



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理学

(第二版)

余虹 主编



科学出版社
www.sciencep.com

04/241=2

2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理学

(第二版)

余虹 主编

姜东光 李雪春 刘昱 副主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是作者在总结了多年教学和科研工作经验,并在第一版的基础上撰写而成的。本书重视激发学生学习兴趣,注重学习方法的培养,以更多更好地培养创新性人才为重要的和基本的目标。全书分五篇,适合于90~128学时(或更多学时)的工科院校使用。力学篇包含质点力学、振动、波动和相对论。本书对相对论有较新的讲法,对深入理解电磁学有一定帮助。电磁学篇中强调对基本理论的理解,对电磁势、对称性等都作了深入浅出的介绍。光学篇主要讨论波动光学。但前有几何光学作铺垫,后有光与物质相互作用压阵,既衔接前面内容,又为学习量子物理作了必要的准备。热学包括气体动理论和热力学,量子物理强调了量子态和概率幅。本书突出近年教学内容现代化改革的研究成果,注重表现物理学研究的新思想,对工程技术背景也有一定反映。

本书适合工科各专业本科生学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学/余虹主编. —2版. —北京:科学出版社,2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-021902-2

I. 大… II. 余… III. 物理学-高等学校-教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 064557 号

责任编辑:胡云志 唐保军/责任校对:宋玲玲

责任印制:张克忠/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001年2月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2008年6月第 二 版 印张: 32 1/2

2008年6月第十一次印刷 字数: 630 000

印数: 43 001—50 500

定价: 46.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈文林〉)

《大学物理学(第二版)》编委会

主 编 余 虹

副主编 姜东光 李雪春 刘 昱

编 委 (以姓氏拼音排序)

常葆荣 高首山 荆亚玲 李淑凤 王雪莹

赵汝顺 郑 殊

第一版前言

物理学研究物质最基本、最普遍的运动形式和规律,研究物质最基本的结构.物理学研究对象的时空尺度极为广泛,从亚核粒子到浩瀚的宇宙;从大爆炸宇宙的极早期,到绵延不尽的未来.物理学又是自然科学中发展完善最早的学科.它的实验精确性之高,堪称自然科学之最;它的理论广度和深度,在各学科之中名列前茅;它与数学科学和计算机科学有着千丝万缕的联系.过去的半个世纪之中,计算物理也有了长足的发展.物理学的基本概念和方法,为整个自然科学提供了规范、模板甚至工作语言.物理学所取得的辉煌成就,深刻地影响着人类对自然界的基本认识,并极大地改变着社会生活的每一个层面.

物理学研究的历史可以追溯到人类文明的早期,近四百年间它的发展更是博大精深.与其说物理学是一门自然科学,不如说它是整个人类文化最丰富最活跃的一部分.经典力学创立之前的物理学,与哲学、数学研究密切相关,彼此渗透,成为人类文明进步的重要推动力.经典力学与热物理学的研究,为第一次工业革命奠定了理论基础.麦克斯韦电磁学理论体系的建立,为第二次工业革命拉开了序幕.以相对论和量子物理为标志的近代物理,更是参与了第三次工业革命的全过程.

在世纪之交,放眼未来的 100 年,物理学有着极大的发展潜力和良好前景.在 21 世纪里,信息社会与知识经济将日臻完善,光子技术与电子技术、计算机科学的进一步结合,将推动社会与生产的全面进步;反过来,信息技术、光子技术、材料与生命科学等科学技术的全面进步,又会拉动物理学等基础学科的进一步发展.在 21 世纪,物理学仍将是一门充满生机与活力的科学,它的创造性进展仍将日新月异,它的理论与实验研究仍是生产力发展的巨大推动力,物理学与其它学科之间的边缘学科、交叉学科和物理学本身,仍然是高科技发展十分活跃的增长点.

物理学为工程科学与工程技术人才提供必要的理论基础,是高等理工科教育的重要基础课.随着社会的进步与发展,学习物理学的重要性将日显突出.从伽利略与牛顿时代开始,逐步建立起来的经典物理学,在今天仍然非常有用;而近三四十年来的一些物理学研究的重要成果,在现代科技中已属于基本内容,成为现代社会每一位工程技术人员的基本常识.另外,物理学的研究方法,诸如理想模型方法、半定量与定性分析方法、对称性分析方法、精密的实验与严谨的理论紧密结合的方法,以及注重能量、熵、信息、对称性与守恒律等

基本概念和普遍原理的风格,具有扩张的趋势.物理学家用典型的物理学方法,所从事的所有研究都是物理学的研究,所解决的所有课题都是物理学问题.显然,在21世纪任何科技领域中,都会出现物理学家的身影,只要是他所关注的问题、研究问题的视角、成果的特色与解决问题的程度,都将打上物理学家的烙印.因此,在21世纪里,工程科学家、工程技术人才与物理学家将会有更多的交流与合作;迈进新世纪的大门时,努力优化工科物理学教育将是十分有意义的.

然而,在高等工科物理教育中,一方面,工科物理基础课的学时近年来呈下降趋势,许多需要讲授也可以讲授的物理内容不能纳入到课程中去;另一方面,现有学时怎样有效地利用,工科大学物理教学内容、体系、手段和模式怎样进行现代化改革,也还需要进一步探索解决.怎样搞好工科物理基础课教育,有许多不同的见解.下面是在编写过程中的一些思考.

从提出“普通物理现代化”那天起,“现代物理普通化”的问题就提上了教改的日程.一方面,为帮助学生开阔眼界,提高他们学物理的积极性,教师领着学生浏览一下现代物理的丰硕成果,是大有好处的.另一方面,作为一门基础课,只是透过“窗口”向物理学的现代发展观望一下是不够的,物理学应当让学生对这些成就的物理本质有起码的了解.这就涉及物理学的现代发展,即量子物理、相对论和非线性物理等有关内容了.运用普通物理的风格,把物理学的这些现代发展讲好,正是物理基础课、特别是工科大学物理成功的标志.所谓“普物风格”,就是授课时尽量避免艰深和复杂的数学,突出物理本质,建立起鲜明的物理图像.所以,追求“普通物理现代化”和“现代物理普通化”是本书的第一个宗旨.

大学物理学的改革是人们的共识,但对怎样改、为什么这样改却是见仁见智.20世纪60年代和80年代美国等西方国家有几次物理教学改革的高潮,在全世界范围内具有很大影响.20世纪90年代,中国的高等教育改革也是高潮迭起,方兴未艾.纵观这些物理学教改的侧重点与特色,可分为“宏观、介观与微观”三个层次.这里的“宏观”是指教学内容的选取与篇章布局,“微观”是指概念的引入、定理的证明、例题的选用和图表的安排等,而“介观”在这里借指建立物理图像和讲解基本概念的方式方法.介观层次上的改革应当强调知识点的链接方式,即怎样把基本概念与相关的知识有机地联系起来.这本教材在宏观上做了些调整,在微观上尽了不少的努力,而在介观上着力最甚.编者的用心良苦,在电磁势、光与物质的相互作用和概率幅(波函数)等内容的编排上可见一斑.强调介观层次上的教学改革,从而达到对基本概念与理论的深刻理解与直觉上的把握,这是本书的第二个宗旨.

第三,寻求合适的定位,也是本书编者的另一个素求.大学物理学应当合

理地建立在中学物理教学的平台之上,既不能重复过多,也不能相互脱节.微积分是物理教学的工具,在学习物理学的过程中,学生应当对高等数学有更好的理解与掌握,但不能使大学物理课降低为数学的练兵场,给学生造成这样的印象:大学物理等于中学物理加微积分,那必定是一个要解决的问题.大学物理教学应为后继课服务,但它的主要功能不是某一门或几门课的基础课.它应当是这样一门公共基础课,其主旨是提高学生的科学素质,提高学生的智能与技能,指导学生建立合理的知识结构,以便更多的人以科学的方式去思维.作者努力使本书好教好学,保留传统大学物理教学的优点,并富有新意.

关于学习大学物理学和使用本书的注意事项,作者想对同学们说几句话:

(1) 学习物理学基础课时,常常需要有意地从五个方面入手,既实验现象、逻辑结构、数学表述、理论预言和实际应用.学习相对论和量子物理学等有关内容时,由于接受新观念时往往会碰到某些障碍,而直觉与常识并不一定能帮助你解决这些问题;所以,学习过程中多向自己提出一些问题,有目的地从这五个方面分析所学的新内容,往往能够取得事半功倍的效果.

(2) 对一门课程理解的途径通常有:机械的(例如套公式做题)、演绎的(如证明定理)、归纳的(由典型现象到一般规律)和直观的.因此,本书在编排上并不局限于前两种方式,同传统教学方式相比,侧重于归纳与直观理解的方法就显得比较多,通过类比来激发学生想象力的处理方式比较多.在不少情况下,我们采取“跳跃式”的或“渗透式”的叙述法,读者也许只知道一个大概的联系与发展方向,但留下了悬念,今后可以进一步学习,慢慢体会.希望在学习过程中,同学们能够更好地使用归纳法,更好的利用直觉和发挥想像力.

(3) 本书主要编者的一位已故老师——金百顺教授生前竭力提倡学习中的“主观创造法”,使人受益良多.所谓主观创造法,是指某一学识客观上已为他人发明或发现,但你在学习中,可以尝试着自己去独立地发现它.这样的学习方法,不但使你对学问会有极为深刻的理解,而且可能,你真的会有所发现,有所发明.作为 21 世纪的主人,我们建议你运用一下主观创造的学习方法.本书中为你留下了许多进行主观创造的用武之地.

参加编写本书的教师分别隶属于基础物理教研室、近代物理实验室和理论物理教研室,都有多年从事大学一、二年级普通物理教学的经验和教学研究、科学研究的体会.

第 1~4 章由刘中原完成,第 5 章由李淑凤完成,第 6 章由张殿凤完成,第 7 章、第 10 章由余虹、姜东光、王雪莹和牟宗信完成,第 8 章、第 9 章由李雪春完成,第 11~14 章由余虹完成,第 15 章、第 17 章由王文春完成,第 16 章由郑殊完成,第 18~21 章由姜东光、牟宗信完成.余虹、李雪春和张殿凤完成了本书的大部分插图,李淑凤校阅了电磁学篇、刘中原校阅了热学篇、李雪春校波

动章,王昕、熊伟等同学完成了部分章节的打字工作。

余虹、姜东光负责全书的统稿,张殿凤、牟宗信参加了统稿工作。

本书编写过程中受到大连理工大学教务处和物理系领导的关注和支持,还得到郭永江教授的鼓励和帮助,中国科学院院士钟万勰教授为本书写了序,作者在这里表示衷心感谢。本书在编写过程中,特别借鉴了许多国内外出版的物理教材。其中主要有:

R. P. Feynman,《Lectures on Physics》;张三慧,《大学物理学》;赵凯华,《新概念物理教程》;倪光炯,《改变世界的物理学》;王锡祉,《大学物理》。

对于这些教材的作者,我们特别致以诚挚的谢意。

由于时间仓促,参加编写的人员较多,很可能有疏漏和错误之处,恳请各位读者不吝赐教,提出宝贵的意见和建议。

编者

2000年12月

再 版 前 言

本书第一版曾受到国家级教学名师卢德馨教授的指点,并于2007年被评为辽宁省精品教材。

2006年作者得到“十一五国家级重点教材”项目的支持,根据教育部高等学校物理与天文教学指导委员会、物理基础课程教学指导分委会对“非物理类理工学科大学物理课程教学基本要求”的精神,对本教材作了如下修改:

在第一篇中,重新编写第1章~第3章增加了3.4节刚体的复合运动,重新编写了第6章相对论;

在第二篇中,作部分微调,10.4节的叙述作了明显调整;

在第三篇中,增加了第11章几何光学,重新编写了其他4章;

在第四篇中,将原第15章与第16章合并,对各节内容进行局部调整;

在第五篇中,对全篇的叙述作了重要调整,重新编写了21.2节激光,增加21.4节核物理,重新编写了21.5节粒子物理。

其中第1章~第3章的工作主要由刘昱完成,第6章、第11章~第15章及第21章21.2节由余虹完成,第16章~第18章的调整工作主要由常葆荣完成,第19章、第21章的工作由姜东光完成,第20章的工作由姜东光和荆亚玲完成。常葆荣编写了几何光学的习题。刘升光编制了附录,校对了习题及答案。余虹对全文进行了统稿,姜东光参加了部分篇章的统稿工作。第一篇的振动和波动、第二篇电磁学和第四篇热学的校对工作由李雪春完成,其他各章节的校对工作由各作者完成。

大学物理课程是高等学校理工科各专业学生一门重要的通识性必修基础课,修改后的教材进一步体现课程的这一性质。作者希望读者对本书中涉及的基本概念、基本理论和基本方法有比较系统的认识 and 正确的理解,最终使其真正成为读者科学素养的重要组成部分。

感谢广大读者对本书第一版的厚爱,感谢编委会委员为本书的修改、再版提出了很好的建议,并做了很多工作,特别是鞍山科技大学的高首山教授和赵汝顺教授。

本次再版,作者在好读、好教、好理解方面也做了充分的考虑。若有不当之处,请不吝赐教。

作 者

2007年11月26日

目 录

再版前言

第一版前言

第一篇 力 学

第1章 质点运动学	3
1.1 质点运动的描述	3
1.2 速度和加速度的分量表示	5
1.3 相对运动	11
第2章 质点和质点系动力学	15
2.1 牛顿运动定律和质心运动定理	15
2.2 动量定理和动量守恒定律	20
2.3 角动量定理和角动量守恒定律	22
2.4 功能原理和机械能守恒定律	25
第3章 刚体力学	36
3.1 刚体的运动	36
3.2 刚体定轴转动定律	37
3.3 刚体的复合运动	43
第4章 振动	50
4.1 简谐振动	50
4.2 谐振子	51
4.3 阻尼振动	55
4.4 受迫振动	57
4.5 同方向简谐振动的合成	58
4.6 互相垂直简谐振动的合成	61
4.7 谐振分析	63
4.8 相空间中振动的轨道	63
第5章 波动	66
5.1 简谐波	66
5.2 波动方程与波速	72

5.3 波的能量	74
5.4 惠更斯原理 反射与折射	77
5.5 波的叠加 波的干涉和驻波	80
5.6 声波与声强级	85
5.7 多普勒效应	87
5.8 波的色散及非线性波简介	89
第6章 相对论基础	95
6.1 经典时空观	95
6.2 狭义相对论和洛伦兹变换	96
6.3 狭义相对论的时空观	100
6.4 相对论动力学	111
6.5 广义相对论简介	118
第二篇 电 磁 学	
第7章 静电场和恒定电场	129
7.1 静电场 高斯定理	129
7.2 场强环路定理 电势	140
7.3 静电场中的导体	145
7.4 静电场中的电介质	148
7.5 电容 电容器	153
7.6 静电场的能量	156
7.7 恒定电场	158
7.8 匀速运动点电荷的电场	164
第8章 恒定磁场	171
8.1 磁场 磁感应强度	171
8.2 磁场的高斯定理	177
8.3 安培环路定理及其应用	178
8.4 带电粒子在磁场中的运动	181
8.5 磁场对电流的作用	186
8.6 磁介质	188
8.7 铁磁质	193
第9章 电磁感应	199
9.1 法拉第电磁感应定律	199
9.2 动生电动势与感生电动势	201
9.3 自感和互感	206

9.4	磁场的能量	210
9.5	匀速运动点电荷的磁场	212
第 10 章	麦克斯韦方程组 电磁场	216
10.1	位移电流	216
10.2	全电流安培环路定理	217
10.3	麦克斯韦方程组积分形式	218
10.4	电磁波	220
10.5	电磁波能量与电磁波谱	223
10.6	电磁势	224
第三篇 光 学		
第 11 章	几何光学的基本概念	233
11.1	几个重要的基本概念	233
11.2	物和像	236
11.3	薄透镜成像	238
第 12 章	光的干涉	244
12.1	相干条件	244
12.2	杨氏双缝干涉	248
12.3	时空相干性	251
12.4	分振幅干涉	255
12.5	迈克耳孙干涉仪	262
第 13 章	光的衍射	265
13.1	惠更斯-菲涅耳原理	265
13.2	单缝夫琅禾费衍射	266
13.3	圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	270
13.4	光栅衍射	273
13.5	伦琴射线的衍射	279
第 14 章	光的偏振	283
14.1	光的偏振状态	283
14.2	起偏与检偏	285
14.3	光的双折射	289
14.4	椭圆偏振光 圆偏振光	294
14.5	偏振光的干涉	297
14.6	旋光效应	301

第 15 章 光与物质相互作用	305
15.1 分子光学的基本概念	305
15.2 光的散射	307
15.3 光的吸收	312
15.4 光的色散	313

第四篇 热 学

第 16 章 气体动理论	319
16.1 物质的聚集态	319
16.2 温度	321
16.3 理想气体	324
16.4 能量均分定理	327
16.5 两种分布律	330
16.6 范德瓦耳斯方程	337
16.7 气体分子平均自由程	340
第 17 章 热力学第一定律	346
17.1 准静态过程	346
17.2 热力学第一定律与能量守恒	347
17.3 理想气体的等值过程	354
17.4 卡诺循环	366
第 18 章 热力学第二定律	378
18.1 自然界演化过程的方向性	378
18.2 热力学第二定律的表述	380
18.3 热力学概率	381
18.4 玻尔兹曼熵公式与熵增加原理	382
18.5 可逆过程 卡诺定理	383
18.6 克劳修斯熵公式	385

第五篇 量子物理学基础

第 19 章 实验基础与基本原理	393
19.1 量子物理学的早期证据	393
19.2 康普顿效应	403
19.3 微观粒子的波动性	407
19.4 概率波与概率幅	411
19.5 量子物理学的基本原理	419

第 20 章 薛定谔方程	425
20.1 定态薛定谔方程	425
20.2 双态系统	429
20.3 一维定态问题	436
20.4 原子中的电子	443
第 21 章 量子物理的应用	452
21.1 多粒子系统与量子统计	452
21.2 激光	456
21.3 半导体	465
21.4 核物理	473
21.5 粒子物理	480
习题答案	494
附录	501

第一篇 力学

力学是物理学中最古老的学科,以牛顿定律为基础的力学称为经典力学.经典力学有其局限性,在高速领域被狭义相对论取代,在微观领域被量子力学取代.尽管如此,经典力学依然十分重要.经典力学是一般工程技术的理论基础,它的实用性是学习经典力学的重要原因.经典力学又是物理学的重要基础.动量、角动量、能量等是物理学的基本概念,动量守恒、角动量守恒、能量守恒等是自然界的普遍规律.而这些基本概念和普遍规律又与对称性密切相关.物理学是一门改变世界的科学,要学好物理学首先要学好经典力学.

第1章 质点运动学

在很多实际问题中,物体的形状和大小对于所研究的问题没有影响或者影响很小,此时就可以把它看成一个几何点,并把它的质量集中在这个点上,这种抽象化的模型,称为质点。例如,研究行星运动时,虽然行星本身很大,但是它的半径比起它绕太阳运动时的轨道半径却小得多,因此在这一类问题中,就可以把行星当作质点。但在研究它们的自转时,就不能把它们当作质点了。

质点运动学是力学的一个部分,它研究在不同时刻质点的运动状态(即位置和速度)和运动状态的改变。至于运动状态改变的原因,则属于动力学的内容。

本章的重点是在矢量分析的基础上,讨论速度、加速度,研究运动的特点,最后讨论伽利略变换。

1.1 质点运动的描述

一、参考系和坐标系

描述物体运动或静止并不完全取决于物体本身,还取决于观测者所采用的另一个物体或物体群。被选做参考的物体或物体群称为参考系。

运动和静止是相对一定参考系而言的,同一物体相对不同的参考系其运动的形式不同,此为运动的相对性;任何物体都在参与某种运动,不存在绝对静止的物体,此为运动的绝对性。

参考系只能定性地判断物体的运动状况,为了定量描述质点的运动,需要在选定的参考系上建立坐标系。

在比较常用的直角坐标系中,质点的位置用 (x, y, z) 来表示。此外经常采用的还有柱坐标系 (r, θ, z) 、球坐标系 (r, θ, φ) 和自然坐标系等。平面问题常用极坐标系 (r, θ) 。

二、位置矢量和轨道

在物理问题中,质点的位置用位置矢量 $\mathbf{r}$ 来表示,它的起点为坐标原点,终点为质点所在的位置。质点的位置矢量随时间变化的关系称为质点的运动方程或运动函数,即

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