景,提出问题:“汽车动能的变化跟牵引力做的功有什么关系呢?”1.2节教材以初中物理学过的功的知识为基础,提出“当力的方向与物体的运动方向不相同时,怎样计算力对物体做的功呢?”经过分析与讨论,进一步提出问题:“在汽车启动、加速、减速、制动等各个过程中,分别有哪些力对汽车做功?哪些力对汽车做正功?哪些力对汽车做负功?做功与动能变化的关系怎样?”汽车的“牵引力跟车速、功率之间究竟有什么关系?”等等,分析论证动能定理、功和功率问题;1.4节教材以正在工作的打桩机为背景,问:“重力势能的大小跟重锤的质量与高度,究竟有怎样的关系呢?”“重力做功跟物体经过的路径有没有关系呢?”1.5节教材以正在下落的打桩机重锤为研究对象,研究重锤下落过程中机械能是否守

恒,提出:“你能猜想出物体机械能的转化遵循什么规律吗?”等等,采用一连串的分析论证和实验活动,探索机械能及其守恒定律。

第2章“抛体运动”,教材以飞机投弹和炮弹发射为背景,揭示物体做曲线运动的条件,让学生逐步深入地探究平抛运动和斜抛运动,最后提出:“假如有一天能在月球上开运动会,你能想象出那将是一种什么样的情景吗?”让学生大胆地推测和想象。

第3章“圆周运动”,教材以生活中常见的圆周运动为背景,以描述直线运动和抛体运动的方法为基础,提出:“怎样描述和研究圆周运动呢?”“使物体做圆周运动的力有什么特点呢?”“圆周运动遵循哪些规律呢?”等等,层层展开,引导学生探究物体做圆周运动的规律。

第4章“万有引力与航天”,教材以天体运动为背景,设问:“天体的运动遵循着什么规律?”“天体为什么这样运动?”“天体和地面物体的运动有没有内在的联系?”“地球上的人类是怎样一步步地认识宇宙的呢?”“万有引力定律是怎样发现的?”展示人类探索天体运动规律和探索宇宙的历程,重点展示了我国航天事业发展的最新成就,引导学生认识发现万有定律的意义和科学定律对人类探索未知世界的作用。

第5章“经典力学的局限性与相对论初步”,教材以牛顿力学的局限性问题为背景,逐步展示从绝对时空观到相对论时空观的研究历程,初步展示了宇宙起源和演化的新进展,引导学生体会人类对自然界的探索是不断深入的。

4. 关注科学、技术、社会与环境的关系,力求教材内容具有开放性

本册教材一方面通过展示科技史料和“信息浏览”“多学一点”“课题研究”“课外活动”“STSE”和“总结与评价:课题研究报告会”等栏目,引导学生关注物理学与科技发展的前沿问题,培养和发展学生的科学态度与责任感,形成科学服务于人类社会的意识;另一方面尽可能地突出学生活动,为学生提供丰富多彩的学习资源,促进学生自主地、富有个性地学习,力求把教材做得开放些。

(1) 关注科学、技术、社会与环境的关系,形成可持续发展的责任感。

教材不仅在包括习题在内的正文中设置了与生产、生活和社会发展关系密切的问题情境,还在“信息浏览”“STSE”等栏目中介绍了物理学与技术、社会发展的互动关系,以及科学技术的发展对社会的正面效应和可能产生的负面效应,以培养学生的社会参与意识和社会责任感。例如,在1.1节“STSE”栏目中介绍了“公路上为什么要限制车速”,在4.2节的“信息浏览”栏目介绍了“海王星的发现”,5.2节“信息浏览”栏目介绍了“光速的测定”,5.3节“信息浏览”栏目介绍了“时间延缓效应的实验验证”,等等。

教材还介绍了爱因斯坦等著名科学家的生平事迹,辑录了这些著名科学家的名言警句,以便于学生学习科学家在科学探索过程中的那种严谨认真、实事求是和持之以恒的科学态度,以及遵守道德规范,保护环境并推动可持续发展的责任感。

(2) 突出学生活动,为学生提供丰富多彩的学习资源,拓展自主学习空间。

教材始终以旨在提升学生物理学科核心素养的自主活动为主线,除通过“实验探究”“分析与论证”等进行较完整的探究活动外,还通过“请思考”“请讨论”“请你推导一下”等亲切的语言,鼓励学生思考、讨论,让学生有平等、受尊重的感觉,对物理课程有亲近感。通过与生共同讨论的方式,为学生开放更多的活动空间,引导课堂教学由单边活动向多边活动的发展,变学生的被动地接受学习为主动思考与探索,这有利于在师生之间建立相互尊重、相互

信任、民主和谐的教学环境。

例如,在 2.1 节的“实验探究:研究平抛运动”中,要求学生仔细观察实验装置,并思考问题:“用小锤击打弹性钢片后,你观察到了什么现象?请你分析一下:这个实验的结果能验证伽利略关于平抛运动的研究结论吗?”在完成 4.2 节中关于火星探测器在地球表面和火星表面所受引力大小比较的案例析后,提出“假如有一天你能到火星上去旅行,你会感到自己的体重发生什么变化?你在火星上走路或运动与在地球上有什么不同?”;在 1.2 节“分析与论证:研究力、速度跟功率之间的关系”中,直接给出了力、速度跟功率之间的关系式,要求学生“写出你的推导过程”,等等。

教材中设立了多种栏目,为学生提供了丰富的学习资源,拓展自主学习空间。全书设有 9 个“信息浏览”栏目,介绍了“伽利略是怎样研究斜抛物体射程的”“哥白尼的计算结果与现代公认值的比较”“八颗行星的基本数据”“爱因斯坦简介”等。全书约 116 幅精美的插图和照片,既有原理性的,也有情境性的(如“神舟”五号飞船和中国第一位航天员杨利伟,“神舟”十一号与“天宫”二号交会对接等),图文并茂,版面活跃。教材还向学生介绍科普读物,让学生上网查询,开展调查研究等活动,以拓宽学生的视野,发展获取信息的能力。

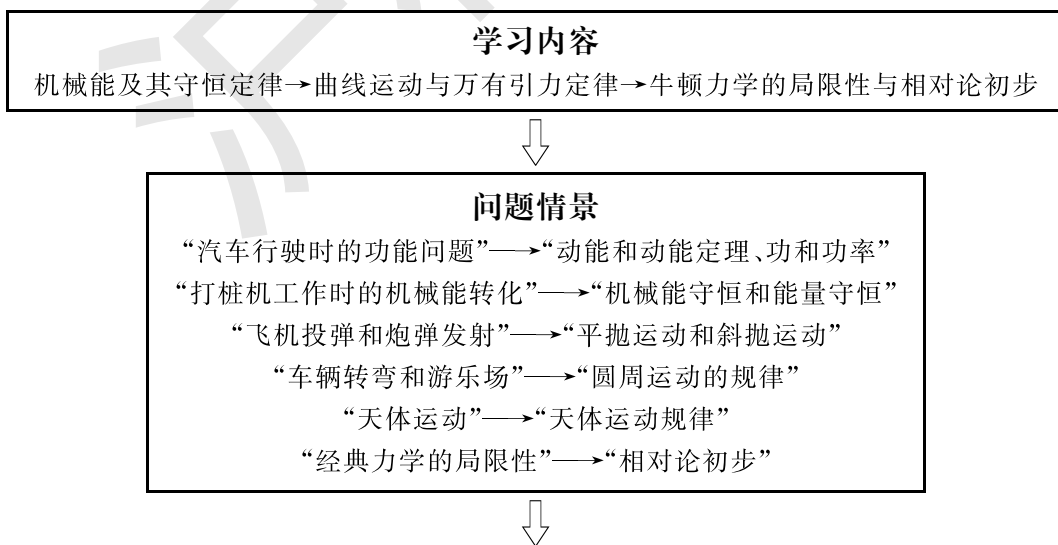
(3) 努力把教材做得更开放些。

教材努力尝试做得更开放些,为学生留有一定的发展空间。在 10 个“分析与论证”栏目中,基本上都是教材讲一点,其余部分要求学生完成;在 16 个“案例分析”栏目中,对多数案例都只提供初步的分析,具体结论要求学生自己去获取。设计探究活动时,教材都力求做得开放些。

教材设有 6 个“多学一点”栏目,对相关内容适当地加深或拓宽,增强选择性,以满足不同学生的发展需求。例如,“弹性势能表达式”“推导平抛运动的轨道方程”“圆周运动的速度”“推导向心加速度公式”“过程量与状态量”“广义相对论简介”都是“多学一点”的内容。

本册教材的框架结构和逻辑体系

根据《课程标准》中关于必修 2 模块课程内容的要求,本册教材分为 5 章,基本框架如下:



内容结构

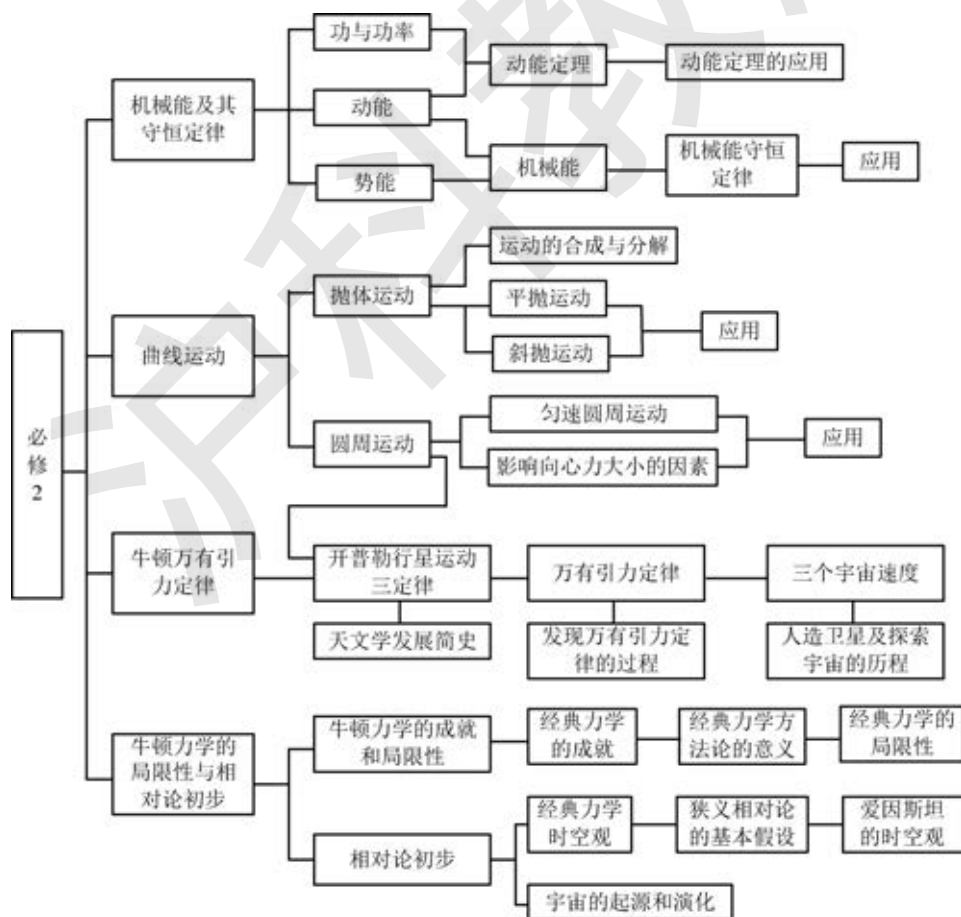
- 第1章 功和机械能
- 第2章 抛体运动
- 第3章 圆周运动
- 第4章 万有引力与航天
- 第5章 经典力学的局限性与相对论初步
- 总结与评价：课题研究成果报告会



评价内容

物理观念
科学思维
科学探究
科学态度与责任

本册教材的知识结构和逻辑体系如下：



第1章

功和机械能

本章教学目标

《课程标准》的要求及其解读

(1) 理解功和功率。了解生产生活中常见机械的功率大小及其意义。

解读 初中已经学习了功的知识,初中物理课程标准要求“知道机械功和功率”,“结合实例,认识功的概念。知道做功的过程就是能量转化或转移的过程”。高中课程标准对功的教学要求是“理解”,初中对功的计算局限于力与位移方向相同的情况下,而高中需要拓展到力与位移成一定角度的情况,即:分析物体移动的方向与所受力的方向不在一条直线上时,该力所做的功。知道正功和负功的含义,认识功是力在移动物体时所形成的,体会功是力在移动物体时所具有的。

认识功率是描述做功快慢的物理量,知道关于功率的不同计算式及其含义,并用相关的计算式分析诸如汽车发动机功率一定时牵引力与速度之间关系之类的实际问题,并了解生产生活中常见机械的大致功率。

(2) 理解动能和动能定理。能用动能定理解释生产生活中的现象。

解读 理解动能和动能定理,了解引入动能概念的必要性,认识动能大小跟速率二次方成正比所带来的速率对动能影响的敏感关系,领悟动能是标量,知道动能是描述物体能量状态的物理量。

对于动能定理,需要通过分析论证、实验探究建立动能定理——外力做功与物体动能变化的关系,根据牛顿第二定律推导出动能定理。理解动能的变化是由于外力做功引起的并且可以通过外力做功的大小来量度。

理解和应用动能定理时,体会用动能定理解决问题的思路——一个过程(功)引起物体状态(动能)的变化,知道运用动能定理相比运用牛顿运动定律解决问题的不同特点,学会用动能定理解释和解决生产生活中的实际问题。

(3) 理解重力势能,知道重力势能的变化与重力做功的关系。定性了解弹性势能。

解读 理解重力做功与路径无关的特点,知道一个已知重力所做功的多少只取决于所移动物体的始末位置。根据初中学过的做功过程就是能量转化过程的知识进行推理,可以得到这种能量跟物体所处位置有关的结论,定义这种能量为重力势能。这样也就明确了重力所做的功与重力势能变化的关系:重力所做的功等于重力势能的减少量。

定性了解弹性势能,包括了解弹性势能的产生原因,影响弹性势能大小的因素,以及弹性势能跟其他形式能量的转化分析。关于弹性势能的计算,不排斥弹性势能跟其他形式能

量转化的过程中根据能量转化关系计算弹性势能的大小,但不要求根据弹簧的劲度系数和形变量来计算弹簧的弹性势能。

(4) 通过实验,验证机械能守恒定律。理解机械能守恒定律,体会守恒观念对认识物理规律的重要性。能用机械能守恒定律分析生产生活中的有关问题。

解读 机械能守恒定律可以在分析论证的基础上得出,再通过实验来验证。该实验是用于验证的实验,是《课程标准》所规定的学生必做的实验项目。

理解机械能守恒定律,要知道机械能守恒定律的内容和表达式;了解机械能守恒定律的推导过程;明确机械能守恒定律所描述的系统对象;领悟机械能守恒定律的适用条件;体会用机械能守恒定律解决问题的思路——它建立的是两个状态的联系,对这两个状态之间过程的分析仅用来判断该过程是否遵从机械能守恒定律的条件,并不涉及机械能守恒定律的方程表达式。通过机械能守恒定律的应用,学生第一次经历守恒定律的定量运算,感受守恒定律对研究和解决物理问题的重要意义;体会守恒观念对认识物理规律的重要性。

教学目标

(1) 理解功和功率。会分析物体移动的方向与所受力的方向不在一条直线上时,该力所做的功。知道正功和负功的含义,认识功是力在移动物体时所形成的,体会功是力在移动物体时所具有的。认识功率是描述做功快慢的物理量,知道关于功率的不同计算式及其含义,并用相关的计算式分析诸如汽车发动机功率一定时牵引力与速度之间关系之类的实际问题,了解生产生活中常见机械的功率大小及其意义。

(2) 理解动能和动能定理。了解引入动能概念的必要性,知道动能是描述物体能量状态的物理量,领悟动能是标量。通过实验探究、分析论证外力做功与物体动能变化之间的关系,能根据牛顿第二定律推导出动能定理。理解动能的变化是通过外力做功来实现和量度的。能用动能定理解释生产生活中的现象。

(3) 理解重力势能,知道重力势能的变化与重力做功的关系,理解重力做功与路径无关的特点。定性了解弹性势能,了解弹性势能的产生原因以及影响弹性势能大小的因素。关于弹性势能的计算,不排斥弹性势能跟其他形式能量转化的过程中根据能量转化关系计算弹性势能的大小,但不要求根据弹簧的劲度系数和形变量来计算弹簧的弹性势能。

(4) 会通过实验,验证机械能守恒定律。理解机械能守恒定律,知道机械能守恒定律的内容和表达式,领悟机械能守恒定律的适用条件,学会从机械能转化和守恒的视角分析物理问题,形成初步的能量观念。体会守恒观念对认识物理规律的重要性。能用机械能守恒定律分析生产生活中的有关问题。

全章教材分析与教学要求

本章基于对传统教材处理方式的反思,考虑到初中阶段学生已具有的知识水平,做了创新处理,即在初中已知的功的概念的基础上,首先研究做功与动能变化的关系,得到动能定理,突出体现功是能量变化的量度这个观点。从动能定理出发,深化功的内涵,以及功的计算公式,从能量变化的角度理解正功、负功、变力做功的意义,了解功率及其在生产生活中的

应用等,整体上是循环上升式的编排,符合学生的认知规律和科学探究要求。

动能属于机械能,是常见的能量形式之一。本章教材中所研究的功是机械功,动能定理反映了机械功与机械能中的动能变化之间的关系,是物理学特别是力学中最重要的定理之一。动能定理体现了功是能量变化的量度,或者说使人们认识到动能的变化是通过做功来实现的。

用动能定理分析解决力学问题,可以更明确、更简洁地得到答案。特别是对一些中间过程不太清楚,或中间过程不需要关注,只要知道开始和结果的力学问题,运用动能定理解决问题是较好的途径之一。

势能也是机械能的一种形式,根据《课程标准》的要求,教材中主要研究的是重力势能,知道重力势能变化与重力做功的关系,以进一步理解功是能量变化的量度。

机械能守恒是自然界重要的守恒现象之一,在自然界以及生产生活中大量存在,要理解机械能守恒定律,并能用机械能守恒定律分析生产和生活中的问题,强化能量守恒观念。

本章教材具有如下特点:

(1) 设计探究背景,以问题串、问题链的方式展开。

本章以汽车行驶时的功能问题为背景,运用物理学研究问题的方法加以简化和抽象,合理展示出动能、功、功率等内容。重力势能、机械能守恒定律都是以打桩机工作时的功能问题为背景来展开探究活动的,由于设计的探究情景与学生的生活实验联系紧密,这样有利于激发学生探究的愿望和内驱力,使学生对物理产生亲近感,在分析研究实际问题的过程中,逐步理解物理概念与规律,并能运用物理规律去分析解决实际问题。

在汽车运动这一共同背景下,教材还联系了“公路上为什么要限制车速”“研究汽车的功率和速度”等学生感兴趣的事例,使学生从教材中感受到生活和时代发展的气息。

(2) 突出学生活动,让学生和教师共同探讨。

本章教材以学生的自主活动为主线,通过“实验探究”“分析与论证”等活动进行较完整的探究,还通过“请讨论”“请试一试”等方式引导学生主动思考与探索,促使课堂教学活动向多边活动发展。

(3) 为学生提供了丰富多彩的学习资源。

本章教材通过设立多种栏目,比如“多学一点”“信息浏览”“STSE”“课题研究”等,向学生提供了丰富的学习资源,以发展学生的学习探究能力,扩大学生的知识面,培养学生的应用能力和创新能力。

(4) 本章教材重视基础知识的形成过程,重视基本技能的训练。

本章内容是物理学的核心知识之一,教材在呈现方式上做了新的尝试,它包括以汽车行驶时的功能问题为背景来展示动能定理、功和功率,将这些知识放在现代社会生活、现代科学技术的背景中展开,提升了知识的价值。

与传统教材相比,教材在关注实验技能方面,要求使用一些较新型的实验仪器,如气垫导轨和光电计时器,还要求用计算机软件处理实验数据,让学生体验到实验研究手段与技术的进步。

与传统教材相比,本章教材的习题难度有所降低,但在运用物理概念与规律分析问题的能力上要求提高了,即追求联系生产生活实际,体现用物理学的知识和观点进行定性、定量分析的价值。

(5) 本章教材重视实验探究与分析论证在研究物理问题中的作用。

本章教材除按《课程标准》要求探究了恒力做功与物体动能变化的关系外,还深化了一

些问题,如探究汽车的动能变化等。物理学研究问题的过程和方法渗透在各项探究活动中,如研究汽车的动能变化过程、研究汽车的制动距离、合力做功与动能变化、由动能增量计算变力做功、计算力与位移成夹角时的功等。这样处理意在让学生始终处在探究的情景中,并体验科学探究的经历。

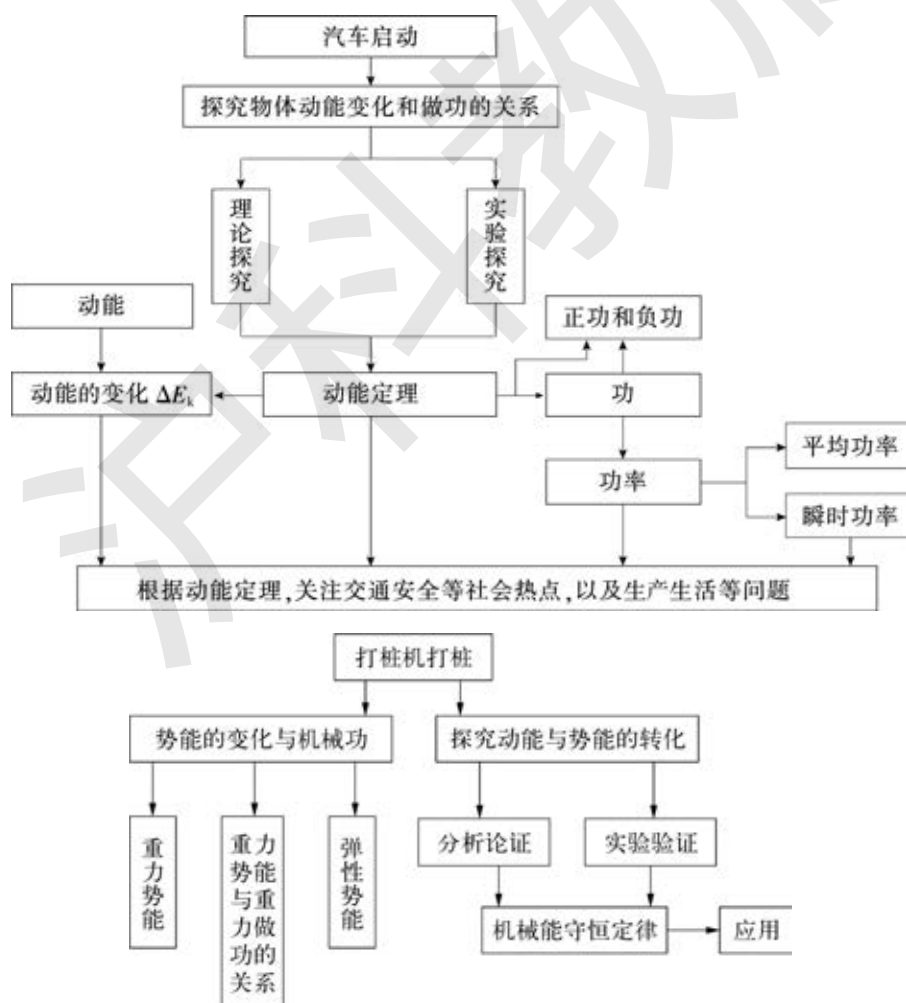
研究机械能守恒定律时,先通过理论分析,研究打桩机重锤下落过程中的机械能是否守恒,再通过实验来进行验证。家庭作业与活动中,介绍了伽利略理想斜面实验,以拓展学生用理论分析和实验探究来解决物理问题的思路。

(6) 本章教材关注科学、技术与社会的关系,渗透人文精神,提升学生的科学素养和人文素养。

如教材中安排了“公路上为什么要限制车速”“想一想:为什么赛车的功率都比较大”“研究汽车的功率和速度”等内容,以引导学生思考。

本章以打桩机工作过程中的功能问题为背景,通过探究其中的功能关系,研究重力势能的变化与机械功的关系和机械能守恒定律,进而研究能量的转化与守恒定律,引发学生关注能源与社会可持续发展等社会问题。

本章教材的设计框架和知识逻辑结构如下:



本章教学重点

(1) 动能概念及其计算公式,动能增量。实验探究“恒力做功与物体动能变化的关系”,动能定理及其应用。理解功和功率的物理意义、正功与负功的含义,会用功和功率的公式进行计算。

(2) 重力势能。理解重力势能概念并会计算,通过分析论证,理解重力做功和重力势能变化的关系,理解重力做功与路径无关的特点。

(3) 机械能守恒定律。理解机械能守恒定律的条件及其应用。

本章教学难点

(1) 理解动能增量的物理意义,从做功与动能变化两方面理解正功和负功,做好探究“恒力做功与物体动能变化的关系”的实验。理解力、速度跟功率之间的关系。

(2) 会用实验验证机械能守恒定律,理解机械能守恒的条件。

课时安排建议

本章拟用 10 课时,具体安排如下:

第 1.1 节 2 课时

第 1.2 节 2 课时

第 1.3 节 1 课时

第 1.4 节 1 课时

第 1.5 节 2 课时

全章复习和评价 2 课时

各节教材的说明与教学建议**1.1 动能变化跟做功的关系****教学目标**

- (1) 通过对汽车动能的变化过程的分析与论证,导出动能定理。
- (2) 通过实验探究“恒力做功与物体动能变化的关系”,验证动能定理。
- (3) 理解动能的变化是通过外力做功来实现和量度的。
- (4) 在实验中培养学生主动与他人合作,互相交流,能对自己和他人的实验数据和结论进行评估,培养团队精神。

教材说明

本节以分析汽车的运动为背景,通过分析论证得出动能定理,再通过实验探究验证动能定理。初步认识功与能量变化的关系,为掌握功与能量变化的关系打下基础。

教学建议**关于“章首语”**

章首语是以学生熟悉的“过山车”为背景,提出问题,导出本章的学习内容。

学生在初中已经初步了解动能概念,也知道力和位移在同一直线方向上的功的计算方法。因此,动能和功对于学生来说已经不是全新的概念。本章在此基础上,以汽车、飞机等交通工具的运动为背景,将学生引入“动能变化跟做功的关系”的科学探究活动中。

与传统教材不同的是,本教材首先以汽车的启动过程建立物理模型,探究其动能变化的

原因。然后根据动能定理中反映出功是动能变化的量度,再从更广泛的意义上研究功和功率的问题,认识功率在实际应用中的意义,从功的计算和动能变化角度认识正功和负功的意义。在学生对动能和功有了进一步认识后,再反过来讨论动能定理在生产生活中的应用。

根据《课程标准》的要求,教材以打桩机的工作过程设置问题情景,研究重力做功跟重力势能变化的关系,并通过分析与论证,探究重锤自由下落过程中动能和势能相互转化的规律性,得出机械能守恒定律。再设计实验,验证机械能守恒定律。

关于“分析与论证 研究汽车动能的变化过程”

教材图 1-1-1 是引导学生从汽车动能变化的角度认识运动,并从汽车运动中简化、抽象,以建立研究的物理模型,体现在:

① 关于“牵引力”。牵引力是工程技术中为了计算方便而引入的一个等效力,不需作更多的解释。

② 关于“汽车运动中受到的力”。实际汽车运动中受到了多个力的作用,但教材中只说了牵引力,这是将实际物体简化,突出研究问题的主要方面,以建立模型,是一种理想的情况,便于研究问题。

要让学生认识到,对研究对象作出合理的简化,突出主要问题,建立模型,是物理学研究问题的重要方法。

教材图 1-1-2 是汽车在不变的牵引力作用下运动,速度增大的具体运动情况,通过学过的牛顿第二定律与运动学知识,推导出教材第 7 页中的(1)式,即: $Fs = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ 。

关于“动能 动能定理”

《课程标准》要求理解动能和动能定理,这是本节重点知识。教材“从汽车的动能变化谈起”,用熟悉的事例,运用学生已经学过的牛顿运动定律,从理论上分析推导,得出了教材第 7 页中的(1)式。

在教学中,教师应引导学生写出(1)式的推导过程,并应根据学生推导的情况作出评价。要准确说明(1)式的物理意义和数学表达式。

关于教材中(1)式的分析:

教材第 7 页中的(1)式左边的 Fs ,学生根据初中知识很容易知道是功的计算式。但对该等式的右边项,学生比较陌生,要引导学生回忆初中学习过的关于动能的概念,关注影响物体动能大小的因素,学生很容易联想到等式右边的每一项可能都是动能的计算式,由此得到 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 。(1)式右边项不仅反映了动能,更重要的是它表示的是动能的变化,即动能增量,是两个状态量之差。

物理量的增量在物理学中是有严格定义的,不能认为学生理所当然地就能够理解并能恰当地运用。教师可以结合实例说明物理量的增量有时比物理量本身更有意义。

关于“实验探究 恒力做功与物体动能变化的关系”

“恒力做功与物体动能变化的关系”这个实验探究,是验证性实验。

本节先从理论分析得出结论,再以实验检验。实验经历了完整的探究过程,实验目的是验证 $W = \Delta E_k$ 。

实验探究中要重视“制订计划与设计实验”,教材推荐了一种实验装置——用气垫导轨验证动能定理的实验装置。教学中可根据学校现有的教学实验资源,引导学生设计出自己的探究计划和实验。这体现了教材和教学的开放性。

在“制订计划与设计实验”步骤中,教材在旁批中提供了两条参考意见:“直接验证”和“用图像验证”,供教学时选择;在实验器材选择方面,教材推荐了气垫导轨,但又允许选用其他器材。这就可以让不同的学校、不同的学生都能探究。

“进行实验与收集证据”过程中,应该让学生自己思考后写出实验中的主要步骤,自己设计记录数据的表格,然后记录数据。

“分析论证”步骤主要包括对实验数据的处理分析和实验结论。教材提供了一张方格坐标纸,让学生作出 $v^2 - W$ 图像或 $m - W$ 图像。但也可以用逐次计算的方法,或者利用 Excel 软件在电脑上处理。

对于 $v^2 - W$ 图像,要能认识到对同一物体,其动能与速度平方成正比。在本实验中,因滑块初速度为零,所以图像的纵坐标 v^2 就代表了物体的动能增量。图像是一条倾斜的直线,斜率为正,说明动能的增量等于所做的功,或者说动能的增加与做功成正比。

“评估”中应通过师生共同讨论,认识误差产生的原因,寻找减小误差的办法,探索改进实验的办法。通过实验提升学生的实验素养是一种行之有效的办法。

关于“多学一点 过程量与状态量”

这里设置的“多学一点”栏目中,通过动能定理将过程量“功”和状态量“动能”联系在一起,说明功是能量传递的量度。动能的变化是力对物体做功的累积效应,反映了能量与做功的关系。认识“过程量”对应一个物理过程,“状态量”对应物体的某一状态,过程量可以与状态量的变化相联系。

“多学一点”的内容不是必学内容。

关于“案例分析 子弹击穿苹果问题”

“案例分析”用到了一个有趣的、平时难以见到的现象——子弹击穿苹果。本案例具有典型性,其画面的视觉冲击力较强,它体现了用动能定理分析、处理问题的过程,包括分析、解答理论依据,对运算结果的物理意义予以说明等。

关于“STSE 公路上为什么要限制车速”

“STSE”体现了动能定理在生活中的应用,了解汽车在公路上行驶时限速的原因和措施。这是阅读内容,可以让学生通过调查,获得这方面更多的内容。

教学评价

“家庭作业与活动”参考解答

1.【解答】 设汽车的质量为 m ,则

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = 11.6m(\text{J}), \quad \frac{1}{2}mv_4^2 - \frac{1}{2}mv_3^2 = 42.4m(\text{J}),$$

所以,第二种情况要做较多的功。

2.【解答】 $W_G = mg(h_2 - h_1) = 25 \text{ J}$, $v = \sqrt{2g(h_2 - h_1)} = \sqrt{2 \times 10(15 - 10)} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$, $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_2^2 - 0 = 25 \text{ J}$ 。

3.【解答】 $E_{k2} = W + E_{k1} = Fs + \frac{1}{2}mv_1^2 = \left(4 \times 2 + \frac{1}{2} \times 0.5 \times 2^2\right) \text{ J} = 9 \text{ J}$ 。

补充课堂检测题和参考解答

1. 对质量一定的物体,下列关于功和动能的说法中正确的是()。

- A. 物体速度变化,则其动能一定变化
- B. 物体速率变化,则其动能一定变化
- C. 力对物体做了功,物体的动能一定增加
- D. 力对物体做了功,物体的动能不一定增加

【解答】 B、D。

2. 假设汽车紧急制动,所受到的阻力的大小与汽车所受重力的大小差不多。当汽车以 20 m/s 的速度行驶时,突然制动,它还能继续滑行的距离约为()。

- A. 40 m
- B. 20 m
- C. 10 m
- D. 5 m

【解答】 B。

3. 质量为 1 kg 的物体与水平面间的摩擦力为 5 N ,在 10 N 的水平恒力作用下由静止开始加速前进 2 m ,求此时物体的动能。若撤除该恒力,物体减速前进 1 m ,求其速度的大小。

【解答】 10 J , 10 m/s 。

4. 一个质量为 0.3 kg 的小钢球,在光滑水平面上以 6.0 m/s 的速度垂直撞到墙上,碰撞后小球等速率反弹,则碰撞前后小球的动能增量为多大? 碰撞过程中墙对小球做功多少?

【解答】 $0, 0$ 。

5. 速度为 v 的子弹,恰好可以穿透一块固定的木板。如果子弹的速度为 $2v$,子弹穿透木板时所受阻力视为不变,则可穿透多少块同样的固定木板?

【解答】 4 块。

1.2 功与功率

教学目标

- (1) 会计算力跟位移成一夹角时的功,理解正功、负功的物理意义。
- (2) 理解功率的意义,并能用功率的公式求解。了解汽车等常见机械的功率及其物理意义。
- (3) 通过分析与论证的过程,培养学生的逻辑思维能力。

教材说明

功与功率是两个重要的物理量,它们一方面与生活、技术紧密相关,另一方面体现了能

量转化的过程。功与功率对学生来说并不陌生,因为在初中已接触过。因此,学生对这两个物理量既知其然又不知其所以然。本节将以初中物理知识为基础,引导学生进一步认识和理解功的概念、正功和负功的物理意义以及功与能量转化的关系。

教学建议

关于“分析与论证 计算力跟位移成夹角 α 时的功”

在初中计算功的基础上,教材以图 1-2-1 为例,提出了力与位移不在同一直线上时,怎样计算力对物体做的功。这里要引导学生认真思考。不仅要从小功的计算角度考虑问题,而且还要引导学生运用动能定理分析拉力是否做了功。

既可以用教材中图 1-2-1a,也可以用教材中图 1-2-1b,来分析推导关于计算功的一般公式。本教材采用了图 1-2-1b,比较符合学生的认知习惯。

由生活经验可知,人用恒力拉物体,物体由静止运动一段距离,其动能增加了。根据动能定理可知,力对物体是做了功。可是力与位移有夹角,那么如何用功的计算式 Fs 计算功呢?此时引导学生先进行力的分解,再计算功,最后得出计算功的一般公式,即

$$W = F s \cos \alpha。$$

对计算功的一般公式,语言表述要准确,应用时还要注意以下几点:

① 公式的适用条件:公式 $W = F s \cos \alpha$ 并不是普遍适用的,它只适用于计算大小和方向均不变的恒力做功。

② 公式中各字母的正负取值: F 和 s 分别指“力的大小”和“位移的大小”,即公式中 F 和 s 恒取正值。公式应写作 $W = |F| \cdot |s| \cos \alpha$ 。 W 是可正可负的。从公式容易看出, W 的正负完全决定于 $\cos \alpha$ 的正负,也就是 α 的大小。不过 W 的正负并不表示功有方向。

③ 功是标量,没有方向。

④ 关于参考系问题:计算功都以地面为参考系,而不随便取其他物体为参考系。

⑤ 关于公式中 s 的确切含义: s 是“物体位移的大小”,即:“受力作用的质点”的位移。

关于“案例分析 两人推汽车问题”

“案例分析”中提出了一个联系生活的事例。分析时可采用以下两种方法。

方法一 求出每个人(分力)所做的功,然后将两人做的功相加。

$$W_1 = F_1 s \cos \alpha = 200 \times 20 \times \cos 30^\circ \text{ J} = 3\,464 \text{ J},$$

$$W_2 = F_2 s \cos \alpha = 200 \times 20 \times \cos 30^\circ \text{ J} = 3\,464 \text{ J},$$

$$W = W_1 + W_2 = 6\,928 \text{ J}。$$

方法二 先求出合力,再计算合力做的功。

$$F = F_1 \cos \alpha + F_2 \cos \alpha = 346.4 \text{ N},$$

$$W = F s = 346.4 \times 20 \text{ J} = 6\,928 \text{ J}。$$

要认识到这两种方法是等效的。

本案例不仅加强学生对“力与位移不在同一直线上做功”的理解,而且通过此例,提出了物体受多个力作用时各力的做功问题,或者说是“多力做功”问题的解决途径。

关于“正功、负功的含义”

从计算功的一般公式 $W = Fs \cos \alpha$ 出发,讨论 α 角的变化引出正功和负功概念。

将正功、负功的概念与动能定理相联系。首先从正功、负功对物体动能变化的影响,进一步从能量变化的角度理解正功和负功,使学生认识到:正功使物体的能量增加,负功使物体的能量减少。

对于正功和负功,也可以从力和运动的关系角度来理解,动力做正功,阻力做负功。

关于“信息浏览 ‘功’的概念是怎样建立的”

“信息浏览”中简要介绍了“功”的概念的建立过程,供学生选学,帮助学生了解功的概念是怎样引入物理学的。

关于“研究功率”

“功率”也是在初中物理的基础上给出的,并没有太多深化。教学中要充分调动学生思维,回忆在初中阶段关于功率的相关概念。要强调功率等于单位时间内的功,这样使学生容易理解为什么发动机功率大的汽车动能增加得快。

这里可以安排一个家庭实验:估测自行车的制动功率,供学生选做。

教材图 1-2-4 给出几种汽车发动机的功率,使学生对功率有个感性认识,激发学生的兴趣。在教学中,还可以与学生共同举一些机械功功率的例子。

关于“分析与论证 研究力、速度跟功率之间的关系”

“分析与论证”中,关系式的推导并不复杂,教学中完全可以让让学生自己完成。重点是要强调对关系式 $P = Fv$ 的认识和理解。如果速度 v 是一段位移内的平均速度,式中 P 反映的是这段位移中的平均功率;如果速度 v 是瞬时速度,则 P 是瞬时功率。

要求学生对平均功率与瞬时功率、额定功率与实际功率进行比较,以加深理解它们。

关于额定功率和实际功率。日常生活中经常用到额定功率这一概念,如各种家用电器的铭牌上都标有额定功率的值,这是指机器正常工作时的最大输出功率。但是机器在实际工作时不一定是在额定功率下工作,实际功率一般总小于或等于额定功率。如果机器长时间在大于额定功率下工作,机器会损坏。

关于平均功率与瞬时功率。即使是同一个力对物体做功,做功的功率也可能是有变化的。教材中指出,当公式 $P = Fv$ 中的 v 为平均速度时,公式中的 P 则为平均功率,学生对这个问题的理解是比较容易的。关于瞬时功率,教师可以引导学生一起推出:当 Δt 很短时,

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{F \Delta s}{\Delta t} = Fv$$

而这时 v 是瞬时速度,所以 P 就是瞬时功率。极限的思想在讲瞬时速度时已有所渗透。

当汽车在爬坡或在较差的路面上行驶时,需要增大牵引力 F 。根据公式 $P = Fv$,当功率一定时,如果要增大牵引力 F ,只有换成低速挡以减小汽车的运动速度 v 。如果汽车仍然要保持原来的速度 v 不变,但又要增大牵引力 F ,那么就要增大功率 P ,此时司机必须踩下加速踏板,以增大汽车发动机的输出功率。通过以上讨论,帮助学生加深对功率、牵引力、速度三

者之间关系的认识。

关于“课题研究 研究汽车的功率和速度”

开展“课题研究”时,若有条件,建议到汽车制造厂请专业技术人员介绍,或请司机做汽车行驶和维护的介绍。

教学评价

“家庭作业与活动”参考解答

1.【解答】 (1) $W = Fs \cos \alpha = 75 \times 300 \times \cos 0^\circ = 22\,500 \text{ J}$ 。

(2) $W = Fs \cos \alpha = 100 \times 300 \times \cos 120^\circ = -15\,000 \text{ J}$ 。

2.【解答】 把其中的运动都看成是匀速运动,则有

$$P_{\text{运动员}} = \frac{m_1 g h_1}{t_1} = \frac{210 \times 10 \times 1.2}{1} \text{ W} = 2\,520 \text{ W},$$

$$P_{\text{手拉葫芦}} = \frac{m_2 g h_2}{t_2} = \frac{500 \times 10 \times 2}{300} \text{ W} = 33.3 \text{ W}。$$

3.【解答】 由于额外功的损失不计,因此,

$$P = \frac{W}{t} = \frac{mgh}{t} = \frac{30 \times 10 \times 10}{1} \text{ W} = 3\,000 \text{ W},$$

$$W = Pt = 3\,000 \times 1\,800 \text{ J} = 5.4 \times 10^6 \text{ J}。$$

4.【解答】 因为汽车做匀速运动,所以汽车的牵引力 F 等于汽车所受的阻力 f ,即 $F = 800 \text{ N}$,于是,汽车的输出功率 $P = Fv = 24\,000 \text{ W}$ 。

补充课堂检测题和参考解答

1. 绿茵场上,足球运动员以某一初速度踢出一球,该足球在水平地面沿直线向球门方向滚动,碰到球门的边框,恰好反方向弹回,又沿地面滚到运动员脚下(假设运动员仍在原地)。若球在滚动过程中地面的阻力 f 大小不变,运动员距球门边框的距离为 s ,你能求出足球克服地面阻力做的功吗?

【解答】 $W_{\text{克}} = 2fs$ 。

2. 静止在光滑水平面上的物体质量为 25 kg ,在与水平方向成 60° 角、大小为 10 N 的斜向上的拉力 F 作用下,经历 10 s 的时间,计算力 F 及物体所受力的合力对物体做的功(g 取 10 m/s^2)

【解答】 $50 \text{ J}, 50 \text{ J}$ 。

3. 请设计一个实验,估测运动员登上某一高楼时的平均功率,请你说一说至少需要哪些器材和具体的做法。请根据你的设计写出平均功率的表达式。

【解答】 需要一个计时的仪器。运动员的体重估计为 G ;运动员登楼的高度为 $H = (n-1)h$,这里 n 为运动员登上的楼层, h 为每一层楼层估计的高度;登楼的总时间为 t 。

$$P = G(n-1)h/t。$$

4. 通过本节的学习,某同学设计了一个确定汽车所载货物质量的方法:已知汽车自身的质量为 m_0 。当汽车空载时,让汽车在平直的公路上以额定功率行驶,从汽车速率表上读出汽车达到的最大速度为 v ;当汽车载重时,仍让汽车在该平直的公路上以额定功率行使,从速率表上读出汽车的最大速度为 v_{\max} 。设汽车行驶时阻力与总重成正比。你认为该同学的设计方案是否可行?若可行,请你根据以上提供的已知量表示出汽车所载货物的质量 m 。

【解答】可行。 $m = \left(\frac{v}{v_{\max}} - 1 \right) m_0$

1.3 动能定理的应用

教学目标

- (1) 熟练掌握动能定理的具体应用。
- (2) 运用动能定理分析生产和生活中的案例。关注交通安全等社会热点,以及相关的生产生活中的问题。

教材说明

本节是运用动能定理处理几个典型的实际问题,以此让学生熟悉如何使用动能定理分析问题,同时将传统的例题形式提升为课题研究的方式,让学生比较和体会动能定理的应用价值。

教学建议

关于“研究汽车的制动距离”

第一个“案例分析”研究汽车制动距离与速度的关系,这是一个生活中的实际问题。案例中给出了汽车制动性能测试记录的相关数据,要求根据表中的数据分析讨论。

(1) 汽车制动过程是阻力做负功,汽车动能减少。由 $Fs = \frac{1}{2}mv^2$ 可知,如果制动阻力不变,汽车制动距离与行驶速率的平方成正比。

(2) 对这个问题可能有两种说法:一种认为汽车制动时的阻力基本不变,在相同初速度的情况下,因乘客多了,车总质量增加,其初动能增大了,制动时做的功也必然增多,因而制动距离就加长了。另一种认为汽车制动的阻力是地面对汽车的滑动摩擦力,大小是 $F = \mu mg$,将其代入动能定理公式中,得到 $\mu gs = \frac{1}{2}v^2$,即制动距离与汽车质量无关。教学时,如学生分析中能讲出前提条件,两种分析都可以认可*。

* ① 关于汽车制动距离与质量的关系。高校汽车专业研究人员称:重车制动距离远一些。实验数据支持这一结论,汽车司机也支持这一说法。

② 中华人民共和国交通法规在 2000 年以前规定的制动距离是按车重来划分的,但 2000 年以后,改为按车速来划分。

(3) 根据上述分析,有 $Fs = \frac{1}{2}mv^2$, 所以

$$\frac{1}{2}m\left(10 \times \frac{1\,000}{3\,600}\right)^2 = f \times 1, \quad ①$$

$$\frac{1}{2}m\left(20 \times \frac{1\,000}{3\,600}\right)^2 = f \times 4, \quad ②$$

$$\frac{1}{2}m\left(40 \times \frac{1\,000}{3\,600}\right)^2 = f \times 16, \quad ③$$

$$\frac{1}{2}m\left(60 \times \frac{1\,000}{3\,600}\right)^2 = f \times s, \quad ④$$

将①②③式中的任一式与④式联立,均可解出 $s = 36\text{ m}$ 。

善于归纳的学生,也可能直接从数据中看出制动距离与速度平方的关系,从而得出上面的结论。

关于“合力做功与动能变化”

常见的物体往往都有多个力对其做功,研究合力做功是有必要的。“案例分析”中以正在滑行的飞机为例,研究多个力做功对物体动能变化的影响。

教材提供了一种方法:先研究每一个力对物体所做的功,再研究物体动能的增量。所有的力对飞机做的功之和就是飞机动能变化的原因。最后运用动能定理求解得出:飞机起飞时受到的牵引力 $F = 1.8 \times 10^4\text{ N}$ 。

教材还提出了另一种思路:先求出合力,再求合力所做的功,最后运用动能定理。

按照教材的要求,请学生用牛顿定律再解答一下,这不仅体现了解决问题方法的多样性,也有利于认识到处理动力学问题有两种不同的方法。

本案例蕴涵了鲜明的物理思想和方法。例如,物理量中的标量可以用代数加减法进行运算,从动力学观点解决问题和从功、能观点出发解决问题具有一致性,等等。教材把这些内容放在一个实际的情景中,这有助于学生对合力做功与动能变化问题的进一步理解。因此,我们不能只把它作为一个例题来处理。

关于“由动能定理计算变力做功”

变力做功的问题在一般情况下是比较困难的,但如果不需要详细研究做功的过程,只关心初状态和末状态的动能,或者说动能的变化量,则运用动能定理是很方便的,教材用一个案例作了分析。

“案例分析”的问题是以铁锤打击烧红的铁块,求铁块对铁锤所做的功。

如果运用动力学方法来解决这一问题,几乎是不可能的。因为我们既无法确定在打击时,铁块对铁锤的作用力的大小在作用过程中是变化的;也无法确定铁锤从接触铁块到静止时的位移。但是,我们已知铁锤在接触铁块前的速度,还知道其最后运动状态是静止的,至于其中的具体作用过程并不需要知道,因此可以运用动能定理来求解问题。根据动能定理,铁块对铁锤做负功,铁锤动能减少量等于铁块对其所做的功,用动能定理计算可得: $W =$

$$\Delta E_k = -\frac{1}{2}mv^2 = -50 \text{ J}.$$

关于“运用动能定理解决问题的步骤”

通过几个案例,应引导学生归纳出运用动能定理解决问题的步骤:分析研究对象,包括明确相关运动的变化过程;运用动能定理处理并得出结论;解释所得结论的物理意义。

从以上三个案例可以看出:牛顿定律解决的是瞬时问题,处理一些瞬时量之间的关系比较方便。动能定理将状态量的变化与过程量相联系,在无需关注具体过程的情况下是比较方便的。

教学评价

“家庭作业与活动”参考解答

1.【解答】 A、C、D。

2.【解答】 C。

3.【解答】 牵引力对汽车做正功 W_1 , 摩擦力对汽车做负功 W_2 , 汽车初始状态和末状态都静止, 所以动能没有变化。根据动能定理: $W_1 - W_2 = 0$, 得

$$\frac{W_1}{W_2} = 1。$$

4.【解答】 0。

补充课堂检测题和参考解答

1. 在足球比赛中,一位运动员在离地 1.2 m 高处用倒钩射门方式以 16 m/s 的速度踢出一个质量为 0.35 kg 的足球,足球到达球门时离地的高度为 1.8 m,这时足球的速度是多大? 动能是多大? g 取 10 m/s^2 。

【解答】 15.6 m/s ; 42.7 J 。

2. 跳水比赛中运动员从高为 h 的跳台上以速率 v_1 纵身跳起,入水时的速率为 v_2 。假设运动员的质量为 m ,从起跳到入水的过程中,克服空气阻力做功多少? 克服阻力所做的功与运动员起跳的方向是否有关?

【解答】 $W = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh - \frac{1}{2}mv_2^2$; 无关。

3. 两个材料相同的物体,甲的质量大于乙的质量,以相同的初动能在同一水平面上沿直线滑行。由于摩擦阻力的作用,最后都停止下来。它们滑行的距离()。

A. 乙大 B. 甲大 C. 一样大 D. 不能比较

【解答】 A。

4. 质量 $m = 3 \text{ kg}$ 的铅球,从 2 m 高处由静止自由落下,进入沙坑中并陷入在 $d = 0.2 \text{ m}$ 深处的沙中静止, g 取 10 m/s^2 。求物体在沙坑中受到的平均阻力。

【解答】 330 N 。

5. 如图 1-3-1 所示,把一小石块从 10 m 高处以 30° 角斜向上抛出,初速度是 $v_0 = 5 \text{ m/s}$, 若不计阻力,石块落地的速度是多大? 若以 45° 角斜向上抛出,石块落地的速度大小

是否变化? g 取 10 m/s^2 。

【解答】 15 m/s ; 不变。

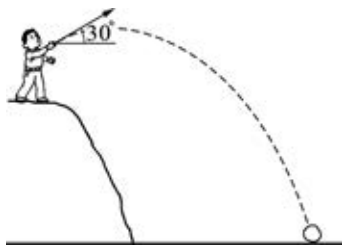


图 1-3-1

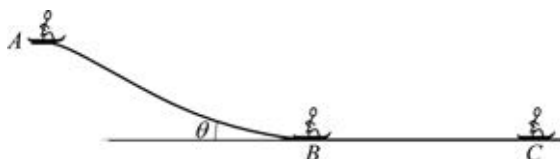


图 1-3-2

6. 如图 1-3-2 所示,在海滨游乐场里有一种滑沙的游乐活动。人坐在滑车上从斜坡的最高处 A 点由静止开始滑下,滑到斜坡底部 B 点后沿水平滑道再滑行一段距离到 C 点停下来。斜坡滑道与水平滑道间是平滑连接的,滑车与两滑道间的动摩擦因数均为 μ ,不计空气阻力。 g 取 10 m/s^2 。

(1) 若斜坡滑道的倾斜面与水平滑道水平面的夹角为 θ ,斜坡长为 l ,求人滑到 B 处的速度大小。

(2) 若由于场地限制,A 点到 C 点的水平距离为 $s=50 \text{ m}$,动摩擦因数为 $\mu=0.5$ 。为确保人身安全,你认为在设计斜坡滑道时,对高度应有怎样的要求?

【解答】 (1) $v = \sqrt{2(gl \sin \theta - \mu gl \cos \theta)}$; (2) 高度不大于 25 m 。

1.4 势能的变化与机械功

教学目标

- (1) 理解重力势能的概念。
- (2) 理解重力势能与重力做功的关系,知道重力做功跟路径无关。
- (3) 定性了解弹性势能。

教材说明

本节在打桩机打桩的基础上研究重力做功跟重力势能变化的关系,引入重力势能概念,发现重力做功跟重力势能的变化之间的关系。

对没有见过打桩机的学生可以做一个模拟实验。让重锤从高处落下,把木棒打进沙箱内:质量不同的重锤,从同一高度落下,木棒被打进沙箱的深度不同;质量相同的重锤,从不同的高度落下,木棒被打进沙箱的深度不同。由此可说明重锤的重力势能与重锤质量、所处高度的关系。

教学建议

关于“分析与论证 重力势能的大小”

教材中关系式(1)及其推导:关系式(1)是结合教材中图 1-4-2 从打桩机重力做功推

导出来的。从此式不仅导出了重力势能的计算式,而且说明了重力做功对重力势能的影响。

考虑到重力势能比较抽象,所以推导中,重锤下落高度用的是绝对值,而不是物理学中惯用的末状态高度减初状态高度,以降低学生理解的难度。

教学中要引导学生从以下几方面加强对重力势能的认识。

① 重力势能是状态量,是标量。由定义式 $E_p = mgh$ 可知,重力势能的大小与物体质量和离开地面的高度 h 有关。物体离开地面的高度发生了变化,物体的重力势能就会相应的变化,所以重力势能是状态量。它的变化量与重力所做的功相对应,所以是标量,其单位与功的单位相同,都是焦耳。

② 重力势能具有相对性。不同的人计算重力势能时会选择不同的水平面作为参考,物体在这个参考平面上的重力势能就为零,因此也称这个参考平面为零势能面。物体处在这个参考平面上方,重力势能为正值;物体处在这个参考平面下方,重力势能为负值。可见,重力势能的大小与零势能面的选取有关。因这个参考平面可以任意选取,所以重力势能具有相对性。一般以解决问题时简便为原则来选取零势能面。

③ 重力势能属于物体和地球组成的系统。重力是地球与物体相互吸引而引起的,如果没有地球对物体的吸引,就谈不上重力做功和重力势能,因此物体所处位置的高度是物体同地球组成的系统内部的相对位置变化结果的表现,所以重力势能是这个系统的。平常所说的“物体”的重力势能,只是一种习惯性简化的说法。

关于“重力做功跟重力势能的变化”

重力做功跟重力势能的变化关系式为 $W = E_{p1} - E_{p2} = -\Delta E_p$ 。该式中 $W = E_{p1} - E_{p2}$ 是从教材中(1)式直接得出的,它反映重力做功与重力势能变化的数量关系,学生可看到:重力做正功,重力势能减少;而 $E_{p1} - E_{p2} = -\Delta E_p$ 则是势能增量表达式。因为物理量的增量必须是末态量减初态量,而 $E_{p1} - E_{p2}$ 正好相反,所以在增量符号前要加一个负号。这实际上是一个数学变换式。通过这样一个简单的推理过程,可以很容易得到 $W = -\Delta E_p$, 便于学生接受和理解。

建议在教学中先讨论第一个等号的意义,再讨论什么是重力势能的变化(势能增量),强调末状态势能和初状态势能之差,然后再分析重力做功的两种情况,弄清重力做正功时,重力势能怎样变化;重力做负功时,重力势能怎样变化,以理解此等式。这是教学的重点之一。教学中只要学生能理解此式的意义,就自然能理解其中负号的物理意义了。

联系前面所学的内容:物体动能的变化可以用外力做功的多少来量度,旨在加强对“重力势能的变化也可以用重力做功多少来量度”的认识。再次强化功是能量传递的量度的物理观念。

这里的“案例分析”,目的是通过具体实例,强化学生对 $W = -\Delta E_p$ 的深入理解。学生通过计算,进一步认识重力在做正功和负功两种情况下,重力做功与重力势能变化之间的关系。

关于“重力做功跟路径无关”

这既是重点也是难点。要让学生对照教材中图 1-4-3 讨论两种路径重力做功的大小与路径之间的关系,得出重力做功与路径无关的结论。接着通过“请讨论”中的 1 和 2 进行相互讨论,从具体实例上升到一般理论:重力对物体做的功只跟物体的初位置和末位置的

高度有关,而跟经过的路径无关。

建议教学中采用教材介绍的方法,通过其中的图 1-4-3 的具体例子,运用“重力做功跟势能变化的关系”分析后,初步认识到“重力做的功与两个学生登上梯顶的路径无关”,然后再分析“请讨论”中的两个问题,进一步认识上面的结论。但这些认识都是通过具体事例得出的,是粗浅的,为加强科学性,教师总结中一定要加上:经更深入的研究后知道,“重力对物体做的功只跟物体的初始位置和末了位置的高度有关,而跟物体经过的路径无关。”

关于“案例分析”

本案例是为加强学生对重力势能的相对性和重力做功的理解而设置的。案例中的“等高线”是地理学名词,所以本案例将物理和地理进行了关联,增加了趣味性,同时对参考面的理解得到深化。

关于“弹性势能”

通过教材中图 1-4-6 说明压缩的弹簧有做功的本领,具有弹性势能。定性了解弹性势能与形变的大小有关,知道弹簧的弹性势能大小与弹簧的伸长量或压缩量有关。也可以结合一些具体实例定性了解弹性势能的应用。

关于“多学一点 弹性势能表达式”

建议学生围绕弹性势能的大小进行讨论,自己查找相关的网站、书籍和资料。尝试根据变力做功计算思想推算。如图 1-4-1 所示,利用弹簧的弹力 F 与形变量 x 之间关系的 $F-x$ 图像来推导出弹性势能的表达式

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2。$$

弹性势能的大小也具有相对性。如果我们规定了弹簧的任意长度时的势能为零势能,在弹簧从某一位置拉至零势能位置的过程中,拉力所做的功就等于弹簧的弹性势能。显然,这与规定自然长度为零势能时,从该位置拉到零势能位置的功是不同的,所以,弹簧在某一位置时的弹性势能是与零势能位置的规定有关的。

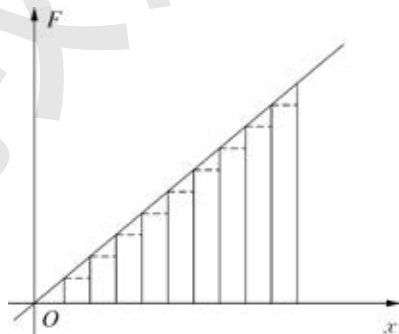


图 1-4-1

教学评价

“家庭作业与活动”参考解答

1.【解答】 重力做功与路径无关,整个过程中重力所做的功 W_G ,相当于从高 $h_1 = 1.8 \text{ m}$ 处落到高 $h_2 = 1.25 \text{ m}$ 处时重力所做的功,即

$$W_G = Gs = mg(h_1 - h_2) = 0.1 \times 9.8 \times (1.8 - 1.25) \text{ J} = 0.54 \text{ J},$$

小球的重力势能减少 0.54 J 。

2.【解答】 重力对人做的功为

$$W_G = mgs \cos \alpha = 50 \times 9.8 \times 150 \times \left(-\frac{1}{2}\right) \text{ J} = -3.7 \times 10^4 \text{ J},$$

人克服重力所做的功为 $3.7 \times 10^4 \text{ J}$, 人的重力势能增加了 $3.7 \times 10^4 \text{ J}$ 。

3.【解答】(1) 物体由位置 1 运动到位置 2 时, 重力所做的功 $W_G = -mgh$ 。物体克服重力所做的功是 mgh , 物体的重力势能增加了 mgh 。

(2) 物体由位置 2 运动到位置 3 时, 重力所做的功 $W_G = mgh$, 重力势能减少了 mgh 。

(3) 物体由位置 1 运动到位置 3 时, 重力所做的功 $W_G = -mgh + mgh = 0$, 重力势能的变化为零。

补充课堂检测题和参考解答

1. 某登山运动员登山, 山顶距登山起点的高度差为 $1\,000 \text{ m}$ 。已知运动员体重为 800 N , g 取 10 m/s^2 , 问:

(1) 登到山顶时, 运动员的重力势能变化了多少?

(2) 下山时, 运动员绕近道回到出发点。下山过程中, 运动员重力做了多少功?

【解答】(1) $8 \times 10^5 \text{ J}$; (2) $8 \times 10^5 \text{ J}$ 。

2. 举重运动员将杠铃从地面上抓起再举高, 要消耗体内的能量。某举重运动员抓举 100 kg 的杠铃, 将杠铃从地面抓起到距地面 2.0 m 的高空挺住不动, 杠铃的重力势能变化了多少? 该运动员至少要消耗体内多少能量? g 取 10 m/s^2 。

【解答】 $2 \times 10^3 \text{ J}$; $2 \times 10^3 \text{ J}$ 。

3. 为了测出大桥桥面到水面的距离, 让一个小石块从桥面自由落下, 经 3.0 s 后听到石块击水的声音, 据此我们可以估算桥面到水面的距离。已知小石块的质量为 200 g , 取桥面所在的水平面为参考平面, g 取 10 m/s^2 , 求:

(1) 在第 2 s 末石块的重力势能;

(2) 在第 2 s 内石块重力所做的功以及重力势能的变化;

(3) 若取河中水面为参考平面, 上述两问的结论会发生变化吗? 若有变化, 请计算出变化的结果。

【解答】(1) -40 J ; (2) 30 J , 30 J ; (3) 2 s 末的重力势能 50 J , 其余不变。

4. 有一上端挂在墙上的长画, 从画的上端到下面的画轴长 1.8 m , 画轴距地面高 0.5 m , 画轴重 1 N , 画重 0.8 N (画面处处均匀)。现将长画从下向上卷起来, 长画 (包括画轴) 的重力势能增加了多少?

【解答】 2.52 J 。

1.5 机械能守恒定律

教学目标

(1) 通过分析论证和实验验证, 理解机械能守恒定律及其适用条件。

(2) 会设计实验, 验证机械能守恒定律。

(3) 能运用机械能守恒定律分析生产生活中的有关问题, 体会守恒观念对认识物理规律的重要性。

教材说明

关于机械能守恒定律的分析论证和实验验证是本节重点,实验设计是本节的难点。

教材没有给机械能下定义,只说明动能和势能都是机械能。动能与势能的互相转化也是通过具体的例子引入的。

教学建议

关于“机械能守恒定律”

教学中,建议对于教材中图 1-5-1 和图 1-5-2 中果实、过山车、重锤的动能与势能之间的转化过程进行认真分析,引导学生初步形成物体的势能减少、动能增加,动能减少、势能增加的物理过程情景。对过山车的运动要求学生说出哪个过程是重力势能转化为动能,哪个过程是动能转化为重力势能。如果学生没有见过打桩机,可列举学生熟悉的实例,如打夯等。

教材是采用理论探究和实验验证相结合的方法,探究机械能守恒定律。先通过“分析与论证”,要求学生根据已经学习过的知识,从理论上推导重锤自由下落过程中的机械能守恒,再用实验验证。这与传统教材有着明显的不同。

关于“分析与论证 研究重锤自由下落过程中机械能是否守恒”

教学时,先引导学生根据图 1-5-2 分析并分别计算出重锤在不同位置时的机械能,再通过比较分析,得到三个位置重锤的机械能都相等的结论。教材中虽然已给出了三个位置的机械能,但建议在教学中,还应该让学生经历推导的过程,自己得出结论。推导的方法较多,既可以从动能定理推导,也可以从运动学公式进行推导。

分析推导的结论应是 $E_1 = E_2 = E_3$, 即 $E = E_k + E_p = \text{恒量}$ 。

机械能守恒定律可以让学生尝试用自己的语言表述,这不仅培养学生的表达能力,也可了解学生对定律的理解程度。

机械能守恒的条件很重要,教学中要特别重视。可以引导学生分析一些具体的实际情况,逐步总结出机械能守恒的条件。

机械能守恒的结论,教材是在仅有重力做功的情况下得出的。但是应明确指出:在只有重力和弹力做功的情况下,机械能都是守恒的,以加强对机械能守恒定律的理解。

关于“学生必做实验 验证机械能守恒定律”

本实验的目的是通过重物在自由下落过程中动能与重力势能的变化,验证机械能守恒定律。

教材中提供了传统的实验方案,重物自由下落的过程中,由于下落速度不太大,空气阻力可以忽略不计,重物的机械能是守恒的。实验过程中,钩码拖动纸带运动,在下落纸带的轨迹上取两个位置,分别测出重物在这两个位置的动能和势能,计算这两个位置的机械能,比较它们是否相等。这个实验学生有基础,难度不大,可以让学生独立完成。

数据处理时,在纸带上取一个零势能位置,计算打点计时器在生成该点迹时重物的瞬时速度。在纸带上任意取其他的点,计算打点计时器在生成这些点迹时重物的高度和速度。设定重物的质量为 m ,可以得到重物在不同位置时的机械能,比较这些位置重物机械能的大

小,验证机械能是否相等。

用打点计时器进行实验时,应该注意以下几点要求:

- (1) 实验前,要求学生思考:要使重物做自由落体运动,实验操作时应注意哪些问题?
- (2) 实验过程中,老师要及时给予指导。这个实验有两个难点:一是如何选择纸带;二是如何计算重物的机械能。教师可以针对学生的实际情况给出不同的方案和要求。
- (3) 实验完成之后,全班交流实验结果,并引导学生对“思考讨论”中的三个问题进行分析讨论。其中第3个讨论题具有一定的拓展性。纸带在运动过程中同时受到两个力的作用:重力与摩擦阻力。摩擦阻力在运动过程中是要消耗机械能的,因此,要设法减小摩擦阻力的影响,减小实验误差。可以通过分析摩擦阻力产生的原因找到减小误差的方法。重点是要验证:如果物体只有重力做功时,其机械能是守恒的。

这个实验也可以增加其“开放性”,其开放性主要体现在实验方案的设计上。下面提出一种实验方案供选用,当然也可以采用其他的实验方案。

用单摆和 DIS 装置进行的实验。DIS 装置是用传感器自动采集实验数据,并与计算机接口连接,直接用计算机处理数据。

表 1-5-1 给出的是某次实验的数据和计算结果。从表中可以发现:在实验的误差范围内,各点的机械能都是相等的。

表 1-5-1 Δs (挡光宽度) = 0.008 m

物体质量 $m = 0.011 \text{ kg}$

位 置	A	B	C	D
高度 h/m	0.30	0.20	0.10	0.00
速度 $v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	0.00	1.38	1.96	2.36
势能 E/J	0.032 3	0.021 6	0.010 8	0.00
动能 E/J	0.00	0.010 5	0.021 1	0.030 6
机械能 E/J	0.032 3	0.032 1	0.031 9	0.030 6

关于“案例分析”

通过“案例分析”熟悉用机械能守恒定律分析问题、解决问题,加深对机械能守恒定律的理解。

案例 1 是机械能守恒定律在现代生活中应用的一个典型事例。设计这种车站的主要目的是节约能源,它还可使列车进站时关闭电动机在较短距离内停下,出站时在较短距离内得到较大的速度。这对于空间资源宝贵的城市尤为重要。

设置案例 2 的目的是对打桩机打桩问题的定量分析处理,让学生体验运用机械能守恒定律解决实际问题的过程。

设地面为零势能面,重锤在 20 m 高处具有势能 $E_p = mgh$ 。

重锤落至地面,势能全部转化为动能 $E_k = E_p = mgh$, 则有 $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$, 得

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 10 \times 20} \text{ m/s} = 20 \text{ m/s}.$$

本题也可分步骤代入数值解,那就要用到重锤质量数据。比较这两种解法的过程可以发现,解题过程中如果先进行文字运算和化简,再代入数据是很方便的。

教学评价

“家庭作业与活动”参考解答

1.【解答】 A. 机械能不守恒。B. 机械能守恒。C. 机械能守恒(此问题可让学生讨论,训练学生的发散思维)。D. 飞船与运载火箭分离前,飞船的机械能不守恒;分离之后,只有重力做功,飞船的机械能守恒。

2.【解答】 因为没有摩擦阻力,斜面对小球的作用力始终与球的运动方向垂直,不做功,故只有重力对小球做功,所以小球的机械能守恒。因此不论对接斜面倾角如何变化,小球在此斜面上的最终势能必定与下滑之初的势能相等,所以高度相同。

3.【解答】 取水平地面为重力势能的零参考面。由机械能守恒定律,可得

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2,$$

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9.8 \times 30} \text{ m/s} = 24.2 \text{ m/s}.$$

补充课堂检测题和参考解答

1. 以 2.0 m/s 的初速度自空中某点竖直向上抛出一个质量为 0.2 kg 的小球,若不计空气阻力,问:

(1) 小球上抛的最大高度?

(2) 上抛的整个过程中重力对小球做了多少功? g 取 10 m/s^2 。

【解答】 0.2 m , -0.4 J 。

2. 质量为 1.0 kg 的铁球从某一高度自由落下,到下落的全过程的中点位置时,具有 36 J 的动能,不计空气阻力,取地面为零势能面, g 取 10 m/s^2 ,下列说法中正确的是()。

A. 铁球在最高点时,重力势能为 36 J

B. 铁球的机械能为 72 J

C. 铁球落到地面时速度为 12 m/s

D. 铁球开始下落时高度为 7.2 m

【解答】 B、C、D。

3. 如图 1-5-1 所示,水平地面上沿竖直方向固定一轻质弹簧,质量为 m 的小球由弹簧正上方离弹簧上端 H 处自由下落。刚接触弹簧时小球的速度大小为 v ,在弹性限度内弹簧的最大压缩量为 h ,那么弹簧被压缩了 h 时的弹性势能为()。

A. mgH

B. mgh

C. $mgh + \frac{1}{2}mv^2$

D. $mg(H+h)$

【解答】 C、D。

4. 利用打点计时器验证机械能守恒定律,让重锤自由下落,在纸带上打出一系列的点。

舍去前面较密集的点,取 O 为第一个点,各点间距已标在纸带上,如图 1-5-2 所示。实验中所用的重锤质量为 $m = 1 \text{ kg}$,打点计时器时间间隔为 0.02 s 。根据纸带上的数据,求:

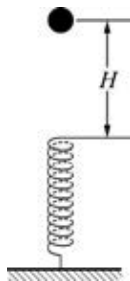


图 1-5-1

(1) 重锤在 A 点的速度 $v_A =$ _____ m/s, 重锤动能 $E_{kA} =$ _____ J (结果保留 2 位有效数字)。

(2) 从打 A 点到打 F 点的过程中, 重锤的动能增加量总是小于重力势能减少量, 原因可能是 _____。

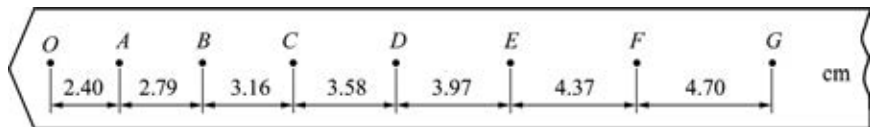


图 1-5-2

【解答】 (1) 1.3; 0.85; (2) 重锤在下落的过程中受到阻力作用, 重锤的部分重力势能转化为内能。

5. 如图 1-5-3 所示, 大型露天游乐场中, 翻滚过山车质量为 1 t, 从轨道一侧的顶端 A 处由静止释放, 到达底部 B 处后又冲上环形轨道, 使乘客头朝下通过 C 点, 再沿环形轨道到底部, 最后冲上轨道另一侧的顶端 D 处。如果不考虑车与轨道间的摩擦和空气阻力, 已知轨道的最高点 A 比最低点 B 高 20 m, 圆环半径为 5 m。g 取 10 m/s^2 , 问:

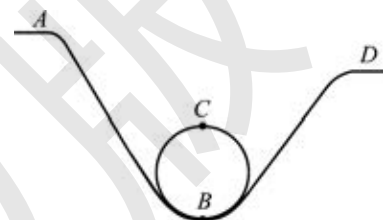


图 1-5-3

(1) 过山车通过 B 点时的动能为多大?

(2) 过山车通过 C 点时对轨道的压力有多大?

(3) 若考虑实际情况中轨道有阻力, 那么过山车通过 C 点时对轨道的压力大小如何变化?

【解答】 (1) $2 \times 10^5 \text{ J}$; (2) $3 \times 10^4 \text{ N}$; (3) 对轨道的压力变小。

“第 1 章家庭作业与活动”参考解答

A 组

1. 【解答】 重力做正功; 摩擦力做负功; 斜面支持力不做功。

2. 【解答】 (1) 5 000 J。 (2) 否。因为力、位移大小都没有变化。 (3) 不同, 快速提高的功率大。 (4) 5 125 J; 256.25 W; 0, 512.5 W。

3. 【解答】 A、D。

4. 【解答】 根据 $P = Fv$,

在速度最大时有 $F_1 = mg \sin \theta + f = (75 \times 10 \times \sin 20^\circ + 60) \text{ N} = 316.5 \text{ N}$,

所以最大速度为 $v_1 = \frac{P}{F_1} = \frac{1\,200 \text{ m/s}}{316.5} = 3.79 \text{ m/s}$ 。

又在水平路面上, 速度最大时有 $F_2 = f = 60 \text{ N}$,

所以最大速度为 $v_2 = \frac{P}{F_2} = \frac{1\,200 \text{ m/s}}{60} = 20 \text{ m/s}$ 。

5. 【解答】 (1) 重物吊装加速度 $a = \frac{v}{t} = \frac{4 \text{ m/s}^2}{2} = 2 \text{ m/s}^2$, 重物上升高度 $h = \frac{v^2}{2a} =$

$$\frac{4^2}{2 \times 2} \text{ m} = 4 \text{ m},$$

$$\text{起重机平均功率 } P = \frac{W}{t} = \frac{m(g+a)h}{t} = \frac{1 \times 10^3 \times (10+2) \times 4 \text{ W}}{2} = 2.4 \times 10^4 \text{ W}.$$

(2) 起重机对货物的拉力 $F = m(g+a)$, 瞬时功率 $P' = Fv = m(g+a)v = 1 \times 10^3 \times (10+2) \times 4 \text{ W} = 4.8 \times 10^4 \text{ W}$ 。

6.【解答】 根据人重心位置(约在人的身高二分之一处)、横杆高度和机械能守恒定律,可算得

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 10 \times (1.6 - 0.9)} \text{ m/s} = 3.7 \text{ m/s}.$$

7.【解答】 已知小车质量 $m = 1.0 \text{ kg}$, 斜面高度 $h = 0.3 \text{ m}$, 地面摩擦力的大小 $f = 2.0 \text{ N}$ 。

由于机械能守恒, 则有 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$, 又由 $0 - v^2 = 2as$, 式中 $a = -\frac{f}{m}$,

$$\text{那么 } s = -\frac{v^2}{2a} = \frac{mv^2}{2f} = \frac{mgh}{f} = \frac{1.0 \times 10 \times 0.3}{2.0} \text{ m} = 1.5 \text{ m}.$$

所以, 小车在停止前能在平地上滑行的距离为 1.5 m 。

B 组

1.【解答】 每只箱子的质量是 5 kg 。

(1) 因为把地上的箱子搬到 12 m 高的楼上需要做的功是一定的, 根据 $P = \frac{W}{t}$, 可知, 要使时间最短, 则功率 P 应该最大。由功率与质量的关系图像可知, 功率的最大值应该是 25 W , 对应的质量是 15 kg , 即每次搬 3 只箱子。

(2) 把地上的箱子搬到 12 m 高的楼上需要做的功: $W = nmgh = 30 \times 5 \times 10 \times 12 \text{ J} = 18\,000 \text{ J}$,

$$\text{所需最短时间: } t = \frac{W}{P} = \frac{18\,000}{25} \text{ s} = 720 \text{ s}.$$

2.【解答】 略。

3.【解答】 略。

课程资源

物理学家简介

焦耳

焦耳(James Prescott Joule, 1818—1889), 英国物理学家。出身于曼彻斯特附近索尔福一个啤酒厂主家庭。青年时经常用业余时间进行有关电的、化学的相互作用和机械作用之间联系的实验, 并得到了化学家道尔顿的鼓励和支持。焦耳的贡献主要有以下三个方面。

(1) 研究电流的热效应。1840 年至 1841 年间, 焦耳在论文《论伏打电堆所产生的电》和《电解时在金属导体和电池组中放出的热》中指出, 导体中一定时间所生成的热量与导体的电阻及电流平方之积成正比。由于不久楞次也独立发现了同样的规律, 所以这个规律被称为焦耳-楞次定律。

(2) 从 1840 年到 1879 年,焦耳用了近 40 年的时间钻研和测定了热量和机械功的当量关系,发表的论文有《关于电磁的热效应和热的功值》《论空气的扩散和压缩所引起的温度变化》《论热功当量》《热功当量的新测定》等,最后得到的热功当量数值为 $423.8 \text{ kg} \cdot \text{m/kcal}$ 。焦耳的实验工作以大量确凿的证据否定了热质说,为能量守恒与转化定律奠定了实验基础。因此,焦耳是能量守恒与转化定律的发现者之一。

(3) 为了研究气体的内能,焦耳于 1845 年做了气体自由膨胀实验,1852 年又与威廉·汤姆孙一起改进实验装置,做了多孔塞实验,发现一般气体的内能是温度和体积的函数,而理想气体的内能仅仅是温度的函数。他们还发现在一定的条件下,气体经多孔塞膨胀后温度下降,这称为焦耳-汤姆孙正效应。这个效应在低温技术和气体液化方面有广泛应用。

焦耳还对蒸汽机的发展做了不少有价值的工作,他第一次计算了有关气体分子的速度。1850 年焦耳当选为英国皇家学会会员。

瓦特

瓦特(James Watt, 1736—1819),英国工程师、发明家。1736 年 6 月 19 日生于苏格兰格拉斯哥市格里诺克镇的一个造船装配工人家庭。从小体弱多病不能上学,由父母进行启蒙教育,后来进了格里诺克的文法学院,虽然学习成绩优异,但还是因病中途退学。他自学了《物理学原理》,并经常到父亲的工厂向工人学习各种技术,自己动手制作机械模型,修理仪器等。这些技术都为他以后的发明打下了基础。1755 年到伦敦跟著名的机械师摩尔根学手艺,这时他已能自己制造较复杂的象限仪、罗盘、经纬仪等。1757 年他到设备完善的格拉斯哥大学当工人,在实验室修理教学仪器。这不仅使他接触到当时的先进技术,开阔了眼界,还使他结识了一些有名的学者,学到了不少理论知识;他们常在一起讨论改进蒸汽机的问题。

1764 年,瓦特在格拉斯哥大学修理“纽可门蒸汽机”的教学模型,并对当时这种最先进的蒸汽机作了深入的研究,提出了一系列重大的改进方案。他找到了“纽可门蒸汽机”效率低的原因:蒸汽在汽缸里膨胀做功,又在汽缸里冷凝,这样汽缸一会儿被加热,一会儿被冷却,浪费了大量的能量。为此,1765 年瓦特在汽缸外面试着添置一个蒸汽冷凝器,经过了无数次的失败,终于在 1768 年获得成功,并于 1769 年取得了蒸汽机的第一个专利。1781 年他发明了蒸汽机的双作用式机构,获得了关于蒸汽机的第二个专利。1782 年他又利用飞轮解决了转动的稳定性问题,获得了第三个专利。1788 年他发明了离心调速器,1790 年发明了汽缸示功器。至此,现代蒸汽机终于问世,瓦特博得了蒸汽机发明家的称号。到 19 世纪三四十年代,蒸汽机已被广泛用于纺织、轮船、火车等行业,成为当时最先进的动力设备。蒸汽机的发明对 18 世纪欧洲工业革命起到了巨大的促进作用。

实验探究资料

1. 用实验验证动能定理

实验探究方案设计:设质量为 m 、初速度为 v_1 的物体,在力 F 的作用下移动距离 s ,速度增大到 v_2 。按照动能定理,有 $Fs = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$,即:力对物体做的功等于物体动能的增加。

为了使实验简单一些,让物体从静止开始运动,则动能定理表达式可简化为 $Fs = \frac{1}{2}mv^2$ 。

用大小为 F 的力,使物体移动一段距离 s ,测出物体经过这段距离的末速度 v ,分别计算出力在这段距离内做的功 W 和物体具有的末动能 E_k 。实验要多测几组数据。

分析论证时,一种方法是直接比较 W 与 E_k 在实验误差范围内是否相等。此方法数据处理较简单,简单易懂。

因为同一物体的动能与该物体速度的平方成正比,也就是说功与速度的平方成正比。因此还可以用图像法来分析论证。建立直角坐标系,以速度平方为纵轴,以功为横轴,将测得的每组功和速度平方值在坐标轴上描点,作出图像。该图像应该是一条倾斜的直线。此方法每次只需计算出物体的速度平方,不必计算具体的动能,因此计算简单明了,而且图像含有误差概念,在物理实验分析中是值得提倡的。

实验设计可以根据学校实验室情况,选择合适的器材进行实验。例如,选用气垫导轨和光电计时器进行实验,或选用打点计时器进行实验。

(1) 选用气垫导轨和光电计时器进行实验

用气垫导轨进行实验时,因为导轨与滑块之间有薄层气垫,所以摩擦很小。光电计时器因为使用了光电传感器,用微处理器处理光电信号,灵敏度较高,实验误差较小。

实验装置如教材图 1-1-3 所示。在导轨的一端选择一个基点,每次实验时,都让滑块从基点由静止出发,滑块在小砝码施加的拉力作用下,向导轨另一端运动。将光电计时器安置在与基点相距 s 处,测量滑块经过此点的速度 v 。小砝码施加的拉力对滑块做功,滑块的动能增加。

实验时,保持小砝码质量不变,改变距离 s (光电计时器安装的位置),就可测出对应的一系列速度值。距离 s 能从导轨所附直尺读出。称出小砝码和滑块质量,算出拉力做功和滑块动能增加量,验证动能定理。

进行实验时,为减少系统误差,小砝码质量要远远小于滑块质量;附在滑块上的遮光板宽度要大于 5 cm,以凹字形遮光板效果较好。

下面是一组实验参考数据,供参考。

滑块质量 $m_{\text{滑}} = 320 \text{ g}$,砝码质量 $m_{\text{砝}} = 5.5 \text{ g}$,遮光板宽 $l = 50 \text{ mm}$ 。

表 1-6-1 实验参考数据

位移 s/m	功 W/J	时间 t/ms	速度 $v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	动能 E_k/J
0.30	0.017	146	0.34	0.018
0.40	0.022	131	0.38	0.023
0.50	0.028	120	0.42	0.028
0.60	0.033	111	0.45	0.032
0.70	0.039	104	0.48	0.037

(2) 选用打点计时器进行实验

实验装置与《必修 1》教材上测量匀变速直线运动加速度的实验装置相同。用打点计时器进行实验的优点是,从一条纸带上即可得出多组实验数据,不足之处是误差较大。

为减小实验的系统误差,除了向小车提供拉力的砝码的质量要远小于小车的质量外,附有滑轮的长木板应与水平面有一倾角,以平衡摩擦力的影响。

2. 关于用打点计时器做验证机械能守恒定律实验的若干问题

关于纸带的选择。要选用点迹清晰,且 1、2 点间的间距为 2 mm 左右的纸带,目的是为了
保证初始点的速度为零。实际上保证 1、2 点间的间距为 2 mm 是困难的(开始的几个点往往密
集地排在一起),也没有必要。从打出的纸带中选择几条点迹清晰、相邻两对计数点间的距离
之差近似为 4 mm 的纸带即可*。由于纸带所受的阻力不稳定,纸带上有的连续两个计数点
间的距离之差跟 4 mm 可能会产生较大的漂移,此点应抛弃,以减少实验误差。最好选用电
火花打点计时器进行研究,因为电磁打点计时器振针对纸带的阻力较大。

关于如何计算机械能,请学生思考:纸带上任意两点之间的时间间隔为多少?任意一点的瞬时速度大小如何求?能不能求重物在任意位置的动能和重力
势能?能不能比较重物在任意两个位置的机械能大小?这些问题对学生来说可
能都是难点,但教师要尽量让学生学会自己找出解决问题的办法。机械能的表
达式涉及零参考面的选择,可以直接告诉学生在纸带上选取比较靠后的时刻打
出的某计数点作为基准点并记为 O (这样取基准点可使重力势能为正值,容易被
学生接受)。如图 1-6-1 所示,以 O 点为基准点,该点的前一点记为 1,再前一
点记为 2,再前一点记为 3,依此类推。设重物的质量为 m ,某一点的机械能的表达式是 $E =$
 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$,式中 h 是被测点到 O 点的距离, v 是被测点的瞬时速度。 v 的计算根据是: t
时间内的平均速度等于该段时间中点时刻的瞬时速度。只要求学生能处理一条纸带数据即可。

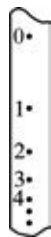


图 1-6-1

尽量减少重锤下落过程中所受的阻力。为此,操作时应注意以下几点:

(1) 打点计时器固定在与竖直铁架台垂直的位置,不能倾斜。若使用的是电火花打点
计时器,则由于这种打点计时器侧面是平整的,可将计时器的侧面放在实验桌上(桌面要平
整),让穿过纸带的一端伸出桌面。实验时一名学生用手固定计时器(注意千万不能让打点
计时器从桌上摔下来,以防损坏计时器)并控制电源,一名学生操作纸带。

(2) 将纸带固定在重物(重锤)上,让纸带穿过计时器的限位槽,用手提住纸带的上端,
上下移动,寻找一个手感阻力最小的位置,使纸带竖直且不与槽边接触。

(3) 纸带总长 60 cm 左右。本实验由于阻力做功,重锤的机械能是减少的。一般的实验误
差可控制在 5% 以内,如果使用电火花打点计时器,误差可以更小。按以上方法处理纸带,取
0、1、2、3、4 五个点,并以 0 点为基准点,我们把测量出的一组数据列表 1-6-2,供参考。

表 1-6-2 打点计时器测量数据表

计数点编号	h/m	$v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$\frac{1}{2}v^2/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^2$	$gh/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^2$	$\frac{1}{2}v^2 + gh/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^2$
1	0.043 1	2.08	2.16	0.42	2.58
2	0.083 0	1.90	1.80	0.81	2.61
3	0.119 1	1.70	1.44	1.17	2.61
4	0.152 6	1.50	1.12	1.50	2.62

* 从 $\Delta s = a(\Delta t)^2$ 可知:当运动的加速度为 $a = 10 \text{ m/s}^2$ 时,匀变速直线运动的相邻两对计数点间的距
离之差近似为 4 mm。

参考资料

机械的功率

表 1-6-3 部分机械正常工作时的功率大小

单位: kW

机 械 名 称	功 率	机 械 名 称	功 率
摩托车	1.6~1.8	推土机	107~147
手扶拖拉机	2.2~8.8	一般机车	1 470
轮式或履带式拖拉机	8.8~55	强力内燃机车	4 410
小轿车	66~162	万吨级远洋轮发动机	7 350
大客车	66~118	重型运输直升飞机	4 780
一般载重汽车	55~88	液体燃料火箭	约 10^{10} (瞬时功率)

一个非国际单位制的功率单位

当人们谈论汽车发动机的功率或空调器的制冷功率时,经常使用功率的另一个单位——马力。这是一个非国际单位制的单位,根据国家有关规定,除专门领域(如古籍、文学书籍)外,不应该再使用。这个单位当初由瓦特引进,那是为了说明他在 1769 年改进的一台蒸汽机的优良性能,他把他的蒸汽机能做的功与运煤的马能做的功相比较,把一马力定义为:一匹马在 1 min 内把 15 000 kg 的物体举高 0.3 m 所做的功,即 1 马力约合 735 W。

补充习题及参考解答

1. 推着一辆自行车在水平道路上前进,自行车受到哪些力的作用? 其中哪些力做功? 哪些力不做功? 哪个力做正功? 哪个力做负功?

【解答】 略。

2. 估测一下,跑上三层楼梯,你的输出功率是多少?

【解答】 略。

3. 如图 1-7-1a 所示,一辆汽车通过一根跨过定滑轮的绳子 PQ 提升深井中质量为

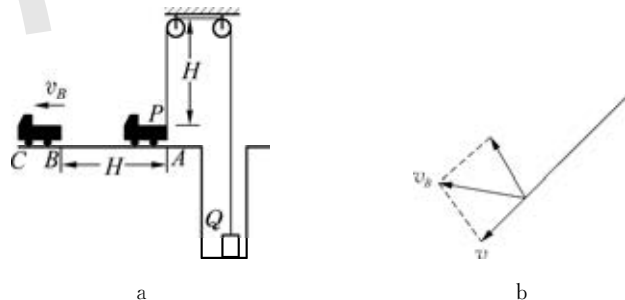


图 1-7-1

m 的物体。绳的 P 端拴在车后, Q 端拴在物体上。设绳的长度不变, 绳的质量、定滑轮质量和大小、滑轮上的摩擦力均忽略不计。开始时, 车在 A 处, 滑轮两侧绳已绷紧, 滑轮左侧绳长为 H 。提升物体时, 车从静止开始运动, 沿水平方向从 A 处经过 B 处驶向 C 处, 车经 B 处时的速度为 v_B , A 、 B 间距离也为 H 。求在车由 A 移动到 B 的过程中, 绳 Q 端的拉力对物体所做的功。

【解答】 设绳 Q 端对物体做的功为 W , 由几何关系得重物上升的高度 $h = (\sqrt{2} - 1)H$, 所以物体克服重力做功 $W_G = mgh = mg(\sqrt{2} - 1)H$ 。

对井中的重物应用动能定理得 $W - W_G = \frac{1}{2}mv^2$ 。

又如图 1-7-1b 所示, 车与重物的速度关系为 $v = v_0 \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}v_0$

4. 如图 1-7-2 所示, 桌面高为 h 、质量为 m 的小球从离桌面 H 高处自由落下, 不计空气阻力, 取桌面的重力势能为零, 则小球落地前瞬间的机械能为()。

A. mgh

B. mgH

C. $mg(H+h)$

D. $mg(H-h)$

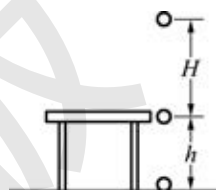


图 1-7-2

5. 高 40 m、初速度 2 m/s 的瀑布, 每秒落下的水量是 1.0×10^9 kg。若瀑布的能量有 90% 转化为电能, 则发电机的功率为多少?

【解答】 3.6×10^8 kW。

6. 如图 1-7-3 所示, 一根内壁光滑的细圆钢管, 弯成如图 1-7-3 所示 $3/4$ 圆弧, B 点为圆弧的最高点, 在 A 处正对管口用弹簧枪将小钢珠弹入。第一次小钢珠恰好能达到 B 处, 第二次小钢珠飞出 B 处后恰好落回到 A 处。问第一次和第二次弹簧枪内弹性势能之比是多少?

【解答】 $E_{p1} : E_{p2} = 4 : 5$ 。

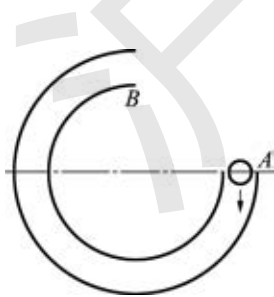


图 1-7-3

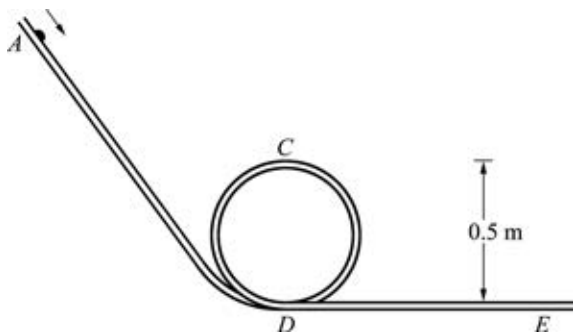


图 1-7-4

7. 图 1-7-4 所示为一轨道。轨道的环状部分的最高点 C 比最低点 D 高 0.5 m, 而 DE 段成水平的。一质量为 0.1 kg 的小物体在 A 点由静止开始滑下, 然后绕轨道的环状部分运行一圈并最终在 E 点停下, 物体在 C 点时的速率为 3 m/s。当物体绕环状部分到达 D 点

时,其速率为 4 m/s 。

- (1) 试描述物体由 A 点移动至 C 点过程中,动能的变化。
- (2) 求: ① 物体在 C 点时的动能;
② 物体在 C 点时的势能(取 D 点所在水平面为零势能参考面);
③ 由 C 至 D 的过程中,物体克服摩擦力所做的功。
- (3) 设物体沿 DE 做的是匀减速直线运动。
① 从物体经过 D 时开始,绘一图线以显示物体沿 DE 移动时其位移与时间的关系;
② 图 1-7-5 为物体沿 DE 移动时的频闪照片,频闪灯的频率为 5 Hz 。求物体的加速度。

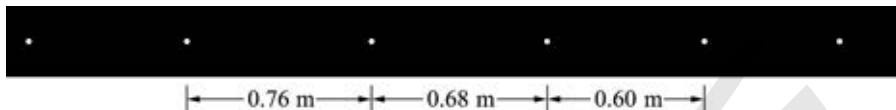


图 1-7-5

【解答】 (1) 略。(2) ① 0.45 J ; ② 0.5 J ; ③ 0.15 J 。(3) ① 图线略;
② -2 m/s^2 。

8. 如图 1-7-6 所示,质量为 m 的物体,以某一速度 v_0 从 A 点向下沿光滑的轨道运动,不计空气阻力,若物体通过轨道最低处 B 点时的速度为 $3\sqrt{gR}$,则:

- (1) 求物体在 A 点时的速度;
- (2) 物体离开 C 点后还能升多高?

【解答】 (1) $v_A = \sqrt{3gR}$;
(2) $h = 3.5R$ 。

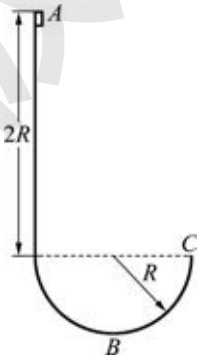


图 1-7-6

教学案例

1.5 机械能守恒定律*

【教学目标】

- (1) 通过分析论证,认识机械能以及机械能守恒定律。能正确理解机械能守恒定律的意义和适用条件。
- (2) 能应用机械能守恒定律分析和说明生活和生产中的事例。
- (3) 通过分析论证过程,体验理论分析在科学研究中的重要意义。

【教学重难点】

教学重点: 机械能守恒定律及其适用条件,形成机械能守恒定律的分析论证过程。

* 本节内容需要安排 2 课时,第 1 课时完成机械能守恒定律的分析论证和应用机械能守恒定律分析问题,第 2 课时为学生必做实验,验证机械能守恒定律。本教案用于第 1 课时。

教学难点：如何引导学生自己分析论证。

【教学过程】

◆ 引入新课

多媒体展示过山车的动画过程。画面上出现：过山车从很高的轨道一侧的顶端释放，不断地加速向下运动，越过圆环形轨道的最高点，最后冲上轨道的另一侧。提出问题：过山车为什么要从很高的轨道一侧的顶端释放？

[教师不对学生的回答作评判，只告诉学生，要回答这个问题，先研究自然界一个重要的守恒规律——机械能守恒定律。]

◆ 新课教学

引导学生根据教材中图 1-5-1 和图 1-5-2 所示的情景，对自由落体运动、打桩机的重锤从高处下落时，动能不断增加，势能不断减少的变化情况，导出机械能的概念。

1. 机械能的概念

物体的动能与势能之和称为机械能，它是物体做机械运动而具有的能量。如果用符号 E 表示，则有： $E = E_k + E_p$ 。

2. 分析与论证：机械能守恒定律

引导学生认真观察教材中图 1-5-1 和图 1-5-2，结合初中所学“重力势能和动能可以互相转化”的内容，思考讨论图中物体的动能和势能是如何转化的。

在学生回答的基础上，进一步提出问题：请同学们猜一猜，以上几种不同情境中，物体的机械能变化吗？你从中得到了什么启示？

在学生猜测的基础上，以正在工作的打桩机为例，应用我们所学过的知识进行分析论证。

指导学生对照教材中图 1-5-2，分析并计算重锤在图中三个不同位置时的机械能 E_1 、 E_2 、 E_3 。

如果学生在活动过程中有困难，教师可以提示：重锤离地面高为 H 时，可以设此位置重锤的速度为零，重锤落至离地面高为 h 时，如何求其动能？重锤下落的过程可以看作自由落体过程，可以应用运动学公式吗？可以应用动能定理吗？

请学生汇报计算结果，并指出三个结果有什么关系，能得出什么结论。

师生总结：在只有重力做功的情况下，不论物体做直线运动还是做非直线运动，物体的机械能总是保持不变。

教师指出：可以证明，在只有弹力做功的物体系统内，动能与弹性势能也可以相互转化，总的机械能也保持不变。

因此，我们可以得出结论：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，但总的机械能保持不变。即

$$E = E_k + E_p = \text{恒量}$$

这个结论叫做机械能守恒定律。

请学生思考并讨论：只有重力或弹力做功的物理意义是什么？

教师总结：只有重力或弹力做功，是指物体只受重力或弹力的作用，不受其他力的作用，如各种抛体的运动；或者物体除受重力或弹力作用外，还有受到其他的力的作用，但其他

的力不做功,如过山车受到重力和轨道压力的作用,但压力不做功。

机械能守恒定律是力学中的一条重要定律,是普遍的能量守恒定律在机械运动中的具体形式,在生产生活中有着广泛的应用。

3. 应用机械能守恒定律分析问题

应用机械能守恒定律分析解决有关问题时,首先要注意的是所研究的物体是否满足守恒条件。实际应用中,当阻力与重力相比可以忽略不计时,可以运用机械能守恒定律。

案例 1 过山车要越过圆环形轨道的最高点必须具有较大的速度,为什么从很高的轨道一侧的顶端释放能获得较大的速度?

案例 2 分析上海轨道交通某车站设计方案的优点。

[让学生议一议这种设计的优点,让学生在讨论中关注环保,关注国计民生,认识物理学对社会经济发展的正向作用。让学生明白,很多实际问题中机械能并不守恒,但可以忽略次要因素,抓住重要因素,机械能可看作近似守恒。]

在定量分析的基础上,再将此题改为定量计算:设站台高 2 m,进站的列车到达站台坡的下端 A 点时速度为 25.2 km/h,此后切断电动机的电源,列车能不能冲到站台上?如果能冲上,列车在站台上的速度为多大?或者改为列车出站时从 2 m 的站台上(关闭电动机)滑下,列车获得多大的速度?(不计阻力)

教材中案例 2 请学生课后完成。

【归纳和总结】

请学生总结本节课的知识点。在学生总结的基础上,教师提出问题:在只有重力或弹力做功的情况下,机械能守恒定律应该怎样表达?教材第 29 页图 1-A-1 所示的游戏者在下落过程中机械能守恒吗?游戏者和蹦极绳组成的系统的机械能守恒吗?在学生思考回答的基础上,教师总结:在只有重力和弹力做功的情况下,物体系(物体和弹性系统)的机械能守恒。

【课堂巩固练习】

(课堂内完成,教师及时评讲)

教材 P28“家庭作业与活动”第 1 题。

【课后巩固】

教材 P28“家庭作业与活动”第 2 题、第 3 题,“第 1 章家庭作业与活动”第 6 题、第 7 题。

(本教案原稿由安徽省合肥七中王天娇提供。收入本书时,根据修订后的教科书内容有改动)

第2章

抛体运动

本章教学目标

《课程标准》的要求及其解读

(1) 通过实验,了解曲线运动。知道物体做曲线运动的条件。

解读 《课程标准》包括了两点要求,第一点是“通过实验,了解曲线运动”,第二点是“知道物体做曲线运动的条件”,均属于“了解”水平。

日常生活和自然现象中,曲线运动较直线运动更为常见。通过《必修1》课程的学习,学生对直线运动的特点和规律已经理解得较为透彻,作为机械运动的一种新形式——曲线运动在知识结构和研究方法上对于学生而言是比较新的内容,又涉及对矢量的理解,学生学习可能有一定的难度。本主题旨在通过与《必修1》课程中所学的直线运动相衔接,定性了解曲线运动。拓展学生对机械运动的认识,进一步发展学生运动和相互作用的观念和运用所学知识研究新问题的能力。

《课程标准》要求学生从观察生活中的曲线运动和实验现象入手,了解曲线运动的速度方向沿切线方向,发展学生对速度的矢量性的认识,从而知道曲线运动是变速运动;进而运用牛顿第二定律进行科学推理,得出物体做曲线运动的条件是物体所受的合外力方向与运动方向不在同一直线上,深化学生对力与运动关系的认识。

《课程标准》中的例1对本主题的要求作了进一步说明,要求学生注意观察生活中的曲线运动,如投篮时篮球的运动轨迹。学生通过运用已学过的直线运动的知识 and 研究方法分析处理曲线运动,体现了高中物理注重培养学生物理核心素养中的“物理观念”“科学思维”方面的要求。通过实验了解曲线运动,体现了高中物理注重培养学生物理核心素养中的“科学探究”“科学态度与责任”方面的要求。

(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。能分析日常生活中的抛体运动。

解读 《课程标准》包括了四点要求。第一,“通过实验,探究并认识平抛运动的规律”,属于“理解”水平。第二,“会用运动合成与分解的方法分析平抛运动”,属于“理解”水平。第三,“体会将复杂运动分解为简单运动的物理思想”,属于体验性目标的“认同”水平。第四,“能分析日常生活中的抛体运动”,属于“理解”水平。

将物体沿水平方向抛出是生活中较为常见的物体运动现象,从这些常见的运动中抽象概括出理想化的平抛运动模型,关键是要忽略空气阻力的影响。物体以一定的初速度沿水平方向抛出,如果不考虑空气阻力,那么物体所受的合外力即物体的重力,其方向与运动方向不在同一直线上,从而做曲线运动,这样的运动叫作平抛运动。这一过程体现了物理“模

型建构”的科学思维过程。

通过实验探究平抛运动的规律,重点是学会用运动合成与分解的方法分析平抛运动,把平抛物体的运动分解为沿水平方向的匀速直线运动和沿竖直方向的自由落体运动。这两个分运动同时存在,互不影响,具有独立性。这样,平抛运动就可以运用《必修1》课程中所学的直线运动知识来分析处理了。

做平抛运动物体的运动轨迹为一抛物线,物体所受的合外力为恒力,因此平抛运动是一种匀变速曲线运动。平抛运动所经历的时间仅与抛出点的竖直高度有关,物体落地的水平位移既与抛出点的竖直高度有关,也与抛出点的初速度有关,其速度变化的方向总是竖直向下的。

运用“化曲为直”的物理思想和“运动合成与分解”的方法解决平抛运动问题,让学生体会到其中蕴含的将复杂运动分解为简单运动的物理思想,有利于提升学生的物理学科核心素养。运用平抛运动的规律可以分析日常生活中的其他抛体运动,例如飞机投放救灾物资等。

教学目标

(1) 通过实验,了解曲线运动,知道物体做曲线运动的条件。认识平抛运动,了解伽利略关于平抛运动的两个假设。通过实验,学习分析平抛运动频闪照片,探究并认识平抛运动的规律。理解运动的合成与分解,能用平行四边形定则分析计算简单的合运动和分运动的位移、速度等物理量,会计算平抛运动的位移和速度等。了解斜抛运动,知道斜抛运动的射高和射程。

(2) 经历理想化平抛运动模型建构的科学思维过程,体验物理模型建构的方法。了解伽利略研究平抛运动的思路和方法,体会将复杂运动分解为简单运动的物理思想,认识化繁为简的方法对物理学研究的重要性。会运用运动的合成与分解分析平抛运动,得出计算平抛运动竖直方向的位移和水平方向的位移公式,并能在斜抛运动等新情境中尝试建构物理模型、运用“运动的合成和分解”方法,分析讨论问题。

(3) 会设计实验,探究平抛运动的特点。能运用所学知识分析生产生活中常见的抛体运动。

全章教材分析与教学要求

曲线运动是比较复杂的机械运动形式,它是日常生活和自然现象中较直线运动更为常见的运动形式。学生在初中物理中所学习的运动一般是直线运动,或不涉及具体的运动路线,在高中物理《必修1》模块中学习的则是直线运动,所研究的运动规律只适合于在一维直线上运动的物体,而曲线运动则至少发生在二维空间。因此除了关于运动、速度和加速度等物理概念是统一的,在具体的运动轨迹和研究方法等方面,曲线运动则不能直接运用直线运动的结论,必须运用运动的合成与分解的方法,将二维以上的运动分解到一维,运用熟悉的规律和方法进行研究。所以本章的教学内容是在《必修1》学习内容的基础上安排的,所学知识会经常和直线运动知识进行对比联系。

用运动的合成与分解处理问题是中学阶段学习的第二个矢量运算,其运算法则(平行四边形定则)是在已学过的力的合成与分解基础上又一次运用。法则的运算方法是熟悉的,但

应用的对象是新的,它将不仅加深学生对力和位移、速度等物理量的矢量性的理解,而且将在今后学习电场、磁场等内容时有所帮助。

平抛运动是典型的曲线运动之一,它发生在二维平面内,需要用运动的合成与分解的方法,将运动分解到竖直和水平两个方向上,再运用直线运动的规律进行研究。特别是平抛运动的研究方法和基本运动规律的知识可以迁移到带电粒子在匀强电场中运动的研究,将这一部分内容学习好,在后续学习电场中相应部分内容时会带来方便。

本章的编写思路是:从足球场上足球的运动路线引入,以飞机投弹、发射炮弹等现象为背景,引出曲线运动的概念,并探讨物体做曲线运动的条件,分析曲线运动速度的方向。接着,运用运动合成与分解的方法,进入对抛体运动的研究。在研究过程中,让学生用理论推导、实验探究等方法,经历从研究一维直线运动到研究二维平面运动的过程,学习与体验研究抛体运动的基本方法。本章先研究平抛运动,再研究斜抛运动。学生还将参加一些他们感兴趣的课题研究和活动,如到当地驻军调查解放军射击时的实际弹道曲线等。

本章教材的主要特点是:

(1) 突出研究抛体运动的基本方法。

抛体运动是二维运动,在《必修1》中学生已经知道了怎样研究一维的直线运动,从一维运动到二维运动,这对学生无疑是一次认识上的飞跃。可以说本章实际上是运动学和动力学知识在抛体运动上的具体应用,是学生在所学运动学和动力学知识的进一步拓展和延伸。教材通过实验,展示了如何用运动合成与分解的观点,将二维的抛体运动转化为两个一维的直线运动来研究。这种研究方法为学生今后研究更复杂的运动问题,提供了物理学的基本研究思路,将使学生终身受益。

研究平抛运动时,学生更多的是在教师的指导下进行的。用运动合成与分解的方法研究斜抛运动时,给出了多种分析斜抛运动的方案,供学生研究、选择,体现了教材的开放性。教材还展示了伽利略研究抛体运动的一些史料,旨在让学生把自己的研究与伽利略的研究进行对照,体验科学推理和数学方法在研究物理问题中的作用。

教材重视科学推理、数学方法和实验探究方法的运用,要求学生用数学方法分析论证、动手实验、分析频闪照片等,从多方面研究抛体运动的规律,体现了高中物理的特点。

教材用“多学一点”展示平抛和斜抛运动的轨迹方程、斜抛运动射程和射高的计算等要求较高的内容,供对物理有兴趣的学生选学。

(2) 以足球运动、飞机投弹、炮弹发射等问题为背景,用问题串、问题链的方式展开教材内容。

教材一开始将学生引入足球比赛时那激动人心的情景,提出怎样研究曲线运动的问题;接着,又从飞机投弹提出“飞行员应在何时何地投弹”的问题,导入运动合成与分解的方法,对二维的平抛运动进行研究。2.1节介绍了曲线运动和研究平抛运动的方法,2.2节分析论证平抛运动的规律,并通过学生实验探究平抛运动的特点。2.3节以生活中常见的抛体运动为例,引入斜抛运动,并以炮弹发射为背景,用运动合成与分解的方法提出了两种研究斜抛运动的方案,引导学生研究斜抛运动。对斜抛运动轨迹、射程、射高进行定性分析讨论,比较实际弹道曲线与理论弹道曲线的差异,还通过课题研究的形式,进一步研究实际弹道曲线受到哪些因素的影响等。教材环环相扣、层层深入,为学生的研究创造了良好的氛围,从而激励学生自主探究,自主学习。

(3) 将“课题研究”渗透到学习过程中。

教材安排了一些与学生的生活紧密联系的研究课题,如在 2.2 节安排了“研究水柱的射程”,2.3 节安排了“研究弹道曲线”等。这些课题都具有开放性,对学生探究结果的要求又有一定的弹性,而且便于实施,有利于进一步激发学生研究物理问题的兴趣。本章的最后安排了课外活动“月球运动会”,要求学生用学过的知识和方法,在分析推理的基础上,想象在月球上开运动会时的情景,把学生的研究视野拓展到浩瀚的宇宙中。本章的“家庭作业与活动”栏目,一改以往教材以计算题为主的程式,设计了一些饶有兴趣的探究性问题,如航天员杨利伟在飞船中抛出一个球,小球将会怎样运动;斜抛物体运动过程中速率变化情况的研究;估算水泵的流量;研究步枪的标尺和准星等。这些课外作业都带有一定的研究性,有利于激发学生去思考和探索。

本章教材的设计框架和逻辑结构如下:



本章教学重点

运动的合成与分解是本章的重点之一,因为这是研究曲线运动的基本方法;探究平抛运动的方法及其规律是本章的又一重点,在这里凸显了物理方法论,这是理性思维和实验的巧妙结合,平抛运动的规律是本章的主要内容。

本章教学难点

运动的合成与分解也是本章的难点,难在要使学生认识到合运动是分运动的综合结果,而各分运动间互不干扰,具有独立性;使学生在实验中观察分析出做平抛运动的物体在竖直方向的自由落体运动和水平方向的匀速运动是比较难的。

课时安排建议

本章拟用 7 课时,具体安排如下:

第 2.1 节 2 课时

第 2.2 节 2 课时

第 2.3 节 1 课时

全章复习和评价 2 课时

各节教材的说明与教学建议

2.1 飞机投弹与平抛运动

教学目标

(1) 通过实验,了解曲线运动,知道物体做曲线运动的条件。

(2) 经历理想化平抛运动模型建构的科学思维过程,认识平抛运动,体验物理模型建构的方法。了解伽利略关于平抛运动的两个假设,体会伽利略研究平抛运动的思路和方法。

(3) 通过实验探究和分析论证,验证伽利略关于平抛运动的研究结论。会分析平抛运动的频闪照片,体会将复杂运动分解为简单运动的物理思想。

教材说明

本章教材引言以一场国际足球比赛为背景,引出生活中更为常见的曲线运动。怎样研究曲线运动呢?本章是以飞机投弹、炮弹发射等现象为背景,像伽利略那样,运用运动合成与分解的方法,分析研究常见的曲线运动——抛体运动,体会将复杂运动分解为简单运动的乐趣。

传统教材在处理这部分内容时,往往是直接给出运动的合成与分解,给出位移和速度的合成和分解的平行四边形定则,学生只能从一个孤立的知识出发而被动接受。平抛运动等也是先从定义出发,再学习规律,缺少知识的背景。教材力图改变这种呈现状况,从生活背景出发,使学生的学习时有对象,有参照物,不致感到突然与陌生。

本节内容以飞机投弹为背景,通过模拟实验,首先认识什么是曲线运动、物体做曲线运动的条件、曲线运动速度的方向等;然后建立平抛运动物理模型,以伽利略对平抛运动的假设为主线,突出伽利略的研究方法和思想,再通过实验进行验证。本节教学要求学生初步认识研究平抛运动的基本方法和特点。

本节内容在编排上与传统教材有很大的不同,十分重视呈现贴近学生生活的自然背景,重视问题串的启发与引导,注重引导学生经历分析论证与实验探究两种研究问题的过程。这种安排具有较强的探究性,重视科学思维和科学探究能力的培养。教材呈现伽利略对抛体运动研究的思路和方法,旨在帮助学生从中体会科学家是怎样思考和研究问题的。

教学建议

抛体运动是自然界常见的运动形式,是曲线运动的一种,平抛运动则是抛体运动的一个特例。所以本节课题引入时要充分展示教材章首语的编撰意图,建议从生活中的大量曲线运动实例入手,创设学习情境,提出本节要探究的问题,让学生带着问题进入本节课的学习。

本节是全章教学的基础,主要围绕伽利略关于平抛运动的研究,通过了解伽利略的研究方法、验证伽利略的研究结论,引导学生体会将复杂运动分解为简单运动的物理思想。

本节要做好平抛运动的几个相关实验,让学生经历“实验观察”“交流讨论”“分析论证”等多种学习方式,提升物理核心素养。

关于“章首语”

章首语提供了本章的研究背景、主要内容和研究方法。章首语通过熟悉的生活事例将学生带入曲线运动中,引导学生注意曲线运动轨迹与直线运动轨迹的不同,再从轨迹的不同考虑曲线运动能否直接运用直线运动的研究方法和规律。思考的重点以具体的飞机投弹,即平抛运动为例。

教材从一场国际足球比赛引入主题,让学生去观察、思考足球的运动轨迹,引导学生从研究直线运动进入研究曲线运动。教材上方展示的照片,是物体做曲线运动的例子。生活中曲线运动更具有普遍性。

第3段概述了本章学习的主要内容和研究抛体运动的途径。

关于“从飞机投弹谈起”

教材从空军飞机投弹说起,将学生的关注点从泛泛的曲线运动引导到初速度沿水平方向的特定曲线运动中。教材进一步把飞机投弹这一实例,简化为小球沿水平桌面滚动后离开桌面的运动,从而建立研究此问题的物理模型,这种方法是物理学的基本研究方法之一。

教材图2-1-1给出了几幅平抛运动轨迹的想象图,意在激励学生思考。在探究平抛运动前提出猜想与假设,可组织学生讨论,最好让学生动手做一做实验。

关于“曲线运动”

通过模拟实验,提出曲线运动的概念。

学生已经学习过直线运动,建议把曲线运动与直线运动进行比较,关注曲线运动与直线运动之间的区别。过去学习直线运动时关注的是其速度大小的变化。学习曲线运动时,还要关注速度方向的变化。

物体做曲线运动的速度方向总是在不断变化着,是什么原因导致速度方向不断变化呢?教材通过模拟实验,归纳分析出物体做曲线运动的条件——物体受到的合力的方向跟它运动的速度方向不在同一直线上。建议再举例分析生产和生活中的各种曲线运动,作进一步分析验证。最后用具有普遍意义的任意曲线轨道进行实验,探究曲线运动物体速度方向和合外力方向的关系。

建议通过实验和理论探究,得出曲线运动的物体任时刻速度的方向。

在给出平抛运动定义时,除了指明物体是沿水平方向抛出,具有水平初速度外,还必须指出做平抛运动的物体在运动过程中,所受空气阻力可以忽略不计,它只受重力作用。

关于“伽利略关于平抛运动的研究”

教材从物理学史角度介绍了伽利略对平抛运动的研究,重在体现研究方法和数学工具对物理学发展的作用。

伽利略对平抛运动作出的假设,揭示了对二维曲线运动研究的基本方法。

伽利略从“平抛运动是由水平方向的匀速直线运动与竖直方向的自由落体运动合成”的假设出发,用几何方法分析得出平抛运动的轨迹,他的这一结论很快就得到了实验的验证。这生动地表明了数学工具在研究物理问题中的作用。同时物理问题的研究也促进了数学的发展,基于伽利略对平抛运动的研究,笛卡儿将直线坐标系拓展为平面直角坐标系,建立了解析几何的基础,推动了数学的发展。

关于“验证伽利略的研究结论”

(1) “实验探究:研究平抛运动”能观察到的现象是:A球竖直下落,B球被水平抛出,两球落地声音几乎同时发出。说明平抛运动的物体在竖直方向做自由落体运动。

(2) “分析与论证:研究平抛运动的频闪照片”,是对已有实验记录的分析。从图片观察到做平抛的B球运动轨迹与伽利略假设的轨迹基本相同;测得图中B球在每 $\frac{1}{30}$ s内水平位

移约 3.5 mm,等距,说明其水平方向做匀速运动。测量小球竖直方向位移时要注意,因为最上面的几个球位移小,因此影像重叠,所以极难找出第 1、2、3 球的位置。教学中对前几个球的位置只能估测,重点测后面几个球的位置。

本节可划分为四个教学环节,即引言导入;曲线运动,平抛运动;伽利略关于平抛运动的研究;验证伽利略的研究结论。

教学评价

“家庭作业与活动”参考解答

1.【解答】 水平,竖直,自由落体,匀速直线。

2.【解答】 A、B。

3.【解答】 子弹射出枪口后做平抛运动,到达靶子所在位置时它将在竖直方向下落一段距离,所以子弹击在靶子下方,击不中靶子。如果靶子在子弹射出枪口的同时做自由落体运动,则两者在竖直方向下落距离相同,子弹能击中靶子。

4.【解答】 本题是从伽利略假设出发进行的推断。

(1) 排在同一条竖直线上。当最后一个物体刚投出时,这些物体在竖直方向上自上而下的距离之比是 $1:3:5:\dots$ (该题可能较难,教学中可酌情处理)。

(2) 一条水平直线上。两物体间距离是 $v\Delta t$, v 是飞机速度, Δt 是物体空投的时间间隔。

补充课堂检测题和参考解答

1. 一物体在三个共点力的作用下,做匀速直线运动,若突然撤去其中一个力,其余两个力不变,则物体可能做()。

A. 匀速直线运动

B. 匀变速直线运动

C. 曲线运动

【解答】 B、C。

2. 如图 2-1-1 所示为用频闪摄像方法拍摄的研究物体做平抛运动规律的照片。图中 A、B、C 为三个同时由同一点出发的小球。AA' 为 A 球在光滑水平面上以速度 v 运动的轨迹;BB' 为 B 球以速度 v 被水平抛出后的运动轨迹;CC' 为 C 球自由下落的运动轨迹。通过分析上述三条轨迹可以得出的结论是: _____;你判断的依据是: _____。

【解答】 做平抛运动的物体在水平方向做匀速直线运动,在竖直方向做自由落体运动,或者说平抛运动是水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动的合成。将 B 球和 A 球相比较,可以看出在同一时刻,在水平方向上 B 球和 A 球在相同位置上,说明 B 球水平方向上与 A 球的运动是相同的,即在水平方向上 B 球做匀速直线运动;将 B 球与 C 球的运动相比较, B 球在竖直方向上的位置与 C 球是相同的,说明在竖直方向上 B 球与 C 球的运动是相同的,即在竖直方向上 B 球做自由落体运动。

3. 关于物体做平抛运动,下列说法中正确的是()。

A. 只要物体以水平速度抛出,物体的运动就是平抛运动

B. 做平抛运动的物体只受重力作用

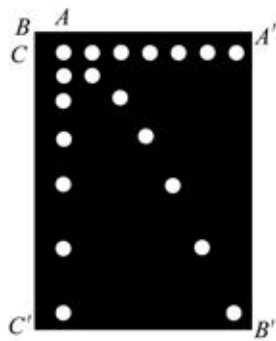


图 2-1-1

C. 做平抛运动的物体在水平方向上做匀加速运动

D. 做平抛运动的物体不受任何外力作用

【解答】 B。

4. 要探究物体做平抛运动的规律,首先要设法通过实验得到平抛运动的轨迹。除了利用频闪照相技术外,也可以利用如图 2-1-2 所示的装置,让小钢球从斜槽上滚下,冲过水平槽飞出后做平抛运动。只要每次都使小钢球从斜槽上同一位置滚下,小钢球在空中做平抛运动的轨迹就一定相同。请你设计利用该装置探究平抛运动规律的实验方案,要求写出实验的主要步骤,包括:如何确定抛出点和坐标轴、如何记录轨迹、如何利用轨迹验证平抛物体在水平方向上做匀速直线运动。

【解答】 略。

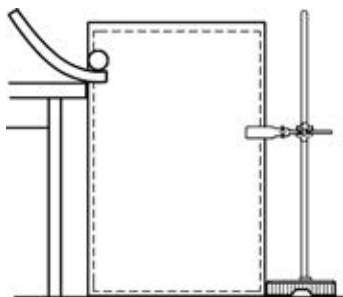


图 2-1-2

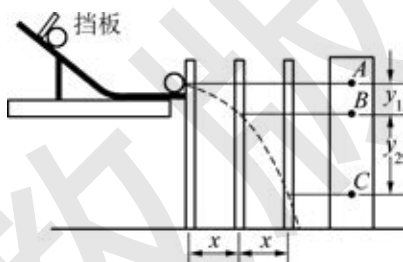


图 2-1-3

5. 在做“研究平抛运动”的实验中,为了研究平抛物体在竖直方向上做匀加速直线运动,可以利用如图 2-1-3 所示的实验装置,先将斜槽轨道的末端调整水平,在一块平木板表面钉上复写纸和白纸,并将该木板竖立紧靠槽口处。从斜槽上紧靠挡板处由静止释放小球,小球撞到木板并在白纸上留下痕迹 A;将木板向远离槽口方向平移距离 x ,再次从斜槽上紧靠挡板处由静止释放小球,小球撞在木板上得到痕迹 B;再将木板向远离槽口方向平移距离 x ,仍从斜槽上紧靠挡板处由静止释放小球,得到痕迹 C。你认为怎样才能验证平抛物体在竖直方向上做匀加速直线运动?

【解答】 略。

2.2 平抛运动的规律

教学目标

- (1) 知道什么是运动的合成与分解,知道运动的合成与分解遵循平行四边形定则。
- (2) 会用平行四边形定则分析计算简单的合运动和分运动的位移、速度等物理量。
- (3) 通过分析论证和学生必做实验,进一步研究平抛运动的规律,会用平行四边形定则分析平抛运动,会计算平抛运动的位移和速度等物理量。
- (4) 经历在具体的情境中建构模型,分析复杂运动的过程,理解运动的合成与分解方法和物理意义,体会数学工具在研究物理问题时的作用,进一步感受伽利略的研究思想和方法。

的魅力,并能够在新情境中尝试研究新问题。

教材说明

本节进一步用运动的合成与分解方法,定量地研究平抛运动的规律。

因为学生在 2.1 节已对平抛运动有了初步的认识,所以本节不仅是从理论依据方面对平抛运动的深入剖析,而且通过学生必做实验探究平抛运动的特点,进一步印证了伽利略猜想的正确性,体现了伽利略研究思想和方法的意义。

从理论和实验两个方面,让学生经历科学探究的过程,让学生在物理实验、理论思维与数学方法应用等方面得到比较充分的训练,学习探索物理世界的方法和策略,培养学生的科学探究能力,形成物理观念和科学思维,发展学生的物理学科核心素养。

教学建议

关于“运动的合成与分解”

教材中关于运动的合成与分解,是以伽利略关于平抛运动研究的假设为例直接给出的。教学中为了帮助学生理解,可以从教辅材料或相关网站上选择一些实验在课堂上演示。

进行运动的合成与分解时,首先要分析出分运动和合运动,然后再用平行四边形定则求解。要让学生通过学习进一步认识平行四边形定则是矢量运算的基本法则。要强调分运动的同時性。

案例旨在让学生运用运动合成与分解的方法,研究渡河时船的运动,从而加深对运动合成与分解的理解。教学的重点是让学生分析船渡河时的运动是由哪两个分运动合成的。还可以结合案例,让学生进行一些简单的计算,如计算船渡河所用的时间、渡河时的速度(大小和方向)等。

关于“研究平抛运动的规律”

关于平抛运动的规律,要求能给出平抛物体在某一位置的水平分速度和水平位移,竖直分速度和竖直位移,知道合位移、合速度的计算方法及合位移、合速度方向。

由于可以将平抛运动分解为竖直方向的自由落体运动和水平方向的匀速直线运动进行研究,因而计算平抛运动的位移和速度就比较容易了。建议在给出解决问题的思路后,让学生自己去完成,最好让学生通过建立平面直角坐标系进行计算。

平抛运动的轨迹方程属“多学一点”的内容,供学有余力的学生选学。

关于“学生必做实验 探究平抛运动的特点”

本节教材安排了学生必做实验,要求学生能描绘出平抛运动的运动轨迹,探究平抛运动的特点。实验前建议结合实验装置图(教材图 2-2-3),通过讨论提醒学生注意:实验中必须保证通过斜槽末端点的切线水平,方木板必须处在竖直平面内,且与小球运动轨迹所在竖直平面平行,并使小球的运动靠近木板但不接触;为保证小球每次做平抛运动的初速度相同,小球必须每次从斜槽上同一位置由静止开始滚下,为此,可在斜槽上某一位置固定一个挡板;小球做平抛运动的起点不是槽口的端点,而应是小球在槽口时球心在木板上的水平投影点,位于槽口末端上方 r 处(r 为小球半径),所以应以小球在槽口时球心在木板上的水平

投影点为坐标原点。在斜槽末端悬挂重垂线,先以重垂线方向确定 y 轴方向,再用直角三角板画出水平线作为 x 轴,建立直角坐标系;实验时,应在斜槽上适当的位置释放小球,使它以适当的水平速度抛出,其轨迹由木板的左上角到达右下角,这样可以使实验误差减小;建议在平抛轨道上选取距 O 点远些的点来计算球的初速度,这样可使结果的误差减小。

有条件的学校可以倡导学生改进实验方案,例如:借助平板电脑和传感器等直接得到平抛运动的运动轨迹。

本节最后回到对飞机投弹问题的研究。由于学生已经掌握定量地研究平抛运动,因此教材中的案例应尽可能让学生自己去完成。

关于“案例分析 飞机投弹问题的研究”

案例中的讨论题要求学生查阅有关资料,了解飞行员实际投弹时是怎样操作的。课堂内查找资料可能会有困难,可让学生在课后进行。可以采用访问有关的军事网站,查看国防教育方面的图书资料,或请教解放军战士等方式。建议安排一定的时间让学生汇报交流。

本节可概括为两个教学环节,即运动的合成与分解、研究平抛运动的规律。

教学评价

“家庭作业与活动”参考解答

1.【解答】 本题旨在让学生进一步熟悉频闪照片在研究运动问题中的作用。答案为 1.5。

2.【解答】 提示:首先要根据自由落体运动求出球落地所用的时间。 $v_0 \approx 4.5 \text{ m/s}$ 。

3.【解答】 本题用打网球的实际数据让学生进行分析研究,旨在提高学生研究物理问题的兴趣。由于给出了击球的高度,具体计算思路与第 2 题相同。 $v_0 = 31.7 \text{ m/s}$ 。

4.【解答】 本题是加强学生对平抛运动规律的理解,符合题意的选项是 B、D。

5.【解答】 本题是使学生熟悉平抛运动规律的运用。答案: 1, 5。

6.【解答】 先求出物体落地时间 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, 再求出水平距离 $s = vt = v\sqrt{\frac{2h}{g}}$, 代入数字后得 $s = 8.84 \times 10^2 \text{ m}$ 。

7.【解答】 参考方法: (1) 固定玩具手枪,使枪管在水平面内; (2) 在枪口正下方地面作出记号,并用直尺测出枪口到地面的高度 h ; (3) 射出一颗子弹,观察弹着点,在弹着点处再作出记号; (4) 量出两记号间的距离 s ; (5) 用平抛运动规律,计算出子弹射击时速度。

计算子弹射出速度的公式: $v = s\sqrt{\frac{g}{2h}}$ 。

关于“课题研究: 研究水柱的射程”

这是一个开放性的课题,也比较容易做。学生用两根直尺和一个大可乐瓶就可以完成。这个课题可以进一步激发学生的研究兴趣。为了便于观察,桶底的小孔应尽量开小些,桶内的水要尽可能装多些。由于桶内水的高度是变化的,可以让学生自行选择一些观察点,记录观察的数据,找出桶内水的高度 h 跟射程 s 间的关系。结果可以用列表、图像等方式描述。还应鼓励学生找出描述 s 跟 h 关系的近似的经验公式。让学生体验应用物理知识研究实际问题的过程。

补充课堂检测题和参考解答

1. 雨滴由静止开始下落,遇到水平方向吹来的风的作用后,下列说法中正确的是()。

- A. 风速越大,雨滴下落的时间就越长
- B. 风速越大,雨滴着地时的速度越大
- C. 雨滴下落的时间与风速大小无关
- D. 雨滴着地时的速度与风速大小无关

【解答】 B、C。

2. 关于运动的合成与分解,下列说法中正确的是()。

- A. 合运动的速度一定大于分运动的速度
- B. 合运动的位移一定小于分运动的位移
- C. 合运动与分运动的时间一定相同
- D. 形成合运动的各个分运动具有运动的独立性

【解答】 C、D。

3. 有关运动的合成,下列说法中正确的是()。

- A. 两个直线运动的合运动一定是直线运动
- B. 两个不在同一直线上的匀速直线运动的合运动一定是匀速直线运动
- C. 两个初速度为零的匀加速直线运动的合运动一定是匀加速直线运动
- D. 一个匀加速直线运动和一个匀速直线运动的合运动一定是匀加速直线运动

【解答】 B、C。

4. 无风时,降落伞匀速下降的速度是 4 m/s ,降落伞着地前突然起风,使得降落伞获得 3 m/s 的水平向南的速度。求降落伞着地时的速度。

【解答】 $v=5\text{ m/s}$,速度方向与地面之间的夹角 $\theta=\arctan\frac{4}{3}$ 或 $\theta=53^\circ$ 。

5. 一人一猴在玩杂技,如图 2-2-1 所示。直杆 AB 长 12 m ,猴子在直杆上由 A 向 B 匀速向上爬,同时人顶着直杆沿水平方向做匀速直线运动。已知 10 s 内猴子沿直杆爬到了 B 点,人也由甲位置运动 9 m 到了乙位置。求:

- (1) 猴子的位移大小;
- (2) 画出猴子运动的 $v-t$ 图像。

【解答】 (1) 15 m ; (2) 图略。

6. 决定一个平抛运动在空中运动总时间的因素是()。

- A. 抛出时的初速度
- B. 抛出时的竖直高度
- C. 抛出时的初速度和竖直高度
- D. 被抛出物体的重力

【解答】 B。

7. 做平抛运动的物体,在水平方向上通过的最大距离取决于()。

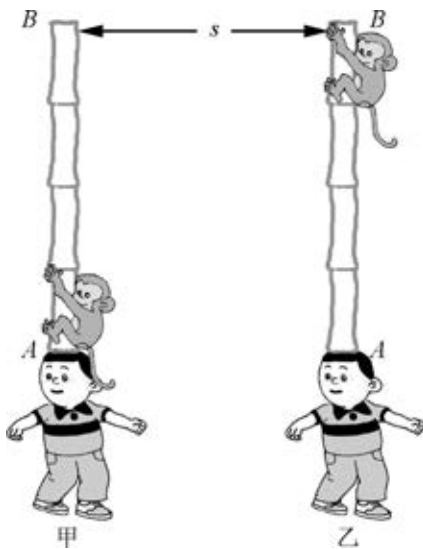


图 2-2-1

- A. 物体平抛时的高度和重力
B. 物体平抛时的初速度和重力
C. 物体平抛时的高度和初速度
D. 物体平抛的高度、初速度和重力

【解答】 C。

2.3 斜抛运动

教学目标

- (1) 知道斜抛运动,能列举斜抛运动的实例。
- (2) 能从运动的合成与分解的角度,用不同的方法和思路研究斜抛运动。
- (3) 了解弹道曲线,知道理想弹道曲线和实际弹道曲线。

教材说明

本节以炮弹的发射为背景,研究斜抛运动。

关于斜抛运动,《课程标准》未作要求,一般教材也不作必学内容,本教材编入斜抛运动的目的是为拓宽研究抛体运动的思路。教学中可根据具体情况选择使用或不使用。

本节的重点是运用运动合成与分解的方法分析、研究斜抛运动,让学生在分析平抛运动所积累的经验上,提出几种研究斜抛运动的思路,这体现了教材的开放性。教师可组织学生讨论、交流,比较各种分析方法。

教学建议

关于“怎样研究斜抛运动”

(1) 方案1 将斜抛运动分解为沿初速度方向的匀速直线运动和沿竖直方向的自由落体运动。这种分析方法与研究平抛运动的思维相似,学生比较容易接受。

由于学生已经历了研究平抛运动的过程,这里应尽可能让学生自己去分析斜抛运动的规律。

(2) 方案2 建立平面直角坐标系,将初速度分解为水平分量和竖直分量。这种分析方法比较合理、方便。但由于学生没有学习过竖直上抛运动,因而对大多数学生而言,无法深入理解沿竖直方向的分运动。对学有余力的学生则可以让它们作进一步的研究。

(3) 教材虽未明确列出方案3,但在方案2后提出。由于斜抛运动的轨迹对经过最高点的竖直线是对称的,是否可以将斜抛运动作为平抛运动来处理。教材这样安排的目的是进一步拓宽学生的研究视野,这有助于发散学生的思维。

(4) 鉴于学生的数学知识,要让所有学生都能定量地研究斜抛运动的射程与射高是不切实际的。为此,对大多数学生只要求用喷水枪进行实验探究。由于这个实验很好做,而且学生很感兴趣,教师应通过演示或让学生自己动手进行探究。实验时要注意连接喷水枪的盛水容器要尽可能选择直径大一些的,还要多装些水。喷水枪的出水口要小一些,以免实验进行中初速度改变过大。为了便于学生研究,建议在实验时加一块带有坐标的板作为背景。

关于“研究斜抛运动的射程与射高”

“研究斜抛运动的射程与射高”的重点放在实验探究上。

(1) 关于投掷运动中投射角与射程的关系,应让学生在实验探究的基础上进行讨论。再建议学生去请教体育老师,看看实际投掷时,为了取得较好的成绩,还要考虑哪些因素。

(2) 教材图 2-3-6,表示理想弹道曲线与实际弹道曲线的差异。学生一定会惊讶为什么会有这么大的差异。教师应向学生着重指出:理想弹道曲线是忽略了空气阻力,物体只受重力作用的结果。而对于实际的抛体,特别是速度较大的抛体,空气阻力是不可忽略的。因此实际弹道曲线与理想弹道曲线有很大的差异。我们目前所讨论的抛体运动,除有特别说明外,都是指理想情况下的抛体运动。

关于“信息浏览 伽利略是怎样研究斜抛物体射程的”

“信息浏览”中进一步介绍了伽利略对斜抛运动射程的研究成果,上、下两个旁批可组织学生讨论。对下面的旁批,可鼓励学生通过实验或理论推导进行验证。

本节大部分内容可采用学生自主阅读、相互交流、教师点拨的方式进行,在教学过程中应注重发挥学生学习主体性。

教学评价**“家庭作业与活动”参考解答**

1.【解答】 A。

2.【解答】 应与体育课结合起来,让学生请教体育老师,再结合抛体运动知识讨论。

3.【解答】 联系我国的载人飞船绕地飞行之实况,让学生运用已有的知识分析得出:在完全失重的情况下,杨利伟观察到小球的运动轨迹是直线。教师还可介绍俄罗斯航天员别列佐沃依所谈的太空趣事(见本章课程资源),让学生对此有更清楚的认识。

4.【解答】 教材图 2-3-7 给出了实验数据,学生可以很方便地找出小球在上升或下落过程中的同一高度处的速率是相等的。利用运动的合成与分解方法证明该结论。

关于“课题研究”和“课外活动”

本节的“课题研究”需要一定的时间才能完成,可让学生在课外进行。应要求学生在调查研究的基础上写出课题报告,并组织他们进行交流。课题报告应作为本章的评价要素。

“课外活动”可以让学生运用已有的知识,发挥想象力。活动的形式可以生动活泼一些,比方说让学生组织讨论。

补充课堂检测题和参考解答

1. 物体在斜抛运动过程中,下列物理量中不变化的是()。

A. 加速度

B. 相同时间内速度的变化量

C. 相同时间内水平方向的位移

D. 相同时间内竖直方向的位移

【解答】 A、B、C。

2. 关于斜抛运动的性质,下列说法中正确的是()。

- A. 一定是匀速直线运动 B. 一定是匀变速曲线运动
C. 一定是变加速曲线运动 D. 可能是变加速曲线运动

【解答】 B。

3. 某人斜向上抛出一球,抛射方向与水平方向夹角 $\theta=60^\circ$,当 $t=1\text{ s}$ 时,小球恰好上升到最高点。不计空气阻力, g 取 10 m/s^2 ,问:

- (1) 小球抛出的初速度有多大?
(2) 小球落回到与抛出点相同高度时,水平方向上通过的位移是多少?

【解答】 $v_0 = \frac{20\sqrt{3}}{3}\text{ m/s}$, $s_x = \frac{20\sqrt{3}}{3}\text{ m}$ 。

“第2章家庭作业与活动”参考解答

A 组

1. 【解答】 $\frac{t_1 t_2}{t_1 + t_2}$ 。

2. 【解答】 做平抛运动的小球先到达地面;到达地面时做平抛运动物体的速率大。题中物体沿光滑斜面自由下滑,指的是从静止开始下滑。

3. 【解答】 C。

4. 【解答】 A。

5. 【解答】 C。

6. 【解答】 船在静水中的速度与水流速度是船运动的两个分运动速度。

(1) 船渡河最短时间 $t_{\min} = \frac{s_1}{l_{\text{船}}} = \frac{260}{\frac{18\,000}{3\,600}}\text{ s} = 52\text{ s}$ 。

(2) 船到对岸的位置在 A 点下游处: $s_2 = v_{\text{水}} t_{\min} = \frac{9\,000}{3\,600} \times 52\text{ m} = 130\text{ m}$ 。

B 组

1. 【解答】 提示:流量等于出水口单位时间内出水的体积,即等于出水管的横截面积与出水口水流的初速度的乘积。水流的初速度可根据水流做平抛运动的规律测出。需要测量的物理量有:出水口的直径 R 、出水口中心到水平地面的高度 h 、水在水面上的落点到出水口的水平距离 s 。计算公式为

$$Q = \frac{\pi R^2 s}{8} \sqrt{\frac{2g}{h}}。$$

2. 【解答】

(1) 由题意,子弹射出后做平抛运动。有: $s = v_0 t$, $h = \frac{1}{2} g t^2$

子弹离开枪口时的速度 $v_0 = \frac{s}{t} = s \sqrt{\frac{g}{2h}} = 100 \times \sqrt{\frac{10}{2 \times 20}}\text{ m/s} = 50\text{ m/s}$ 。

(2) 仍能击中。因为平抛运动竖直方向的分运动是自由落体运动,如果子弹离开枪口

时的速度大于 50 m/s, 击中小球时, 小球下落距离小于 20 m。

(3) 子弹和小球同时做平抛运动, 由水平方向分运动可知, 假设能击中, 则有:

$$v_{\text{子弹}} t - v_{\text{球}} t = s, \quad \text{所以} \quad t = \frac{s}{v_{\text{子弹}} - v_{\text{球}}} = \frac{100}{50 - 10} \text{ s} = 2.5 \text{ s},$$

击中处子弹和小球在竖直方向下落距离都是

$$h' = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 2.5^2 \text{ m} = 31.25 \text{ m}$$

此处离 B 点水平距离 $s' = v_{\text{子弹}} t = 50 \times 2.5 \text{ m} = 125 \text{ m}$

所以, 击中的条件是: C 点距离地面高度 $> 31.25 \text{ m}$ 。

课程资源

物理学家简介

伽利略对抛体运动的研究

伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642), 伟大的意大利物理学家和天文学家, 科学革命的先驱。历史上他首先在科学实验的基础上融会贯通了数学、物理学和天文学三门学科, 扩大、加深并改变了人类对物质运动和宇宙的认识。为了证实和传播哥白尼的日心说, 伽利略献出了毕生精力。由此, 他晚年受到教会迫害, 被终身监禁。他以系统的实验和观察推翻了以亚里士多德为代表的、纯属思辨的传统的自然观, 开创了以实验事实为根据并具有严密逻辑体系的近代科学。因此, 他被称为“近代科学之父”。他的工作为牛顿的理论体系的建立奠定了基础。

在伽利略的研究成果得到公认之前, 物理学乃至整个自然科学只不过是哲学的一个分支, 没有取得自己的独立地位。当时, 哲学家们束缚在神学和亚里士多德教条的框框里, 他们苦思巧辩, 得不出符合实际的客观规律。伽利略敢于向传统的权威思想挑战, 他不是先臆测事物发生的原因, 而是先观察自然现象, 由此发现自然规律。他摒弃神学的宇宙观, 认为世界是一个有秩序的服从简单规律的整体, 要了解大自然, 就必须进行系统的实验作定量观测, 进而找出它的精确的数量关系。

基于这样的新的科学思想, 伽利略发现了数学与实验相结合的研究方法。这种研究方法是在科学上取得伟大成就的源泉, 也是他对近代科学最重要的贡献。用数学方法研究物理问题, 原非伽利略首创, 公元前 3 世纪的阿基米德已经运用此法。14 世纪的牛津学派和巴黎学派以及 15、16 世纪的意大利学术界, 在这方面都有一定成就。但他们并未将实验方法放在首位, 因而在科学思想上未能有所突破。伽利略重视实验的思想可见于 1615 年他写给克利斯廷娜公爵夫人的一封信: “我要请求这些聪明细心的神父们认真考虑一下臆测性的原理和由实验证实了的原理两者之间的区别。要知道, 做实验工作的教授们的主张并不是只凭主观愿望来决定的。”

伽利略的数学与实验相结合的研究方法分为三个步骤: (1) 先提取从现象中获得的直

观认识的主要部分,用最简单的数学形式表示出来,以建立量的概念;(2)再由此用数学方法导出另一易于实验证实的数量关系;(3)然后通过实验证实这种数量关系。他研究落体运动规律便是最好的证明。

伽利略深入而系统地研究了落体运动、抛体运动、静力学、水力学以及一些土木建筑和军事建筑等,还发现了惯性原理,研制了温度计和天文望远镜。

关于抛体运动的研究,亚里士多德曾认为,抛体先是沿倾斜的直线上升,直到抛射力耗尽,然后在引力的作用下,垂直地下落。他错误地认为抛射力与引力是一先一后地作用在物体上的,而伽利略则运用运动独立性原理和运动的合成与分解方法,以垂直于地面的匀加速运动和水平方向的匀速运动,完整地解释了弹道的抛物线性质。这是运动的合成研究的重大收获,并具有实际意义。

伽利略在《两门新科学》中详细介绍了他研究抛体运动的成果。假设物体以某一水平初速度被抛出,伽利略指出,此时物体将同时参与一个匀速的水平运动和一个匀加速的下落运动。他假定这两个分运动“既不彼此影响、干扰,也不互相妨碍”,这就是运动的独立性原理。物体的实际运动,将是这两个运动的合运动,伽利略看出,抛射体的轨迹是一条抛物线。在斜抛的情况下,轨迹是关于过最高点的垂线左右对称的抛物线。物体在上升和下落的时间内所通过的水平距离,就是抛射体的射程。伽利略把抛射体在各种仰角时的射程一一计算出来,从而得出 45° 时射程最大,以及两个仰角分别为 $45^\circ \pm \beta$ 的抛射体的射程相等的结论。在1546年,意大利数学家和力学家塔尔塔利亚(N. Tartaglia)曾经根据经验得到仰角 45° 时射程最大的结论,伽利略仅用数学知识就得出如此结论,生动地表现了科学理论的预言和指导作用。

伽利略在人类思想解放和文明发展的过程中作出了划时代的贡献。在当时的社会条件下,为争取不受权势和旧传统压制的学术自由,他进行了坚持不懈的斗争。因此,他是科学革命的先驱。虽然他晚年被剥夺了人身自由,但他开创新科学的意志并未动摇。他追求科学真理的精神和成果,永远为后代所敬仰。

1979年,梵蒂冈教皇保罗二世代表罗马教廷为伽利略公开平反昭雪,认为教廷在300多年前迫害他是严重的错误。这表明教廷最终承认了伽利略的主张——宗教不应该干预科学。

参考资料

弹道导弹

弹道导弹是指在火箭发动机推力作用下按预定程序飞行,关机后按自由抛射体轨迹飞行的导弹。这种导弹的整个弹道分为主动段和被动段。主动段弹道是导弹在火箭发动机推力和制导系统作用下,从发射点起飞到火箭发动机关机时的飞行轨迹;被动段弹道是导弹从火箭发动机关机点到弹头爆炸点,按照在主动段终点获得的给定速度和弹道倾角做惯性飞行的轨迹。弹道导弹按作战使用分为战略弹道导弹和战术弹道导弹;按发射点与目标位置分为地地弹道导弹和潜地弹道导弹;按射程分为洲际、远程、中程和近程弹道导弹;按所使用推进剂分为液体推进剂和固体推进剂弹道导弹;按结构分为甲级和多级弹道导弹。

弹道导弹的主要特点是:(1)导弹沿着一条预定的弹道飞行,攻击固定目标。(2)通常采

用垂直发射方式,使导弹平稳起飞上升。这能缩短导弹在大气层中飞行的距离,以最少的能量损失克服作用于导弹上的空气阻力和地球引力。(3) 导弹大部分弹道处于稀薄大气层或外大气层内,因此它采用火箭发动机,自身携带氧化剂和燃烧剂,不依赖大气层中的氧气助燃。(4) 火箭发动机推力大,它能串联、并联使用,可将较重的弹头投向较远的距离。(5) 导弹飞行姿态的修正,用改变发动机推力方向的方法实现。(6) 弹体各级之间、弹头与弹体之间的连接通常采取分离式结构,火箭发动机完成推进任务后,即被抛掉,最后只有弹头飞向目标。(7) 弹头再入大气层时,产生强烈的气动加热,因而需要采取防热措施。(8) 导弹无弹翼,没有或者只有很小的尾翼,起飞质量和体积大,结构复杂。(9) 为提高突防和打击多个目标的能力,战略弹道导弹可携带多弹头(集束式多弹头或分导式多弹头)和突防装置。(10) 有的弹道导弹弹头还带有末制导系统,用于机动飞行,准确攻击目标。

弹道导弹能按预定弹道飞行并准确飞向地面固定目标,主要是靠制导系统实现的。其制导方式有无线电指令制导、惯性制导、星光-惯性制导等。无线电指令制导是早期弹道导弹采用的制导方式,它易受无线电干扰,地面设备复杂,不能满足现代作战要求。因此,20世纪50年代以来,各国研制的弹道导弹绝大多数采用惯性制导。惯性制导属于自主式制导。它采用惯性测量元件,不受外界干扰。按照惯性测量装置在导弹上的安装方式,惯性制导可分为平台式惯性制导和捷联式惯性制导。平台式惯性制导的惯性测量装置具有测量精度高、计算机运算较简单,以及利用平台本身可进行元件误差分离、发射时调平和瞄准也较简单等优点,因此被广泛采用。与平台式惯性制导相比,捷联式惯性制导的惯性测量装置受弹体振动的影响较大,测量精度受到一定限制,对计算机的要求较高,但随着微型计算机的发展,正日益受到重视。惯性制导技术的不断发展,使弹道导弹的命中精度有很大提高。例如20世纪60年代初期,美国研制的“民兵”ⅠA洲际弹道导弹,射程8 000 km,命中精度(圆概率偏差)为1.8 km;20世纪70年代研制的“民兵”Ⅲ洲际弹道导弹,射程13 000 km,命中精度已提高到0.185 km。星光-惯性制导是在惯性制导的基础上,增加了星光测量装置,利用恒星方位来判定初始定位误差和陀螺漂移,对惯性制导误差进行修正,可进一步提高导弹命中精度。

铅球出手的角度应该是多少

学习斜抛运动时讨论过这样的问题:将物体以一定的速率斜向上抛出,如果空气阻力可以忽略,则仰角为多大时抛出的距离最远?

我们知道,这个问题的答案为 45° 。但是,推铅球的情况不同,铅球的抛掷点不在地面上,而是离地面有一定的高度。以同一出手速率做 45° 及 40° 仰角抛掷,当铅球落回抛掷点同一水平面时,水平距离以 45° 者较大。但是,当它落到地面时,水平距离却可能是 40° 者较大。请学生自己分别画出这两种情况下的运动轨迹并进行比较。

通过复杂的计算,可以得到结论:推铅球要获得最大的距离,出手时的仰角应小于 45° 。这个获得最大距离的角度随铅球出手速度的增大而增大,而随出手高度的增大而减小。对出手高度为1.7~2 m,而出手速度为8~14 m/s的人来说,出手仰角应为 $38^\circ\sim 42^\circ$ 。

其他投掷类运动,受空气的作用力影响较大,各有不同的最佳仰角。例如掷铁饼为 $30^\circ\sim 35^\circ$,标枪为 $28^\circ\sim 33^\circ$,链球为 $42^\circ\sim 44^\circ$ 。

表 2-4-1 地球、月球一些比较资料

	地 球	月 球	月球与地球同一种量的比值(近似值)
平均半径/km	6 371.04	1 738	0.237
体积/ m^3	1.083×10^{21}	2.200×10^{19}	$\frac{1}{50}$
质量/kg	$5.974 2 \times 10^{24}$	$7.348 3 \times 10^{22}$	0.012 3
表面重力加速度/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	9.806	1.622	0.17

俄罗斯航天员别列佐沃依谈太空趣事

曾在空间站工作过 210 天的俄罗斯航天员别列佐沃依说道:“在太空,抛出去的物体都是沿直线运动。要同事将照相机抛过来,总抛不到位,真令人恼火。吃不下东西,吃下去的食物都存在胃的上部,吃一点就感到饱了,要很长时间才适应。在飞船上喝水与地上不一样,等回到地面上后又成了新的不习惯,喝过水就把手一松,哪知杯子掉到地上摔破了。刚回到地面上,走路时感到好像肩上多扛了一个人,很吃力,很累。”

补充习题及参考解答

1. 下列属于抛体运动的例子的是()。

- A. 一架喷气式飞机从跑道上起飞 B. 一颗子弹从枪口射出
C. 一只铝皮罐头掉进废物回收箱 D. 一艘太空飞船绕地球运行

【解答】 B。

2. 下列不属于抛体运动的例子的是()。

- A. 一只排球发过网 B. 一只棒球被一根棒球棍击起
C. 一只热气球飘离地面 D. 一名运动员在跳远

【解答】 C。

3. 一位田径运动员在跳远比赛中以 12 m/s 的速度沿与水平面成 30° 的角度起跳,在落到沙坑之前,她在空中滞留的时间约为(), g 取 10 m/s^2 。

- A. 0.42 s B. 0.83 s C. 1.2 s D. 1.5 s

【解答】 C。

4. 一名消防员离一座起火的建筑物 50.0 m ,他拿着一条消防水带以与水平面成 30° 的角度喷水。如果这股水的速度是 40.0 m/s ,那么这股水浇到那幢建筑物的高度是()。

- A. 9.60 m B. 13.4 m C. 18.7 m D. 22.4 m

【解答】 C。

5. 某电影导演正在拍摄一个场景,一个做替身的假人将从一架沿水平方向飞行的飞机上掉下来,刚好掉进前方一个游泳池。这架飞机离地面 10.0 m ,并以 22.5 m/s 的速度沿 x 轴正方向运动。这位导演想知道这假人应该在飞机飞行路径上的什么地方掉下来才能让它落到游泳池内,请你帮助解答。 g 取 10 m/s^2 。

【解答】 离游泳池水平距离 31.5 m 处。

6. 一只袋鼠以 8.42 m/s 的速度和与地面成 55.2° 的角度纵身一跳,恰好越过了一道篱笆。那么这道篱笆最高为多少? 这只袋鼠跳过的水平位移是多少?

【解答】 最高为 2.42 m , 水平位移为 6.73 m 。

7. 一次暴风雪之后,一位男孩和一位女孩决定打一场雪仗。女孩用一架大弹弓向那男孩抛射雪球。假设女孩每次都是与地面成 θ 角发射雪球,而且雪球以初速度 v_0 运动。若不计孩子身高和空气阻力,则:

(1) 雪球在到达它的射高之前所经历的时间 Δt 是多少? 用初速度 v_0 和抛射角 θ 表示。
(提示: 请回忆当一个物体到达它的射高时 $v_y = 0$)

(2) 雪球的射高 h 是多少?

(3) 当这个雪球到达它的射高时,它所经过的水平距离 x 是多少?

(4) 射程 R 是指被抛物体的抛出点与落点之间的水平距离。利用你在第(1)问和第(3)问得到的答案,用 v_0 、 θ 和 g 写出射程的一个表达式。

(5) 如果初速度 $v_0 = 50.00 \text{ m/s}$, 对于下表中所列的每个抛射角,求出射高和射程。

表 2-5-1

抛射角	射高/m	射程/m
15°		
30°		
45°		
60°		

【解答】 (1) $\Delta t = \frac{v_0 \sin \theta}{g}$ 。

(2) $h = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$ 。

(3) $x = v_0 \cos \theta \cdot \frac{v_0 \sin \theta}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{2g}$ 。

(4) $R = v_0 \cos \theta \cdot \frac{2v_0 \sin \theta}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$ 。

(5) 射高: $8.37, 31.25, 62.50, 93.75$ 。

射程: $125, 216.5, 250, 216.5$ 。

教 学 案 例

2.1 飞机投弹与平抛运动

【教学设计】

本章教材中涉及的重点知识是: 运动的合成与分解、抛体运动(平抛和斜抛)的规律以及在社会生活等领域中的抛体运动实例等。这些知识是直线运动知识的进一步扩展, 其研

究过程及处理方法是以后学习带电粒子在匀强电场中运动规律的基础。

抛体运动是曲线运动,比直线运动复杂。本章的教学要突出研究抛体运动的基本方法,也就是要通过观察与实验,展示如何运用运动的合成和分解的观点,将二维的运动转化为两个一维的运动来研究,为学生今后研究更复杂的运动问题提供物理学的基本研究思路。

本章内容分为两个单元:

第一单元:第1节。通过飞机投弹,引入曲线运动和平抛运动;通过伽利略研究抛体运动的史料,体验科学推理和数学方法在研究物理问题中的应用。本单元教学拟用2个课时完成。

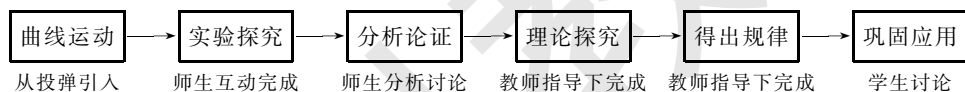
第二单元:第2节、第3节。学习运动的合成与分解,研究平抛运动的规律,研究斜抛运动。教学中应注重研究过程和总结出抛体运动规律。本单元教学拟用3个课时完成。

【教学思路】

“研究平抛运动的规律”是全章的重点内容之一,具有较强的科学探究性,可以分为四段:

伽利略关于平抛运动的假设	——猜想与假设
实验(平抛仪和频闪照片分析)	——进行实验与收集证据
平抛运动的规律	——分析与论证
案例分析	——评估、交流与合作

【教学流程】



【教学目标】

- (1) 通过实验,了解曲线运动,知道物体做曲线运动的条件。
- (2) 通过科学探究,理解平抛运动可以看作水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动,并且两者互不影响。
- (3) 通过平抛运动的实验和分析论证,认识科学推理和数学分析方法在物理学研究上的意义。
- (4) 培养学生认真严谨、实事求是的科学态度和探究创造、克服困难的心理品质。

【教学重难点】

教学重点:研究伽利略关于平抛运动的假设,认识平抛运动的特点。

教学难点:研究平抛运动的频闪照片,分析论证平抛运动的特点。

【教学器材】

平抛运动演示器、平抛运动的频闪照片、投影仪、CAI 课件。

【教学过程】

◆ 新课导入

用课件模拟空军的投弹演练情景。引导学生注意观察炸弹运动的特点,回忆平抛运动

的概念。

思考问题设置：飞机投下的炸弹做平抛运动。要使炸弹能命中目标，飞机应该在离目标水平距离多远处投弹？

2.1 飞机投弹与平抛运动^{*}

◆ 新课展示(只节录了“验证伽利略的假设”部分)

我们有什么方法对伽利略的假设做初步的验证呢？

[设计探究方案。可让学生稍微讨论一下。]**

这里有一个研究平抛运动的仪器。出示教材图 2-1-4 所示仪器，讲述它的结构。

请同学们分析，并告诉大家，当我用小锤敲击弹性钢片，小球 A 和 B 将做什么运动？说出你的分析根据。

[学生讨论后应认识到：B 球将沿水平方向飞出，做平抛运动；A 球做自由落体运动。以上为实验设计之一。]

现在我来演示，请同学们注意观察现象。用小锤打击弹性钢片。

(教师演示和学生演示，多次。进行实验，收集证据。)**

归纳观察到的现象，得到两点结论：

(1) B 球水平抛出，A 球竖直下落。

(2) 两球同时落地。因为每次实验时，都只听到一次声音。

请同学们分析讨论：实验现象说明了什么问题？

(引导学生讨论后得出：两球从同一高度开始运动，同时落地，说明两球在竖直方向做的都是自由落体运动。这与理论分析是一致的，因为它们在竖直方向都只受重力作用。)

启发问题：那么能否说伽利略的平抛运动假设已得到了实验验证呢？

(在教师引导下，学生经讨论后，认为还没有得到全部验证，因为本实验没有证明 A 球在水平方向是否做匀速运动。)

怎样才能证明 B 球在水平方向做匀速运动呢？

(引导学生根据匀速运动定义得出：须测出 B 球在相同时间内的水平位移是否相同。并让学生提出几种测时间和位移的方法，稍加点评。)

有一种频闪照相的方法，它可以每隔相等的时间，将运动小球所在位置的像留在照相底片上，研究底片上各像之间的距离就可以判断小球的运动状态。

[简介频闪照相。这是实验设计之二。]

屏幕上是一幅研究平抛运动的频闪照片投影(投影教材图 2-1-5)。请观察图，并在教材上做实际测量两小球在水平和竖直方向上的位移。

[和学生分析讨论，并要求学生说出实验分析结论。学生在测量和分析讨论后，应能得到如下表格的内容和结论。]

* 本节内容安排 2 课时，本教案用于第 2 课时。本书教学案例中 或下加 为板书内容。

** 教学案例中[]内文字表示点评或说明内容。全书同。

*** 教学案例中()内楷体字表示学生活动内容。全书同。

表 2-6-1 各球之间距离

B 球	x/m	0.003 5	0.003 5	0.003 5	0.003 5	0.003 5	0.003 5
	y/m						
A 球	x/m	0	0	0	0	0	0
	y/m		0.005	0.009	0.014	0.020	0.028

(1) 频闪照片上 A 球的轨迹与伽利略用几何方法得到的轨迹相似。

(2) 在测量误差范围内, B 球在水平方向相同时间内位移相同, 是匀速运动。与伽利略的假设相符合。

(3) A 球与做自由落体运动的 B 球, 在相同时刻几乎位于同一水平线上; 在测量误差范围内, A 球在竖直方向上的相同时间内 $\left(\frac{1}{30} \text{ s}\right)$ 的位移约是 $1:3:5:\dots$, 即位移与时间二次方成正比, 这说明 A 球在竖直方向做自由落体运动。

(4) 对频闪照片的分析, 证明了平抛运动水平方向的运动与竖直方向的运动互不影响。实验比较精确地证明了伽利略关于平抛运动的假设。

[再次投影伽利略假设。]

小结: 实验探究和分析论证验证了伽利略的假设, 即平抛运动是由水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动合成的。它在水平方向遵守匀速运动的规律, 竖直方向遵守自由落体运动的规律。

伽利略用数学中的几何图形研究平抛运动, 数学是研究和描述物理规律的最简洁的形式, 它是科学美的一种表现。

◆ 课堂总结

平抛运动的研究方法。

◆ 家庭作业与活动

课堂练习。教材第 34 页“家庭作业与活动”第 1~4 题。

(本教案原稿由安徽省合肥八中芮泽丽提供。收入本书时, 根据修订后的教科书内容有部分改动)

第3章

圆周运动

本章教学目标

《课程标准》的要求及其解读

(1) 会用线速度、角速度、周期描述匀速圆周运动。

解读 《课程标准》要求学生通过观察、实验,建立匀速圆周运动模型,知道线速度的概念,知道线速度就是物体做匀速圆周运动的瞬时速度;理解角速度和周期的概念,会用公式进行计算;理解线速度、角速度、半径之间的关系: $v = \omega R$; 会用角速度、线速度、周期等物理量描述匀速圆周运动。理解匀速圆周运动是变速运动。

(2) 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。

解读 《课程标准》首先要求学生知道匀速圆周运动是变速运动,存在加速度——向心加速度,体验向心加速度的导出过程,领会推导过程中用到的数学方法;知道什么是向心力以及向心力与向心加速度的关系。通过这些概念的学习,深化对加速度和力与运动关系的认识。

《课程标准》要求学生会做“探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系”的实验。能明确实验需要测量的物理量,由此设计实验方案。会使用所提供的实验器材进行实验并获得数据,通过对数据的分析发现其中的特点,进而归纳出实验结论,并尝试对其作出解释。

通过研究匀速圆周运动,体会物理学中实验与理论推导的方法,以及化繁为简的研究方法,能使用证据说明自己的观点,能撰写简单的实验报告。

(3) 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。

解读 本条目要求学生会用牛顿第二定律分析匀速圆周运动的向心力。例如:分析自行车拐弯时受到的向心力等,让学生调查高速公路拐弯处的倾斜情况或铁路拐弯处两条铁轨的高度差。

本条目还要求学生关注圆周运动的规律与日常生活的联系。知道什么是离心现象,结合所学知识分析生产生活中的离心现象,例如洗衣机脱水、自行车拐弯时人会倾斜等都属于离心现象,进一步了解人们是如何利用离心现象或避免离心现象的,强调课程内容与生产生活的联系。

教学目标

(1) 知道匀速圆周运动的概念,理解匀速圆周运动是变速运动。理解线速度的概念,知

道线速度就是物体做匀速圆周运动的瞬时速度,能运用极限法理解线速度的瞬时性;理解角速度和周期的概念,体会有了线速度后,为什么还要引入角速度;会运用数学知识推导角速度的单位,知道周期、频率、线速度与角速度关系: $v = \omega R = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi fR$, 会用它们进行计算;了解研究圆周运动的方法,感受针对不同的研究对象应用不同的研究方法。会根据圆周运动的特点分析有关问题,体会应用所学知识的乐趣,激发学习兴趣。

(2) 知道匀速圆周运动是变速运动,具有加速度;经历矢量差法、比值定义法、极限法等数学方法导出向心加速度的过程,领悟推导过程中用到的“无限逼近”的思维方法;理解向心加速度的概念,知道向心加速度和线速度、角速度的关系式;能够应用向心加速度的相应表达式解决问题。通过实验体验和感受做匀速圆周运动的物体需要向心力,知道什么是向心力,能根据向心加速度结合牛顿第二定律推导出向心力与向心加速度的关系;知道向心力大小与哪些因素有关,会做“探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系”的实验。通过亲身经历的探究活动,感受获得成功的乐趣,培养参与物理活动的兴趣,以及实事求是、尊重客观规律的科学态度,养成严谨、细致、耐心的实验修养。

(3) 能运用圆周运动的规律分析生产生活中的圆周运动现象,将生活实例转换为物理模型进行分析研究。会对诸如火车、汽车在弯道上运动等具体问题,找出它们所受到的向心力的来源。理解航天器中的失重现象的本质。知道向心力和向心加速度的公式也适用于变速圆周运动,会求解变速圆周运动中物体在特殊位置需要的向心力和向心加速度。

(4) 了解离心现象及其产生的原因,知道物体做离心运动的条件,分析生活和生产中的离心现象,知道离心现象的应用和预防。通过离心运动的应用和预防的实例分析,学会用科学思维方法分析问题、解决问题,提高学生综合运用所学知识解决实际问题的能力。

全章教材分析与教学要求

圆周运动是自然界中常见的一种曲线运动形式,该运动既可以用位移、线速度、加速度等物理量来描述,也可以用转过的角度、角速度、周期、频率、转速、向心加速度等物理量来描述。通过本章内容的学习,不仅能使学生认识一种新的机械运动形式,而且还知道可以根据研究对象的不同,选用不同的描述方法。

匀速圆周运动的规律不仅在生活中有大量实际事例,而且也是后面学习万有引力、行星运动和人造卫星运动、带电粒子在磁场中的运动、回旋加速器等方面知识的基础。

本章通过对砂轮打磨工件时飞出的火花和旋转雨伞时雨伞边缘的水滴运动实例分析,探究研究圆周运动的方法;用实验探究和理论分析的方法,认识圆周运动的规律;通过交通运输中的车辆转弯、游乐场中的过山车等实例分析,知道圆周运动在生产生活中应用的广泛性,增强学生利用离心现象和预防离心现象危害的意识。

本章内容的呈现特点如下。

(1) 设置了共同探究情境。

以游乐场中的过山车、车辆转弯等为背景,让圆周运动的研究具有真实而熟悉的情境,这样既降低了学习的难度,也提高了学习兴趣。

(2) 关注学生学习的主动性。

本章紧密联系《必修1》中的直线运动相关知识,让学生通过对圆周运动的观察和分析,自己总结出圆周运动的基本特点,发现既可以用线量又可以用角量来描述圆周运动。通过分析论证,认识向心加速度;通过实验,体验向心力的大小;通过实验,探究匀速圆周运动向心力的大小与半径、角速度、质量之间的关系,感受获得成功的乐趣,培养学生参与物理活动的兴趣。这有助于培养学生实事求是、尊重客观规律的科学态度,养成严谨、细致、耐心的实验素养。

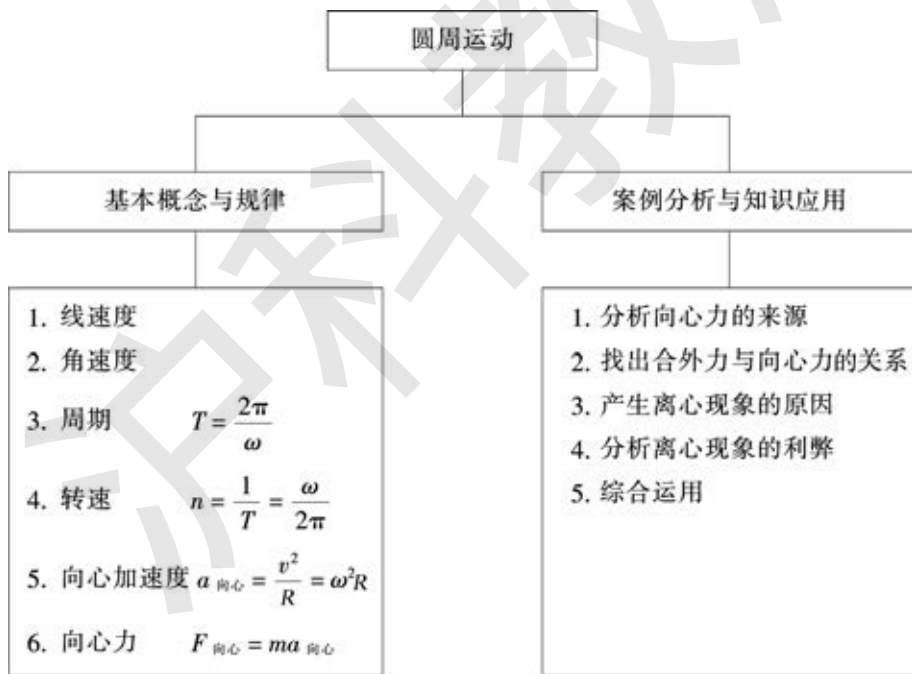
(3) 注重物理知识的应用。

本章用案例的形式,以生活、交通、科技、娱乐中的多种情境,说明圆周运动规律的广泛应用。3.3节以一节的篇幅,用具体案例分析了圆周运动规律的应用。3.4节又以一节的篇幅描述了离心现象产生的原因、应用,以及可能造成的危害等,事例生动。

(4) 让所有的学生得到发展。

本章在落实《课程标准》要求的基础上,利用对匀速圆周运动速度的方向、向心加速度的产生等内容,以“多学一点”栏目呈现,供基础较好又对物理比较感兴趣的学生选学。这既能让所有学生都能学到想学的物理知识,又能让部分学生根据自己的需要拓宽和加深所学内容。

本章教材的设计框架和逻辑结构如下:



本章教学重点

匀速圆周运动线速度的方向和大小、角速度、向心加速度、向心力和“探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系”的实验,都是本章的重点。

本章教学难点

分析匀速圆周运动是变加速运动、向心加速度、分析向心力产生的原因,以及用“探究向

心力大小与半径、角速度、质量的关系”的实验是本章的难点。

课时安排建议

本章拟用 8 课时,具体安排如下:

第 3.1 节 1 课时

第 3.2 节 2 课时

第 3.3 节 2 课时

第 3.4 节 1 课时

全章复习和评价 2 课时

各节教材的说明与教学建议

3.1 怎样描述圆周运动

教学目标

- (1) 理解匀速圆周运动,会用线速度、角速度、周期描述圆周运动。知道匀速圆周运动是变速运动。
- (2) 理解线速度的物理意义、定义式、矢量性,知道匀速圆周运动线速度的特点。
- (3) 理解角速度的物理意义、定义式及单位,知道转速和周期的物理意义。
- (4) 知道线速度和角速度的关系,知道角速度与转速、周期的关系。
- (5) 能在具体的情景中确定线速度和角速度与半径的关系。会用周期、频率、线速度与角速度关系进行有关计算。
- (6) 会运用极限思想和数学知识分析匀速圆周运动,体会学科知识间的联系,体会应用知识的乐趣。

教材说明

圆周运动既是学生熟悉的、常见的,但也是陌生的。因为人们往往只注意了看得到的圆周运动,而对不易被观察到的圆周运动则忽视了,对圆周运动中的一些现象也感到难以理解。

本章首先从游乐场中的过山车开始,通过展现过山车惊心动魄的运动,激起学生对圆周运动的强烈兴趣。教材随后指出圆周运动是曲线运动,并通过从生活中常见的圆周运动到天体所做的圆周运动,说明圆周运动是普遍存在的。利用这些内容引导学生思考下面的问题:

自然界与生活中普遍存在的圆周运动有什么特点?它们遵循什么规律?

物体为什么会做圆周运动?我们如何描述、研究圆周运动?

物体做曲线运动必然有加速度,那么提供物体做圆周运动的力有什么特点呢?

学生带着上述一系列问题,先讨论如何描述圆周运动,探究匀速圆周运动的规律;再运用匀速圆周运动规律分析生活中常见的圆周运动,了解生产生活中的离心现象及其产生的原因,使学生对匀速圆周运动形成一个比较清晰的认识。

本节内容根据圆周运动的特点,让学生会用位移、路程、线速度、角速度、周期和频率等物理量描述圆周运动。对于匀速圆周运动的定义,教材是在讲述了线速度概念后给出的,从教材的定义和叙述中可以看出,高中物理中的匀速圆周运动属质点运动模型,而不是刚体的转动模型。

教学建议

关于“章首语”

本章章首语以生活中的圆周运动为背景,利用学生经常见到的过山车运动场景,把学生带入圆周运动的情境中。提出的与过山车有关的问题,实质上就是本章要解决的重要问题。

圆周运动是常见曲线运动的一种。教学时,建议引导学生利用章首语及其相关的图片资料,充分认识圆周运动的广泛性,认识圆周运动与直线运动、抛体运动的区别与联系。鼓励学生多举一些生产生活中的圆周运动实例,创设探究圆周运动的问题情境。

关于“路程、位移与线速度”

路程与位移

由于圆周运动的路程是圆弧的长度,位移是这段圆弧所对的弦,在极限情况下,可认为弧的长度和弦相等。但是,同一圆周上两点之间有两段弧,却只有一条弦,所以圆周运动必须指明运动方向。

本节教材要求学生通过在图 3-1-1 上描画出位移与路程,观察从 A 点到 B、C、D 各点的路程有什么不同,位移有什么不同。也可以让学生思考圆周运动的路程与弧长的关系,位移与弧长的关系,理解矢量和标量的运算区别。

线速度

教材中对圆周运动线速度的定义实际上是平均速率,只有在时间 t 趋近于零时,才是瞬时速度。圆周运动线速度的定义和计算公式都没反映出线速度的方向,所以教材上的线速度实际是指线速度的大小。限于学生的数学知识和物理基础知识,圆周运动线速度大小的计算公式是直接给出的。线速度的单位可以让学生自己推导得出。

教材中关于线速度的方向分析讨论的思路是,通过观察发现水滴沿转动的雨伞边缘的切线方向飞出,砂轮打磨工件时火花也是沿砂轮边缘的切线方向飞出,进而得出结论。教学时,建议通过实验观察和理论分析,说明水滴沿雨伞边缘飞出的方向就是雨滴做圆周运动的方向,火花沿砂轮边缘飞出的方向也是火花做圆周运动的方向。这就表明,圆周运动的线速度方向总是沿着圆周的切线方向。

匀速圆周运动

教材中直接给出了匀速圆周运动的定义。教学时,首先让学生理解匀速圆周运动中的“匀速”指的是速度的大小不变,即速率不变,速度的方向是不断变化的,所以匀速圆周运动是一种变速运动。而“匀速直线运动”的“匀速”指的是速度的大小和方向都不变,即速度不变,两者并不相同。

教学时要引导学生根据匀速圆周运动的定义,分析日常生产生活中存在的匀速圆周运动实例。

关于“角速度与周期”

对角速度的学习可以从弧长以及线速度开始。例如教师可以出示钟表,让学生观察指针的转动,提出问题:根据线速度的定义,请比较手表指针中点和端点线速度的大小。学生发现,同一根指针上不同的点,其线速度大小不一样,而它们在相同时间内转过的角度是相

等的。因此这就需要我们思考：描述圆周运动的快慢，除了用线速度外，还有没有其他方法。从而引导学生通过思考、讨论得出角速度公式。角速度的单位对学生来说是新的，教学时，要引导学生回顾数学中关于角度的弧度单位规定以及 π 的取值，再根据角速度的定义公式让学生自己推导出角速度的单位。

角速度是矢量，但教材中没有说明它是矢量，是当作标量处理的。教材中凡涉及角速度变化的问题，都是指其大小的改变。

教学中要求学生储备的数学知识有：角度的单位“度($^{\circ}$)”和“弧度(rad)”的换算方法，认识弧度作为单位时的意义，在圆中弧长 Δl 、半径 R 和圆心角的弧度数 θ 之间的关系($\theta = \Delta l/r$)，各个特殊角对应的弧度数等。

对学生来说，周期与转速的概念并不陌生，因为生活和生产中常用到，而且在数学的三角函数中也有周期的概念。教学时首先要启发学生推导出周期与转速的关系式 $T = \frac{1}{n}$ ，再利用角速度的定义公式 $\omega = \frac{\Delta\theta}{t}$ 和周期定义推导出关系式 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 。

关于“角速度与线速度的关系”

线速度、角速度和圆周半径的关系式 $v = \omega R$ 是一个重要的等式，它反映了描述圆周运动两种方法的联系，使得在具体应用中更为方便。教材要求学生利用弧长与圆心角和半径的关系，再根据线速度和角速度的定义公式自己推导出关系式 $v = \omega R$ 。在教学中，不仅让学生会推导该关系式，还要学生理解线速度是描述物体做圆周运动通过弧长的快慢，角速度是描述物体与圆心连线扫过角度的快慢。

关于周期、转速与线速度、角速度的关系，首先要引导学生利用线速度、角速度和周期的定义公式进行推导。例如：当 $t = T$ 时， $s = 2\pi R$ ，则有 $v = \frac{s}{t} = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi nR$ 。同时引导学生结合常见的圆周运动实例，通过对导出的关系式进行讨论，使学生明确不同物体做匀速圆周运动，只要角速度相等，则周期、转速必相等，但线速度不一定相等。这样不仅把对圆周运动的各种描述方法联系起来，还将圆周运动与技术、生活相联系。例如生活和生产技术所接触的传动中的线速度、角速度关系有：绕同轴转动的轮（如砂轮、轮轴、转盘等）上各点的角速度相等、带连接（无滑传动）的两轮边沿上各点的线速度大小相等、相啮合的齿轮边沿上点的线速度相等、靠摩擦传动的两轮沿上点的线速度大小相等。

关于“案例分析”

“案例分析”以自行车为背景，分析讨论一系列与描述圆周运动的物理量相关的问题，与学生生活很贴近。目的在于让学生从熟悉的生活中理解相关概念和公式。

建议在教学前，先要求学生观察自行车，分析思考案例中给出的几个问题，得出结论：

(1) 同一齿轮上各点到轴的半径不一定相同，且切线方向也不一定相同，故各点的线速度不相同。各点在相同时间内相对轴心转过的角度是相同的，所以角速度相同。这里“齿轮上各点”指的是整个轮上各点，并不单指轮缘。

(2) 两个齿轮直径不同，边缘的线速度大小相同，角速度不同，转速不同。

(3) 两齿轮是链条传动,在单位时间内传送的链条长度必定相等,设大齿轮转速为 n_1 ,小齿轮转速为 n_2 。则在单位时间内,大齿轮传送的链条长度 $L_1 = \pi n_1 d_1$,小齿轮传送的链条长度 $L_2 = \pi n_2 d_2$ 。因 $L_1 = L_2$,所以得到 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$,齿轮的转速与其直径成反比。

对自行车的实际测量放在课外完成,用测量的数据与理论分析作对比。

针对自行车构造,引导学生思考:自行车在相同时间内前进的距离,除了与车轮直径、脚踏板绕中轴运动的转速有关外,还同小齿轮及大齿轮的直径比有关,由此探讨变速自行车的原理。

关于“多学一点 圆周运动的速度”

“多学一点”是拓宽与加深学生知识面的,不是必学内容。限于学生的数学知识,只提供对有兴趣和学有余力的学生阅读。可以告诉学生,利用数学上的极限概念能更深入地理解这个问题。

本节内容概念较多,需要说明的问题也比较多,教师要整理好本节的教学目标,厘清几个概念和物理量之间的关系。教学时,建议教师多呈现一些物体做匀速圆周运动的情景,例如:电风扇叶片上某点的转动、竖直平面内小球的圆周运动、地球表面的物体随着地球自转一起做圆周运动等。以观察现象为基础,类比描述直线运动概念的方法,引导学生认识圆周运动的轨迹形状,分析圆周运动的特点。

教学评价

“家庭作业与活动”参考解答

1.【解答】这是实践动手题。让学生通过操作和观察,实际感受圆周运动的运动方向。当软木塞运动至圆周的最高点或最低点时突然松手,软木塞将从这一点沿圆周的切线方向飞出,做平抛运动。

2.【解答】 $\sqrt{2}R, 4.5\pi R, 2 \times 360^\circ + 90^\circ = 810^\circ = 4.5\pi \text{ rad}$ 。

3.【解答】 $v_{\text{秒针}} = 1.4 \times 10^{-3} \text{ m/s}, v_{\text{分针}} = 2.1 \times 10^{-5} \text{ m/s}, \omega_{\text{秒针}} = \frac{\pi}{30} \text{ rad/s},$

$$\omega_{\text{分针}} = \frac{5}{9}\pi \times 10^{-3} \text{ rad/s}。$$

4.【解答】 12

5.【解答】(1) 因 A、B 两轮共轴,所以两轮具有相同的转速,两轮上各点具有相同的角速度;A、C 两轮是带传动,所以两轮的边缘各点具有相同大小的线速度;同一轮子从中心向外,各点的角速度相同,速度的大小在增加。所以: $n_A = n_B < n_C$ 。

(2) $v_C = v_A = 8\pi \text{ m/s}, v_B = 4\pi \text{ m/s}, \omega_A = \omega_B = 62.8 \text{ rad/s}, \omega_C = 125.6 \text{ rad/s}。$

补充课堂检测题和参考解答

1. 关于匀速圆周运动,下列说法中正确的是()。

A. 它是速度不变的圆周运动

B. 它是角速度不变的圆周运动

C. 它是周期不变的圆周运动

D. 它是速率不变的圆周运动

【解答】 B、C、D。

2. 关于物体做匀速圆周运动,下列说法中正确的是()。

A. 物体在相同的时间内通过的路程都相同

B. 物体在相同的时间内通过的圆弧长都相同

C. 物体在相同的时间内通过的位移都相同

D. 物体在相同的时间内转过的角度都相同

【解答】 A、B、D。

3. 质点做匀速圆周运动时,下列说法中正确的是()。

A. 由公式 $v = \omega R$ 可知,线速度与轨道半径成正比

B. 由公式 $\omega = v/R$ 可知,角速度与轨道半径成反比

C. 由公式 $\omega = 2\pi n$ 可知,角速度与转速成正比

D. 由公式 $\omega = 2\pi/T$ 可知,角速度与周期成反比

【解答】 C、D。

4. 如图 3-1-1 所示,分别站在地球表面 A、B 两点上的人随地球一起转动的角速度之比为_____,线速度之比为_____,周期之比为_____。

【解答】 $1:1$, $\sqrt{3}:2$, $1:1$ 。

5. 如图 3-1-2 所示,在水平圆盘中心轴的正上方高为 h 处有一个小球 A,圆盘绕轴做匀速转动,当圆盘半径 OB 转到与小球 A 平抛的初速度方向相同时,小球抛出。若小球抛出后恰好落到圆盘上的 B 点,已知圆盘半径为 R ,不计空气阻力,求:

(1) 圆盘转动的角速度;

(2) 小球平抛的初速度。

【解答】 (1) $\omega = \pi n \sqrt{\frac{2g}{h}}$ ($n=1, 2, 3, \dots$); (2) $v_0 = R \sqrt{\frac{g}{2h}}$ 。

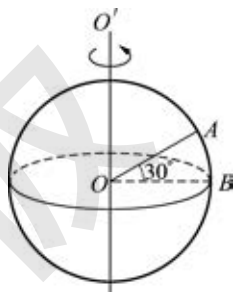


图 3-1-1

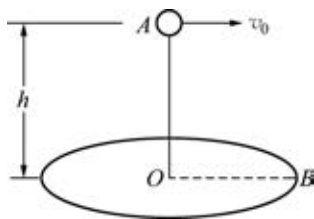


图 3-1-2

3.2 匀速圆周运动的规律

教学目标

(1) 知道匀速圆周运动向心加速度的大小和方向。理解做匀速圆周运动的物体的向心加速度方向指向圆心。知道向心加速度和线速度、角速度的关系式,能够运用向心加速度公式求解有关问题。

(2) 会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、质量之间的关系,知道向心力的概念及其表达式的确切含义,能运用牛顿第二定律分析匀速圆周运动的向心力。

(3) 通过实验,体验做圆周运动的物体需要向心力。知道向心力是根据力的效果命名的一种力,做匀速圆周运动所需要的向心力是由物体所受的合外力提供的。

(4) 会用向心力公式进行计算,能运用公式求质点在某一点的向心力和向心加速度,分析解决具体问题。

教材说明

本节教材首先通过对圆周运动速度变化的分析,让学生感知圆周运动存在加速度,以及匀速圆周运动的加速度始终沿半径指向圆心,即存在向心加速度。在直接给出向心加速度公式后,再让学生通过实验体验向心力,并利用牛顿第二定律直接推导出向心力的表达式。最后通过实验验证“探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系”。

教学建议

关于“向心加速度”

匀速圆周运动的向心加速度,严格说来应该用极限概念或微积分才能推导出,但限于学生数学水平,教学时只能根据圆周运动速度方向的变化,抓住“速度变化量”,使学生感受匀速圆周运动的加速度始终沿半径指向圆心。因为加速度等于速度变化量 Δv 跟时间 Δt 之比,只要学生能够认识到匀速圆周运动由于速度大小不变,故加速度方向垂直速度方向,只改变匀速圆周运动的速度方向,使各点的速度都沿着圆周的切线方向。

如果加速度方向跟速度方向不垂直,则加速度就会有两个分加速度,一个指向圆心(同速度垂直),使物体沿圆周运动;另一个沿圆周切线,同速度方向一致,改变速度大小。这样,物体就不会做匀速圆周运动了。

教材图 3-2-1 表示,物体做匀速圆周运动时受到了力的作用,存在着向心加速度。由于是示意图,不可能将 B、A 两点画得很接近,而是将两点间的距离放大了。实际上物体在这两点间运动的时间间隔是趋于零的,否则就不能理解加速度的方向沿半径指向圆心。教学中可向学生作出说明。

作为对学生的普遍要求,向心加速度的表达式是直接给出的,可以不作深入讨论,但要知道分别用线速度和角速度表达的两个公式。

在向心加速度的两个表达式中,加速度大小与圆周半径的关系似乎是矛盾的。要求学生通过分析,理解各个表达式成立的条件。

关于物体以 100 m/s 的线速度在半径与地球半径相同的圆周上运动的问题,应使学生意识到在思考、解决问题时,要抓住主要因素,忽略次要因素的影响。如本题中,物体在圆周上运动的向心加速度极小,可以忽略,因而物体的运动可以按匀速直线运动处理。进而让学生体会到,为什么地面上一般物体的运动都没有考虑地球形状的影响。

关于向心加速度与周期和转速的关系式,建议教学时让学生自己进行推导,得出公式:

$$a = \frac{4\pi^2}{T^2} R = 4\pi^2 n^2 R。$$

关于“多学一点 推导向心加速度公式”

“多学一点”栏目是运用数学知识,从理论上证明向心加速度的表达式。证明的难点是:当 Δt 趋近于 0 时, $\Delta\theta$ 也趋近于 0, B 点接近 A 点, Δv 接近于同 v_A 垂直,指向圆心。所以向心加速度方向沿半径方向指向圆心。

教学中要根据学生的实际情况,不一定做统一要求,可以让学有余力学生和感兴趣的学生自主学习。

关于“向心力”

教材从物体做匀速圆周运动的向心加速度出发,根据牛顿第二定律推出物体必定受到力的作用,这个力就是向心力,方向与向心加速度的方向相同,也指向圆心。向心力是根据力的作用效果命名的,凡是沿半径指向圆心、能产生向心加速度的力,不管属于哪种性质的力,都叫向心力。它可以是重力、弹力等各种性质的力,也可以是它们的合力,还可以是某个力的分力。当物体做匀速圆周运动时,合外力就是向心力;当物体做变速圆周运动时,合外力指向圆心的分力就是向心力。向心力的作用效果只改变线速度的方向。由于向心力始终指向圆心,其方向时刻在变化,与物体运动方向始终垂直,故向心力不改变线速度的大小。建议在课堂教学中有简单的分析推理过程。

图 3-2-4 的小实验是让学生体验向心力的作用效果。因此这个实验尽量能让每个学生都尝试做一次。提醒学生实验中要注意安全。比如:绳子不要太长,小球与绳子连接要牢固,实验时将绳子抓牢防止绳子脱手等。实验中不仅要感受向心力的存在,还要思考:做圆周运动小球的向心力是由哪个物体提供的?向心力的大小跟哪些因素有关?这个实验也可预先布置学生在课前完成,记下感受。课堂教学时,先让学生交流实验感受,再引导学生利用牛顿第二定律和向心加速度公式推导出向心力的公式: $F_n = ma_n = m \frac{v^2}{R} = m\omega^2 R =$

$$m\omega v = m \frac{4\pi^2}{T^2} R。$$

教学时,要让学生知道上述公式描述的是质量 m 的物体做圆周运动时需要的向心力。通过对公式的分析,引导学生总结出匀速圆周运动的特点:线速度大小不变、方向时刻改变;角速度、周期、转速都恒定不变;向心加速度和向心力大小都恒定不变,但方向时刻改变。

让学生讨论向心力的大小跟哪些因素有关的问题,不仅是加强对向心力公式的理解,也是本节学生必做实验的探究目的,从科学探究的角度来说,也是猜想与假设。

关于“学生必做实验 探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系”

教材中推荐的“探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系”的实验装置叫作向心力实验仪。该仪器是定型生产的教学仪器,它可以直接测量的量是向心力大小、圆周半径、重物质量和转速。教学中,教师首先要引导学生仔细阅读实验器材说明书,观察器材结构,明确调速轮的作用以及皮带传动时两轮的角速度关系,知道长、短滑槽的用途。

实验采取控制变量的方法。要求学生在设计实验方案时思考:如何确定物体的角速度?如何在保持角速度不变的情况下,探究向心力跟物体质量、圆周半径的关系?设计实验时要明确改变圆周半径的方法、改变小球质量的方法、改变角速度的方法。实验时可以利用调速轮通过皮带控制两轮的角速度,利用长、短滑槽改变转动半径。

因为这个探究实验的内容较多,教学时,在弄清楚实验步骤后,可以采用分组进行,每组各完成一个探究任务,然后进行交流,培养交流合作的精神。

该实验的分析论证要求比较高,要通过直接测得的物理量来表达一些间接的物理量,从而达到实验探究的目的。教学时,教师要引导学生对实验数据进行分析、归纳、总结。

利用该实验装置进行实验操作前,至少让学生明确:

(1) 在探究向心力大小与质量的关系时,选择不同质量的小球,分别放入长、短滑槽半径相同的槽位处,皮带选择左右调速轮半径相同的轮子,转动手柄使调速轮匀速转动时,记录左右弹簧测力器的示数。

(2) 在探究向心力大小与半径的关系时,选择质量相同的小球,分别放入长、短滑槽半径不同的槽位处,皮带选择左右调速轮半径相同的轮子,转动手柄使调速轮匀速转动时,记录左右弹簧测力器的示数。

(3) 在探究向心力大小与角速度的关系时,选择质量相同的小球,分别放入长、短滑槽半径相同的槽位处,皮带选择左右调速轮半径不同的轮子,转动手柄使调速轮匀速转动时,记录左右弹簧测力器的示数。

该实验探究为学生必做实验,教学时必须创造条件让学生自己动手。如果没有教材介绍的向心力实验仪,也可以用其他的实验器材进行探究,重在让学生经历探究的过程,使他们的能力得到提高。

关于“案例分析”

案例以“神舟”五号飞船为研究对象,要求学生正确运用向心力公式求解匀速圆周运动问题,并思考是哪个物体为飞船提供了做匀速圆周运动的向心力,同时引导学生养成规范解题的良好习惯。

教学评价

“家庭作业与活动”参考解答

1.【解答】 在平面上做圆周运动物体的向心力来源于拴物体绳子的拉力;圆锥摆的向心力是绳子拉力与重力的合力。

2.【解答】 $F = m \frac{v^2}{R} = 3 \times \frac{4^2}{2} \text{ N} = 24 \text{ N}。$

3.【解答】 $F = m\omega^2 R$, 当 $F = f = 0.2 \text{ N}$ 时角速度最大, $\omega = \sqrt{\frac{f}{mR}} = \sqrt{\frac{0.2}{0.1 \times 0.2}} \text{ rad/s} = \sqrt{10} \text{ rad/s}。$

4.【解答】 $v = 360 \text{ km/h} = 100 \text{ m/s}$, 飞机俯冲时需要的向心力 $F = m \frac{v^2}{R} = 65 \times \frac{100^2}{500} \text{ N} = 1\,300 \text{ N}。$

在最低点时,飞行员受到重力和座椅对他的支持力的作用,重力与支持力的合力提供了向心力,即 $F = F_N - mg = 1\,300 \text{ N}$, 解得: $F_N = 1\,950 \text{ N}$ 。根据牛顿第三定律可知,飞行员对座椅的压力大小为 $1\,950 \text{ N}$, 方向竖直向下。

补充课堂检测题和参考解答

1. 下面关于向心加速度的说法中正确的是()。

- A. 向心加速度的方向始终与速度方向垂直
 B. 向心加速度的方向始终保持不变
 C. 由公式 $a = \frac{v^2}{R}$ 可知, 向心加速度与半径成反比
 D. 由公式 $a = \omega^2 R$ 可知, 向心加速度与半径成正比

【解答】 A。

2. 如图 3-2-1 所示, 质量为 $m = 2 \times 10^3 \text{ kg}$ 的汽车以 10 m/s 的速度通过半径 $R = 50 \text{ m}$ 的拱形桥面的最高点时, 汽车对桥面的压力是 _____ N。 g 取 10 m/s^2 。



图 3-2-1

【解答】 $1.6 \times 10^4 \text{ N}$ 。

3. 如图 3-2-2 所示, 某工厂高架行车的钢绳长 $L = 5 \text{ m}$, 下面吊着质量为 $m = 2.5 \times 10^3 \text{ kg}$ 的工件, 行车和工件一起以速度 $v = 2 \text{ m/s}$ 匀速水平运动。当行车突然停止运动时, 钢绳受到的拉力是多大? g 取 10 m/s^2 。

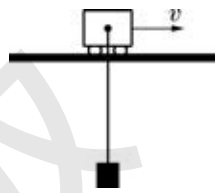


图 3-2-2

4. 如图 3-2-3 所示, 质量 $m = 0.4 \text{ kg}$ 的小球固定在长 $L = 1 \text{ m}$ 的轻绳一端, 绳的另一端固定在天花板上的 O 点, 让小球在水平面内做匀速圆周运动。求:

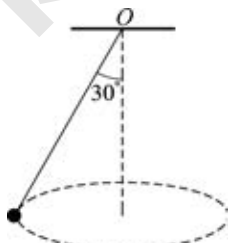


图 3-2-3

- (1) 小球转动的角速度;
 (2) 绳子受到的拉力。 g 取 10 m/s^2 。

【解答】 $\omega = \sqrt{\frac{20\sqrt{3}}{3}} \text{ rad/s}$, $\frac{8\sqrt{3}}{3} \text{ N}$ 。

3.3 圆周运动的案例分析

教学目标

- (1) 通过对匀速圆周运动的实例分析, 进一步加深对向心力的认识, 知道如果一个力或几个力的合力的效果是使物体产生向心加速度, 它就是做圆周运动的物体所受到的向心力, 会在具体问题中分析向心力的来源。
 (2) 会运用匀速圆周运动的规律分析和处理具体的物理问题。
 (3) 知道向心力和向心加速度的公式也适用于变速圆周运动, 会求解变速圆周运动中物体在特殊点的向心力和向心加速度。

教材说明

本节通过对游乐场中过山车在最高点和最低点运动的受力分析以及自行车、汽车、火车转弯时的具体事例的分析, 理解物体做圆周运动的规律, 学习用圆周运动规律分析和解决物理问题的方法。

教学建议

关于“案例 1 分析游乐场中的圆周运动”

教材利用图 3-3-1 将学生带入过山车运动的情境,如有可能,请坐过过山车的学生谈谈在过山车上的感受。也可以通过多媒体放映这方面的动态画面,让学生在感到震撼的同时提出问题:过山车在通过圆轨道的顶端时为什么不会掉下来?

为帮助学生理解过山车通过轨道顶端时的现象,教学时要求先用图 3-3-2 所示的装置进行探究性实验。通过实验,使学生认识到小球在轨道顶端是否掉下来与小球在斜面轨道上开始下滑的高度有关。仔细观察会发现,小球从斜面轨道不同高度处下滑,它到达圆轨道顶端时的速度不同。显然,小球在圆周轨道顶端是否掉下来与它在该位置的速度有关。那么,速度要达到多大,小球才不会掉下来呢?而要达到这个速度,小球开始下滑的高度至少是多少呢?这是探究的另一个问题。

以过山车通过圆周轨道顶端的运动建立研究圆周运动的模型,只要知道物体做圆周运动所必需的条件后,就可以根据圆周运动规律进行分析了。

如教材图 3-3-3 所示,在轨道顶端,车在垂直方向受到重力和轨道对它的弹力作用,这两个力的合力提供了向心力,使过山车在此位置能够做圆周运动。运用牛顿第二定律可以得到

$$F_N + mg = F_{\text{向心}} = m \frac{v^2}{R},$$

上式说明:合力大小显然跟速度的大小有关。因为重力大小不变,所以速度不同,轨道对车的弹力大小也不同。当轨道弹力 $F_N = 0$ 时,提供向心力的只有重力,车子此时具有的速度叫做临界速度, $v_{\text{临界}} = \sqrt{gR}$ 。因为重力全部用来提供向心力,只改变车子运动方向,所以车子不会掉下来。

在上面分析的基础上引导学生继续分析:当车子在轨道顶端的速度小于临界速度时,所需的向心力也减小了,重力大于所需的向心力,过山车会脱离轨道掉下来。这里还可以让学生对杂技节目“水流星”表演时的运动速度进行讨论。

根据学生学习情况,还可以让学生分析汽车经过拱形(凹形)桥面时,汽车对桥面的压力与汽车运动速度大小的关系。

教学时要提醒学生注意:在实际情况中,还可能有其他因素的影响。一切事情要以人为本,安全是最重要的,所以教材用旁注的形式说明:实际的过山车的车轮都镶嵌在轨道的槽内,乘客都用安全带束缚在座椅上。

关于“案例 2 研究运动物体转弯时的向心力”

案例 2 是研究车辆转弯中的向心力问题。教材用图 3-3-4 引进日常生活中的圆周运动,然后以转弯时的自行车为研究对象进行具体分析。要提醒学生注意:自行车转弯时,车与人都要向转弯处的内侧倾斜。

教材图 3-3-5 是转弯中的自行车在竖直面内受到的作用力,两个作用力分别是:重力 mg 与地面的作用力 F 。

自行车转弯时,地面对车有两个作用力:一个是地面的弹力,方向竖直向上,大小和车子(及人)所受的重力相等;另一个是地面对车的摩擦力,方向沿转弯处的半径指向弯道圆心。这两个力的合力方向通过车与人的重心,并与竖直方向存在倾斜的夹角。通常情况下,如果仅说地面对车的作用力,即指此合力,教材图 3-3-5 中的力 $F_{\text{合}}$ 就是指此力。

自行车转弯时,车(及人)受到地面的作用力有两个力,此时地面对车的摩擦力是车转弯所需的向心力。

分析中要强调地面对自行车的作用力 $F_{\text{合}}$ 是地面对车的支持力和地面对车的摩擦力的合力,它的方向沿自行车和人的轴线方向,而不是竖直方向。教学中要给出具体的分析演算过程:

$$F_{\text{向心}} = mg \tan \theta = m \frac{v^2}{R}, \tan \theta = \frac{v^2}{gR}$$

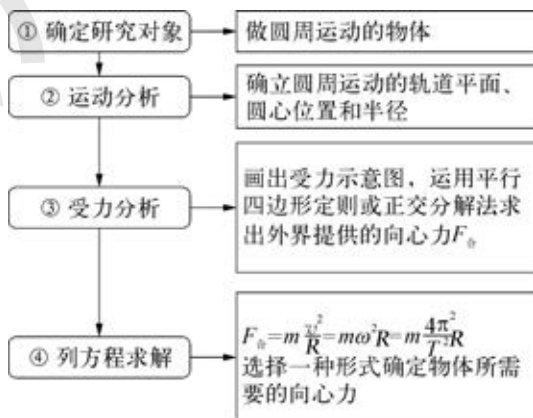
上述式子可使学生更容易认识到自行车转弯时,倾斜的角度与车速、转弯半径有关。由此可解释为什么雨天路滑时汽车、自行车转弯要减慢速度,依此类推,也可解释教材图 3-3-4 中摩托车和滑冰运动员的转弯问题。

教材图 3-3-6 给出了汽车在水平路面上转弯的问题。经过受力分析可知,此时摩擦力提供了汽车转弯时所需的向心力。由此可以进一步思考:高速公路的转弯处,路面应该是水平的,还是倾斜的? 应向哪个方向倾斜?

教材图 3-3-7 是火车转弯处的内、外侧轨道铺设情况,内、外轨道高度为什么不一样? 一般情况下,只要求学生能定性分析。如果教学条件允许,也可以让学生通过自己分析、推理,得出内、外轨高度差与车速、转弯半径的关系等。这里可联系我国列车安全提速应考虑哪些问题,铁路要做哪些改造,以此渗透物理与技术、生活的联系。教学中可以根据具体情况,适当增加一些案例。

经过对以上问题的分析、讨论和求解,让学生认识到解决匀速圆周运动问题,要确定研究对象,根据圆周运动公式并运用牛顿第二定律从以下两个方面分析问题、解决问题。一方面根据圆周运动列出需要的向心力关系式,弄清物体圆形轨道所在的平面,明确圆心和半径;另一方面针对具体问题,根据物体的受力情况求出沿半径方向的合力,分析向心力的来源(所提供的向心力),最后运用牛顿第二定律和运动状态分析建立方程并求解方程。

可以引导学生总结出求解圆周运动问题的解题步骤如下。



教学评价

“家庭作业与活动”参考解答

1.【解答】 摇动杯子,使球沿杯壁运动。杯子摇动加快,球的转速也加快,且沿杯壁上升(定性讨论)。

2.【解答】 略。

3.【解答】 提速后列车行经转弯处所需向心力加大,为此可采用:适当增加外内轨高度差;增加转弯处的轨道弯曲半径;列车行驶到转弯处降低速率。让学生做一次调查,哪种方法最可行?实际中用的是哪种方法?

4.【解答】 $mg \cot \theta = m \frac{v^2}{R}$, $\cot \theta = \frac{v^2}{gR} = \frac{10^2}{50 \times 10} = 0.2$, $\theta = 78.7^\circ$ 。

5.【解答】 以零件 A 为研究对象,在 A 通过最高点时,受到重力和杆的弹力的作用。设杆对零件 A 的弹力方向竖直向下,根据牛顿第二定律得:

$$mg + F = m \frac{v^2}{L}$$

(1) 当 $v = 1 \text{ m/s}$ 时,可得:

$$F = m \left(\frac{v^2}{L} - g \right) = 2 \times \left(\frac{1}{0.5} - 10 \right) \text{ N} = -16 \text{ N},$$

负号说明杆对零件 A 的弹力方向竖直向上。

根据牛顿第三定律可得 A 对杆的作用力为压力,大小为 16 N,方向竖直向下。

(2) 当 $v = 4 \text{ m/s}$ 时,可得

$$F = m \left(\frac{v^2}{L} - g \right) = 2 \times \left(\frac{4^2}{0.5} - 10 \right) \text{ N} = 44 \text{ N},$$

正号说明杆对零件 A 的弹力方向竖直向下。

根据牛顿第三定律可得 A 对杆的作用力为拉力,大小为 44 N,方向竖直向上。

补充课堂检测题和参考解答

1. 如图 3-3-1 所示,一轻杆的一端固定质量为 m 的小球,以另一端 O 为圆心,使小球在竖直平面内做半径为 R 的圆周运动,则()。

- A. 小球过最高点时,杆所受到的弹力可以等于零
- B. 小球过最高点时,最小速度是 \sqrt{gR}
- C. 小球过最高点时,杆对球的作用力可以与球所受重力方向相反,此时重力一定大于杆对球的作用力
- D. 小球过最高点时,杆对球的作用力一定与球所受重力方向相反

【解答】 A、C。

2. 火车轨道在拐弯处倾斜一定的角度有利于火车拐弯。在某拐弯处规定火车行驶的速率为 v_0 ,则下列说法中正确的是()。



图 3-3-1

- A. 当火车以速率 v_0 行驶时,火车的重力与轨道对火车的支持力的合力提供向心力
 B. 当火车的速率 $v > v_0$ 时,火车对外轨道有向外的侧向压力
 C. 当火车的速率 $v < v_0$ 时,火车对内轨道有向内的侧向压力
 D. 当火车的速率 $v > v_0$ 时,火车对内轨道有向内的侧向压力

【解答】 A、B、C。

3. 如图 3-3-2 所示,质量为 M 的电动机飞轮上固定一个质量为 m 的重物,重物到轴的距离为 r 。为了使飞轮转动时电动机不会从地面上跳起,电动机转动的角速度的最大值是多少? 此时,电动机对地面的压力最大值是多少?

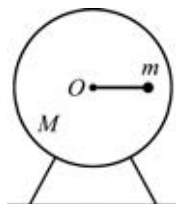


图 3-3-2

【解答】 $\omega = \sqrt{\frac{(M+m)g}{mr}}$, $F_N = 2(M+m)g$ 。

4. 火车在倾角为 θ 、半径为 R 的轨道上拐弯,要使火车对内、外轨道都不挤压,火车行驶的速率是()。

- A. $\sqrt{gR \sin \theta}$ B. $\sqrt{gR \cos \theta}$ C. $\sqrt{gR \tan \theta}$ D. $\sqrt{gR \cot \theta}$

【解答】 C。

3.4 离心现象及其应用

教学目标

- (1) 知道什么是离心现象,知道物体做离心运动的条件。
- (2) 了解生活和生产中的离心现象及其产生的原因。
- (3) 了解离心现象的应用和预防,会用科学思维的方法分析常见的离心现象,提高综合应用圆周运动知识解决问题的能力。

教材说明

本节以案例的形式研究生产生活中的离心现象,了解产生离心现象的原因。

通过几个案例,不仅要使学生知道离心现象,还要使学生知道离心现象与圆周运动有关。

学习圆周运动知识,学生对向心力已有了较深的印象,教学中要注意纠正学生可能有“离心力”的说法。

教学建议

案例 1 通过一段生动有趣的对话,提出了生活中常见的一种离心现象。该案例不仅涉及了物理知识,而且还体现了人文精神。学生在对这段对话进行评价时,既要运用物理知识,又要有对行为评价的要求。

至于学生和司机谁说得对,在本案例中目前只能是根据经验猜测,在知道了什么是离心现象,为什么会产生离心现象后,才可能有准确的判断。这时可反过来再对此案例进行讨论。

点明桶内水泼出,乘客有被向外甩出的感觉都是发生在车辆转弯时,让学生感觉到离心现象与圆周运动有关。

关于“案例 2 洗衣机是怎样甩干衣物的”

案例 2 指出只有在甩干筒转动时,湿衣服才会被甩干,即利用离心现象将衣服中的水甩出去。这再次指出离心现象与圆周运动有关。该案例中提出的问题:“你认为甩干筒工作时,转速高时容易甩干衣物,还是转速低时容易甩干衣物?”此时还只能根据生活经验进行猜测。

关于“案例 3 汽车一级方程式大赛”

案例 3 以汽车一级方程式大赛为具体事例。在汽车一级方程式大赛中,汽车在转弯处冲出跑道的现象是屡见不鲜的。

对离心现象的认识要通过具体的例子,避免单纯枯燥的定义。课堂教学中应鼓励学生举出更多的例子。

通过一系列具体事例,使学生认识到什么是离心现象。学生必然会产生疑问:为什么会产生离心现象呢?

关于“实验探究 研究离心现象”

探究离心现象产生的原因,主要分为以下两种情况。

(1) 半径不变的情况,探究离心现象与转速的关系,也就是研究离心现象与向心加速度的关系。

(2) 转速不变的情况,探究离心现象与半径的关系,仍是研究离心现象与向心加速度的关系。

实验中用手牵动细线观察水被甩出的情况,以研究离心现象。将离心现象与向心加速度联系起来,体会到物体的向心加速度越大,越容易产生离心现象,进而认识到离心现象的产生与物体的向心加速度和受到的向心力大小有关。

关于“分析与论证 分析产生离心现象的原因”

教材利用图 3-4-3 从理论上分析产生离心现象的原因。假设物体做圆周运动所需要的向心力是 $F_{\text{向心}} = m \frac{v^2}{R}$, 通过思考讨论使学生认识到:

(1) 如果物体受到指向圆心的合力 F 的作用,恰好等于所需要的向心力 ($F_{\text{合}} = m\omega^2 R$ 或 $F_{\text{合}} = m \frac{v^2}{R}$), 即所“提供”的正好满足所“需要”的,物体做匀速圆周运动。

(2) 如果物体做圆周运动的某时刻,突然出现合力 $F = 0$ 情况,则物体自该时刻起脱离圆周运动状态,做匀速直线运动。

(3) 如果在某时刻,出现合力 $F < F_{\text{向心}}$ ($F_{\text{合}} < m\omega^2 R$ 或 $F_{\text{合}} < m \frac{v^2}{R}$) 情况,即“需要”大于“提供”或“提供不足”,外力不足以将物体拉回到原轨道上,物体也将脱离原圆周轨道,而做离心运动。至于是沿着什么轨道运动,不需要仔细讨论。

(4) 如果发生合力 $F > F_{\text{向心}}$ ($F_{\text{合}} > m\omega^2 R$ 或 $F_{\text{合}} > m \frac{v^2}{R}$), 即“提供过度”,也就是“提

供”大于“需要”，外力将物体拉向圆心，物体做半径变小的近心运动。

通过前面的实验探究和分析论证，使学生对离心现象的产生有以下认识：

① 离心运动的本质是物体惯性的表现。做圆周运动的物体，总是有沿着圆周切线飞出去的趋势，物体之所以没有飞出去，是因为受到向心力作用的缘故。

② 物体做离心运动的条件：做圆周运动的物体，一旦提供向心力的外力突然消失，或者外力不能提供足够的向心力时，物体做远离圆心的运动，即离心运动。

③ 离心运动的受力特点：物体做离心运动并不是物体受到离心力作用，而是由于外力不能提供足够的向心力。所谓“离心力”也是根据效果命名的。

对于上述的实验探究和分析论证，教学时要结合教材中的 3 个案例予以说明。

关于“离心现象的应用”

离心现象在生产生活和科学技术中有大量的应用，教材提供了几个例子，教学中还应该列举更多的例子。可以通过多媒体设备播放影视片，也可以要求学生通过自己在生活中的观察，举出例子。

离心现象也有不利的一面，教材举了几个常见的例子，可引导学生多列举一些看到过、听到过的实例。

教学时，一方面要引导学生知道如何合理利用离心现象；另一方面又要引导学生设法避免离心现象可能带来的危害，强调科学、技术、社会与环境(STSE)之间的关系，形成正确的科学态度与责任感。

教学评价

“家庭作业与活动”参考解答

1.【解答】 道路湿滑时，路面对车轮的摩擦减小，汽车转弯时能获得的最大向心力也减小，因此必须减小车速，以减小转弯时所需要的向心力。反之，如果车速过大，路面的摩擦力小于所需要的向心力，运动的汽车可能出现离心现象，冲出正常行驶的路面，引发交通事故。

2.【解答】 因为金属件与砂轮摩擦时，摩擦力做功，被摩擦下来的金属和砂粒的内能增加，温度升高到红热状态。又因为摩擦下来的金属和砂粒失去了向心力，因而沿圆周的切线方向飞出。这是比较典型的离心现象。

3.【解答】 A、B、D；C、E。

4.【解答】 当离心机转动起来后，转盘里的人将不自觉地“被推向筒壁”，最后紧贴筒壁，感到筒壁用力在压自己的身体。离心机转速越大，筒壁对人的压力也越大。其原因是离心机转动起来后，人脚与圆盘间的摩擦力不足以提供随盘转动所需的向心力，于是产生离心现象，人被向盘外甩出，最后贴到筒壁上，这时筒壁对人产生弹力（指向圆盘中心），提供了人随盘转动的向心力。离心机转动越快，人做离心运动所需的向心力也越大，所以筒壁对人的压力也越大。

补充课堂检测题和参考解答

1. 市内公共汽车在到达路口拐弯前，车内广播中就会播放语音提示：“乘客们请注意，前方车辆转弯，请拉好扶手。”这样可以（ ）。

- A. 提醒乘客拉好扶手,以免车辆转弯时可能向前倾倒
 B. 提醒乘客拉好扶手,以免车辆转弯时可能向后倾倒
 C. 提醒乘客拉好扶手,以免车辆转弯时可能向转弯的外侧倾倒
 D. 提醒乘客拉好扶手,以免车辆转弯时可能向转弯的内侧倾倒

【解答】 C。

2. 质量为 m 的物体以恒定速率 v 在半径为 R 的圆形轨道上运动。设自某时刻起,其所受指向圆心的合力为 F ,则下列说法中正确的是()。

- A. 当 $F < m \frac{v^2}{R}$ 时,物体的运动将离开圆轨道
 B. 当 $F = m \frac{v^2}{R}$ 时,物体处于平衡状态
 C. 当 $F > m \frac{v^2}{R}$ 时,物体偏离圆周向圆内侧运动
 D. 当 $F = m \frac{v^2}{R}$ 时,物体继续沿圆周做匀速圆周运动

【解答】 A、C、D。

3. 如图 3-4-1 所示,赛车在水平赛道上转弯 90° 角,其内、外车道转弯处的半径分别为 r_1 和 r_2 ,车与路面间的动摩擦因数和静摩擦因数都是 μ ,则竞赛中车手应选图中的内车道还是外车道转弯?



图 3-4-1

【解答】 外车道。

4. 如图 3-4-2 所示是离心试验器的原理图。可以用离心试验器来研究过荷对人体的影响,测试人的抗荷能力。离心试验器转动时,被测试者做匀速圆周运动。观察到图中的直线 AB (即垂直于座位的直线)与水平杆成 37° 角,被测试者的重心距悬挂点 O 的距离及 O 到转轴的距离均为 L ,则被测试者对座位的压力是他所受重力的多少倍? 此时试验器转动的角速度是多大?

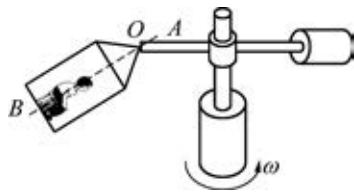


图 3-4-2

【解答】 $\frac{5}{3}$; $\omega = \sqrt{\frac{20g}{27L}}$ 。

“第 3 章家庭作业与活动”参考解答

A 组

1. $1:2:2; 1:1:2$ 。

【解答】 C 轮和 B 轮是同轴转动, $\omega_B = \omega_C$;

由角速度和线速度的关系式 $v = \omega r$,

$$\text{可得 } \omega = \frac{v}{r}, \frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{\frac{v_a}{r_A}}{\frac{v_b}{r_B}} = \frac{r_B}{r_A} = \frac{1}{2},$$

故 $\omega_A : \omega_B : \omega_C = 1 : 2 : 2$ 。

由于 A 轮和 B 轮是传动带传动,传动带传动的特点是两轮与传动带接触点的线速度的大小与传动带的线速度大小相同,即 $v_A = v_B$ 。

C 轮和 B 轮是同轴转动, $\omega_B = \omega_C$; 由角速度和线速度的关系式 $v = \omega r$, 得: $v_B : v_C = R_B : R_C = 1 : 2$,

故 $v_A : v_B : v_C = 1 : 1 : 2$ 。

2.【解答】 都不正确, 因为: (1) 物体可能只受重力, 也可能受到重力和拉力的作用, 向心力是物体所受力的合力。(2) 当物体转动速度足够大时, 重力和绳子拉力的合力提供了向心力, 产生向心加速度, 向心加速度只改变物体运动方向, 所以物体不会下落。

3.【解答】 A、C。对其中一个小球进行受力分析, 受重力、绳子的拉力。由于小球做匀速圆周运动, 故合力提供向心力。将重力与拉力合成, 合力指向圆心, 设绳与竖直方向夹角为 θ , 由几何关系得,

$$\text{合力: } F = mg \tan \theta, \quad ①$$

$$\text{由向心力公式得到, } F = m\omega^2 r, \quad ②$$

$$\text{设绳子与悬挂点间的高度差为 } h, \text{ 由几何关系, 得: } r = h \tan \theta, \quad ③$$

由①②③三式得, $\omega = \sqrt{\frac{g}{h}}$, 与绳子的长度和转动半径无关, 故 C 正确。又由 $T = \frac{2\pi}{\omega}$, 故 A 选项正确。由 $v = \omega r$, 两球转动半径不等, 线速度不同, 故 B 选项错误; 由 $a = \omega^2 r$, 两球转动半径不等, 向心加速度不同, 故 D 选项错误; 故选 A、C 选项。

$$4.【解答】 \quad T = 90 \times 60 \text{ s} = 5\,400 \text{ s}, \quad r = (343 + 6.37 \times 10^3) \text{ km},$$

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \times 6.713 \times 10^6}{5\,400} \text{ m/s} = 7.78 \times 10^3 \text{ m/s},$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{5\,400} \text{ rad/s} = 1.16 \times 10^{-3} \text{ rad/s}。$$

$$5.【解答】 \quad F_N = mg + m \frac{v^2}{R} = \left(50 \times 10 + 50 \times \frac{5^2}{4} \right) \text{ N} = 812.5 \text{ N}。$$

$$6.【解答】 \quad A \text{ 点: } F_{NA} - mg = m \frac{v_A^2}{r_A}; F_{NA} = mg + m \frac{v_A^2}{r_A} = \left(300 \times 10 + 300 \times \frac{25^2}{10} \right) \text{ N} = 2.175 \times 10^4 \text{ N},$$

$$B \text{ 点: } mg - F_{NB} = m \frac{v_B^2}{r_B}, \quad F_{NB} = mg - m \frac{v_B^2}{r_B} = \left(300 \times 10 - 300 \times \frac{6^2}{15} \right) \text{ N} = 2\,280 \text{ N}。$$

$$7.【解答】 \quad mg = m \frac{v^2}{l}, \quad v = \sqrt{gl} = \sqrt{10 \times l} \text{ m/s} = \sqrt{10} \text{ m/s}。$$

B 组

$$1.【解答】 \quad mg \tan \theta = m \frac{v^2}{R}, \quad \tan \theta = \frac{v^2}{gR}。$$

2.【解答】 略。

3.【解答】 设此平面角速度 ω 的最小值为 ω_1 , 此时物体 A 所受的静摩擦力达到最大, 方向沿半径向外, 则由牛顿第二定律得 $T - f_{\max} = m_A \omega_1^2 r$

当 m_B 处于静止状态时 $T = m_B g$

$$\text{联立得} \quad \omega_1 = \sqrt{\frac{m_B g - f_{\max}}{m_A r}} = \sqrt{\frac{0.3 \times 10 - 2}{0.6 \times 0.2}} \text{ rad/s} = \frac{5\sqrt{3}}{3} \text{ rad/s}$$

设此平面角速度 ω 的最小值为 ω_2 , 此时物体 A 所受的静摩擦力达到最大, 方向沿半径向里, 则由牛顿第二定律得 $T + f_{\max} = m_A \omega_2^2 r$

$$\text{代入解得 } \omega_2 = \sqrt{\frac{m_B g + f_{\max}}{m_A r}} = \sqrt{\frac{0.3 \times 10 + 2}{0.6 \times 0.2}} \text{ rad/s} = \frac{5\sqrt{15}}{3} \text{ rad/s}$$

故为使物体与平板保持相对静止状态, 角速度 ω 的取值范围为: $\frac{5\sqrt{3}}{3} \text{ rad/s} \leq \omega \leq \frac{5\sqrt{15}}{3} \text{ rad/s}$ 。

4. 【解答】 设物体刚离开锥面时, 其速度为 v_0 , 则根据牛顿第二定律得: $T \cos \theta - mg = 0$, 由拉力与重力的合力提供向心力, 则有: $mg \tan \theta = m \frac{v_0^2}{r}$,

其中 $r = L \sin \theta$,

$$\text{联立解得: } v_0 = \sqrt{gL \sin \theta \tan \theta} = \sqrt{\frac{gL\sqrt{3}}{6}}。$$

(1) $v_1 = \sqrt{gL/6} < v_0$, 则球会受到斜面的支持力, 因此由支持力、重力与拉力的合力提供向心力。对球进行受力分析, 如图 3-4-3 所示, 则有:

$$T \sin \theta - N \cos \theta = m \frac{v_1^2}{r},$$

$$T \cos \theta + N \sin \theta = mg,$$

联立两式解得: $T = \frac{1+3\sqrt{3}}{6} mg$, 拉力方向沿斜面向上。

(2) $v_2 = \sqrt{3gL/2} > v_0$, 球离开斜面, 只由重力与拉力的合力提供向心力, 且细绳与竖直方向夹角已增大。如图 3-4-4 所示, 由勾股定理得: $T^2 = (mg)^2 + \left(m \frac{v_2^2}{r}\right)^2$ 。设拉力的方向与水平面的夹角为 α , 则 $\sin \alpha = \frac{mg}{T}$,

$$\text{解得: } T = \sqrt{10} mg, \alpha = \arcsin \frac{\sqrt{10}}{10}。$$

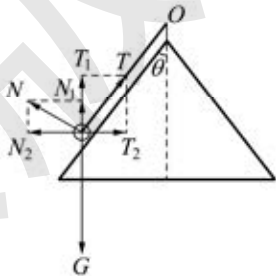


图 3-4-3

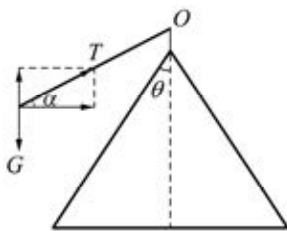


图 3-4-4

课程资源

实验探究资料

“探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系”的实验有多种, 其中有的是定性的, 有的是半定量的, 有的是定量的。教材中推荐的实验是向心力实验仪, 该仪器是定型生产的教学仪器。除此之外, 可供参考使用的方案如下。

1. 用如图 3-5-1 所示的向心力实验仪“探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系”。

该实验仪器是一种电动实验装置,也是一种常见的定型生产教学仪器。接通电源后,横杆携带重物绕轴匀速转动,挂在横杆两边的重物也随杆转动。调节转速旋钮(在仪器背面),可以改变转速。横杆转动一周,计数灯闪亮一次。用秒表能够测出转速。

每一次实验时,挂在横杆两侧的重物质量必须相等。重物是实验中的研究对象。两重物分别通过一

根弹簧连在转轴上。重物转动时,受到竖直向下的重力和横杆向上的支持力,二力平衡。不计摩擦力,重物在水平方向只受弹簧的拉力,此力沿杆指向转轴,是重物绕轴旋转的向心力。

此仪器的特点是通过传动机构,能将弹簧的拉力(向心力)和重物的转动半径用数字显示出来,让你直接读数。

由于仪器对转速、向心力、运动半径以及重物质量都是可以测量的,因此可以实现定量探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系。实验可按下列方式设计。

(1) 保持转速 n (角速度 $\omega = 2\pi n$) 和转动半径 R 不变,通过改变重物质量(换重物),研究向心力 F 跟质量 m 的关系。

(2) 保持转速 n (角速度 $\omega = 2\pi n$) 和重物质量 m 不变,通过改变重物与转轴间的距离,研究向心力 F 跟半径 R 的关系。

(3) 保持质量 m 和转动半径 R 不变,改变转速,研究向心力 F 跟转速 n (角速度 $\omega = 2\pi n$) 的关系。

2. 用图 3-5-2 所示的装置“探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系”。

取一根长约 0.1 m、边缘光滑平整的细管,将一根长约 1.2 m 的细绳穿过细管,绳的一端拴一个小球,另一端拴一只弹簧测力计。将弹簧测力计的另一端固定。

手握细管摇动,尽量使小球在接近水平的平面内做匀速转动,弹簧测力计将指示出小球转动时的向心力大小。改变小球的质量、小球到管口的距离、小球转动的角速度,可以探究向心力与上述三个变量的关系。

此实验也可将弹簧测力计换成不同质量的砝码。实验过程中使用的小球要选用轻软的,以防出现意外,要确保学生的人身安全。

3. 用图 3-5-3 所示的装置“探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系”。

用手指搓动竖直轴顶端的滚花部分,使重锤 A 在水平面内做匀速圆周运动。运动时要保持重锤的悬线竖直,弹簧被拉长。这时重锤做匀速圆周运动的向心力就是弹簧的拉力。

实验时,先称出重锤 A 的质量 m ,把它用线悬挂在横杆的一端。调整横杆的平衡体 B 的位置,使横杆两边平衡。量出重锤到轴的距离 r ,移动指示器 P 的位置,使它处于重锤的正下方。在重



图 3-5-1

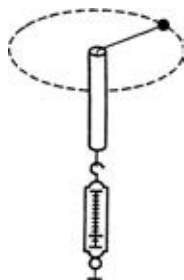


图 3-5-2

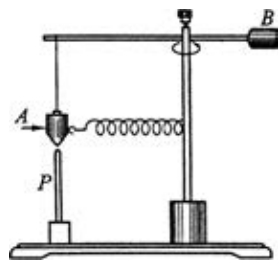


图 3-5-3

锤和转轴之间挂上水平弹簧,这时重锤将被拉向转轴。

用手指搓动转轴,尽量使重锤做匀速转动,并从指示器的正上方通过。记下重锤转动 n 次经过指示器正上方的时间 t ,测出角速度 $\omega = \frac{2\pi n}{t}$ 、弹簧的劲度系数 k ,计算出弹簧对重锤的拉力 F 。用以上测得的数据即可探究向心力与上述三个变量的关系。

4. 用圆锥摆装置“探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系”。

按如图 3-5-4 所示安装圆锥摆,用手带动钢球,使球在水平面内做匀速圆周运动。逐渐增大角速度直到绳刚好拉直,用秒表测出 n 转的时间 t ,计算出周期 T ,并根据公式计算出小球的角速度 ω 。用分度尺测出圆半径 r 和小球距悬点的竖直高度 h ,计算出角 θ 的正切值,向心力大小为 $F = mg \tan \theta$ 。用以上测得的数据即可探究向心力与上述三个变量之间的关系。

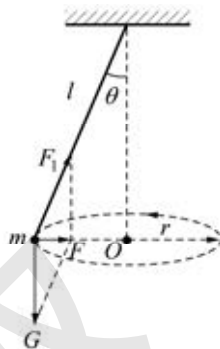


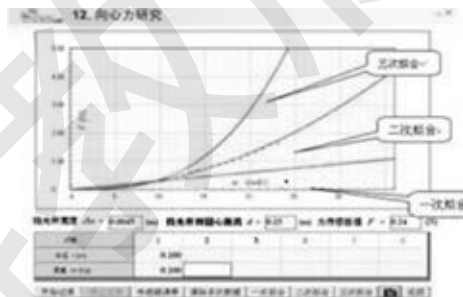
图 3-5-4

5. 利用力传感器“探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系”。

实验装置如图 3-5-5 所示。实验器材:数据采集器、光电门传感器、力传感器、向心力实验仪、物理支架、计算机、天平。



a



b

图 3-5-5

实验时,利用力传感器来测量力的大小,光电门传感器来测量挡光杆的挡光时间,进而求出角速度 ω 。利用计算机软件对数据点进行分析。

补充习题及参考解答

1. 由飞机飞越太平洋上空的过程中,如果保持飞行速度的大小和距离海平面的高度均不变,则下列说法中正确的是()。

- A. 飞机做的是匀速直线运动
- B. 飞机上的乘客对座椅的压力略大于地球对乘客的引力
- C. 飞机上的乘客对座椅的压力略小于地球对乘客的引力
- D. 飞机上的乘客对座椅的压力为零

【解答】 C。

2. 男女两名溜冰运动员,质量分别为 $M_{\text{男}} = 80 \text{ kg}$, $M_{\text{女}} = 40 \text{ kg}$,他们在溜冰表演时手拉手做匀速圆周运动,两人相距 0.9 m ,男运动员对女运动员的拉力大约为 96 N 。求男女运动

员做圆周运动的线速度大小。

【解答】 $v_{\text{男}} = 0.6 \text{ m/s}$, $v_{\text{女}} = 1.2 \text{ m/s}$ 。

3. 在双人花样滑冰运动中,我们有时会看到女运动员被男运动员拉着悬空做圆锥摆运动的精彩场面。如果女运动员做圆锥摆运动时和竖直方向的夹角约为 45° ,那么女运动员所受到的拉力估计是她所受重力的多少倍?

【解答】 1.4。

4. 有一种大型游戏机,是一个半径为 R 的圆筒形大容器,筒壁竖直,游客进入容器后靠壁站立。当圆筒开始转动后,转速加快到一定程度时,筒的地板突然塌落,但游客却没有掉下去。请说明理由。

【解答】 提示:可以以计算形式出现,当转速达到 $n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\mu R}}$ 时,游客即不会掉下来,式中 μ 为动摩擦因数。

5. 一种叫作“魔盘”的娱乐设施。“魔盘”转动时,盘上的人都可以随盘一起转动,而不至于被甩开。当盘的转速逐渐增大时,盘上的人便逐渐向边缘滑去,离转动中心越远的人,这种滑动的趋势越厉害。设“魔盘”的转速为 6 min^{-1} ,一个体重为 30 kg 的小孩坐在距轴心 1 m 处(盘半径大于 1 m)随盘一起转动(没有滑动)。这个小孩受到的向心力有多大?这个向心力是什么力提供的?

【解答】 11.8 N , 静摩擦力。

6. 童非是中国著名体操运动员,他首先在单杠项目上实现了“单臂大回环”,即用一只手抓住单杠,伸展身体,以单杠为轴做圆周运动。假设童非的质量为 65 kg ,手臂向上伸时,手心到身体重心的距离是 0.85 m ,在进行单臂大回环运动到最低位置时,速度为 6.5 m/s ,那么,在此位置,童非的单臂至少要承受多大的拉力?

【解答】 $T = mg + \frac{mv'^2}{l} = \left(65 \times 10 + \frac{65 \times 6.5^2}{0.85} \right) \text{ N} = 3.88 \times 10^3 \text{ N}$ 。

7. 设表演“水流星”节目时,拴杯子的绳长为 l ,绳子能够承受的最大拉力是杯子和杯内水重力的 8 倍。要使绳子不断,节目获得成功,则杯子通过最高点时速度的最小值为 _____,通过最低点时速度的最大值为 _____。

【解答】 \sqrt{gl} 和 $\sqrt{7gl}$ 。

8. 汽车以一定速度在宽阔的水平路面上行驶,司机突然发现正前方有一堵长墙,为了尽可能避免碰到墙壁,司机紧急制动好呢,还是立刻转弯好?

【解答】 应制动。若转弯,其轨道半径 $R = \frac{v^2}{\mu g}$,而制动时,滑行距离 $s = \frac{v^2}{2\mu g}$, $s < R$,更安全(μ 为汽车与路面的动摩擦因数)。

9. 图 3-6-1 所示为一电动打夯机的原理示意图,圆盘竖直固定在电动机圆盘上,盘上固定一质量为 m 的铁块,铁块距电动机轴心 O 为 r 。电动机转动后,铁块以角速度 ω 绕 O 匀速转动,请问:当小铁块转到什么位置时,电动机对地面的压力最大?若已知电动机质量为 M ,则最大压力为多少?

【解答】 小铁块转到最低点时,电动机对地有最大压力,最大



图 3-6-1

值为 $N = (M + m)g + m\omega^2 r$ 。

10. 设滑冰运动员与冰面间的最大摩擦力为其重力的 k 倍。在水平冰面上沿半径为 R 的圆做圆周滑行的运动员, 仅仅依靠摩擦力来提供向心力, 那么这位运动员的速度应小于多少?

【解答】 $v \leq \sqrt{kgR}$ 。

11. 一辆卡车在丘陵地带匀速行驶, 地形如图 3-6-2 所示。由于轮胎太旧, 途中易爆胎。发生爆胎可能性最大的地段是图中哪一段?

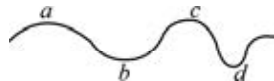


图 3-6-2

【解答】 d 处。因为此处下凹, 且半径最小, 压力最大。

12. 为了能让司机有效地控制所驾驶的汽车, 汽车对地面一定要有压力。高架桥的顶部可看作是一段圆弧, 若高速公路上某汽车计时器显示的速度大小为 40 m/s , 则高架桥顶部的圆弧半径至少为多少, 才能保证汽车安全过桥?

【解答】 不小于 160 m 。

13. 如图 3-6-3, 细杆的一端与一小球相连, 可绕通过 O 点的水平轴自由转动。现使杆和小球一起绕 O 点转动, 使球做圆周运动。图中 a 、 b 分别表示小球轨道的最低点和最高点, 则杆对球的作用力可能是()。

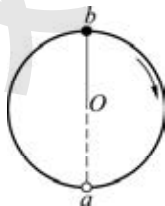


图 3-6-3

- A. a 处为拉力, b 处为拉力
- B. a 处为拉力, b 处为压力
- C. a 处为压力, b 处为拉力
- D. a 处为压力, b 处为压力

【解答】 A、B。

14. 飞机做俯冲后拉起运动时, 在最低点附近做半径 $r = 180 \text{ m}$ 的圆周运动。如果飞行员的体重(质量) $m = 70 \text{ kg}$, 飞机经过最低点时的速度 $v = 360 \text{ km/h}$, 求这时飞行员对座椅的压力。

【解答】 $4.57 \times 10^3 \text{ N}$ 。

15. 铁路某转弯处的圆弧半径是 300 m , 轨距是 1435 mm 。规定火车通过这里的速度是 72 km/h , 那么内外轨的高度差应该是多大, 才能使内外轨均不受轮缘的挤压? 保持内外轨的这个高度差, 如果车的速度大于或小于 72 km/h , 会发生什么现象? 说明理由。

【解答】 0.195 m 。车速大于 72 km/h 时, 外轨会受到向外的侧向压力; 小于 72 km/h 时, 内轨会受到指向转弯处圆心的侧向压力。

16. 重 25 kg 的小孩坐在秋千板上, 秋千板离拴绳子的横梁 2.5 m 。如果秋千板摆动经过最低位置时的速度是 3 m/s , 这时秋千板所受的压力多大? g 取 10 m/s^2 。

【解答】 340 N 。

教 学 案 例

3.1 怎样描述圆周运动

【教学目标】

- (1) 通过生活事例, 认识圆周运动的特点, 知道什么是匀速圆周运动。

(2) 会用线速度、角速度、周期描述匀速圆周运动,理解线速度、角速度、周期、转速之间的关系,并会用它们进行计算。

(3) 了解圆周运动是普遍存在的一种运动形式,能分析简单的匀速圆周运动问题。

【教学器材】

雨伞、自来水。

【教学过程】

◆ 新课导入

抛体运动的特点是什么? 处理抛体运动的基本方法是什么?

通过回顾,引导学生了解抛体运动加速度等于重力加速度 g , 大小和方向均恒定,抛体运动速度与加速度不在同一直线上,所以是匀变速曲线运动。研究抛体运动的基本方法是运动的合成与分解。

同学们玩过游乐场里的过山车吗? 你看它风驰电掣般地冲上一个圆环形的轨道,到达圆顶部时,整个车子倒了过来,车上的人头朝下,脚朝上,真是惊心动魄。为什么过山车在圆轨道的顶部不会掉下来呢?

过山车做的是圆周运动,圆周运动也是一种常见的曲线运动。这种运动有什么特点呢?

◆ 新课教学

请你举出生活中见到的圆周运动的实例,这些运动有什么特点呢?

通过实例,总结出做圆周运动的物体总是绕着一个中心转动,物体到转动中心的距离始终不变,等于圆周半径。

我们怎样描述圆周运动呢?

请同学们思考: 我们在前面描述直线运动时,总要涉及哪些物理量? 它们是如何定义的?

(启发学生思考回忆后得到结论: 位移和速度。)

做圆周运动物体的运动轨迹是圆,那么,应该用哪些物理量来描述圆周运动呢?

用你熟悉的物理量描述

(要求学生研究教材图 3-1-1,物体从 A 点沿圆周运动到 B、C、D 各点。并用笔在图中表示出: ① 物体从 A 点运动到 B、C、D 各点所经过的路程。② 物体从 A 点到 B、C、D 各点的位移。)

可见,路程也可以描述圆周运动。如何描述物体做圆周运动的快慢呢?

[总结学生的回答,引出线速度概念和计算式及其单位。]

物体经过的圆弧长度 s 跟通过这段圆弧所用时间 t 的比,叫作圆周运动的线速度的大小。用符号 v 表示,则 $v = \frac{s}{t}$ 。

线速度的单位与速度单位相同。

问题启发: 速度不仅有大小,还有方向,那么线速度也有方向吗? 它的方向如何确定?

(教师演示实验: 雨伞旋转起来后,水滴将沿雨伞边缘的切线方向飞出,引导学生思考,分析得出结论。)

研究表明: 圆周运动的线速度方向沿着圆周的切线方向。

请举例说明：物体在轨道上做圆周运动时，运动的快慢会有变化吗？

（学生回想举例，有的快慢有变化，有的没有变化。）

由此引入匀速圆周运动的概念。

物体做圆周运动时，如果在相等的时间里通过的圆弧长度相等，这种运动就叫作匀速圆周运动。

钟表指针上各点的运动、“神舟”飞船环绕地球的运动、月亮绕地球的运动，都是可以近似看作是匀速圆周运动。

做匀速圆周运动的物体线速度大小是恒定的。

（要求学生再举出一些物体做匀速圆周运动的例子。）

问题启发：匀速圆周运动的速度大小不变，那么它是匀速运动吗？请简单说明理由。

（引导学生利用教材图 3-1-1 或图 3-1-2，在图上描出 A、B、C、D 各点的线速度方向，从方向的变化，根据牛顿第二定律分析得出结论。）

匀速圆周运动是变速运动。

请学生观察思考：物体做圆周运动的一个特点是围绕一个中心（轨道圆心）转动，因此物体与圆心的连线是圆轨道的半径。显然，这条半径也是运动的。请同学们假设教材图 3-1-5 中物体从某点开始做圆周运动，那么，连接物体的这个半径在不同时间内转过的角度相同吗？

用角度来描述

用在相同的时间内连接运动物体与圆心的半径所转过的角度大小也可以描述做圆周运动物体运动的快慢程度。

角速度：物体做圆周运动时，连接它与圆心的半径转过的角度 $\Delta\theta$ 跟所用时间 t 的比

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{t}$$

角速度单位符号是 rad/s，读作“弧度每秒”。

想一想：物体做匀速圆周运动时，它的角速度是否变化？

用周期和转速也可以描述圆周运动。

周期：物体沿圆周运动一周的时间。

符号：T，单位：s。

[周期是所有周期性运动的一个特征量。要求学生思考周期与物体运动快慢的关系，并从中找出具体例子。说出手表上的三根指针的针尖运动的周期。]

转速：物体在单位时间内完成圆周运动的圈数。

符号：n，单位： s^{-1} 。

请学生思考转速单位与角速度单位的区别，一个是“ s^{-1} ”，另一个是“rad/s”。

要求学生讨论推导 v 、 ω 、 T 、 n 之间的关系。

$$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi Rn, \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n,$$

$$v = R\omega, \quad T = \frac{1}{n}.$$

◆ 反馈练习

1. 已知地球的半径为 $6\,400\text{ km}$, 地球绕地轴匀速转动, 地球自转角速度为多大? 物体随地球自转而运动时, 其角速度与在地球上的位置有关吗? 物体随地球自转运动时, 其线速度与在地球上的位置有关吗? 上海在北纬 31° , 随地球自转, 则上海绕地轴做匀速圆周运动的线速度多大?

2. 请通过查找科普资料, 思考人造地球卫星的线速度和角速度与地球的自转速度是否有关, 它们与哪些因素有关。

3. 有兴趣的同学, 可以讨论教材第 50 页“多学一点”内容: “圆周运动的速度”。关于圆周运动的速度, 你还有哪些问题?

【教学小结】

本节学习的一些物理量是学生第一次接触, 而且又与直线运动有很大的区别, 学生会感到较抽象, 理解不深, 以至于会给以后进一步学习带来困难。为克服这些困难, 教师要多做实验以激发学生学习的积极性, 把诸如角速度等一些较陌生、较抽象的物理量变得较具体, 较易于被学生接受。还要联系生活, 多用一些学生熟悉、感兴趣的例子来说明一些较难说清的问题, 如用手表指针针尖的运动快慢来说明为什么周期越大运动就越慢。

在教学中注意理论联系实际, 提高学生学习物理的兴趣, 并留给学生一定的思考空间。

(本教案原稿由安徽省合肥八中周汉林提供, 收入本册教师用书时, 根据修订后的教科书内容有所改动)

第4章

万有引力与航天

本章教学目标

《课程标准》的要求及其解读

(1) 通过史实,了解万有引力定律的发现过程。知道万有引力定律。认识发现万有引力定律的重要意义。认识科学定律对人类探索未知世界的作用。

解读 通过史实了解万有引力定律的发现过程,这里强调了对物理学发展历程的认知,体现了学科渗透的理念。当然学生不仅要了解发现过程,而且还应知道万有引力定律的含义。万有引力定律的发现具有非常重要的意义,如促使物理学完成了第一次大综合,预测了当时的未知天体等。万有引力定律的发现让人类对世界有了更多的认识,学生从中可以体会科学定律对人类认识世界的作用。

万有引力定律的发现过程蕴含着丰富的科学本质教育因素,对发展学生的科学态度与责任具有重要价值。由人造卫星上天开始的人类探索太空的历程,是科学促进技术进步的典型范例,而太空垃圾又是由此产生的新的环境问题。学生可以从中体会和认识科学、技术、社会、环境之间的关系。

(2) 会计算人造地球卫星的环绕速度。知道第二宇宙速度和第三宇宙速度。

解读 学生应知道什么是环绕速度,能够根据万有引力定律和匀速圆周运动知识计算人造地球卫星的环绕速度,建构人造卫星发射和运行的空间模型。学生还应通过对万有引力定律和卫星速度变化情况的进一步推理,了解什么是第二宇宙速度和第三宇宙速度。

这些内容学生会很感兴趣,因此可以组织学生观看有关人造地球卫星、神舟飞船、航天飞机、空间站的录像片等,进一步激发学生的学习兴趣,拓展学生的视野,关注航天事业的最新进展,尤其是我国的相关信息。

教学目标

(1) 通过史实,了解牛顿发现万有引力定律的过程。知道万有引力定律。认识万有引力定律的发现对人类认识自然的重要意义。利用万有引力定律的发现过程培养学生科学思维能力,感受科学探究的艰辛和成功的喜悦,形成积极的科学态度与责任感,提升物理学科核心素养。

(2) 理解第一宇宙速度的含义及其推导过程。能够根据万有引力定律和匀速圆周运动知识,计算人造地球卫星的环绕速度,建构人造卫星发射和运行的空间模型。知道第二宇宙速度和第三宇宙速度。

(3) 了解人类对宇宙的探索历程,从万有引力定律的普适性认识自然界的统一性。能认

识到牛顿力学对航天技术发展的作用,并能体会和认识科学、技术、社会、环境之间的关系。

全章教材分析与教学要求

本章是在学生已经学习牛顿运动定律、圆周运动等知识的基础上,研究万有引力定律以及在万有引力作用下行星和卫星的圆周运动。万有引力定律是自然界中的一条基本定律,这个定律揭示了自然界中一种基本的相互作用力,它的发现标志着人类在认识自然的历史上迈出了重要的一步。

本章简要介绍了人类认识天体运动的主要历史过程。万有引力定律将天上的运动和地上的运动统一了起来。因此,本章是本模块内容的自然延伸和拓展,是学生了解自然界物体间存在着一种基本的相互作用规律——引力作用规律的重要一章。

本章教材用丰富的史实,展示了开普勒运动定律和万有引力定律的发现过程,分析了运用万有引力定律研究天体运动的典型案例,介绍了宇宙速度和人类探索宇宙的历程及其成就,突出了我国在航天领域所取得的进展。

本章教材的主要特点如下。

(1) 突出了科学发现过程,渗透了物理学思想和方法。

教材通过托勒密、哥白尼和开普勒研究天体运动的生动事例,展示了人类研究天体运动规律的艰辛历程,突出了观察实验和理论思维在研究物理规律中的重要作用。这里包含了物理学思想和方法在探索自然规律中的理论价值。

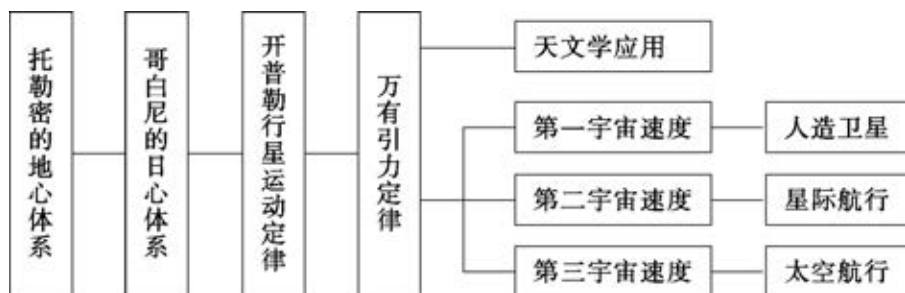
(2) 突出了科学理论对人类认识世界的价值。

教材以翔实的资料和生动的事例,说明了科学理论和科学发现对人类认识自然,以及社会发展所起的作用。例如,开普勒运动定律,揭示了行星和谐有序的运动规律;而万有引力定律,则揭示了控制行星运动的力量来源。学生一定会惊叹,如此变化莫测的天体运动,竟被如此简洁的科学规律所支配。教材还通过万有引力定律在研究天体运动中的成功案例,说明了科学理论对人类探索自然、认识世界的指导作用,体现了物理学定律的价值。

(3) 突出了科学态度与责任方面的教育功能。

教材通过生动的史实,介绍了科学家探索自然奥秘时坚韧不拔、献身科学的精神,展示了人类为了和平与进步,在探索宇宙的道路上所取得的巨大成就和所经历的艰难困苦。教材还重点介绍了我国航天事业所取得的最新成果。这些都将激励学生学习物理的热情,激发他们的民族自豪感,培养他们的爱国主义情感,提升他们的物理学科核心素养。

本章教材的设计框架和逻辑结构如下:



本章教学重点

强调人类对天体运动的认识过程、牛顿发现万有引力定律的思路,培养学生的创造能力。理解万有引力定律的含义及其应用。

本章教学难点

牛顿以开普勒对行星运动学规律的描述为基础,证明万有引力定律的思路。

课时安排建议

本章拟用 7 课时,具体安排如下:

第 4.1 节 1 课时

第 4.2 节 2 课时

第 4.3 节 2 课时

全章复习和评价 2 课时

各节教材的说明与教学建议

4.1 从托勒密到开普勒

教学目标

(1) 通过史实,了解人类探索行星运动规律经历了从“地心说”到“日心说”的历史过程,知道观察方法在建构太阳系行星运动模型和认识行星运动规律中的重要作用。

(2) 了解开普勒发现行星运动定律的过程,知道开普勒行星运动定律及其科学价值,了解开普勒第三定律中的 k 值的大小只与中心天体有关。

(3) 体会科学家们实事求是、不迷信权威、坚持真理、勇于探索的科学精神。

教材说明

本节教材包含的科学史料十分丰富,简要概述了时间跨度有两千余年的人类认识天体运动的主要过程。首先通过史料,介绍了人类认识天体运动的两个阶段:先是托勒密构建了宇宙的“地心体系”,这既符合人们坐地观天的习惯,也能解释当时许多天文现象;后来哥白尼受到古希腊“地动说”的启发和影响,并根据天文观察资料,提出了日心说体系。这是天文学史上的一次革命,极大地促进了人类思想的解放,具有较高的历史价值。教材还揭示了人类认识自然是不断深化和发展的,体现了人类探索自然、追求真理的艰难历程和坚韧不拔的精神。这有利于促进学生尊重事实、实事求是的科学观念和科学态度的形成。

本节的重点是开普勒提出的行星运动三定律。对此,教材指出哥白尼日心说仍旧沿袭着古希腊天文学家的思路,被束缚在“匀速”和“正圆”的框架内。而开普勒是以第谷丰富的观测资料为基础,经过多次尝试与大量的计算后,最终抛弃了束缚天文学发展的“匀速”和“正圆”的观念,认识到行星的轨道是椭圆而不是正圆。开普勒实事求是、追求真理、不迷信权威的科学态度,是提升学生物理学科核心素养的良好素材。开普勒第一定律的学习难点在于学生还没有学习椭圆的相关理论,可适当补充椭圆知识。要让学生知道行星绕太阳运动的椭圆轨道十分接近正圆,如果当作圆轨道,则太阳就处在圆心处。

在本节的教学过程中,要积极引导学生体会其中的科学思想和科学方法,鼓励学生主动查阅资料,相互交流讨论。

教学建议

本节内容的学习,要求学生具有一定的宇宙空间想象能力。学生在地理课程中学过了关于太阳系内各行星的运动规律,这些知识是学习本节内容的基础。本节的教学应把知识的学习和科学史联系起来,通过科学史知识来培养学生的科学态度与责任;通过对古代科学家探索历程的分析来培养学生的科学推理能力;通过开普勒行星运动三定律的学习,培养学生的科学论证、质疑创新能力。

关于“章首语”

引入课题时,建议充分展示教材章首语的意图,从毛泽东诗词导入,通过影像资料展示太阳系和宇宙的场景,让学生感受宇宙的浩瀚,进而思考教师所提出问题:天体的运动遵循着什么规律?天体为什么这样运动?在学生交流讨论的基础上,教师简单介绍本章的主要问题,激发学生学习的热情。

人类是怎样一步步地认识宇宙的?历史上有哪些主要观点呢?……教师利用这些问题顺利过渡到本节课程内容的教学。

关于“托勒密与地心说”

这部分内容是史料再现,建议先让学生阅读教材相关内容,也可以课前布置让学生查找相关材料,课内交流讨论。可设置下面两个问题:

- (1) 地心说的基本观点是什么?它是怎样解释天体运动的?
- (2) 托勒密模型为什么能流传1 000多年?

教师可做如下解释:地心说认为地球是静止不动的,太阳、月亮及其他行星都围绕地球运动。地球处于宇宙的中心,岿然不动,月亮、太阳及各个行星围绕着地球在大小不同的球面上运动。托勒密模型符合人们坐地观天的习惯,在当时,能较好地预报行星的位置、日食和月食,也能顺利地解释许多天文现象,是西方古代天文学的研究基础。

学习托勒密“地心体系”时,既要认识到它与实际不符的一面,但也要看到它对古代天文学发展所起到的积极作用。这部分内容的介绍要尊重史实,不能一味地批判地心说,也要指出它的进步意义。

关于“哥白尼与日心说”

托勒密模型十分复杂,为了解释天体的运动,模型竟用了80多个轮子,令人头晕目眩,这让哥白尼开始思考和寻找更简单的方法。受古希腊“地动说”的启发,哥白尼认为地球在运动,经过长期观察和计算,逐步形成了日心说。对于哥白尼日心说体系,不仅要让学生知道该学说的内容,更要让他们认识到其继承性和发展性。了解该学说在天文学上的成就,知道是哥白尼日心说将天文学从神学中解放了出来,还了行星运动的本来面貌,引起了天文学的一次革命,对欧洲文艺复兴起到了积极的推动作用。但也要知道其局限性(如认为太阳是宇宙的中心,以及行星在圆周轨道上运动)。这方面教材上没有介绍,教师适当补充或让学生自己查找资料。

因为运动是相对的,所以仅从运动参考系的选择来说,托勒密的地心体系和哥白尼的日

心体系应该都是可以的。但从观察描述方面来说,日心说则要简洁得多,可以清晰地描述行星的运动,体现了科学的简洁美。

教学中可设置下列问题:

- (1) 日心说与地心说争论的焦点是什么?
- (2) 为什么日心说最终能取代地心说?
- (3) 日心说有哪些局限性? 现行的宇宙观是什么? 通过问题引导学生思考。

关于“开普勒提出行星运动三定律”

哥白尼的日心说宇宙模型打破了欧洲中世纪神学对科学的禁锢,还了地球的本来面目——只是一颗普通的行星,而不是宇宙的中心,从而建立了新的宇宙观。不过日心说思想还是被束缚在“匀速”“正圆”的框架内。

对于第谷,要了解他的观测准确度几乎达到了人眼的极限。他锲而不舍地连续观测了20多年,留下了大量的观测资料,为行星运动定律的发现奠定了基础。这里要强调观察是科学研究的重要手段,第谷的观测结果为哥白尼的学说提供了关键性的支持,是开普勒提出行星运动定律的基本依据。

关于开普勒提出行星运动定律,要让学生知道其中的过程,主要应了解他在科学上的刻苦钻研精神、实事求是精神和创新精神。他不盲从权威,坚信第谷观察结果的准确性,不放过8弧分(0.133°)的微小误差,尝试用椭圆轨道计算,才最终发现了行星运动三定律。这是培养学生核心素养难得的材料。要利用这些知识引导学生认识科学本质、科学态度,提升学生的物理学科核心素养,落实“立德树人”根本任务。也要让学生了解第谷和开普勒在科学探索道路上的合作精神。第谷临终前将自己20余年的观测资料毫无保留地给了开普勒,开普勒又辛勤研究了近20年,对大量的数据进行了复杂的计算,终于发现了行星运动规律。曾有人这样说,是第谷的眼睛与开普勒的头脑相结合发现了行星运动定律,他们是科学合作的典范。表明科学探究需要有合作精神,科学探索与科学方法需要相互配合,相得益彰。

为了增强教学效果,建议利用影像资料配合教学,也可让学生上网查询相关材料,相互交流。

对于行星运动三大定律的内容,学习时要用多媒体和天体模型结合解说,加深学生对行星运动定律的理解。对于行星运动三大定律,要求知道:

- (1) 行星运动三定律同样适用于卫星(人造卫星)绕行星的运转。
- (2) 对于绕同一中心天体运转的行星(或卫星),其 k 值是相同的;对于绕不同中心天体运转的行星(或卫星),其 k 值是不同的。初步认识 k 值与中心天体有关。
- (3) 作为近似处理,有时可把行星(或卫星)的椭圆轨道简化为圆形轨道处理。这时的开普勒行星运动定律表达形式也要提一下或让学生自行推导一下,为探究万有引力定律做好铺垫。

由于学生在数学上还没有学习椭圆,可以让学生提前查询关于椭圆的相关知识,了解椭圆的焦点、半长轴、半短轴等知识,为理解开普勒行星运动定律奠定基础。

《课程标准》中对“开普勒行星运动定律”无具体要求,教材是从天文学发展历程的角度编写的,教学中不宜做过多的拓展。

关于“信息浏览 八颗行星的基本数据”

这里的“信息浏览”是以《中国大百科全书·天文学卷》的资料为依据的。可以让学生以开普勒定律为基础,估算各行星的一些运动数据。

教学评价

“家庭作业与活动”参考解答

1.【解答】 略。

2.【解答】 略。

3.【解答】 设月球半径为 r_1 , 周期为 T_1 ; “风云”二号卫星半径为 r_2 , 周期为 T_2 。由开普勒第三定律知 $r_2 = \sqrt[3]{\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2} r_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{1}{27}\right)^2} r_1 = \frac{1}{9} \times 60 \times 6.4 \times 10^3 \text{ km} = 4.3 \times 10^4 \text{ km}$, 所以, 卫星离地面的高度 $H = r_2 - 6.4 \times 10^3 \text{ km} = 3.7 \times 10^4 \text{ km}$ 。

补充课堂检测题和参考解答

1. 地球在公转轨道的不同位置处有不同的线速度。如1月初, 地球离太阳约为 $1.471 \times 10^8 \text{ km}$ 时速度是 30.3 km/s ; 7月初离太阳约为 $1.521 \times 10^8 \text{ km}$ 时速度是 29.3 km/s 。请用已有的知识解释这个现象。

【解答】 学生可以用开普勒定律解释, 也可以用机械能守恒的思想解释。由开普勒第二定律知, 轨道离太阳远, 为了使扫过的面积相等, 其运行的速度应该较小。由机械能守恒定律知, 离太阳远时引力势能大, 所以动能较小, 即速率较小。

2. 开普勒第三定律所揭示的规律, 也适用于人造地球卫星。某人造地球卫星运行的轨道半径是月球轨道半径的 $\frac{1}{3}$ 。则此卫星运行的周期大约是()。

A. 1~4 d

B. 4~8 d

C. 8~16 d

D. 大于 16 d

【解答】 B。

4.2 万有引力定律是怎样发现的

教学目标

(1) 通过史实, 了解牛顿之前一些科学家对行星绕太阳做匀速圆周运动原因的猜想, 知道这些猜想是牛顿发现引力定律的基础。

(2) 知道行星绕太阳做匀速圆周运动的向心力是受到太阳的引力作用, 了解牛顿在发现万有引力定律过程中遇到了三个方面的困难以及如何克服这些困难的。

(3) 理解万有引力定律的含义, 知道万有引力常量的含义。

(4) 会用万有引力定律解决问题, 能够建立应用万有引力定律解决问题的常见物理模型。

(5) 知道万有引力定律发现的意义, 体会猜想与假设在科学探究过程中的重要性, 认识科学定律对人类探索未知世界的作用。

教材说明

万有引力定律是自然界的基本定律之一,它把天上的物体运动和地上的物体运动统一起来了。本节教材与以往不同的是,不仅讲了定律的本身内容,而且通过资料,引导学生了解万有引力定律发现的艰难历程,让学生比较强烈地体会了科学思维和方法的重要性。因此,本节课也是科学探究课的一种形式。

在讲述发现万有引力定律的过程中,尊重史实,先是介绍了牛顿以前的一些科学家的探索过程,从吉尔伯特的磁力说,到胡克等人的引力与距离平方成反比的猜想,为牛顿发现万有引力定律奠定了基础。这种逐步接近真理的过程,既是科学家们的突出贡献,也是人类认识自然的必然过程,符合人类的认知规律,是层层递进的,体现了人类的探索过程是不断深入的。

教材对牛顿发现万有引力定律没有进行定量推导,而是介绍牛顿发现月球绕地球运动所需要的力,来自地球对月球的引力,与行星绕太阳运动需要的引力相同,并进一步提出任何两个物体间都存在相互吸引的力。接下来讨论牛顿之前和牛顿同时代的科学家为什么不能把引力问题彻底解决的原因,是他们无法逾越前进道路上的三大困难。哪三大困难?牛顿又是如何逐一解决这些困难的?对这三大困难的讨论可以让学生进入思考,培养科学思维能力,也让学生明白牛顿独到之处,体会科学家的探索精神。教材这样编写有利于立德树人,培养学生的科学态度与责任感。

万有引力定律的发现是牛顿对于科学的重大贡献之一。教材直接给出了万有引力定律的内容和公式,引力常量的数值是万有引力定律的重要组成,通过它可以直观地计算出一些物体之间的引力大小。案例分析中的两个案例是万有引力定律的初步应用。通过火星上引力大小和太阳质量的计算,感受牛顿发现万有引力定律的成就,体会宇宙的奥妙无穷。

本节的核心是万有引力定律的公式及含义。教材对万有引力定律的内容没有做过多的铺垫,而是直接给出。通过文字的表述和公式的给出,将牛顿的成果展现出来,体现科学规律的简洁之美。

本节的重点是万有引力定律的发现过程、万有引力定律的内容和万有引力定律的简单应用。

教学建议

万有引力是自然界的基本作用,它的发现具有划时代的意义。本节按照万有引力定律发现的历程、万有引力定律的内容和应用为主线展开。教学中建议按照这个线索进行教学活动,除了对万有引力定律内容的理解和初步应用这个重点之外,万有引力定律的发现历程也是十分难得的科学史教育素材,教学中要充分挖掘其中的育人内容,进行立德树人教育。

关于“发现万有引力的过程”

教材通过史料,介绍万有引力发现的过程,认识到万有引力的发现是众多科学家探究的结晶,认识到牛顿的成就是“站在巨人的肩膀上”获得的,同时认识到牛顿采取了正确的研究方法,才摘取了这顶桂冠,体现了科学方法的重要性。

对于行星绕太阳运动的原因,在牛顿之前有不少科学家从不同角度作了猜想。教材中列举了吉尔伯特、开普勒、笛卡儿,布利奥、胡克、雷恩和哈雷的猜想。为提高教学效果,教学

中可组织学生进行讨论,还可以要求学生收集史料、轶闻,互相交流,以拓展知识面,增加趣味性,不宜作教条式的照本宣科。这部分内容定位在让学生了解万有引力定律的发现过程并不是牛顿一个人的贡献,而是有许多科学家在之前做了大量工作,成为牛顿成功发现引力定律的基石。教材中没有推导万有引力公式,实际教学中可根据学生情况,增加推导环节,变定性为定量,但这容易冲淡主题,因此不可强求。

实验检验是科学探究的重要一环,牛顿和众多科学家的一系列观测与实验(“月-地”检验是其中之一),证明了万有引力定律的正确性。

关于教材第71页中的“请讨论”,其中的问题1,不一定都要在课堂上解决,可让学生对这些问题进行思考,认识到单从一个孤立事件就发现了万有引力,过于神奇,可信度不大,但这一传说说明了牛顿善于观察思考,能从日常所见现象中发现问题、进行研究,这正是进行科学探究所要具备的品质。其中的问题2,因为已学过圆周运动,结合这方面的知识来讨论,应该没有什么困难。不妨让学生采用多种形式讨论交流,培养学生的分析表达能力。

关于牛顿的突出贡献,教学中要把重点放在其他科学家不能解决的“三大困难”上。教学中要好好利用这部分素材,组织学生展开讨论。

“困难之一”与数学工具相关,牛顿由于微积分的发明而得以解决。说明物理离不开数学工具,同时物理也促进了数学的发展。

“困难之二”的解决体现了模型的作用,由于采用了理想化的模型——质点的概念,使这个困难得以解决,充分体现了建构模型是物理研究的前提。

“困难之三”的解决体现了抓主要矛盾,合理地简化研究对象的方法,这也是科学研究中的重要方法。抓住主要因素忽略次要因素,才能化繁为简,才能找到问题的实质。教学中可利用这一实例展开科学思维教育。牛顿的探索包括模型建构、科学推理、科学论证、质疑创新等科学思维的要素,教学中要深入挖掘这些因素,可作拓展。

关于“万有引力定律”

要使学生认识到,万有引力定律是存在于一切物体之间的相互作用规律,它将天上和地上的引力统一起来了,使人类第一次可以通过计算来预测天体的运动。万有引力定律计算的是两个质点之间的作用力,运用时要考虑两物体质心之间的距离。

教学中要体现万有引力定律的广泛适用性,“自然界中任何两个物体都是相互吸引的”,这表明一切物体都具有引力,这是人类第一次发现了自然界的统一性规律,是物理学第一次提出统一的思想,在天地万物间找到了普遍适用的统一规律。对于教材给出的万有引力定律公式,需要指出仅适用于两个质点间的引力计算,对于两个相距很近的均匀球体可用球心的距离等价计算。而对于一般物体则不能简单地运用公式计算,需要采用微积分运算,中学不作要求。

引力常量的测定是在1798年,由英国物理学家卡文迪许通过实验完成的,教材对此没有介绍,可参考课外资源。这里需要注意万有引力常量 G ($G=6.67\times 10^{-11}\text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$)的物理意义,是表示两个质量为1 kg的物体相距1 m时,它们之间相互吸引的力大小是 $6.67\times 10^{-11}\text{ N}$ 。可见普通物体之间的万有引力十分微小,教学中可让学生计算一些物体之间的万有引力大小,让学生形成直观感受,增加学生的体验,以激发兴趣,增强对定律的理解。

由于通常物体的质量都比较小,它们之间的万有引力也极小,对它们的运动影响也极

小,可以忽略不计。但是,对于质量巨大的天体,它们之间的引力十分巨大,在天体运动中起着决定性的作用。这里可以让学生计算太阳和地球之间的万有引力大小,如太阳的质量约为 $2 \times 10^{30} \text{ kg}$,地球的质量约为 $6 \times 10^{24} \text{ kg}$,地球到太阳的距离为 $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ 。它们的引力达到了 $3.56 \times 10^{22} \text{ N}$ 。正是有这么强大的引力,才使得地球“乖乖地”绕太阳运动。

万有引力定律的发现具有十分重要的意义,它是自然界中的一条基本规律,将天上和地上的引力统一起来,使宇宙学从神学中解放出来了,这是人类思想的巨大进步,在科学认识史上有重要意义。

关于“请讨论”:

(1) 对于其中的“问题 1”,可提示学生做如下计算,并根据计算结果回答。

设苹果的质量 $m = 0.1 \text{ kg}$,已知地球的质量 $M = 6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$,地球的半径 $R = 6.4 \times 10^3 \text{ km}$,则苹果与地球之间的万有引力约为

$$F = G \frac{Mm}{R^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{6.0 \times 10^{24} \times 0.1}{(6.4 \times 10^6)^2} \text{ N} = 0.977 \text{ N}。$$

可见,苹果受到的万有引力约为 0.98 N 。众所周知,苹果因受到地球的引力而获得落向地面的加速度约为 9.8 m/s^2 。地球虽然也受到同样大小的引力作用,因地球的质量比苹果大得多,地球因受该力作用而获得的加速度约为 $1.6 \times 10^{-25} \text{ m/s}^2$,其运动状态改变很小,我们无法观察到地球的运动。这样的计算结果能十分有力地说明问题,对于培养学生的科学观念具有较好的效果。

(2) 其中的“问题 2”,涉及力的平衡、静摩擦等,可提示学生运用力学观点分析,让学生自己解决,也可让学生进行讨论。

关于“案例分析”

“案例 1”具有时代性,反映了新的科学技术成果。案例中火星、地球与探测器都当作质点处理,探测器与火星、探测器与地球的距离分别等于这两颗行星的半径。探测器在地球表面和火星表面引力的比值的演算推导过程,请学生自己完成。这里需要让学生弄清楚只有在忽略地球和火星自转的影响时,物体在地球和火星的引力才可认为等于重力。教学中可引申地球上物体的重力和万有引力的关系,使学生明白重力是万有引力的一个效果,万有引力还有另外一个效果是使物体随地球自转所需要的向心力。

“案例 2”介绍了测算中心天体质量的方法。该案例根据万有引力定律,运用圆周运动知识和有关天体数据估算太阳质量。通过本案例,要了解什么是中心天体。对于太阳和行星、彗星来说,太阳是中心天体;对于地球和月亮、人造地球卫星来说,地球是中心天体。

从这个案例中学生可以认识到,要测量一个天体的质量,必须设法找到一个环绕该天体做匀速圆周运动的小天体(或发射一个人造天体),测出它环绕天体运行的周期和两天体间的距离等,这样就可以用万有引力定律计算出被测天体的质量了。

对于地球质量的测量方法也可另辟蹊径,利用地球表面的重力加速度来测量。假设有质量为 m 的物体在地球表面上,在地球自转影响可忽略时,其受万有引力等于重力。利用 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$,可得 $M = \frac{gR^2}{G}$,拓展思路,灵活运用。

关于“请讨论”可引导学生利用密度公式展开思考与讨论,如还没有学习球体积公式 $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, 可以提示查阅资料。教学中要多发挥学生的主动性,让学生自主探究、自主讨论、自己计算,以培养思维能力。

关于“信息浏览”

海王星的发现是万有引力定律发现后,轰动科学界特别是天文学界的大事。海王星的发现是对万有引力定律的有力验证,它充分显示了科学理论的作用。

“信息浏览”中呈现了海王星发现的主要过程,并没有具体的推演计算,旨在从史料中探究万有引力理论的价值,激发学生追求真理、勇于创新的精神。

教学评价

“家庭作业与活动”参考解答

1.【解答】 由 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$, 代入数值计算得 $F = 1.67 \times 10^{-7} \text{ N}$ 。远小于重力,所以平常分析物体受力时,可以不考虑万有引力。

2.【解答】 $F = G \frac{Mm}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{1.97 \times 10^{30} \times 5.98 \times 10^{24}}{(1.49 \times 10^{11})^2} \text{ N} = 3.54 \times 10^{22} \text{ N}$ 。

$$S = \frac{F}{F_0} S_0 = \frac{3.54 \times 10^{22}}{6.68 \times 10^4} \times 1 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 5.3 \times 10^{13} \text{ m}^2。$$

3.【解答】 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{(7.1 \times 10^{-30})^2}{(1.0 \times 10^{-16})^2} \text{ N} = 3.4 \times 10^{-37} \text{ N}$ 。

4.【解答】 B。

5.【解答】 B、C。

6.【解答】 设探测器在火星表面和地球表面的重力加速度分别为 $g_{\text{火}}$ 与 $g_{\text{地}}$, 则探测器在这两颗行星上所受重力分别为:

$$F_{\text{火}} = mg_{\text{火}}, F_{\text{地}} = mg_{\text{地}},$$

由教材第 72~73 页的案例知道 $\frac{F_{\text{火}}}{F_{\text{地}}} = \frac{1}{2.6}$,

解得 $g_{\text{火}} = 3.77 \text{ m/s}^2$,

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 100}{3.77}} \text{ s} = 7.28 \text{ s},$$

$$v = \sqrt{2g_{\text{火}} h} = \sqrt{2 \times 3.77 \times 100} \text{ m/s} = 27.5 \text{ m/s}。$$

7.【解答】 (供参考)

[方案 1] 利用自由落体运动测出重力加速度,用分度尺测出自由下落的高度 h ,用秒表测出下落的时间 t ,由 $h = \frac{1}{2}gt^2$,得 $g = \frac{2h}{t^2}$ 。由于星球表面物体所受重力近似等于万有引

力,有 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$, 解得: 星球的质量 $M = \frac{2hR^2}{Gt^2}$ 。

[方案 2]

也可以利用航天员乘坐的航天器绕星球表面做匀速圆周运动,用秒表测该航天器的环绕周期 T 。

由公式

$$\frac{GMm}{R^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 R,$$

可得

$$M = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}。$$

补充课堂检测题和参考解答

1. 要使两物体间万有引力减小为原来的 $\frac{1}{4}$, 下列做法中正确的是()。

- A. 使两物体的质量各减小一半, 距离不变
- B. 使其中一个物体的质量减小到原来的 $\frac{1}{4}$, 距离不变
- C. 使两物体间的距离增为原来的 2 倍, 质量不变
- D. 距离和两个物体的质量都减为原来的 $\frac{1}{4}$

【解答】 A、B、C。

2. 对于万有引力定律表达式 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ 的认识, 下列说法中正确的是()。

- A. 公式中的引力常量 G 是通过实验测量得到的
- B. 当 r 趋于零时, 两个物体之间的万有引力会趋于无限大
- C. 两个相互吸引的物体, 所受万有引力大小相等, 与 m_1 、 m_2 是否相等无关
- D. 两物体受到的引力总是大小相等、方向相反, 所以是一对平衡力

【解答】 A、C。

3. 设想把物体放到地球的中心, 则此物体与地球间的万有引力是()。

- A. 零
- B. 无穷大
- C. 与放在地球表面相同
- D. 无法确定

【解答】 A。

4.3 飞出地球去

教学目标

(1) 会分析计算人造地球卫星的环绕速度, 理解第一宇宙速度的含义。

- (2) 知道第二宇宙速度和第三宇宙速度的含义,知道它们对人类探索宇宙的意义。
- (3) 了解牛顿力学对航天技术发展的重大意义,了解人类探索宇宙的艰难历程。

教材说明

本节是牛顿运动定律与万有引力定律在圆周运动条件下的综合应用。人造卫星是万有引力定律在天文学上应用的一个典型案例,是人类探索自然的见证,体现了知识的力量,是学生学习了解现代科技的好素材。本节教材不但介绍了人造卫星的一些基本理论,还在其中渗透了很多科学方法。本节是学生进一步学习研究天体运动的基础知识。此外,通过对人造卫星、宇宙速度的了解,也能激发学生热爱航天事业的热情,增强民族自信心和自豪感。

本节教材先引述俄国科学家齐奥尔科夫斯基的一段话作铺垫,表明了人类探索宇宙的决心,激发学生的求知欲望。1957年苏联发射了世界上第一颗人造地球卫星,2003年我国“神舟”五号飞船成功发射,都是人类探索宇宙的标志性事件。

关于第一宇宙速度的推导问题。教材先用图4-3-3所示人造卫星绕地球做匀速圆周运动的模型,推导出环绕地球运动的速度 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 。接着展开讨论:人造卫星绕地球做匀速圆周运动的速度与轨道半径有关,半径越大,速度越小。再考虑在地面附近飞行的卫星,轨道半径可取地球半径,计算出第一宇宙速度。这样处理有利于分清一般性规律和特殊结论之间的关系,卫星绕地球运动的速度 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 是一般性规律,适用于各种轨道的卫星,也适用于其他行星的卫星和恒星周围的行星。第一宇宙速度是轨道半径取地球半径时计算出来的,是个特殊值。如果是其他星球,由于质量和半径不同,第一宇宙速度也不同。第一宇宙速度有两个含义:一是人造地球卫星在地面附近做匀速圆周运动时的环绕速度,也是所有绕地球做匀速圆周运动的卫星的最大环绕速度;二是发射人造卫星必须达到的最小速度。

利用万有引力提供向心力,还能计算出人造卫星的运动周期,并利用周期公式比较不同高度的人造卫星的周期,这是万有引力的重要应用。

囿于学生所学知识,第二宇宙速度的数值在中学物理中不要求会推导。教材立足于实际应用,直接给出理论研究的结论。航天器进入地面附近的速度大于7.9 km/s,小于11.2 km/s,它的轨道是椭圆,并且速度越大,椭圆轨道就越“扁”。当航天器的速度达到11.2 km/s时,就能脱离地球引力的束缚,成为绕太阳运动的“人造行星”。这个脱离地球束缚的最小速度就叫第二宇宙速度。

第三宇宙速度同样不要求进行计算,只是让学生知道这是脱离太阳引力束缚的最小速度,是进入太阳系以外空间的必备条件。

本节的重点是建立卫星绕地球做圆周运动的模型,用万有引力提供向心力展开分析计算,包括会计算卫星的速度、周期、轨道半径等。

教学建议

本节是涉及航天部分的重要内容,介绍了万有引力理论所取得的成就,要求学生知道是万有引力理论帮助人类飞出地球,实现“飞天”梦想的。重点是要理解第一宇宙速度,通过人类探索宇宙的历程,激发学生探索自然的激情。通过我国航天事业的成就激发学生的爱国

热情,树立民族自信心。本节知识的重点是牛顿运动定律与万有引力定律在圆周运动条件下的综合应用,建立人造卫星绕地球做匀速圆周运动的物理模型,进行理论推导。

关于“三个宇宙速度”

教学中建议采用历史资料,利用教材图 4-3-2,讨论牛顿提出过的思想实验:从高山顶水平抛出一个铅球,当抛出速度足够大时,铅球将环绕地球运动,成为一个“小月亮”。可以引导学生计算这个速度有多大。并思考:若地球质量未知,利用地球表面处的重力加速度,能否求出?

本节的重点是第一宇宙速度的推导和理解。第一宇宙速度是人造卫星绕地球表面做匀速圆周运动的速度,是个特例。教学中建议从更一般的情形出发,首先建立人造卫星绕地球做匀速圆周运动的模型,由地球对它的万有引力提供向心力,建立方程式 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$,计

算得到 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 。这是一般性规律,适用于做各种圆形轨道运动的卫星,也适用于其他行星的卫星和恒星周围的行星。教学中要重视这样的一般性规律。在此基础上讨论:人造卫星绕地球运动的速度与轨道半径有关,半径越大,速度越小。当轨道半径 r 用地球半径代入后,计算出的结果是 7.9 km/s,这就是第一宇宙速度。这种由一般到特殊的过程有利于培养学生的科学思维。让学生明白,特殊结论通常是一般规律在特殊条件下的结论,一般规律往往具有更广泛的适用性。

学生往往对环绕速度与发射速度不加区分,教学中需要予以说明。第一宇宙速度是发射卫星的最小发射速度,发射速度小于它,卫星将不能环绕地球做圆周运动而要落回地面。第一宇宙速度同时又是所有绕地球做圆周运动卫星的最大环绕速度。因为所有绕地球做匀速圆周运动卫星中,由于轨道半径都大于地球半径,由公式 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 可知,轨道半径越大,速度越小,所以第一宇宙速度是环绕速度的最大值。

第二宇宙速度和第三宇宙速度,学生只需要了解它们的物理意义,不作定量计算。教学中不建议拓展为定量计算,可以借此拓展学生的想象和思考空间,让有兴趣的学生在课外时间研究。

关于“人类探索宇宙的历程”

教材从两个方面介绍,一是人类在探索宇宙的道路上取得的巨大成就,列举了有代表性的几个事例。1957 年 10 月 4 日苏联发射了第一颗人造地球卫星,1961 年 4 月 12 日苏联将世界上第一位航天员加加林送入太空,1969 年 7 月 20 日美国航天员阿姆斯特朗登上月球……这些都展现了全人类在航天领域取得的巨大成就。二是我国在探索太空过程中取得的丰功伟绩。从“嫦娥奔月”的传说,到 1970 年 4 月 24 日我国第一颗人造地球卫星——“东方红”一号成功上天,再到 2003 年 10 月 15 日“神舟”五号成功将我国第一位航天员杨利伟送入太空,展示了我国航天事业取得的巨大成就。此后,2016 年 9 月 15 日我国“天宫”二号空间实验室发射升空,2017 年 4 月 20 日“天舟”一号货运飞船发射升空……其中的“天宫”二号是我国第一个真正意义上的空间实验室。

教学中可以补充有关卫星的计算,如计算“神舟”五号卫星轨道半径、周期等,以提升民族自豪感。这部分内容是很好的爱国主义教育素材,利用这些素材可以培养学生的科学态度与责任感,激发学生的科学热情。教学中建议让学生通过课外查找资料补充一些最新的航天科技成果。如2018年底的“嫦娥”四号登月过程,在课堂上相互交流,避免课堂上只做平铺直叙的讲解。可用多媒体设备呈现相关的音像资料,也可以让学生自己搜集资料,用科学讲座或报告会的形式进行交流。这种活动也可放在课外进行。

人类探索宇宙是十分艰辛的,教材中没有提到人类在探索宇宙过程中遭遇到的困难和失败。事实上,人类在探索宇宙的历程中付出了巨大代价。教学中也应通过一定的方式,让学生了解科学探索的历程不是一帆风顺的。如1967年苏联的“联盟1号”故障导致航天员牺牲,1986年美国的“挑战者”号航天飞机发射失败,导致七名航天员牺牲……但这些挫折都没有阻止人类探索宇宙的脚步,人类反而以更大的热忱,前赴后继,不断取得巨大的成就。

关于“案例分析”

案例1:着重引导学生建构卫星绕行星运动的模型,利用匀速圆周运动的理论,分析讨论向心力的来源,建立万有引力等于向心力的等式并灵活运用。同时,对于地球同步卫星的相关物理知识也要有所了解。

案例2:这是万有引力的另一个典型应用,需要让学生理解行星(包括地球)表面的重力加速度是行星自身的一个重要属性,是由行星质量和半径共同决定的。这里要建构的物理模型是在不计星球自转的情况下,行星表面的物体所受重力等于万有引力,建立等式求解。这个案例同时需要学生理解第一宇宙速度的物理意义及其求解方法。

关于“课外活动”

- (1) 精选几份科学报告,以墙报的形式在班级展示,让学生相互讨论交流。
- (2) 有条件的学校,要求学生以PPT形式展示各自的科学报告。

关于“课题研究 为‘神舟’飞船设计一项搭载实验”

飞船上的物体处于微重力状态,飞船在上升和下降过程中有超重和失重现象,飞船上的物体受到的辐射与地面上不同……而地面上的重力与辐射等,往往影响了一些实验探究活动过程。

组织学生通过查找资料,搜集飞船上还有哪些环境因素与地面上有区别,讨论如何利用这些区别,来完成地面上难以完成的一些实验探究活动。

设计的实验应包括实验目的、实验原理(包括该实验在地面上进行时受到的干扰因素,要利用飞船上的什么条件等)、实验主要器材、实验进行步骤,以及实验应记录的现象和数据等。

应该注意的是,所设计的实验应具有可操作性。

教学评价

“家庭作业与活动”参考解答

- 1.【解答】 A、B、C。
- 2.【解答】 D。

3.【解答】 $h = \sqrt[3]{\frac{R^2 g}{\omega^2}} - R。$

4.【解答】 $v = \sqrt{\frac{GM_{\text{行}}}{r_{\text{行}}}} = v_1 \frac{r}{R} = 8 \times 10^3 \times \frac{16 \times 10^3}{64 \times 10^5} \text{ m/s} = 20 \text{ m/s}。$

补充课堂检测题和参考解答

1. 在拱形桥上行驶的汽车,行驶到桥的最高点时速度不能超过一定的值,即 $v < \sqrt{Rg}$, 其中 R 是桥的圆弧半径。有人把地球看成一个大拱形桥,如果在这个“桥”的最高点以 $v = \sqrt{Rg}$ 的速度驾驶一辆汽车,结果会出现什么情况? 请你估算一下此时的速度并与第一宇宙速度比较,对回答以上问题可能会有启发。已知地球半径为 $6.4 \times 10^6 \text{ m}$ 。

【解答】 用 $v = \sqrt{Rg}$ 估算的结果是 $v = 8.0 \times 10^3 \text{ m/s}$, 它近似于第一宇宙速度。这说明,汽车以这个速度行驶时,会贴着地球表面一直做圆周运动,即成为一个近地卫星。

2. 某人造地球卫星做匀速圆周运动,设地球半径为 R ,地面重力加速度为 g ,下列说法中正确的是()。

A. 人造卫星运动的最小周期为 $2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$

B. 卫星在距地面高度为 R 处的绕行速度为 $\sqrt{\frac{Rg}{2}}$

C. 卫星在距地面高度为 R 处的重力加速度为 $\frac{g}{4}$

D. 地球同步卫星的速率比近地卫星速率小,所以发射同步卫星的能量较小

【解答】 A、B、C。

“第4章家庭作业与活动”参考解答

A 组

1.【解答】 13.2

2.【解答】 由 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = 1.3 \times 10^{-10} \text{ N}$, $a_1 = \frac{F}{m} = 1.3 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$, $a_2 = \frac{F}{m} = 2.6 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$ 。

3.【解答】 约 3×10^{-4} 倍。

4.【解答】 $1.9 \times 10^{30} \text{ kg}$ 。

5.【解答】 $3.34 \times 10^{-3} \text{ N}$; 1.5×10^{11} 倍; 3.0×10^{11} 倍。

6.【解答】 A。

7.【解答】 $F = \frac{mR_0^2 g_0}{(R_0 + h)^2}$, $F = m\omega_0^2 (R_0 + h)$ 。

8.【解答】 B、C。

B 组

1.【解答】 $\sqrt{2} v_1$ 。

2.【解答】

设地球和卫星的质量分别为 M 和 m , 卫星的轨道半径为 r , 则由

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r},$$

得卫星的运动速度

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}},$$

取卫星的轨道半径为地球半径 R , 有

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}},$$

又地面上一个质量为 m 的物体与地球之间的万有引力的大小为

$$F = G \frac{Mm}{R^2},$$

这个物体受到地球的引力而获得加速度, 这个加速度就是重力加速度 g , 根据牛顿第二定律, 应有

$$F = mg,$$

由以上两式可得

$$g = \frac{GM}{R^2},$$

代入式 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$, 得

$$v = \sqrt{Rg}.$$

3.【解答】 略。

课程资源

科学学家简介

托勒密

托勒密(Claudius Ptolemaeus, 约 90—168), 古代天文学家、地理学家、数学家、光学家。约在公元 145 年完成了《天文学大成》一书, 后来采用阿拉伯语简称为《至大论》(Almagest)。这是一部天文学百科全书。书中他提供了宇宙的几何模型, 当时能对日、月和五大行星等七个天体的运动给出准确的预测。

托勒密认识宇宙的思路和方法是: 先提出模型, 再通过从模型中演绎得出的数据与观测数据进行比较, 来检验模型的真伪。托勒密集古希腊天文学之大成, 提出了完整的地球中

心说体系,达到了希腊天文学和宇宙学思想的顶峰。在《天文学大成》中,托勒密给出了地心体系的基本构造,并用一系列观测事实给予证实。借助于托勒密体系,实际上可以仿制行星的任何复杂轨迹,并与他的观测结果一致,也与古希腊及其他天文学家的观测结果相符合。

今天看来,托勒密体系的确太复杂了,但它却回答了古希腊人提出的诸多问题。托勒密所建立的地心体系能够描述所看到的行星与恒星的位移,它与古希腊人的传统运动理论也没有什么矛盾。托勒密体系符合人们的直观感觉——地球不动,同时也与那些最简单的观测结果相符合,如恒星、太阳以及行星的运动。它之所以比较复杂,就是为了使所建立的地心体系与那些观测结果相一致。它很好地描述了望远镜发明之前的天文观测事实,一直被作为最好的天文学体系,统治西方天文学界长达1 000多年。作为一种天文学学说,托勒密体系有很高的历史地位。

哥白尼

哥白尼(Nicolaus Copernicus, 1473—1543),波兰天文学家。哥白尼10岁丧父,由其舅父抚养长大。他的舅父是波兰天主教会的一名大主教,在政治、经济方面势力颇强。哥白尼18岁时被送入波兰最高学府——克拉科夫大学读书,学习了宗教、医学、天文学知识和希腊文等。在1496年至1506年之间,他先后两次到文艺复兴的中心——意大利求学,在那里受到了新思潮的熏陶。

在天文学方面,他原先也是相信地心说的。在意大利期间,他曾和达·芬奇、意大利天文学家诺瓦拉讨论天文学理论,观测星空。哥白尼在弗龙堡教堂工作时,在该教堂的一座角塔建立了一座小天文台,使用自制的仪器观测星空。

在前人思想的启发下,经过40年的观测研究,哥白尼终于纠正了托勒密地心说的错误,并撰写了《天体运行论》一书。1543年,哥白尼在最后时刻,看到了这本刚刚印好的送到床前的科学巨著。在这部伟大的著作中,哥白尼系统地提出了新的宇宙体系——日心地动说,又称日心说。

日心说的问世,标志着人类宇宙观发生了一次革命性的变革,是一次跨越式的飞跃。随着地球被移出宇宙的中心,“上帝”的神圣地位也变得摇摇欲坠,人们的思想继续解放。恩格斯对日心说给予了高度评价,他认为“从此自然科学便开始从神学中解放出来了”。

第谷

第谷(Tycho Brahe, 1546—1601),丹麦天文学家。第谷出生于丹麦一个贵族家庭,13岁进入哥本哈根大学,在那里学习哲学和语言学等课程,还有亚里士多德的《生物学》、欧几里得的《几何原本》、托勒密的行星理论和占星术等。在哥本哈根,他观看了1560年10月21日的日偏食。人们对日食发生时间的准确预报令他惊叹,并激发了他探索宇宙奥秘的热情。

1572年11月11日,第谷观测到天空中出现了一颗过去从来没见过过的亮星(后来被称为“第谷新星”),第谷对它持续观测到1574年,做了较详细的记录,并发表在《论新星》一书中。从此他名声大振,并受到丹麦国王腓特立二世的赏识,被聘为宫廷天文学家。国王还为他拨款在汶岛修建了设备完善的一流天文台——观天堡。

勤于观测的第谷不断有新的发现,如观测到了彗星,并计算了彗星的运动位置,推算出彗星的速度。他从彗星的彗尾方向及其变化,证明彗尾是太阳光对彗星的影响形成的。

第谷提出了一种“折衷”的宇宙体系：地球位于宇宙的中心，静止不动，月球和太阳依次绕着地球运转，水星、金星、火星、木星和土星依次以太阳为中心运动，最外层的恒星每天 24 小时旋转一周，彗星也绕太阳旋转，但不像行星那样沿正圆轨道，而是沿椭圆轨道。第谷对日心说的一些论点是很赞赏的，但从整体上不接受这一宇宙体系。他“担心”让沉重的地球动起来，在物理上说不通，且与《圣经》有抵触。他一生测出了 777 颗恒星的位置，但从未发现过视差现象，这是他不愿接受日心说的另一个原因。按第谷的观点，地球如果绕日运动，它与恒星之间的距离应该是有变化的，因此从地球上观测，恒星的位置应该发生变化，即应该观测到视差现象。

第谷精于观测，他的观测能力几乎已达到了人眼的极限。他在观测中发现，以前天文学家计算的行星位置和他的观测资料大不相同。他认识到，长期观测天体位置是研究天体运动的唯一精确可靠的方法。所以，他长期坚持每天晚上观测火星，并做好记录。

1601 年，第谷临终前，把自己毕生观测火星的全部资料留给了开普勒，嘱托他整理研究这些资料。

开普勒

开普勒(Johannes Kepler, 1571—1630)，德国天文学家。出身于一个比较贫困和不幸的家庭，从小体弱多病，眼睛曾受过伤，妨碍了他的天文观测。

他在杜宾根大学读书时，受到天文学教授麦斯特林(Mästlin)的影响，成为日心说的拥护者。开普勒曾思考过一系列的问题：为什么只有六颗行星？为什么行星的轨道恰恰是现在的这样的比例和尺寸？“行星年”经历的时间与相应行星的轨道大小有关系吗？

开普勒早年曾设计过一个很有趣的宇宙模型，由五种正多面体构成。土星的轨道在正六面体的外接球上，木星的轨道正好在与土星轨道相切的正六面体的内接球上，火星的轨道正好在与木星轨道相切的正四面体的内接球上，地球的轨道正好在与火星轨道相切的正十二面体的内切球上。在地球轨道内接一个正二十面体，其内切球是金星的轨道。在金星的轨道内接一个正八面体，其内切球是水星的轨道。

开普勒设计的这个宇宙模型，一方面是为这五种正多面体赋予了宇宙学意义；另一方面是为宇宙中只有六颗行星找到了几何学证据。所以，当时开普勒对他的这项结果十分满意，以为它正是宇宙的秘密之一。于是他把这些都写在一本名为《神秘的宇宙》的书中，并将该书呈送给了第谷。

虽然，开普勒早年的这项工作没有什么重要的科学价值，但它对开普勒产生了重要的影响，使开普勒在数学、天文学方面的才华初露头角，得到了第谷的赏识，《神秘的宇宙》成了他与第谷相识的“介绍信”。第谷很高兴地邀请这位有才华的青年到自己身边工作。

开普勒遵照古希腊的传统观念，认为匀速圆周运动是最为完美的运动，行星也不例外地应该做匀速圆周运动。据此，开普勒反复计算火星在其轨道上的运行位置，但结果总是与第谷的观测结果不一致，有 8 弧分之差。开普勒知道第谷是一位严谨的天文观测家，不可能有这么大的误差，只可能是圆轨道这一假设有错误。

经过反复计算与尝试，他终于发现火星的运动不是匀速的，它离太阳较近时，运行速度要大些；反之，运行速度要小些。因此，行星的绕日运动并非是完美的匀速圆周运动。抛弃了传统观念之后，他尝试用各种几何曲线来描述火星的运动。开普勒经过反复尝试和大量

的计算,经历了一次又一次的失败,最后终于从枯燥的天文数字中找出了行星运动的规律,发现了开普勒行星运动三定律。

在天文学发展史上,开普勒具有很高的地位,被誉为“天空的立法者”。

参考资料

地心说体系

“地心说”认为,地球是宇宙的中心,静止不动,日月星辰围绕地球在圆形轨道上匀速转动。为了解释观测到的行星运转快慢发生变化,甚至出现逆行的现象,地心说认为太阳、月亮和行星都各自在叫作“本轮”的圆周上做匀速运动,而本轮的圆心则在以地球为圆心的大圆周——“均轮”上做匀速运动。每个行星的本轮和均轮是不同的。利用运动的叠加原理,基本上可以解释观测到的行星运行现象。但由于这个模型是错误的,结果为了解释区区六个行星的运动,竟然重重叠叠地用到了 80 多个轮子,复杂烦琐之至。

托勒密的地心体系流传了约 14 个世纪之久,对天文学的发展有一定的积极意义。托勒密在研究天体运动时建立了新的坐标参考系和某种几何学模型,例如恒星位于被称为“恒星天”的固定球壳上。迄今为止,人们在观测天体时,仍保留了假想的“天球”概念。19 世纪著名的法国天文学家弗拉马利翁评论托勒密地心说体系时写道:“他们的工作只不过是很快完善的宇宙体系的一个开端。但是,在科学的黎明时期,这体系能一下子就完善吗?我们应该惊异的,倒是他们的体系在以后传授了十几个世纪而没有人敢作出重要的修改,多少代的教授们和学生们都恭顺地接受了。”

日心说体系

“日心说”认为,宇宙的中心是太阳,而不是地球。地球只是一颗普普通通的行星,月亮是地球的一颗卫星,地球每天自西向东自转一周,因而人们看到天体都是从东方升起,从西方落下。恒星离太阳要比太阳离地球远得多,所有的行星都沿圆形轨道以均匀的速度围绕太阳运动。

日心说虽然没有具体给出恒星到太阳的距离是多少,但认为恒星离太阳要比太阳离地球远得多,这第一次给出了宇宙的大小概念。

日心地动说的问世,标志着人类宇宙观发生了一次革命性的变革。正如德国伟大的思想家、诗人歌德指出的那样,“哥白尼学说撼动人类意志之深,自古以来,无一种创见,无一种发明可与伦比。当大地是球形被哥伦布证实以后不久,地球为宇宙主宰的尊号也被剥夺了。自古以来,没有这样天翻地覆地把人类意识倒转过来的。”

但是,日心说也是有局限性的。它认为宇宙的中心是太阳,行星都围绕着太阳做匀速圆周运动。这些都是与事实不相符的。

太阳系只剩八颗行星

2006 年 8 月 24 日,第 26 届国际天文学联合会(IAU)大会投票通过决议,冥王星被排除在行星行列之外,而将其列入“矮行星”,太阳系行星数量由九颗减为八颗。

数十年来,科学家普遍认为太阳系有九颗行星,但随着一颗比冥王星更大、更远的天体

2003UB313 的发现,人们对冥王星大行星地位的争论愈演愈烈。一是由于其发现的过程是基于一个错误的理论;二是由于当初将其质量估算错了,误将其纳入到了大行星的行列。因此在国际天文学联合会大会上,是否要给冥王星“正名”成为大会的焦点,为此,天文学家给出了各种方案。

1930 年美国天文学家汤博发现冥王星,当时错估了冥王星的质量,以为冥王星比地球还大,所以命名为大行星。然而,经过近 30 年的进一步观测,发现它的直径只有 2 300 km,比月球还要小,等到冥王星的大小被确认,“冥王星是大行星”早已被写入教科书,以后就将错就错了。

行星定义委员会最初提出的方案,在确定金星、土星、木星、水星、地球、火星、天王星、海王星为经典行星之外,将冥王星降格为二级行星,同时增加谷神星、卡戎星和 2003UB313 为二级行星。

经过长达一周的争论,国际天文学联合会通过投票表决作出最终决定,取消冥王星的行星资格。事实上,位居太阳系九颗行星末席 70 多年的冥王星,自发现之日起地位就备受争议。根据国际天文学联合会大会通过的新定义,行星指的是围绕太阳运转、自身引力足以克服其刚体力而使天体呈圆球状、并且能够清除其轨道附近其他物体的天体。而冥王星椭圆形的轨道同海王星轨道交叠,显然不符合这一定义。

国际天文学联合会决定,太阳系内的行星和其他天体按照下列方式划分为三个类别。

(1) 一颗行星。它是一个天体,满足:(a) 围绕太阳运转;(b) 有足够大的质量来克服固体应力以达到流体静力平衡的(近于圆球)形状;(c) 所在轨道范围的邻里关系清楚。

(2) 一颗矮行星。它是一个天体,满足:(a) 围绕太阳运转;(b) 有足够大的质量来克服固体应力以达到流体静力平衡的(近于圆球)形状;(c) 所在轨道范围的邻里关系不清楚;(d) 不是一颗卫星。

(3) 其他围绕太阳运转的天体统称为“太阳系小天体”。

我国的探月工程

我国的探月工程分“绕”“落”“回”三个阶段。作为深空探测的第一步,“嫦娥”一号已于 2007 年 10 月 24 日发射成功,实现了绕月飞行的目标。2013 年 12 月 14 日“嫦娥”三号探测器携“玉兔”号月球车成功软着陆于月球雨海西北部,登月任务获得成功。2019 年 1 月 3 日,“嫦娥”四号成功着陆在月球背面南极-艾特肯盆地冯·卡门撞击坑的预选着陆区,月球车“玉兔”二号到达月面开始巡视探测。2019 年年底前后将发射“嫦娥”五号,实现取样返回。

● 是探月,不是登月

探月和登月不能混为一谈。根据我们国家的科学技术进步水平、综合国力和国家整体发展战略以及参考世界各国“重返月球”战略目标和实施计划,我国的月球探测以不载人为主旨。是探月,不是登月。

早在 2001 年,中国国家航天局就开始组织科学家和相关科研单位,对中国探月工程开展了工程的前期论证和方案设计工作。此后又进行了技术方案的论证,并对工程的关键技术进行了攻关。于 2007 年 10 月 24 日发射升空的“嫦娥”一号,在圆满完成各项使命后,于 2009 年按预定计划受控撞月。2010 年 10 月 1 日“嫦娥”二号顺利发射,也已圆满并超额完

成各项既定任务。目前,探月工程已经完成“嫦娥”三号卫星和“玉兔”号月球车的月面勘测任务。“嫦娥”四号是“嫦娥”三号的备份星。“嫦娥”五号主要科学目标包括对着陆区的现场调查和分析,以及月球样品返回地球以后的分析与研究。

● 中国探月“三步走”

我国探月工程的“绕”“落”“回”三个阶段:“绕”就是研制和发射中国第一颗月球探测卫星,对月球进行全球性、整体性与综合性的探测,以获取月球的三维立体图像等;“落”就是发射月球软着陆器,试验月球软着陆和月球车巡视勘察,就地对月球进行探测,并开展月基天文观测等;“回”就是不仅向月球发射软着陆器,而且发射小型采样返回舱,采集关键性月球样品返回地球。目前,我国月球探测工程正在按计划有序进行着。

我国的探月工程主要有四大任务。

其一,获取月球表面三维立体影像,精细划分月球表面的基本构造和地貌单元,进行月球表面撞击坑形态、大小、分布、密度等的研究,为类地行星表面年龄的划分和早期演化历史研究提供基本数据,并为月面软着陆区选址和月球基地位置优选提供基础资料等。

其二,分析月球表面有用元素含量和物质类型的分布特点,主要是勘察月球表面有开发利用价值的钛、铁等 14 种元素的含量和分布,绘制各元素的全月球分布图,月球岩石、矿物和地质学专题图等,探测各元素在月表的富集区,评估月球矿产资源的开发利用前景等。

其三,探测月壤厚度,即利用微波辐射技术,获取月球表面月壤的厚度数据,从而得到月球表面年龄及其分布,并在此基础上,估算核聚变发电燃料氦 3 的含量、资源分布及资源量等。

其四,探测地球至月亮的空间环境。月球与地球平均距离为 $3.84 \times 10^8 \text{ m}$,处于地球磁场空间的远磁尾区域,卫星在此区域可探测太阳宇宙线高能粒子和太阳风等离子体,研究太阳风和月球以及地球磁场磁尾与月球的相互作用等。

补充习题及参考解答

1. 你能估计出你对地球的引力是多少吗?为什么?

【解答】 可以。已知地球半径、引力常量和地球的质量,用万有引力公式就可以求得。也可以用自己的重力大小确定人对地球的引力。

2. 两辆汽车相距 20 m,质量分别为 $m_1 = 8 \times 10^3 \text{ kg}$, $m_2 = 1.2 \times 10^4 \text{ kg}$ 。求它们之间的万有引力。

【解答】 $1.6 \times 10^{-5} \text{ N}$ 。

3. 两颗人造地球卫星,质量之比 $m_1 : m_2 = 1 : 2$,轨道半径之比 $R_1 : R_2 = 3 : 1$,下面有关数据之比正确的是()。

A. 周期之比 $T_1 : T_2 = 3 : 1$

B. 线速度之比 $v_1 : v_2 = 3 : 1$

C. 向心力之比 $F_1 : F_2 = 1 : 9$

D. 向心加速度之比 $a_1 : a_2 = 1 : 9$

【解答】 D。

4. 若把一个在地球表面上质量为 36 kg 的物体,拿到与地球表面距离为地球半径 $\frac{1}{5}$ 的

高空处,它所受的重力是多少?

【解答】 约 250 N。

5. 航天员在月球上登陆后,既受到月球的吸引,也受到地球的吸引。月球对航天员的引力是地球对他引力的多少倍? 已知月球的半径是 1 730 km,月球和地球之间的距离是 3.84×10^8 m,地球与月球的质量比约为 81 : 1。

【解答】 约 608 倍。

6. 假设一物体以静止状态处在地球和月球的连线上,且与这两者等距离,则它将以多大的加速度开始落向地球? 地球质量约 5.98×10^{24} kg,月球质量约 7.35×10^{22} kg,地球和月球的距离约为 3.84×10^8 m。

【解答】 约 1.07×10^{-2} m/s²。

教学案例

4.3 飞出地球去

【课标分析】

《课程标准》指出,物理教学的核心任务是培养学生的核心素养。本节要求“会计算人造地球卫星的环绕速度,知道第二宇宙速度和第三宇宙速度。了解牛顿力学对航天技术发展的重大贡献。”本节课通过设置一系列学习探究活动,帮助学生了解航天科学的基本知识,了解我国航天事业的重大成就,激发爱国主义情怀。

【教学思路】

本节是万有引力定律在天文学上应用的一个实例,是人类征服自然的见证,体现了知识的力量,是学生学习了解现代科技知识的一个极好素材。教材不但介绍了三个宇宙速度和人类探索宇宙的历程,而且在其中还渗透了很多研究实际问题的物理思想的方法。因此,本节是“万有引力与航天”中的重点内容,是学生进一步学习研究天体运动的基础。

首先,通过对“神舟”五号飞船的学习,了解我国载人航天科技的发展,充分调动学生的学习积极性,激发学生的爱国热情。这是难得的素材,要用好这些素材,培养学生的科学态度与社会责任,提升物理学科核心素养。

课堂教学的重点应放在理解和推导第一宇宙速度上,其中涉及牛顿定律和圆周运动与万有引力定律的综合应用问题,这些内容有利于培养学生的科学思维能力。

教学中,要重视对相关资料的搜集与利用。课前布置学生通过多渠道查找并阅读相关资料。

【教学目标】

(1) 通过理论分析,结合圆周运动和牛顿运动定律,会推导第一宇宙速度,体会科学理论的价值。

(2) 知道第二宇宙速度和第三宇宙速度的物理意义,通过实例了解它们对人类探索宇宙的意义,体会科学定律对人类探索未知世界的作用。

(3) 了解人类探索宇宙的历程,了解牛顿力学对航天技术发展的重大贡献。

【教学重点】

(1) 会推导第一宇宙速度,理解第一宇宙速度的意义。

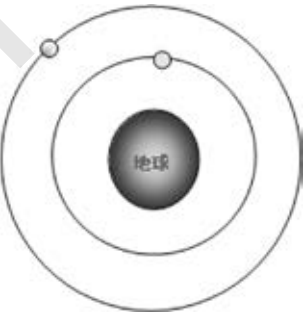
(2) 了解第二宇宙速度和第三宇宙速度。

(3) 初步了解人类探索宇宙的历程和我国航天事业近些年取得的成就。

【教学过程】

教学环节	教 学 意 图	教 师 活 动	学生活动
环节 1: 创设情境	视频引入: 了解我国航天事业的成就,激发学生学习热情和爱国情怀。	播放“神五”飞船视频,卫星发射视频,展示中国国家航天计划示意图。 提出问题: 你知道我国的航天事业取得的成就吗? 请列举一二个实例。	观看视频,回顾我国的航天事业取得的巨大成就,感受科技的力量。
环节 2: 活动探究	探究活动 1: 初步建构卫星的运动模型。利用课件呈现直观、鲜明的图景,为学生的思考搭建台阶。	提问 1: 怎样才能让原本在地面上的物体成为绕地球运动的人造卫星呢?	学生观看课件“卫星发射原理”,初步建构人造卫星运动模型。
	探究活动 2: 推导第一宇宙速度。引导学生用物理模型的方法,运用所学知识分析处理问题。通过先定性、后定量的办法,让学生的认知逐步提升。	提问 2: 在地面上,至少要用多大的速度将物体抛出,它就不会再落回到地面上,而成为一颗卫星呢? 两种方法: $\frac{GMm}{R^2} = \frac{mv^2}{R} \rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ $mg = \frac{mv^2}{R} \rightarrow v = \sqrt{gR}$ 提问 3: 这两组同学的结论有什么联系? 提问 4: 已知地球半径 6 400 km,地球表面重力加速度是 9.8 m/s ² 。估算第一宇宙速度的大小。 第一宇宙速度: $v_1 = 7.9 \text{ km/s}$ 讲解: (1) 第一宇宙速度是人造卫星在地面附近环绕地球做匀速圆周运动必须达到的速度,也称环绕速度。 (2) 第一宇宙速度是发射卫星能绕地球做环绕飞行的最小速度。 提问 5: 如果想发射一个更高轨道的人造地球卫星,需要的发射速度是更大还是更小?	学生思考完成学案中的问题。 学生交流汇报。 学生思考交流,根据已有知识进行说明。

(续表)

教学环节	教 学 意 图	教 师 活 动	学生活动
环节 2: 活动探究	<p>探究活动 2: 区分发射速度和环绕速度。</p>	<p>提问 6: 在更高轨道上环绕运行的地球卫星,其线速度是大于 7.9 km/s 还是比它小呢? 问题 5 和问题 6 所得的结论矛盾吗? 注意区分发射速度和环绕速度。</p>	<p>学生思想碰撞, 讨论交流, 分析。</p>
	<p>探究活动 3: 探究人造地球卫星的运动。联系实际, 由简单到复杂, 层层递进, 提高学生的推理能力, 优化物理知识的意义建构。</p> <p>问题引领, 加深学生对卫星运动模型的理解, 学会用运动模型方法分析运动物体各物理量之间的关系。区分发射速度和环绕速度, 澄清模糊认识。</p>	<p>想一想: 如果卫星的发射速度大于第一宇宙速度, 卫星将怎样运动呢? 当 $7.9 \text{ km/s} < v < 11.2 \text{ km/s}$ 时, 第二宇宙速度 11.2 km/s 讲解: 第二宇宙速度是脱离地球引力的最小速度, 又叫脱离速度。发射速度达到这个速度时, 航天器就能脱离地球引力的束缚, 成为一颗绕太阳运动的“人造行星”, 但还不能离开太阳系。 第三宇宙速度 16.7 km/s 讲解: 第三宇宙速度是航天器脱离太阳引力的最小速度, 又叫逃逸速度。发射速度大于或等于第三宇宙速度时, 航天器将挣脱太阳引力的束缚, 飞到太阳系以外的空间。 提问 7: 判断下面发射速度的范围。 1. 我国“嫦娥”二号卫星的发射速度范围。 2. 2003 年, 美国开展火星探测项目, 任务是发射“勇气”号探测器登陆火星。请判断“勇气”号的发射速度范围。 提问 8: 两颗人造地球卫星, 都在圆形轨道上运行, 它们的轨道半径不同。比较它们的向心加速度 $a_{\text{向}}$、线速度 v、角速度 ω、周期 T。</p>  <p>(1) 由 $G \frac{Mm}{r^2} = ma_{\text{向}}$ 得: $a_{\text{向}} = \frac{GM}{r^2}$ $a_{\text{向}} \propto \frac{1}{r^2}$。 (2) 由 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ 得: $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}, v \propto \frac{1}{\sqrt{r}}。$</p>	<p>观看课件, 运用所学的圆周运动知识分析思考问题。</p> <p>观看课件, 利用卫星运动模型, 应用圆周运动知识进行推导, 总结规律, 完成学案。</p>

(续表)

教学环节	教 学 意 图	教 师 活 动	学 生 活 动
环节 2: 活动探究		<p>(3) 由 $\frac{GMm}{r^2} = m\omega^2 r$ 得:</p> $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}, \omega \propto \frac{1}{\sqrt{r^3}}。$ <p>(4) 由 $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ 得:</p> $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}, T \propto \sqrt{r^3}。$ <p>所以卫星绕地球运动的 $a_{向}$、v、ω、T 只由 r、M 决定, r 越大 $\Rightarrow a_{向}$ 越小、v 越小、ω 越小、T 越大。</p>	
环节 3: 阅读课本	了解人类探索宇宙的历程	指导学生阅读,了解人类探索宇宙取得的成就。重点是了解我国近些年在航天科技方面取得的巨大成就。	使学生树立献身科学的价值观和人生观。
环节 4: 学后反思	反思回顾: 让学生在反思中提高,学会学习,养成质疑的思维习惯,提高学习能力。	引导学生反思: 1. 这节课的学习,你有什么收获? 2. 还想知道什么?	学生回顾反思,质疑。
环节 5: 拓展学习	强化学生对宇宙航行的认识,引导学生用科学规律解决实际问题,体会科学知识的实用价值。	布置课后学习任务: 1. 有则新闻报道:某机构发射了一颗周期是 70 min 的人造地球卫星。请你判断该新闻的正确性。 2. 上网查阅我国的航天成就,特别是“神舟”系列飞船和“嫦娥”探月工程的成就。	思考,写作业。 学生文献检索,整理交流。

资料一:“神舟”系列飞船

“神舟”飞船是中国自行研制,具有完全自主知识产权,达到或优于国际第三代载人飞船技术的飞船。“神舟”号飞船采用三舱一段,即由返回舱、轨道舱、推进舱和附加段构成,由 13 个分系统组成。

神舟号飞船与国外第三代飞船相比,具有起点高、具备留轨利用能力等特点。神舟系列载人飞船由专门为其研制的长征二号 F 火箭发射升空,发射基地是酒泉卫星发射中心,回收地点在内蒙古中部的四子王旗航天着陆场。

“神舟”系列飞船各型号发射回收情况概览

编 号	发射时间	返回时间	乘 组	飞行时间	发射地点
“神舟”一号	1999 - 11 - 20 06:30	1999 - 11 - 21 03:41	无人飞船	21 小时 11 分	酒泉
“神舟”二号	2001 - 01 - 10 01:00	2001 - 01 - 16 19:22	无人飞船	6 天 18 小时 22 分	
“神舟”三号	2002 - 03 - 25 22:15	2002 - 04 - 01 16:54	搭载模拟人	6 天 18 小时 39 分	
“神舟”四号	2002 - 12 - 30 00:40	2003 - 01 - 05 19:16	搭载模拟人	6 天 18 小时 36 分	
“神舟”五号	2003 - 10 - 15 09:00	2003 - 10 - 16 06:28	杨利伟	21 小时 28 分	
“神舟”六号	2005 - 10 - 12 09:00	2005 - 10 - 17 04:32	费俊龙、聂海胜	4 天 19 时 32 分	
“神舟”七号	2008 - 09 - 25 21:10	2008 - 09 - 28 17:37	翟志刚、刘伯明、景海鹏	2 天 20 小时 30 分	
“神舟”八号	2011 - 11 - 01 05:58	2011 - 11 - 17 19:32	搭载模拟人	18 天	
“神舟”九号	2012 - 06 - 16 18:37	2012 - 06 - 29 10:03	景海鹏、刘旺、刘洋	12 天	
“神舟”十号	2013 - 06 - 11 17:38	2013 - 06 - 26 08:07	聂海胜、张晓光、王亚平	15 天	
“神舟”十一号	2016 - 10 - 17 07:30	2016 - 11 - 18 13:33	景海鹏、陈冬	32 天	

资料二：“嫦娥”探月工程

2004 年,中国正式开展月球探测工程,并命名为“嫦娥工程”。嫦娥工程分为“无人月球探测”“载人登月”和“建立月球基地”三个阶段。2007 年 10 月 24 日 18 时 05 分,“嫦娥”一号成功发射升空,在圆满完成各项使命后,于 2009 年按预定计划受控撞月。2010 年 10 月 1 日 18 时 57 分 59 秒“嫦娥”二号顺利发射,也已圆满并超额完成各项既定任务。2012 年 9 月 19 日,月球探测工程首席科学家欧阳自远表示,探月工程已经完成“嫦娥”三号卫星和“玉兔”号月球车的月面勘测任务。“嫦娥”四号是“嫦娥”三号的备份星。“嫦娥”五号主要科学目标包括对着陆区的现场调查和分析,以及月球样品返回地球以后的分析与研究。

中国航天科技工作者早在 1994 年就进行了探月活动必要性和可行性研究,1996 年完成了探月卫星的技术方案研究,1998 年完成了卫星关键技术研究,以后又开展了深化论证工作。经过 10 年的酝酿,最终确定中国整个探月工程分为“绕”“落”“回”三个阶段。

第一步为“绕”,即发射我国第一颗月球探测卫星,突破至地外天体的飞行技术,实现月球探测卫星绕月飞行。通过遥感探测,获取月球表面三维影像,探测月球表面有用元素含量和物质类型,探测月壤特性,并在月球探测卫星奔月飞行过程中探测地月空间环境。第一颗

月球探测卫星“嫦娥”一号已于2007年10月24日发射。2010年10月1日18时59分57秒,搭载着“嫦娥”二号卫星的长征三号丙运载火箭在西昌卫星发射中心点火发射。

第二步为“落”,“嫦娥”三号探测器于2013年12月2日1时30分,在西昌卫星发射中心发射。“嫦娥”三号携“玉兔”号月球车首次实现月球软着落和月面巡视勘察,并开展月表形貌与地质构造调查等科学探测。2013年12月14日“嫦娥”三号成功软着陆于月球雨海西北部,登月任务获得成功。携带月球巡视勘察器,进行月球软着陆和自动巡视勘测,探测着陆区的地形地貌、地质构造、岩石的化学与矿物成分和月表的环境,进行月岩的现场探测和采样分析,进行日-地-月空间环境监测与月基天文观测。具体方案是用安全降落在月面上的巡视车、自动机器人探测着陆区岩石与矿物成分,测定着陆点的热流和周围环境,进行高分辨率摄影和月岩的现场探测或采样分析,为以后建立月球基地的选址提供月面的化学与物理参数。2018年12月8日,“嫦娥”四号探测器在西昌卫星发射中心由长征三号乙运载火箭成功发射。2019年1月3日,“嫦娥”四号成功着陆在月球背面南极——艾特肯盆地冯·卡门撞击坑的预选着陆区,月球车“玉兔”二号到达月面开始巡视探测。2019年1月11日,“嫦娥”四号着陆器与“玉兔”二号巡视器完成两器互拍,达到工程既定目标,标志着“嫦娥”四号任务圆满成功。2019年2月11日,“嫦娥”四号着陆器、“玉兔”二号月球车进入第二个月夜休眠模式。2019年3月20日,“嫦娥”四号探月工程团队获“影响世界华人大奖”。

第三步为“回”,时间在2014年至2020年之间。即发射月球软着陆器,突破自地外天体返回地球的技术,进行月球样品自动取样并返回地球,在地球上对取样进行分析研究,深化对地月系统的起源和演化的认识。目标是月面巡视勘察与采样返回。2019年1月14日,国家航天局副局长、探月工程副总指挥吴艳华表示,2019年年底前后将发射“嫦娥”五号,实现取样返回。

(本教案由中国科学技术大学附属中学王苏提供)

第5章

经典力学的局限性与相对论初步

本章教学目标

《课程标准》的要求及其解读

(1) 知道牛顿力学的局限性,体会人类对自然界的探索是不断深入的。

解读 《课程标准》包括了两点要求,第一点是“知道牛顿力学的局限性”,属于“知道”层次水平;第二点是“体会人类对自然界的探索是不断深入的”,属于“了解”层次水平。

学生在本章之前已经学习了牛顿运动定律,本条标准要求从历史的角度,通过实例了解经典力学的发展历程,了解牛顿力学的伟大成就及其对人类社会带来的影响。例如,让学生了解牛顿力学对航天技术发展的重大贡献等;再如,让学生比较重物下落与天体运动的多样性与统一性,了解万有引力定律对科学发展所起的重要作用,从万有引力定律的普适性认识自然界的统一性。由此,让学生体会牛顿力学创立的价值与意义。在实践活动中可以引导学生关注牛顿力学与航天技术等现代科技的联系,让学生收集我国和世界航天事业发展历史和前景的资料,写出调查报告等。

当然,随着时代的发展和科技的进步,经典力学也逐步显现出了局限性。本条标准要求知道牛顿运动定律只适用于宏观物体,只适用于相对光速来说的低速运动物体,对于微观粒子的运动和对跟光速可比拟的高速运动,它无法解释。因此,了解经典力学的实用范围和局限性,有利于学生从整体上了解物理学的发展历程,知道建构新的理论模型从而推动人类对自然界的深化认识的必要性。

(2) 初步了解相对论时空观。

解读 《课程标准》要求对狭义相对论的时空观进行初步介绍,属于“了解”层次水平。

本条标准要求学生对经典力学时空观与相对论时空观进行初步的比较,旨在为学生开启了解近代物理的一扇窗户,让学生了解相对论的核心内容和相对论时空观的主要思想。爱因斯坦的相对论是近代物理的支柱之一,学生应该了解相对论时空观的主要思想,了解相对论对人类认识世界的影响。可以通过了解高速运动中物体“长度缩短”和“时间延缓”等效应,知道在经典力学中物体的长度大小和运动所经历的时间长短是没有联系的,但是,对于高速运动来说却是关联的并跟物体运动速度大小有确定的关系,因此,长度与时间都是相对的。由于相对论时空观远离学生的生活经验,教学中只突出主要观点和主要观测证据。例如,星光偏折、引力场中的时空弯曲现象。可以引导学生阅读有关相对论的科普书刊,举办小型讨论会,强化学生的证据意识,进一步发展科学论证能力和现代物理观念。

(3) 关注宇宙起源和演化的研究进展。

解读 《课程标准》要求学生关注宇宙起源和演化的研究进展,属于“了解”层次水平。

本条标准对宇宙学本身没有规定具体的学习目标,主要目的是拓展学生的知识面,满足学生对宇宙的构成、起源和演化等科学问题的兴趣,进一步深化对科学本质的认识。可以通过阅读书刊和上网收集资料、同学间交流等形式,了解微波背景辐射、黑洞、暗物质和暗能量等最新观点。目前关于宇宙的科普影片、录像比较多,可以提供给学生观看,了解人类对宇宙天体的探索历程。

教学目标

(1) 认识经典力学的价值与局限性。通过实例,了解经典力学的发展历程,了解经典力学的伟大成就及其对人类社会带来的影响。通过实例,知道牛顿运动定律只适用于宏观低速运动物体,对于微观粒子的运动和对跟光速可比的高速运动则无法解释。通过分析讨论,知道科学理论既具有相对稳定性,又是不断发展的,人类对自然的探索永无止境。

(2) 初步了解狭义相对论的时空观。通过讨论高速运动中物体“长度缩短”和“时间延缓”等效应,了解高速运动时空的关联、长度与时间跟物体运动速度大小有确定关系,长度与时间都是相对的。通过阅读有关相对论的科普书刊和举办小型讨论会,了解爱因斯坦的创新科学思维过程,认识到科学包含了大胆的想象和创新,任何理论都必须经过事实的检验。

(3) 关注宇宙起源和演化的研究进展。通过阅读书刊、上网收集资料、同学间交流和观看科普影片与录像,了解人类对宇宙起源和演化的探索,进一步激发学生对科学的学习兴趣与动机。

全章教材分析与教学要求

本章是学生学习牛顿力学以后,介绍高速运动物体的运动规律、相对论时空观和关于宇宙起源和演化的研究进展。通过现象与事实、理论与证据的讨论,对经典力学时空观与相对论时空观进行比较,让学生了解经典力学的局限性和相对论对人类认识世界产生的影响。

本章旨在为学生开启了解近代物理的一扇窗户,通过讨论高速运动中物体“长度缩短”和“时间延缓”等效应,让学生了解狭义相对论的一些核心内容。通过了解人类对宇宙起源和演化的探索,体会物理学的发展对自然科学进步的重要作用,激发学生对科学的学习兴趣与动机。

本章教材力求体现如下特点:

(1) 强调从经典力学到现代物理发展的必然性。

教材从介绍牛顿的《自然哲学的数学原理》(以下简称《原理》)开始,强调了它在近、现代科学和科学哲学的发展中的历史地位与作用,展示了经典力学的巨大成就和方法论意义。同时指出了经典力学的局限性,为经典力学到相对论的创立这一发展过程描绘了较为清晰的历史背景。

从 5.2 节到 5.3 节前面部分,教材呈现了从相对论的基本概念、基本理论的发展过程,以及它们在近代科学领域的广泛应用,反映了从经典力学到现代物理这一近代科学革命发展的历程和必然性,使学生在过程中体验到科学的思维方法和创造性的假设在推动物理

学发展中的巨大作用,进而对物理产生亲近感,提高学生学习物理的兴趣。

(2) 关注科学、技术与社会的关系,渗透人文精神,提高学生的科学素养。

教材介绍了物理学与技术、社会发展的互动关系,以及科学技术的发展对社会发展产生的巨大影响,介绍了著名物理学家爱因斯坦的生平和成就。

教材结合正文的内容在旁批中适时地列举了牛顿、爱因斯坦等人的警句,让学生知道科学家在科学探究路上执著追求、勇于实践和尊重事实的科学精神。

(3) 以逻辑推导为线索,避免数学上的困难。

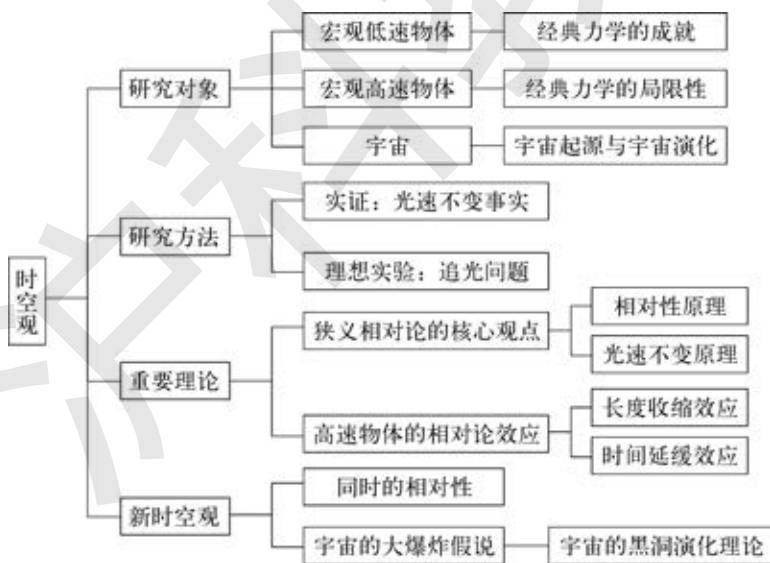
“时空的相对性”中关于时空变换关系的导出,一般要用到较多的高等数学知识,但教材采用了逻辑推导或直接给出的办法,这样既可使学生认识到结论的正确性,同时又避免了数学上的困难。

(4) 体现教材的开放性。

本章只涉及狭义相对论的最基本内容,但同时用“多学一点”栏目对相关内容进行了拓宽和加强,为学生留下自主学习空间。如“广义相对论简介”中介绍了广义相对论的基本思想;在“宇宙起源和演化”部分又提到了宇宙模型、宇宙的大爆炸假说、黑洞理论等与广义相对论有关的物理课题,学生可以通过查阅、收集有关资料来进一步了解、学习广义相对论,拓宽自己的知识面。

“课题研究”栏目也体现了开放性。学生可以在已学知识的基础上,通过课题研究进一步深化对相对论的理解,提高自己就某一主题收集信息、整理信息的能力。

本章教材的设计框架和知识逻辑结构如下:



本章教学重点

通过回顾、总结《必修1》和《必修2》中的力学内容,使学生理解经典力学的理论价值和应用价值,以及对整个物理学发展所产生的巨大影响。理解相对论的建立奠定了现代物理的基础,它在物理学上引起的变革是极其深刻的。

本章教学难点

创立狭义相对论的基本公设的背景和两条基本公设的含义。“同时的相对性”的物理意义。

课时安排建议

本章拟用 4 课时,具体安排如下:

第 5.1 节 1 课时

第 5.2 节 1 课时

第 5.3 节 1 课时

全章复习和评价 1 课时

各节教材的说明与教学建议

5.1 经典力学的巨大成就和局限性

教学目标

- (1) 通过阅读与查阅资料,了解《自然哲学的数学原理》的主要内容和历史地位。
- (2) 通过回顾、总结已经学过的经典力学内容,认识经典力学的理论价值、应用价值和方法论价值。
- (3) 通过具体事例,知道牛顿运动定律只适用于宏观低速运动物体,认识经典力学的局限性。

教材说明

本节教材从介绍牛顿的《自然哲学的数学原理》入手,肯定了牛顿对物理学发展的巨大贡献和经典力学的重要历史地位,揭示了经典力学方法论的意义,同时又指出了经典力学的局限性,为学习相对论的相关内容作了铺垫。

教学建议

通过实例,了解经典力学的发展历程和伟大成就;通过实例,知道牛顿运动定律只适用于宏观低速运动物体,无法解释微观、高速运动;通过分析讨论,知道科学理论既具有相对稳定性又具有不断发展性。

关于“章首语”

建议课题引入充分展示教材章首语的意图,从英国剑桥大学作为背景的《原理》图片入手,进而讨论开尔文勋爵所说的“科学大厦已经基本建成”和“在物理学晴朗天空的远处,还有两朵小小的令人不安的乌云”的含义,让学生带着疑问与好奇学习本章的内容。

关于“一座永垂不朽的纪念碑”

- (1) 强调牛顿的《原理》是一部奠定经典力学基础的划时代的著作,是“一座永垂不朽的纪念碑”。
- (2) 简要介绍《原理》产生的背景,强调科学发现是时代的产物,社会经济和技术的发展对科学的进步有着推动作用。
- (3) “《原理》的概貌”是让学生了解这部重要著作的知识结构和主要内容。
- (4) “对《原理》的评价”主要介绍拉普拉斯的评价,显现经典力学的巨大成就,呼应本段标题。对牛顿的自我评价的介绍是为了突出科学发展的继承性,衬托出牛顿作为一位伟大

的科学家所具有的博大深邃的精神世界。

关于“经典力学的巨大成就”

通过回顾、总结《必修1》和《必修2》中的力学内容,使学生了解经典力学的理论价值和应用价值,以及对整个物理学发展的巨大影响。

关于“信息浏览:牛顿运动三定律是经典力学的逻辑基础”

这里的“信息浏览”给出了牛顿运动三定律在《原理》中的表述。通过与教材中表述的比较,学生将知道教材中的表述在内容上保持了与《原理》中表述的一致性,但教材中的表述更直接、更易于接受和理解。学生在以后的学习中在阅读一些物理学家的原著时,常常会遇到这种情况。

关于“经典力学方法论的意义”

介绍经典力学方法的内涵:伽利略的方法是实验、逻辑(数学)相结合的方法,又叫“自然数学化法”。牛顿的方法是“归纳演绎法”。

学习物理学理论的过程应该是接受科学方法教育的过程。牛顿的科学方法不论从治学上来说还是从方法论研究上来说,都具有代表性,它对后来的自然哲学和科学发展产生了很深远的影响。学生通过学习,应认识到科学方法对人们认识自然世界以及对物理学发展的作用。教师要提醒学生注意:物理学中还有类比方法、假设方法等科学方法,在今后的学习中要引起重视。

关于“经典力学的局限性”

“牛顿力学是建立在原子论、绝对时空与相对时空相结合和欧几里得几何的基础上的,其方法论基本上是传统的形式逻辑和因果论。他的这些观念在占统治地位的200年间,被普遍认为是正确的,因而得到了公认和发展。但是,在进入19世纪之后,在光的本质和微观领域的科学发现上,不断出现例外的实验现象。由点滴的不足,到初步出现一系列的反常现象,至该世纪中叶之后,甚至在场、电磁波、电磁质量、长度收缩和质量因放射性而亏损等问题上,用牛顿力学无法得到解释,因此呈现了牛顿力学的很大局限性。”(摘自《牛顿的科学发现与科学思想》第535页,阎康年,湖南教育出版社)。

教学中可以从以下三个方面,让学生了解经典力学时空观背景下的“微粒”和“超距作用”等观念所产生的局限性:

- (1) 光的干涉和衍射现象证明了光的波动性。
- (2) 电磁相互作用和场的发现及电磁理论。
- (3) 经典力学的时空观受到严重的冲击,必须变革。

教学评价

“家庭作业与活动”参考解答

1.【解答】 经典力学在科学技术方面的应用事例很多,在本活动中,学生可以通过互联网收集这方面的资料,较全面地了解经典力学在推动科学技术发展方面的巨大作用。

建议根据学校的条件,采用某种形式的学生活动,交流收集的资料,如墙报、电子演示文稿、网页等。

2.【解答】 本题是说明机械论因果律(即决定论)的局限性,同时让学生初步体验概率论在物理学中所起的作用。

3.【解答】 完成这篇小论文是为了让学生加深对经典力学中科学方法的理解,体会科学的研究方法对人们认识自然的作用,牢固地树立科学的世界观。

5.2 狭义相对论的基本原理

教学目标

- (1) 通过分析讨论,概括经典力学的时空观。
- (2) 通过讨论光速不变的事实和爱因斯坦的理想实验,了解狭义相对论的基本假设。

教材说明

本节一开始就提出长度和时间的测量跟参考系是否有关这个发人深思的问题。然而,在经典力学范畴这似乎不是个问题。本节的引言中用“物理学经历了一场关于时空观的根本性变革,从牛顿时代的经典力学跨越到爱因斯坦的相对论”这句话,把学生引导到对时空相对性的思考中,设置悬念,激发学生进一步探究的兴趣和热情。

本节的重点和难点是相对论的两条基本公设是如何提出的。光的传播速度问题是这一节的重要线索,紧扣这一线索进行逻辑思考,从牛顿的经典力学跨越到爱因斯坦的相对论也就顺理成章。这一节的教学直接关系到下一节的学习。

教学建议

本节内容比较抽象,应该利用光速不变的事实和爱因斯坦的理想实验,让学生有形象、直观的表象,从而了解狭义相对论的基本假设。

关于“经典力学的时空观”

指出经典力学时空观的绝对性,并用例子说明。这在以往的高中教材中是没有的,目的是让学生更好地实现时空观的跨越。

通过讨论把时空观与光速问题联系起来,过渡到下一段。教学中要组织好学生的讨论,教师不能急于直接给出结论,而忽视这一教学过程。组织学生讨论如下问题:

问题 1: 在同一坐标系中经典力学中“同时”的概念与相对论中“同时”的概念是一致的。学生根据已有的关于声速和光速的概念讨论。

问题 2: 电磁波是以光速传播的。任何相互作用的传播都是需要时间的,地球上的人能“看到”地球与火星同时发生的事,是以相互作用的传播速度无穷大为前提的。

关于“狭义相对论的基本假设”

- (1) “追光实验”是爱因斯坦提出的理想实验之一,反映的是伽利略的相对性原理(经典

的速度合成法则)与光速不变原理之间存在的矛盾。追光问题的思考反映了爱因斯坦从相对论的思想萌芽导致狭义相对论建立的意义。

爱因斯坦在《自述》(参见《爱因斯坦文集》第一卷,湖南科学技术出版社 2002 年出版)一文中的表白,揭示了这一思考的背景:“经过 10 年沉思以后,我从一个悖论得到了这样一个原理,这个悖论我在 16 岁时就已经想到了:如果我以光速 c (真空中的光速)追随一条光线运动,那么我就应该看到,这条光线就好像一个在空间里振荡着而停滞不前的电磁场。可是,无论是依据经验,还是按照麦克斯韦方程,看来都不会有这样的事情。从一开始,在我直觉地看来就很清楚,从这样的一个观察者的观点来判断,一切都应当像一个相对于地球是静止的观察者所看到的那样,按照同样的一些定律进行。因为,第一个观察者怎么会知道或者判断他是处在均匀的快速运动状态中呢?人们看得出,这个悖论已经包含着狭义相对论的萌芽。”

(2) 关于惯性系的定义和伽利略相对性原理的含义,可以结合“请讨论”及计算结果,重点分析伽利略相对性原理推广到与光速有关的问题时的情形,强调大量的事实证明:光的传播速度与光源的运动情况无关,突出矛盾所在。

(3) 狭义相对论的两条基本假设,是爱因斯坦看出了相对性原理与光速不变原理的“表面上的抵触”而提出的,是狭义相对论的基础。它们体现了建立相对论时的基本思想:“一种理论的前提的简单性越大,它所涉及的事物的种类越多,它的应用范围越广,它给人们的印象也就越深。”(参见《爱因斯坦文集》第一卷)假设 1 是爱因斯坦把相对性原理推广到一切物理现象;假设 2 被许多实验事实所证实。这是一条与经典力学观点根本对立的假设。实际上,光速不变原理是同绝对时间的概念相矛盾的。在下一节,我们会看到时间的相对性就是光速不变原理的直接结果。

分析和思考狭义相对论问题,必须抓住光速不变原理这个假设。这是放弃经典时空观,建立相对论时空观的关键!

关于“信息浏览 光速的测定”

“信息浏览”简要地回顾了光速的测量历史,指出从天文学方法到实验室测量,光速的测量值越来越接近 $3 \times 10^5 \text{ km/s}$ 。又特别地指出了光速与光源的运动无关,与观察者无关,这是支持狭义相对论的重要实验基础。

教学评价

“家庭作业与活动”参考解答

【解答】 注意:伽利略相对性原理是对力学规律而言的,爱因斯坦相对性原理是对一切物理规律而言的。

5.3 相对论的时空观与宇宙演化

教学目标

- (1) 通过分析讨论同时的相对性,理解相对论时空观。
- (2) 通过分析讨论高速运动中物体“长度缩短”和“时间延缓”等效应,理解时空的相对性。

(3) 通过阅读书刊、上网收集资料、同学间交流和观看科普影片与录像,了解宇宙起源和演化的研究进展。

教材说明

本节中“同时的相对性”“长度收缩效应”和“时间延缓效应”,都是狭义相对论时空的属性,也是狭义相对论最基本的内容。学生学习这些内容后,可以进一步加深对相对论时空观的理解。

本节难点是“同时的相对性”,它是光速不变原理的直接结果。爱因斯坦理想实验的结论对初学者会产生强烈的冲击,教学中能否讲清楚这个实验关系到后续内容的学习。

教学建议

关于“爱因斯坦的时空观”

理解同时的相对性是本章的难点之一。让学生记住教材图 5-3-2“同时的相对性实验”的结论是很有用的。教材图 5-3-3 反映了“同时的相对性”的物理意义,对分析相对论的时空问题很有用。

为理解时空的相对性,给出经典变换公式(1)(2)是为了与相对论时空变换公式作比较。变换公式(3)(4)是直接给出的,教学中不必做严格的数学推导。重在对公式意义的认识:(3)(4)两式揭示了时间、空间与物质运动存在着内在的不可分割的联系;在低速情形下,(3)(4)两式的近似式就是(1)(2)两式,这说明伽利略变换是相对论时空变换公式在低速情形下的近似。

关于“两个奇特的效应”

让学生了解相对论情形下长度测量的方法,理解长度测量是相对的源于同时的相对性。让学生知道长度收缩效应,知道长度收缩效应是与物体的具体组成和结构无关的普遍的时空性质,一切运动的物体都要在运动的方向上发生收缩,所以相对于物体静止的惯性系中测得的物体的长度最长。

让学生知道时间延缓效应,知道时间延缓效应是一种相对效应。

关于“信息浏览:时间延缓效应的实验验证”

这里的“信息浏览”介绍的是验证时间延缓效应的著名实验,可以指导学生查阅相关资料,了解实验的方法和过程。 μ 子衰变的观测实验也可以用来说明时间延缓效应。

关于“多学一点 广义相对论简介”

广义相对论是爱因斯坦于 1916 年提出的一种关于引力如何影响其他物理现象的理论。进一步思考的问题是:物理规律在具有加速度的参考系中其数学表达式是否改变?这一段内容在教和学上都有一定的难度。广义相对论是狭义相对论的推广,狭义相对论仅是广义相对论在不存在引力或引力很弱时的特殊情形。

关于“宇宙的起源与演化”

宇宙大爆炸理论已经得到了有关发现的支持。例如,微波背景辐射、红移现象等。宇宙

大爆炸理论表明,宇宙不是静态的,它经历着从热到冷、从密到稀、不断膨胀的演化过程。

黑洞是广义相对论预言存在的星体。根据广义相对论,引力场导致时空弯曲。宇宙中恒星在演化过程中半径越来越小,导致周围的时空弯曲程度增加。当时空弯曲到即使在此星体上垂直于星体表面发出的光线也沿着弯曲时空返回星体表面,也就是连光都不可能从星体逃逸出来时,这样的星体就是黑洞。黑洞的大小若用质量为基础相比较的话,那么具有太阳质量的黑洞,其半径只有 3 km。在天文学上,科学家通过观察光线在黑洞附近发生光线弯曲的现象来探测黑洞的存在。虽然许多科学家相信黑洞是存在的,但是现在还没有黑洞存在的确切证据。

教学过程中,可以让学生阅读教科书,上网查阅有关资料,了解宇宙学的发展状况,写一篇科普类文章。这部分内容旨在引起和激发学生的兴趣,培养学生探索未知世界的意识。

教学评价

“家庭作业与活动”参考解答

- 1.【解答】 略。
- 2.【解答】 不同时。车尾先遭到轰击。用光速不变原理或(4)式计算都可以得到这个结论。
- 3.【解答】 略。
- 4.【解答】 根据时间延缓效应公式 $\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$ 可知,相对于地面观察者的速度 v

越大,其上的时间进程越慢。由于钟 C 相对于地面的速度最大,因此地面上的观察者认为钟 C 走得最慢。对于地面上的钟 A, $v_A = 0$, 因此认为它走得最快。

“第 5 章家庭作业与活动”参考解答

A 组

- 1.【解答】 略。
- 2.【解答】 “运动具有相对性”在高速情况下也是成立的。只要是惯性系,或者说不考虑火箭起飞或调向时的加速度,那么火箭上的观察者测得地球上的物体比火箭上同类物体短一些,而同一过程的时间也延长了。

B 组

【解答】 略。

课程资源

物理学家简介

爱因斯坦创建狭义相对论的经过

爱因斯坦是德国人,有犹太血统,1900 年毕业于瑞士苏黎世工业大学,1901 年入瑞士国

籍,大学毕业两年后才在伯尔尼瑞士专利局做技术员。在专利局工作期间,1905 年头几个月他连续发表了四篇重要论文,分别在辐射理论、分子运动论和力学与电动力学的基础理论等三个不同的领域提出了新的见解。其中《论动体的电动力学》一文更具有划时代的意义,文中第一次提出了崭新的时间空间理论,一举解决了光速的不变性与速度合成法则之间的矛盾以及电磁理论中的不对称等难题。爱因斯坦把这个理论称为相对性理论,简称相对论,后来又叫狭义相对论。狭义相对论是爱因斯坦伟大的一生中取得的第一项重大成果,是他在前人的基础上经过长期的酝酿和探索才取得的。我们学习相对论时,很自然要问,为什么是爱因斯坦而不是别人创立了狭义相对论?爱因斯坦受到过哪些启发,抓住了什么关键问题,找到了什么突破口,才取得如此重大的成果的呢?

根据爱因斯坦 1946 年写的《自述》和 1922 年在日本京都大学的讲演《我是怎样创立狭义相对论的?》以及其他资料,我们可以追溯他走过的道路。早在 16 岁(1895 年)时,爱因斯坦受科普读物的启发,*开始思考这样一个问题:“如果我以速度 c (真空中的光速)追随光线运动,我应当看到这条光线就好像一个在空中振荡着而停滞不前的电磁场。可是无论是依据经验,还是按照麦克斯韦方程,都不会有这样的事情。”这是一个悖论,实际上包含了狭义相对论的萌芽。

爱因斯坦对思考这个问题经历了很长的过程。他回忆说:“最初当我有这个想法时,我并不怀疑以太的存在,不怀疑地球相对以太的运动。”他甚至还设想用热电偶做一个实验,比较沿不同方向的两束光线所放出的热量。

不久爱因斯坦得知迈克耳孙-莫雷实验得出的以太速度为零的结果。他由此认识到,地球相对于以太的运动是不能用任何仪器测量的。他继续回忆说:“如果承认迈克耳孙的零结果是事实,那么地球相对于以太运动的想法就是错的,这是引导我走向狭义相对论的第一步。”

后来,爱因斯坦读到了洛伦兹 1895 年的论文,对洛伦兹方程发生了兴趣。他很欣赏洛伦兹方程不但适用于真空中的参照系,而且适用于运动物体的参照系。他试图用洛伦兹方程讨论斐索的流水中的光速实验。当时他坚信麦克斯韦和洛伦兹电动力学方程是正确的,但是进一步推算,发现要保持这些方程对动体参照系同样有效,必然导致光速不变性的概念,而光速的不变性明显地与力学的速度合成法则相抵触。

为什么这两个概念会相互矛盾呢?爱因斯坦苦思不得其解。起初他想修改洛伦兹的观念,以解决这个矛盾,结果白白花了一年时间,没有取得进展。

经过十年的思考,终于在 1905 年的一天,他找到了解决问题的关键。他在日本的讲演中这样形容当时的情景:

“为什么这两个观念相互矛盾呢?我感到这一难题相当不好解决。我花了整整一年的时间,试图通过修改洛伦兹的思想来解决这个问题,结果却徒劳无功。

“是我在伯尔尼的朋友贝索偶然间帮我摆脱了困境。那是一个晴朗的日子,我带着这个问题访问了他,我们讨论了这个问题的每一个细节。忽然我领悟到这个问题的症结所在。这个问题的答案来自对时间概念的分析,不可能绝对地确定时间,在时间和信号速度之间有着不可分割的联系。利用这一新概念,我第一次彻底地解决了这个难题。”

*方在庆,对发现宇宙奥秘的爱因斯坦我们其实知之甚少,文汇报,2019 年 7 月 17 日第 11 版。

五个星期内,1905年6月,爱因斯坦写好了那篇历史性文献《论动体的电动力学》,1905年9月该文发表在德文杂志《物理学年鉴》上。这篇论文中,爱因斯坦十分果断地把相对性原理和光速不变原理这两条看起来似乎矛盾的设想放在一起作为基本出发点。他称之为两条公设,内容如下:

1. 物理体系的状态据以变化的定律,同描述这些状态变化时所参照的坐标系究竟是两个在互相匀速移动着的坐标系中的那一个并无关系(相对性原理)。

2. 任何光线在静止的坐标系中都是以确定的速度 v 运动着,不管这道光线是由静止的还是运动的物体发射出来的(光速不变原理)。

爱因斯坦明确指出:在他的理论里,以太的概念是多余的,因为这里不需要特设的绝对静止的参照系。爱因斯坦不是像洛伦兹那样,事先假设某种时空变换关系,而是以这两个公设为出发点,推导出时空变换关系。他非常简洁地建立了一系列新的时空变换公式之后,立即推导出了运动物体的“长度收缩”、运动时间的“时钟变慢”、同时的相对性以及新的速度合成法则等等,由此形成一套崭新的时空观。

爱因斯坦之所以能够如此利落地摒弃旧的一套时空观,是因为他经过十年的思索,查考了一系列物理学中的矛盾,总结了各方面的事实,充分认识到绝对空间和绝对时间是人为的概念。

从那篇历史文献可以看出,爱因斯坦并不只是依据以太漂移实验,他首先是从麦克斯韦电动力学的不对称性提出问题的。

关于他对动体电动力学的注意,爱因斯坦在1919年的一篇从未发表过的手稿中写进:“在构思狭义相对论的过程中,我对法拉第电磁感应(实验)的思考起了主导作用。按照法拉第的说法,当磁体对于导体回路有相对运动时,导体回路就会感应出电流。不管是磁体运动还是导体回路运动,结果都一样。依照麦克斯韦-洛伦兹理论,只需考虑相对运动。然而,对这两种情况理论上的解释截然不同……想到面对着的竟是两种根本不同的情况,我实在无法忍受。这两种情况不会有根本的差别,我深信只不过是选择参考点的差别。从磁体看,肯定没有电场;可是从导体回路看,却肯定有电场。于是电场的有无就成为相对的了,取决于所用坐标系的运动状况。只能假设电场与磁场的总和是客观现实。电磁感应现象迫使我假设(狭义)相对性原理。必须克服的困难在于真空中光速的不变性,我最初还不得不想要放弃它。只是在经过若干年的探索之后,我才注意到这个困难在于运动学上一些基本概念中的任意性上。”

这里所谓的任意性大概是指“同时性”这类概念。

爱因斯坦追求的目标是普遍性的自然法则。他在《自述》中写道:“不论是力学还是热力学(除非在极限情况下)都不能要求严格有效。渐渐地,我对那种根据已知事实用构造性的努力去发现真实定律的可能性感到绝望了。我努力的愈久,就愈加失望,也就愈加确信,只有发现一个普遍形式的原理,才能使我们得到可靠的结果。我认为热力学就是放在我面前的一个范例。”

哲学的思考也是引导爱因斯坦前进的重要因素。在《自述》中他这样写道:“只要时间的绝对性或同时性的绝对性这条公理不知不觉地留在潜意识里,任何想要令人满意地澄清这个悖论的尝试都是注定要失败的。清楚地认识到公理以及它的任意性实际上就意味着问题的解决。对于发现这个中心点所需要的批判思想,就我的情况来说特别是由于阅读了戴维、

休谟、恩斯特·马赫的哲学著作而得到决定性的进展。”

爱因斯坦少年时期就对哲学有兴趣。康德的《纯粹理性批判》，马赫的《力学史评》和德国出版的一些科普书都给了他深刻的影响。1902年前后，爱因斯坦和几个年轻朋友组成“奥林比亚科学院”，每晚聚在一起，研读斯宾诺莎、休谟、彭加勒等人的科学和哲学著作。斯宾诺莎关于自然界统一的思想，休谟的时空观，马赫对牛顿绝对时空观的批判都引起爱因斯坦极大的兴趣。

爱因斯坦在《论动体的电动力学》一文的最后，推导出了电子质量随速度变化的关系和电子的动能公式，并由电子速度等于光速 c 时动能变为无穷大的结果预言电子速度不可能大于光速。

1905年晚些时候，爱因斯坦又发表了一篇论文，题为《物体的惯性同它所含的能量有关吗？》第一次提出了相对论的质能转化关系。“物体质量是它所包含的能量的量度。”“如果能量改变 L ，则质量也要同时改变 $\frac{L}{9 \times 10^{20}}$ （即 $\frac{L}{c^2}$ ，这里用的是 CGS 单位）。”

（摘自郭奕玲、沈慧君的《物理学史》，清华大学出版社）

参考文献与网站

- A. 爱因斯坦, L. 英费尔德, 周肇威译. 物理学的进化. 长沙: 湖南教育出版社, 1999.
V.F. 韦斯科夫, 杨福家等译. 二十世纪物理学. 北京: 科学出版社, 1979.
A. 爱因斯坦, 杨润殷译. 狭义与广义相对论浅说. 上海: 上海科学技术出版社, 1964.
张仲元. 狭义相对论实验基础. 北京: 科学出版社, 1979.
葛葆安, 曾涤. 相对论简介. 天津: 天津科学技术出版社, 1980.
史蒂芬·霍金, 许明贤, 吴忠超译. 时间简史. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2001.
史蒂芬·霍金, 吴忠超译. 果壳中的宇宙. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2002.
伽莫夫, 斯坦纳德, 吴伯泽译. 物理世界奇遇记. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2000.
伽莫夫, 暴永宁译, 吴伯泽校. 从一到无穷大. 长沙: 科学出版社, 2003.
张三慧. 大学物理学. 北京: 清华大学出版社, 1990~1991.

补充习题及参考解答

1. 经典力学适用于解决()。

- (A) 宏观高速问题
(C) 宏观低速问题

- (B) 微观低速问题
(D) 微观高速问题

【解答】 C。

2. 属于狭义相对论基本假设的是：在不同的惯性系中()。

- (A) 真空中光速不变
(C) 物体的质量不变

- (B) 时间间隔具有相对性
(D) 物体的能量与质量成正比

【解答】 A。

3. 广东省虎门大桥全长近 15 km, 假设在 500 m 高空有一架与大桥平行以接近光速飞行的飞机, 飞机上人员看到大桥的长度将是()。

- (A) 大于 15 km (B) 等于 15 km (C) 小于 15 km (D) 无法确定

【解答】 C。

4. 经典力学不能适用于下列哪些运动()。

- (A) 火箭的发射 (B) 宇宙飞船绕地球的运动
(C) “勇气号”宇宙探测器的运动 (D) 以 99% 倍光速运行的电子束

【解答】 D。

5. 关于经典力学和相对论, 下列描述正确的是()。

- (A) 牛顿三大运动定律在任何情况下都适用
(B) 经典力学中的一些物理定律在宏观和微观中都适用
(C) 在物体的运动速度远小于光速时, 相对论物理学和经典物理学的结论几乎没有区别
(D) 经典力学被相对论完全否定了

【解答】 B、C。

6. 通常我们把地球和相对地面静止或匀速运动的物体参考系看成是惯性系, 若以下列系统为参考系, 则属于非惯性系的有()。

- (A) 停在地面上的汽车 (B) 绕地球做匀速圆周运动的飞船
(C) 在大海上匀速直线航行的轮船 (D) 进站时减速行驶的火车

【解答】 B、D。

7. 一辆小车在地面上运动的速度为 v_1 , 有一人在行进的小车上向前走, 相对于车的速度为 v_2 , 则关于此人的运动速度, 下列描述中正确的是()。

- (A) 在牛顿的经典力学中描述出的人的对地速度为 $v = v_1 + v_2$
(B) 在相对论中描述出的速度为 $v = v_1 + v_2$
(C) 由于相对论中同一过程的位移和时间的测量在不同的参考系中是不同的, 故式子 $v = v_1 + v_2$ 不成立
(D) 在牛顿的经典力学中位移和时间的测量与参考系无关, 在不同的参考系中所有位移和时间的测量的结果都相同

【解答】 A、B、D。

8. 下列说法中正确的是()。

- (A) 经典力学理论普遍适用, 大到天体, 小到微观粒子均适用
(B) 经典力学理论的成立具有一定的局限性
(C) 在经典力学中, 物体的质量不随运动状态而改变
(D) 相对论否定了经典力学理论

【解答】 B、C。

9. 20 世纪以来, 人们发现了一些新的事实, 而经典力学却无法解释. 经典力学只适用于解决物体的低速运动问题, 不能用来处理高速运动问题; 只适用于宏观物体, 一般不适用于微观粒子, 以下说法正确的是()。

- (A) 随着认识的发展, 经典力学已成了过时的理论

- (B) 人们对客观事物的具体认识在广度上是有局限性的
- (C) 不同领域的事物各有其本质与规律
- (D) 人们应当不断拓展认识,在更广阔的领域内掌握不同事物的本质与规律

【解答】 B、C、D。

10. 关于物体的万有引力,经典物理学和相对论物理学的描述有不同之处,下列说法中正确的是()。

- (A) 经典力学认为在天体质量不变时,天体表面上的万有引力与天体的半径的平方成反比
- (B) 经典力学认为在天体质量不变时,天体的半径趋近于零则天体的表面的引力趋近于无穷大
- (C) 在相对论物理学中,质量一定的天体表面引力趋近于无穷大应当发生在天体的半径接近引力半径的时候
- (D) 在强引力的情况下,牛顿的引力理论仍然适用

【解答】 A、C。

11. 牛顿力学及牛顿的工作方法成为近代自然科学的经典,它实现了人类认识自然界的第一次综合。你知道牛顿伟大贡献的精髓在哪里吗?

【解答】 经典力学的建立首次告诉人们,一个以现象观察和实验研究为基础的自然科学理论体系,其思想观点应该是明确透彻的,其结构体系应是严密完备的,其数学表达应是严格、定量、可以操作的;这种理论不仅能够一定范围内揭示事物的本质和规律,做出定量的解释、推断和预言,而且理论本身的是非真伪、成立条件、适用范围等也都可以定量地检验和界定,这是一切自然科学理论应有的基本特征,牛顿伟大贡献的精髓正在于此。

教学案例

经典力学的局限性与相对论初步

【教学目标】

- (1) 能说出牛顿力学的体系及牛顿力学能解决哪些问题;
- (2) 能说出两条基本假设提出的背景,通过经典力学到相对论这个案例,能描述人类对自然界的探索过程是一个相对稳定又不断完善的发展过程,深化学生对科学研究中大胆地想象和创新的认知;
- (3) 能说出相对论时空观的基本内容,能说出同时性的相对性、时间间隔的相对性和空间距离的相对性的内涵。

【教学重点】

相对论的起源及其研究路径。

牛顿的研究方法(经验归纳法:归纳与演绎、综合与分析)与爱因斯坦的研究方法(思辨与实证、想象与逻辑、直觉与数学)。

【关键问题】

如何建立正确对待新事物、新理论的观念。

如何理解同时性的相对性、时间间隔的相对性和空间距离的相对性。

【教学策略】

依据历史与逻辑相统一的原则,采用按照科学发展的逻辑,通过问题导引设计教学过程,发掘故事背后深刻的思想及其教育价值。

【教学过程】**第 1 课时: 经典力学的巨大成就与局限性****主题一: 牛顿力学的成就**

问题导引 1: 列举伽利略、笛卡儿、开普勒、胡克等大师,对牛顿力学的贡献。

伽利略发现力不是物体运动的原因。

笛卡儿提出了运动的物体不受力作用时,做直线运动。

开普勒发现天体运动三定律。

胡克提出了引力的平方反比关系。

牛顿在伽利略、笛卡儿、开普勒、胡克等人研究成果的基础上,通过归纳与演绎、综合分析的方法,把天体运动规律与地面上实验研究成果加以综合,总结出一套普遍适用的力学运动规律——牛顿运动定律和万有引力定律,建立了完整的牛顿力学体系,并提出了与之对应的绝对时空观。

问题导引 2: 涉及牛顿运动定律的三个问题

(1) 牛顿第一定律是牛顿第二定律的特例吗?

(2) 在牛顿运动三定律当中,你认为哪个最重要?

(3) 1 N 是怎样定义的?

从逻辑上讲,牛顿第二定律是关于物体因果性的规律,而牛顿第一定律却与物体的因果性无关,它所成立的时间均匀性与空间对称性构成了惯性系的特殊地位。

牛顿著有《自然哲学的数学原理》,阐述了力学基本概念(质量、动量、惯性、力),发现了著名的牛顿运动三定律和万有引力定律,利用数学微积分概念,将天体力学和物体力学结合起来,实现了物理学史上第一次大综合。牛顿运动三定律是在大量实验基础上总结出来的,是解决机械运动问题的基本理论依据,广泛应用于工程和天文学领域。牛顿运动三定律是经典力学的逻辑基础,牛顿第一定律定义了力和惯性,回答了不受力的作用将保持原来的运动状态,是其他原理定律的前提和基础;牛顿第二定律定量地定义力大小,是动力学的核心定律,回答了受到力的作用的物体将做什么运动,广泛应用于各种物理过程或状态的分析;牛顿第一定律和牛顿第二定律是解决力与运动的关系定律;牛顿第三定律拓展了力学研究的范围和空间。

问题导引 3: 回顾日常生活中观察到的各种现象以及两个必修模块所学过的内容,列举牛顿力学的一些具体应用。

提炼归纳：

(1) 经典力学和以经典力学为基础发展起来的天体力学、材料力学和结构力学得到了广泛的应用,并取得了巨大成就。

(2) 18 世纪 60 年代,力学和热力学的发展及其与生产的结合,使机器和蒸汽机得以改进和推广,引发了第一次工业革命。

(3) 由牛顿力学定律导出的动量守恒定律、机械能守恒定律等,是航空航天技术的理论基础,火箭、人造卫星、航天飞机、宇宙飞船、行星探测器等航天器的发射,都是牛顿力学规律的应用范例。

(4) 牛顿力学以日常生活的观察为基础,能预测物体间相互作用的实际事件,是过去、现在和将来人类认识世界与改造世界的必经之路。

主题二：牛顿力学的局限性和适用范围

任何理论都是经历一段时间的产物,牛顿力学也不例外,也有其局限性和适用范围。

1. 牛顿力学的局限性和适用范围。牛顿力学只是人类长期对自然运动规律探索的一个发展阶段,和其他理论一样,有它自身的局限性和适用范围。

首先,牛顿力学的应用受到了物体运动速度大小的限制。当物体运动速度达到 $3 \times 10^7 \text{ m/s}$ 时,牛顿力学的计算结果与实验结果偏差可以达到 1%;若物体运动速度达到 $2.9 \times 10^8 \text{ m/s}$ 时,牛顿力学的计算结果与实验结果偏差可达到 15 倍。因此,物体运动速率接近真空中的光速时,牛顿力学不再适用。

其次,牛顿运动定律不适用于微观领域的物质结构和能量不连续的现象。

2. 惯性参考系与非惯性参考系

问题导引 4: 如图 5-6-1 所示,在匀速直线前进的车厢顶部,有白色和黑色两个小球开始自由落下。甲同学相对车厢静止不动,乙同学相对地面静止不动,则:



图 5-6-1

(1) 白球相对甲同学做什么运动?

(2) 白球相对乙同学做什么运动?

(3) 白球相对黑球做什么运动?

上述三种参考系中,白球的运动都能够用牛顿运动定律来描述吗?

通过以上案例分析,弄清什么是惯性参考系和非惯性参考系。

思想实验: 伽利略的密封船舱实验。

实验条件: 匀速直线运动的船舱内。

问题导引 5: 如图 5-6-2 所示,在匀速运动的船舱内:

(1) 水滴会滴在正下方吗?

(2) 抛相同的距离,向船头抛物比向船尾抛要花更大的力吗?

(3) 向船头跳比向船尾跳跳得更远吗?

现象: 向船头跳和向船尾跳没有区别;向船头抛物并不比向船尾抛要花更大的力;水滴沿铅垂线落下。

表明: 在密封的船舱内做任何力学实验,都不能确定船是相对地面静止还是相对地面做匀速直线运动;力学定律在所有的惯性参考系中都是等价的,具有相同的形式。

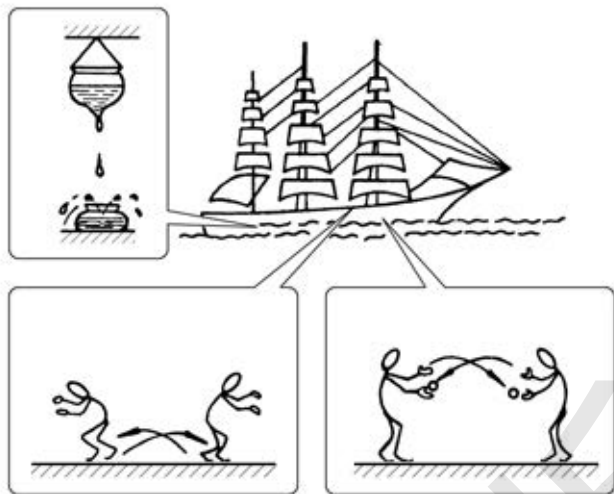


图 5-6-2

第 2 课时：狭义相对论的基本原理

牛顿运动定律是力学规律的基础,如果牛顿运动定律在某个参考系中成立,这个参考系就叫惯性参考系,相对惯性参考系做匀速直线运动的另一个参考系也是惯性参考系。在不同的惯性系中,力学规律是相同的。

主题三：绝对时空观

唐代诗人李白“夫天地者,万物之逆旅;光阴者,百代之过客”。

牛顿没有对时间、空间进行定义,因为他认为这些概念是众所周知,但他强调了三:

- (1) 绝对的时间。时间均匀地流逝,与外在的所有事物没有任何关系。
- (2) 绝对的空间。空间始终保持着一种不变和静止状态,它也与一切外在事物无关。
- (3) 时间与空间彼此独立,互不关联,且不受物质或运动的影响。

这种时空观是在日常生活中由经验和观察总结出来的,与人们日常生活中对时间和空间的感受是相符的。

李白的诗句是对绝对时间和绝对空间的形象比喻。

练习：下列关于经典力学的时空观,正确的是()。

- (A) 经典力学的时空观中,同时是绝对的,即在一个参考系中的观察者在某一时刻观察到的两个事件,对另一参考系中的观察者来说也是同时发生的
- (B) 在经典力学的时空观中,时间间隔是绝对的,即任何事件(或物体的运动)所经历的时间,在不同的参考系中测量都是相同的,而与参考系的选取无关
- (C) 在经典力学的时空观中,空间距离是绝对的,即如果各个参考系中用来测量长度的标准相同,那么空间两点距离是绝对的不变的量值,而与参考系选取无关
- (D) 经典力学的时空观就是一个绝对的时空观,时间与空间、物体的运动无关

问题导引 6：如图 5-6-3 所示,在以速度 v_1 水平行驶的汽车上,有人相对汽车以大小为 v_2 的速度将一物体水平抛出。在静止于路边的观察者看来:

- (1) 若物体抛出时与汽车同向,则物体被抛出的速度为多少?

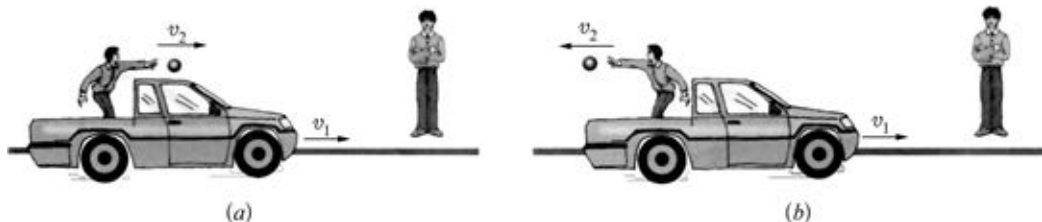


图 5-6-3

(2) 若物体抛出时与汽车反向,则物体被抛出的速度又为多少?

类比拓展:若将抛球改为手电筒光照射,则地面上的观察者看到的光速又为多少?

实验事实:著名的迈克尔孙—莫雷实验,测得运动的光源和静止的光源的光速是一样的。

我们日常生活处于一个低速的环境中,但在 19 世纪末,物理学实验中出现了两朵小小的乌云,即经典物理无法解释的事实。这些事实与经典物理学的基本概念及一系列规律产生尖锐的矛盾,从而引起了物理学的一场伟大革命,导致了现代物理学的诞生。

主题四:狭义相对论的两条基本假设

问题导引 7: 爱因斯坦从 16 岁起,就开始思考这样一个问题:“如果我以光速追赶光波,将会看到什么?能不能将伽利略相对性原理推广到与光速有关的情形呢?”

请讨论教科书第 90 页“请讨论”上的内容,加深学生对“运动的光源和静止的光源的光速是一样”的理解。

爱因斯坦以他独特的思想,把人们看似互相矛盾的相对性原理和光速不变原理作为他的狭义相对论的两条基本假设:

1. 相对性原理: 在所有的惯性参考系中,一切物理规律都是相同的。一切惯性系都是平等的,不存在绝对静止的“特殊参考系”,静止和运动是相对的,一切物理规律(不论是力学的、光学的或电磁学的)在所有的惯性参考系中都相同。

2. 光速不变原理: 在所有的惯性参考系中,测得的真空中的光速都相同。光在真空中的速度,对于一切惯性参考系来说,都是相同的,它与光源的运动速度无关,也跟观察者或测量仪器的运动速度无关。光速不变原理突破了同时性的绝对性,光速不变的含义是: 在真空中光速的大小不变,各向同性,与物质无关,与光源运动状态无关,与观察者的运动状态无关等多层意思。

主题五:思想实验的光辉——爱因斯坦的时空观

爱因斯坦认为时间与空间是不可分的,时空与物质也是不可分的,运用思想实验,提出了全新的时空观。

1. 同时的相对性。

分析与论证: 如图 5-6-4 所示,爱因斯坦设想有一列速度极快的列车,在它的一节车厢的正中央有一个观察者 A 和一台闪光器,车头车尾各有一台光的接收器 P 和 Q,在站台上有一个观察者 B。列车驶过站台且在 A 和 B 相遇的瞬间,闪光器发出一次闪光,这个闪光会被车头车尾上的两个接收器所接收。讨论: 这两个接收器是同时收到闪光信号的吗? 车上的观察者 A 和站台上的观察者 B 的结论是一致的吗?

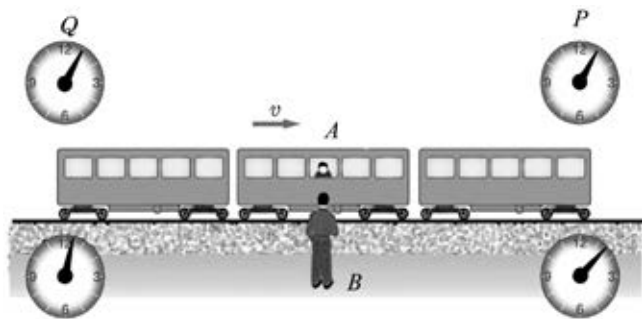


图 5-6-4

同时性的相对性,是针对发生在不同地点的事件而言的。因为如果两个事件同时发生在位置坐标上的同点,那么这两个事件光信号的传递就是相同的过程。在这种情况下,不论是在静止参考系观察还是在运动参考系观察,都不会出现先后接收到光信号的问题,此时同时就是绝对的,与参考系的选择无关。如果两个事件发生在位置坐标上不同点,针对观察者来说才会有是否同时接受光信号的问题。根据光速不变原理,此时同时的概念并不是绝对的,它跟参考系的选择有关,在运动的惯性参考系中同时发生的两件事,在静止参考系中的观察者所看到的就不是同时发生的;反之,在静止参考系中同时发生的两件事,在运动惯性系中的观察者所看到的就不是同时发生的,这就是同时性的相对性。

2. 时空的相对性。

问题导引 8: 阅读教科书第 94 页,思考:

- (1) 经典物理时空观与相对论时空观的区别与联系是什么?
- (2) 理解时空的相对性的物理基础是什么?

教师解读:

要理解空间的相对性就必须先理解长度的相对性,长度的相对性也是针对在不同的参考系的观察者而言的。在同一惯性系中物体的长度是绝对的,但在不同的惯性系中,物体的长度就不是绝对的,而跟参考系的选择有关,这种现象叫作长度的相对性。

观察者以一定速度沿长度的方向运动,则观察者认为地面上的直尺收缩。必须注意物体沿运动方向的长度缩短,但与运动方向垂直方向的长度并不收缩,若将正方形宣传画贴在铁路旁的墙上,超高速列车上的乘客看到的是长方形宣传画,所以空间是相对的。

【课堂总结】

略。

【反馈练习】

1. 为什么说牛顿运动定律是一个完备的理论体系,理解这个问题应从哪些方面入手?
2. 为什么经典力学适用范围有两条边界:即速度边界和质量边界?
3. 为什么说爱因斯坦的两个基本假设是建立相对论时空观的基础,是理解相对论时空观的基石?

(本教案由广东省佛冈中学周长春、河北省滦南县第一中学张泽辉联合提供)

上海科技教育出版社

上海科技教育出版社