



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理学

(第二版) 上册

University
Physics



吴王杰 主编

武文远 陈蕾蕾 陈宇 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理学

(第二版) 上册

Daxue Wulixue

吴王杰 主编

武文远 陈蕾蕾 陈宇 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书依据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版)和军队颁布的《军队院校大学物理课程教学基本要求》编写而成的。全书内容由浅入深,突出基本现象、基本概念、基本原理的阐述;明晰概念引入、概念形成、概念应用、理论阐述与应用的知识结构;注重科学素养。本书在教学实践基础上,合理安排教学内容和习题,力求易教易学,以适应当前高等教育快速发展的形势和军队院校培训任务整体转型的需要。

全书分为上、下两册,上册包括力学、热学、电磁学,下册包括振动与波动、波动光学和近代物理学。本书可作为高等学校理工科非物理专业的大学物理课程教材,也可供社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.上册 / 吴王杰主编. —2版. —北京: 高等教育出版社, 2014.2

ISBN 978-7-04-039302-6

I. ①大… II. ①吴… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 007772 号

策划编辑 程福平
插图绘制 尹莉

责任编辑 程福平
责任校对 王雨

封面设计 于涛
责任印制 韩刚

版式设计 于婕

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 涿州市星河印刷有限公司
开本 787mm×960mm 1/16
印张 25
字数 450千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2009年12月第1版
2014年2月第2版
印 次 2014年2月第1次印刷
定 价 38.80元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 39302-00

第二版前言

自2009年《大学物理学》第一版出版至今,军队学历教育院校已经跨越了培训任务转型阶段,进入培养高素质新型军事人才的稳定发展期。与此相应的是军队院校大学物理课程紧贴新一代各类人才培养方案,制定出了新的课程标准。尽管不同院校的大学物理课程的学时和教学内容不尽相同,但是都以满足学员的第一任职需要和长远发展需求为指导思想,强调课程在培养学员独立获取知识的能力、科学观察和思维的能力、分析问题和解决问题的能力以及在求实精神、创新精神和科学美感等方面的作用,对教学内容提出了经典与现代相融合、关注学科前沿、突出军事特色等要求。我们认为需要对《大学物理学》进行修订,以适应新形势下军队院校人才培养对大学物理课程及其教学内容的诉求。

修订后教材主要有以下变化:①在每一章的序言之后增加了以“你知道吗?”形式出现的章前导读,章前导读紧密结合教材内容,从思维与逻辑、实验与技术、工程与军事应用、生活经验等视角,采用生动活泼的语言,激发学员的学习兴趣和热情。②对少部分的章节顺序和内容做了调整。③调整了部分例题和习题,例题和习题的难度适当降低,习题的数量有所减少,增加了部分(军事)应用类例题和习题。④本着加强经典与现代内容相融合、关注学科前沿、突出军事特色等理念,适当增加了与基本内容紧密联系的拓展内容,以体现大学物理课程教学内容的方法价值、人文价值和军事应用价值。⑤结合“军校特色大学物理数字化课程建设”项目,对教材中的教学资源链接及呈现方式进行了统一规范,将有关案例或课件素材通过标注“(参阅光盘中资源*)”的形式嵌入正文,在教材中仅简明介绍有关案例的相关背景,详尽内容参见随书光盘《大学物理学(第二版)资源库》。案例按照内容分为“科学研究方法”、“军事应用”、“工程技术应用”、“物理学进展”、“生活中的物理”五类;教学课件有JAVA动态演示程序、FLASH动画、MATLAB程序、视频录像等。所有案例与课件均有简要文字介绍,并注明媒体类型,以便于读者了解并选择资源学习。在教材每章“内容提要”后不再出现“相关资源列表”。需要特别说明的是:链接的教学资源都是相对独立的,部分使用或不使用这些资源都不影响教材内容的完整性。

这次修订工作由解放军理工大学联合解放军信息工程大学、陆军军官学院和解放军电子工程学院四所院校共同完成。第一章至第五章、第二十四章、第二十五章由吴王杰修订,第六章至第八章由武文远修订,第九章、第十章由陈宇修

订,第十一章至第十四章由陈蕾蕾修订,第十五章、第十六章和第二十章由杨华、马轩文修订,第十七章至第十九章由王晓修订,第二十一章至第二十三章由蒋敏修订。全书由吴王杰统稿。上海交通大学高景教授和解放军理工大学韩仙华教授在百忙中审阅了修订稿。本次修订充分发挥了院校间的协作优势和全体编委的集体智慧,解放军理工大学理学院召开了两次编委会全体会议,全体编委、审稿人以及高等教育出版社物理分社社长和编辑参加了会议,第一次会议专门研究修订方案和计划,第二次会议对各位编委提出的具体修订方案和意见,进行逐章集体研讨。此外各个参编院校也成立了编写组,对推进教材修订工作起到了重要作用。参加本次教材修订、整理及其他相关工作的同志还有:解放军理工大学的杨军、龚艳春、张明、章曦,解放军信息工程大学的卢洵、郭东琴,陆军军官学院的张清泽、储德林、张辉,解放军电子工程学院的王勇、吴昌、刘琦等。

本次教材修订工作得到了解放军理工大学理学院的大力支持,得到了军队院校物理教学联席会主任委员武文远教授卓有成效的组织和协调,得到了高等教育出版社物理分社的有力支持和指导。这些为我们顺利完成修订任务提供了强有力的保障,在此我们一并表示诚挚的谢意!

编者

2013年10月

前 言

物理学作为所有自然科学中发展最早、最成熟、理论与实验并重的一门定量化的学科,其成就不仅发展了自己,而且成为新技术、新学科、新思维的原动力。物理学始终站在科学的前列,推动技术的进步和创新,极大地影响着经济和社会的进步。以物理学基础知识为内容的大学物理课程,它所包含的经典物理学、近代物理学和物理学在科学技术上应用的初步知识等都是一个高素质人才所必备的,是学习掌握其他自然科学和工程技术的基础。除此之外,物理学还有一个越来越重要的作用,这就是帮助学生建立科学的世界观、宇宙观,进行科学能力和科学方法论的训练。

这部教材依据物理基础课程教学指导分委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2008年版)(以下简称基本要求),包含了基本要求所规定的全部基本内容A和大部分扩展内容B,教材保持传统的内容体系,包括力学、热学、电磁学、振动与波动、波动光学和近代物理学六篇共25章,并配套有内容丰富全面的数字化教学资源。教材广泛吸收了当前大学物理教学改革成果和经验,力图将大学物理的教育思想、教育目标、课程体系、教学内容和教学手段等方面紧密融合在一起,满足当前一般院校大学物理课程的实际教学需要。

本书的主要特色有:

(1) 强化物理学的学科基础,保持物理学知识系统结构的完整性。教材突出基本现象、基本概念、基本原理的阐述;明晰概念引入、概念形成、概念应用、理论阐述与应用的知识结构。教材的内容深度以基本要求规定的A类核心内容为基准,内容广度以基本要求规定的B类内容为依据。教材对A类核心内容进行详尽的阐述,对B类内容作相对简单的介绍,而将更多的B类内容纳入到所配套的数字化教学资源中的栏目“知识与拓展”里去。另一方面,为适应教学内容现代化的要求,在经典物理部分采用渗透、穿插近现代内容,介绍高新技术(军事技术)中的物理原理等方式,以增强现代气息;在量子物理部分较完整地讲述了单个微观粒子的运动,并拓展到大量原子中电子的运动,强调了处理微观粒子的量子理论体系。

教材每章后都有内容提要以突出基本要求。围绕教学要求精选习题,并分为选择、填空、计算三类,习题数量和难度适中,便于学生和教师对基本知识的自测和检测,较难的习题给出提示。

(2) 运用教学设计,促进能力和素质培养。教材尝试以物理模型、案例分析、知识拓展、物理学史四大主线贯穿始终,并围绕这四个方面来进行教学设计。强调了物理模型在物理学理论、科学研究方法以及实际问题中的地位和作用;通过与教学内容紧密结合的例题和案例(案例见随书所配套的数字化教学资源中的栏目“思维、能力与方法训练”),展示分析综合、演绎归纳、科学抽象、类比联想等科学思维方法;在随书所配套的数字化教学资源中还提供大量的与教学内容相关的相当于大学物理水平的知识与拓展阅读材料,通过文献阅读来独立获取知识,扩展知识面;结合重要物理概念穿插介绍著名物理学家和物理学史,介绍在典型物理理论的建立过程中所体现的科学精神。

另外,为方便开展双语教学,教材中还对物理名词给出了英文注释。

(3) 以教材为核心开发教学资源,精心构筑立体化、网络化的教学系统。互联网时代现代信息技术在基础物理教学中已经得到广泛应用,为在基础物理教学中更好地发挥现代信息技术的优势,除了文字内容外,我们还建设了《大学物理网络教材》(高等教育出版社,2001)和网络课程(军队院校精品网络课程库,2003)等网络教学支撑环境。特别地,我们制作了与本教材相配套的数字化教学资源。在这套内容丰富全面的资源中,除了电子教案和习题解答外,我们还精心编写了“思维、能力与方法训练”、“知识与拓展”、“演示程序和动画”等栏目,提供了物理学史、诺贝尔物理学奖、多媒体课件等资料。所有这些内容都在教材每章后面以目录的形式列出,并在书中适当的地方加以注释和引用,从而使这些教学参考资料与教材紧密结合,较好地解决了教学参考资料游离于教学内容之外的问题,提高了教学针对性和使用效率。特别要介绍的是“演示程序和动画”栏目,它包含了约 240 个演示程序和动画,其中约有 150 个可调参数的 Java Applet 演示小程序,具有很强的智能性和交互性,形象直观,学生可以自己设定程序中的物理参数,体现了物理学的实验观察和定量计算的研究风格。这是我们在 1999 年就开始在国内率先开发的数字化大学物理教学资源,这些内容随《大学物理网络教材》(高等教育出版社,2001)出版后,在国内得到了广泛的赞誉和应用。

这部《大学物理学》教材是编者在解放军理工大学长期从事大学物理课程教学工作的基础上编写而成的,反映了十几年来解放军理工大学大学物理课程建设的集体成果。它最早的形式是军队“九五”规划重点教材《大学物理(网络版)》(吴王杰 陆起图主编),从 2000 年最初的讲义开始经过 3 次修订形成了现在的版本,已在解放军理工大学作为重点课程建设的主教材试用至今。教材上册由蒋敏(第一章至第五章)、吴王杰(第六章至第八章)、王晓(第九章至第十四章)修订和编写,下册由吴王杰修订和编写,全书由吴王杰统稿。解放军理工大

学张申如教授、韩仙华教授、武文远教授、卞清教授对教材的修订工作提出了大量有益的具体建议,解放军理工大学大学物理课程主讲教师组的全体同志对教材进行了大量细致的修改。另外,东南大学解希顺教授、徐州师范大学吕华平教授、北京建筑工程学院黄伟教授、南京炮兵学院的陈将伟教授和江苏警官学院的张长珍副教授等在百忙中审阅了教材全稿,并对编写提出了许多具体的意见。此外,我们还吸取了近年来大学物理教学改革的最研究成果,参考了近年来出版的部分优秀大学物理教材,我们对此一并表示诚挚的谢意!

解放军理工大学对教材的编写工作给予了大力支持。教材的编写和出版自始至终得到了高等教育出版社的指导 and 帮助。

需要特别指出的是,从我们 1999 年开始编写军队“九五”规划重点教材《大学物理(网络版)》时,清华大学陈泽民教授就始终对我们的编写和修订工作给予了大力支持和指导,他在百忙中为教材主审,认真、细致地审阅了全稿,提出了很多中肯、有益的修改意见,为增强教材的思想性、科学性以及教学内容和多媒体课件的设计提出了很多宝贵建议。编者在此向陈泽民教授表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,缺点、错误在所难免,恳请使用本教材的师生不吝提出宝贵的意见。

编者

2009 年 8 月

目 录

第一篇 力 学

第一章 质点运动学	3
1.1 质点的位矢、速度和加速度	3
1.2 运动叠加原理 抛体运动	11
1.3 圆周运动	14
1.4 相对运动	19
内容提要	23
习题	24
第二章 牛顿运动定律	28
2.1 物理学中的力	28
2.2 牛顿运动定律	33
2.3 牛顿运动定律应用举例	36
2.4 非惯性系和惯性力	41
*2.5 国际单位制和量纲	45
内容提要	47
习题	48
第三章 动量与角动量	52
3.1 冲量与动量定理	52
3.2 质点系的动量定理	55
3.3 动量守恒定律	59
3.4 火箭飞行原理	61
3.5 质点的角动量	64
内容提要	69
习题	70
第四章 功和能	73
4.1 功 动能定理	73
4.2 保守力和势能	77
4.3 功能原理	81

4.4 机械能守恒定律	85
4.5 碰撞	88
内容提要	91
习题	92
第五章 刚体的定轴转动	96
5.1 刚体的定轴转动	96
5.2 刚体的定轴转动定律	99
5.3 刚体绕定轴转动的动能定理	105
5.4 刚体的角动量定理和角动量守恒定律	108
*5.5 进动	113
内容提要	115
习题	116

第二篇 热 学

第六章 气体动理论	123
6.1 理想气体物态方程	124
6.2 分子热运动和统计规律	127
6.3 理想气体的压强和温度	131
6.4 能量均分定理	135
6.5 麦克斯韦速率分布律	138
6.6 气体分子的平均自由程	144
*6.7 气体的输运现象	146
内容提要	149
习题	150
第七章 热力学第一定律	153
7.1 热力学过程	153
7.2 热力学第一定律	155
7.3 理想气体的典型准静态过程	159
7.4 循环过程 卡诺循环	167
内容提要	174
习题	175
第八章 热力学第二定律	180
8.1 自然过程的方向性	180
8.2 热力学第二定律	182

8.3 热力学第二定律的统计意义	185
*8.4 克劳修斯熵公式	189
*8.5 熵的计算	191
内容提要	195
习题	195

第三篇 电 磁 学

第九章 电荷与静电场	201
9.1 电荷和库仑定律	201
9.2 电场和电场强度	205
9.3 高斯定理	211
9.4 静电场的环路定理和电势	220
9.5 电场强度和电势梯度的关系	227
9.6 带电粒子在静电场中的运动	231
内容提要	232
习题	233
第十章 静电场中的导体和电介质	238
10.1 导体的静电平衡	238
10.2 空腔导体与静电屏蔽	242
10.3 静电场中的电介质	245
10.4 电位移矢量	249
10.5 电容和电容器	254
10.6 静电场的能量	259
内容提要	265
习题	266
第十一章 恒定电流和恒定磁场	270
11.1 电流和电流密度	271
11.2 恒定电场 电源 电动势	276
11.3 磁感应强度	279
11.4 毕奥-萨伐尔定律	283
11.5 磁场的高斯定理	291
11.6 安培环路定理	293
11.7 带电粒子在磁场中的运动	298
11.8 磁场对载流导线的作用	306

内容提要·····	314
习题·····	315
第十二章 物质的磁性 ·····	321
12.1 顺磁性和抗磁性·····	321
12.2 磁化强度和磁化电流·····	325
12.3 磁介质中的磁场 磁场强度·····	327
12.4 铁磁质·····	330
内容提要·····	335
习题·····	335
第十三章 电磁感应 ·····	338
13.1 电磁感应定律·····	338
13.2 动生电动势·····	344
13.3 感生电动势和感生电场·····	348
13.4 自感和互感·····	354
13.5 电感和电容电路的暂态过程·····	358
13.6 磁场的能量·····	362
内容提要·····	366
习题·····	366
第十四章 电磁场 ·····	371
14.1 位移电流·····	371
14.2 麦克斯韦方程组·····	376
内容提要·····	378
习题·····	379
习题参考答案 ·····	381
参考文献 ·····	387

第一篇

力 学



第一章 质点运动学

物质世界是在不断运动着的,物质的运动形态多种多样、千变万化.其中最简单、最基本的运动形态是物体之间或物体各部分之间相对位置的变化,这称为机械运动(mechanical motion).各种机械及机器的运转、宇宙飞船的航行、流体的流动等都是机械运动.力学(mechanics)就是研究机械运动的基本规律及其应用的学科,它是研究复杂运动的基础.

在力学中,描述物体的位置如何随时间变化的内容称为运动学(kinematics).本章主要利用矢量(vector)和微积分来研究质点的运动学问题,并介绍运动的相对性及其描述.

——你知道吗?——

在现代竞技体育运动中,铁饼、足球漂亮的运行轨迹离不开运动学分析;仿真机器人的运动行为研究也需要运动学原理;导弹在打击目标的过程中,对速度和轨迹有严格的要求,需要运用运动学的原理加以分析计算;在航空航天、卫星导航这样的高科技领域中,有些原理就是运动学的基本公式.在本章中,我们将学习到卫星定位与导航和导弹追踪这样一些问题的基本运动学原理.

1.1 质点的位矢、速度和加速度

1.1.1 质点、参考系和坐标系

为了突出问题的本质,对所研究的对象,常要抽象为一定的理想化物理模型.在力学中有质点模型、刚体模型、谐振子模型等.

在研究物体的运动问题时,物体的形状和大小是各式各样、千差万别的.有些情况下,物体的形状和大小是重要的,但是我们常会看到一种比较简单的运动,物体在运动中,其上各点都作相同的运动,因而任一点的运动都能代表整体的运动,物体的形状大小可以不必考虑.在这种情况下,可以将物体抽象为一个具有同等质量的点,称为质点(material point).抽象的目的是简化问题和便于作比较精确的描述,这就是物理学中常用的理想化模型方法(参阅光盘中资

源1.1)

在一般情况下,物体的运动是非常复杂的,例如考虑地球的运动,就包括地球绕太阳的公转,绕自转轴的自转,潮汐所表现的变形运动,以及动植物的运动等.由于地球与太阳的距离等于地球半径的 2.34×10^4 倍,所以当考虑地球绕太阳公转时,地球上各点相对于太阳的运动可以看作是相同的,因此研究地球的公转时,虽然它是一个十分巨大的星体,仍然可被简化为一个质点.但是,在研究地球的自转时,就不能再把它当作质点处理了.

在另一些问题中,例如研究一个齿轮的转动,它的形状大小起着主要作用,不能忽略.在这类情况下,可以将物体看作质点的集合体处理.因此研究质点的运动,可为进一步研究物体的复杂运动打下基础.

在物理学诸多领域中,许多基本理论常以点模型为基础而推演发展起来,这与数学理论中的分析数学微积分方法是相似的.两者均源于文艺复兴时期主导于西方社会的世界观和方法论——注重个体,崇尚个性.正是在这一时期(17世纪),产生了经典牛顿力学,体现了注重分析的思想方法——分解整体为众多个体,从解析个体以及个体之间的相互作用入手,从而把握整体.

在月球上的某个人会认为他看到了地球在运动,但对于地球上的人来说是月球在运动,在这个意义上说,一切运动都是相对的.为了描述运动首先需要确定参考系(reference frame),即描述运动的场所.选取合适的参考系,可以方便地研究物体的运动.例如研究宇宙飞船的运动,当运载火箭刚发射时,一般选地面作为参考系;当飞船绕地球运行时,则选取地球为参考系;而当飞船飞离地球,绕太阳运行时,则应选太阳为参考系.在力学中常用到地面参考系和实验室参考系.

最后,要定量地描述质点的位置和位置随时间的变化,需要在参考系上建立适当的坐标系(coordinate frame).常用的有直角坐标系和自然坐标系等.

1.1.2 质点的位矢

如图 1.1,设质点在时刻 t 处于位置 P ,我们从坐标原点 O 向此点引一条有向线段 $\overrightarrow{OP}$,并记作矢量 $\mathbf{r}$. $\mathbf{r}$ 的方向确定了 P 点相对于坐标轴的方位, r 的大小(模)就是 P 点到原点的距离.方位和距离都确定了, P 点的位置也就完全确定了.用来确定质点位置的这一矢量 $\mathbf{r}$ 叫作质点的位置矢量(position vector),简称位矢.

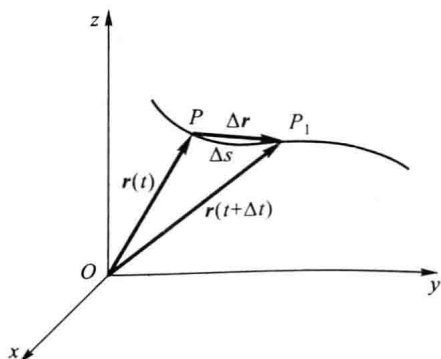


图 1.1 质点的位矢和位移

质点运动时,位矢 $\mathbf{r}$ 是随时间改变的,可以用函数

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1.1.1)$$

来表示. 上式就是质点运动方程的矢量表示式,常称为运动学方程 (kinematical equation).

在直角坐标系中,质点的位置 P 也可以用它在 x, y, z 轴的坐标 x, y, z 来表示,位矢 $\mathbf{r}$ 可以写为

$$\mathbf{r} = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1.1.2)$$

其大小为

$$|\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1.1.3)$$

位矢 $\mathbf{r}$ 的方向余弦为

$$\cos \alpha = \frac{x}{|\mathbf{r}|}, \quad \cos \beta = \frac{y}{|\mathbf{r}|}, \quad \cos \gamma = \frac{z}{|\mathbf{r}|} \quad (1.1.4)$$

式中 α, β, γ 分别是位矢 $\mathbf{r}$ 与 x 轴, y 轴, z 轴之间的夹角. 根据式 (1.1.3), 可得

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1 \quad (1.1.5)$$

上式说明式 (1.1.4) 的三个等式中只有两个是独立的, 所以确定一个质点空间位置的参量 (自由度) 是 3 个, 可以是三个直角坐标 (x, y, z) , 也可以是位矢的长度 r 和三个方位角 (α, β, γ) 中的任意两个.

在直角坐标系中, 质点的运动学方程式 (1.1.2) 也可以写成坐标分量的形式:

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases} \quad (1.1.6)$$

从上式中消去参量 t 便得到质点运动的轨迹方程. 所以式 (1.1.6) 也是运动轨迹的参数方程. 质点运动学的重要任务之一就是找出质点运动所遵循的运动学方程.

1.1.3 位移和速度

如图 1.1, 设质点在 t 时刻处于位置 P , 在 $t + \Delta t$ 时刻运动到位置 P_1 , P 和 P_1 的位矢分别为 $\mathbf{r}(t)$ 和 $\mathbf{r}(t + \Delta t)$, 则质点在 t 到 $t + \Delta t$ 时间间隔内位矢的增量为

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t) \quad (1.1.7)$$

$\Delta \mathbf{r}$ 称为质点在 t 到 $t + \Delta t$ 时间内的位移矢量, 简称位移 (displacement). 在直角坐标系, 位移可以表示为

$$\Delta \mathbf{r} = \Delta x \mathbf{i} + \Delta y \mathbf{j} + \Delta z \mathbf{k} \quad (1.1.8)$$

其中 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 分别为质点在 t 到 $t + \Delta t$ 时间间隔内各坐标分量的增量.