



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 大学物理学

(第四版)

余虹 主编



科学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 大学物理学

(第四版)

主 编 余 虹

副主编 姜东光 李雪春 李淑凤

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,并在前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基本目标。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,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,又为学习量子物理学作了必要的准备。热学篇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。

本书适合普通高等学校工科各专业的本科生学习使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

大学物理学/余虹主编。—4版。—北京:科学出版社,2017.12

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-053980-9

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第169121号

责任编辑:昌盛 罗吉/责任校对:郭瑞芝

责任印制:徐晓晨/封面设计:华路天然工作室

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>

北京虎彩文化传播有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2001年2月第一版 开本:720×1000 1/16

2008年6月第二版 印张:35 1/4

2015年8月第三版 字数:711 000

2017年12月第四版 2018年1月第二十六次印刷

定价:69.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 第一版序

当我们在飞机上舒适地飞越崇山峻岭、横渡重洋时,就不能忘记经典力学、流体力学、结构力学……的成就.热力学则推动了各种车辆、发动机等动力装置的研究,而如没有电磁学的成就,何来电灯、电话、电视、通信……

20世纪是以物理学的重大突破而开始的.量子论、相对论、量子力学以及光电效应、原子结构、激光、半导体……一系列重大成就给今天的人类物质文明打下了坚实的基础.如果没有这些重大突破,今天的技术成就是不可想象的.每一次物理学的突破都意味着一系列或早或晚的重大技术成就有了基础.而技术的突破意味着对事物有了新的认识,新认识需要物理、数学、力学等方面的基础.在科技领域,“学好数理化,走遍天下都不怕”,就是要打好基础之意.

方法论也是很重要的,物理学的学习也提供了走向成功的方法论.

对于工科大学的学生,学好物理是非常重要的环节.大学几年是打好基础的最紧要阶段.打好基础可以一辈子得益.不要急于求成,丢掉基础去赶一些时尚是得不偿失的.当今是知识爆炸性增长的年代,尤其需要基础.交叉学科,一专多能,都需要物理.

我怀着很大兴趣看到这本物理学教材.有感于怀,写上几句.



钟万铤谨识

2000年12月25日于大连理工大学

## 第四版前言

作为科学出版社普通高等教育“十三五”规划教材，本教材在第三版的基础上做了重要的修改和提升。

力学部分：将过于精简的第1、2、3章作了较大幅度的改动与充实，更注重物理量的定义或引入方式。在牛顿定律的处理上强调矢量性和瞬时性，将惯性系、非惯性系与惯性力单独设为一节，特别是对于惯性力部分的叙述有了全新的见解。对基本的重要的概念如动量、冲量、角动量、力矩、功、势能等叙述的更加详尽，使得定理、守恒定律的引入更加自然，更易理解。新增若干例题。

电磁场部分：重点对有介质的情况作了修改。静电场中的导体部分进行了更详细的叙述，增加例题，电介质则从一般出发，重新推导了高斯定理，从而更具有普遍性。从一般情况出发，重新推导了磁介质中的安培环路定理，替换了前几版从特殊情况出发的推导过程。

光学部分：重新撰写了第13章光的衍射，原来的半波带法仅能证实衍射暗条纹的位置，本次修改以光矢量合成讨论夫琅禾费单缝衍射光强分布为主，理论上更完善，并为后面的光栅衍射讨论打下基础。光学仪器的分辨本领则提到我国位居世界第一的500m口径球面射电望远镜。第15章中光的色散增加了虹与霓的例子，拉曼散射增加了拉曼光谱的应用举例，并插入冰毒和三聚氰胺的拉曼光谱图。

量子物理部分：更仔细讨论了德布罗意波长的一般计算，分别给出动能远远大于静止能量和动能远远小于静止能量的近似公式。半导体一节进一步明确了能带的概念和导电机理。

全书增加、优化了部分插图。修改后的教材更严谨，叙述更清晰，便于读者理解。

感谢广大读者对本书的厚爱，希望读者更容易理解书中涉及的基本概念、基本理论和基本方法，对提高科学素养起到积极的作用。

若有不当之处，亦请不吝赐教。

作者

2017年3月

## 第三版前言

本书第二版自 2008 年出版以来经历了 7 年的教学历程,第三版将 7 年来发现的瑕疵进行一次普遍打磨.具体如下:

1. 更新了部分插图.有些图交稿时提供的电子版是“组合”,排版时被推拉变形,比如夫琅禾费圆孔衍射中的艾里斑、非稳恒过程等;有些图是当时作者画图水平有限而存在不足,比如分子力示意图;有些纯属疏忽,比如隔热与导热、热力学第零定律.

2. 做了少量论述上的调整,使读者阅读时更容易理解.

3. 字母进一步规范.

4. 引进最新的科学研究信息,比如“希格斯”粒子.

第一篇主要由刘昱完成,第二篇主要由李雪春完成,第三篇、第四篇由余虹完成,第五篇由姜东光完成.

感谢广大读者对本书的厚爱,若有不当之处请不吝赐教,希望继续为本书提出宝贵的意见和建议.

作者

2015 年 6 月 6 日

## 第二版前言

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,作者为好读、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

## 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,到延绵不尽的未来.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,物理学与其他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,常常需要有意识地从五个方面入手,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,更好地利用直觉和发挥想象力.

(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,不但会使你对学问有极为深刻的理解,而且你可能真的会有所发现,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、李雪春校波动物章,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

本书同步学习辅导教材《大学物理学习指导（第二版）》为您提供详尽的要点提示、问题讨论、习题解答和模拟试题等，助您学有所成！

书名：《大学物理学习指导（第二版）》

书号：978-7-03-054591-6

定价：49.00 元



科学出版社电子商务平台上本辅导书购买的二维码如下：



# 目 录

第一版序	
第四版前言	
第三版前言	
第二版前言	
第一版前言	

## 第一篇 力 学

第 1 章 质点运动学	3
1.1 质点的运动方程	3
1.2 位移 速度 加速度	6
1.3 切向加速度与法向加速度	13
1.4 运动的相对性 伽利略变换	16
第 2 章 质点和质点系动力学	21
2.1 牛顿运动定律及其应用	21
2.2 惯性系 非惯性系与惯性力	25
2.3 动量定理和动量守恒定律	29
2.4 角动量定理和角动量守恒定律	37
2.5 功 能 机械能守恒定律	40
第 3 章 刚体力学	57
3.1 刚体运动学	57
3.2 刚体定轴转动定律	60
3.3 刚体转动的动能定理	67
3.4 刚体的一般运动	71
第 4 章 振动	78
4.1 简谐振动	78
4.2 谐振子	79
4.3 阻尼振动	83
4.4 受迫振动	85
4.5 同方向简谐振动的合成	86
4.6 互相垂直简谐振动的合成	89

4.7	谐振分析	91
4.8	相空间中振动的轨道	91
<b>第5章</b>	<b>波动</b>	<b>94</b>
5.1	简谐波	94
5.2	波动方程与波速	100
5.3	波的能量	102
5.4	惠更斯原理 反射与折射	105
5.5	波的叠加 波的干涉和驻波	108
5.6	声波与声强级	113
5.7	多普勒效应	115
5.8	波的色散及非线性波简介	117
<b>第6章</b>	<b>相对论基础</b>	<b>123</b>
6.1	经典时空观	123
6.2	狭义相对论和洛伦兹变换	124
6.3	狭义相对论的时空观	128
6.4	相对论动力学	139
6.5	广义相对论简介	146
<b>第二篇 电 磁 学</b>		
<b>第7章</b>	<b>静电场和恒定电场</b>	<b>157</b>
7.1	静电场 高斯定理	157
7.2	场强环路定理 电势	168
7.3	静电场中的导体	173
7.4	静电场中的电介质	179
7.5	电容 电容器	184
7.6	静电场的能量	187
7.7	恒定电场	189
7.8	匀速运动点电荷的电场	195
<b>第8章</b>	<b>恒定磁场</b>	<b>202</b>
8.1	磁场 磁感应强度	202
8.2	磁场的高斯定理	208
8.3	安培环路定理及其应用	209
8.4	带电粒子在磁场中的运动	212
8.5	磁场对电流的作用	217
8.6	磁介质	219

8.7 铁磁质 .....	226
<b>第9章 电磁感应</b> .....	231
9.1 法拉第电磁感应定律 .....	231
9.2 动生电动势与感生电动势 .....	233
9.3 自感和互感 .....	238
9.4 磁场的能量 .....	242
9.5 匀速运动点电荷的磁场 .....	244
<b>第10章 麦克斯韦方程组 电磁场</b> .....	248
10.1 位移电流 .....	248
10.2 全电流安培环路定理 .....	249
10.3 麦克斯韦方程组积分形式 .....	250
10.4 电磁波 .....	252
10.5 电磁波能量与电磁波谱 .....	255
10.6 电磁势 .....	256

### 第三篇 光 学

<b>第11章 几何光学的基本概念</b> .....	265
11.1 几个重要的基本概念 .....	265
11.2 物和像 .....	268
11.3 薄透镜成像 .....	270
<b>第12章 光的干涉</b> .....	276
12.1 相干条件 .....	276
12.2 杨氏双缝干涉 .....	280
12.3 时空相干性 .....	283
12.4 分振幅干涉 .....	287
12.5 迈克耳孙干涉仪 .....	294
<b>第13章 光的衍射</b> .....	297
13.1 惠更斯-菲涅耳原理 .....	297
13.2 单缝夫琅禾费衍射 .....	298
13.3 圆孔衍射 光学仪器的分辨本领 .....	304
13.4 光栅衍射 .....	306
13.5 伦琴射线的衍射 .....	312
<b>第14章 光的偏振</b> .....	317
14.1 光的偏振状态 .....	317
14.2 起偏与检偏 .....	319

14.3	光的双折射	323
14.4	椭圆偏振光 圆偏振光	328
14.5	偏振光的干涉	331
14.6	旋光效应	335
<b>第 15 章</b>	<b>光与物质相互作用</b>	<b>339</b>
15.1	分子光学的基本概念	339
15.2	光的散射	341
15.3	光的吸收	346
15.4	光的色散	348

## 第四篇 热 学

<b>第 16 章</b>	<b>气体动理论</b>	<b>355</b>
16.1	物质的聚集态	355
16.2	温度	357
16.3	理想气体	360
16.4	能量均分定理	363
16.5	两种分布律	366
16.6	范德瓦耳斯方程	373
16.7	气体分子平均自由程	376
<b>第 17 章</b>	<b>热力学第一定律</b>	<b>382</b>
17.1	准静态过程	382
17.2	热力学第一定律与能量守恒	383
17.3	理想气体的等值过程	390
17.4	卡诺循环	402
<b>第 18 章</b>	<b>热力学第二定律</b>	<b>414</b>
18.1	自然界演化过程的方向性	414
18.2	热力学第二定律的表述	416
18.3	热力学概率	417
18.4	玻尔兹曼熵公式与熵增加原理	418
18.5	可逆过程 卡诺定理	419
18.6	克劳修斯熵公式	421

## 第五篇 量子物理学基础

<b>第 19 章</b>	<b>实验基础与基本原理</b>	<b>429</b>
19.1	量子物理学的早期证据	429



---

19.2	康普顿效应	440
19.3	微观粒子的波动性	443
19.4	概率波与概率幅	448
19.5	量子物理学的基本原理	456
<b>第 20 章</b>	<b>薛定谔方程</b>	<b>463</b>
20.1	定态薛定谔方程	463
20.2	双态系统	467
20.3	一维定态问题	474
20.4	原子中的电子	481
<b>第 21 章</b>	<b>量子物理的应用</b>	<b>490</b>
21.1	多粒子系统与量子统计	490
21.2	激光	494
21.3	半导体	503
21.4	核物理	511
21.5	粒子物理	518
<b>习题答案</b>		<b>532</b>
<b>附录</b>		<b>539</b>