



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

大学物理学

第二版

卢德馨



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

大学物理学

第二版

卢德馨



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内 容 提 要

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材。它是作者在南京大学基础学科教学强化部讲授大学物理课程基础上写成的,以期作为多学科的公共基础课教材。本书是一本全新构思的教材,它以现代物理知识为主导,贯穿以科学研究的思想、方法和语言,有利于培养创造性人才。本书分力学、热物理、电磁学以及近代物理基础等四部分,共计 32 章。本书配有电子版教学辅助材料,列举了作者对题解、文献阅读以及课程论文等环节的观点并包含了有关的参考资料。

本书可作为综合大学和师范大学理科各专业的教科书或参考书,也可供其他高等学校的理工科专业选用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学 / 卢德馨. —2 版. —北京: 高等教育出版社, 2003.7

ISBN 7-04-011840-8

I. 大... II. 卢... III. 物理学—高等学校—教材
IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 045297 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	北京外文印刷厂		
开 本	787×960 1/16	版 次	1998 年 9 月第 1 版 2003 年 7 月第 2 版
印 张	37.75	印 次	2003 年 12 月第 2 次印刷
字 数	720 000	定 价	38.90 元

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

序

物理学在迅速发展,不断地揭示新的现象和规律,征服新的领域,还向相邻的学科交叉渗透,并在高新技术园地里开花结果.这就促使大学基础物理课程作相应的改革,以适应科学发展的新形势.值此新旧世纪交替之际,广大物理学工作者和教师所面临的一项重大挑战,乃是写出一本面向21世纪的大学物理教材.

卢德馨教授曾从事理论物理的科学研究多年,取得了第一手的科研经验,有良好的物理素养.近年来他主持了南京大学基础学科教学强化部的工作,并承担了其中大学物理学的教学任务,致力于基础物理学课程的教学改革.他对此深思熟虑,自有一套创新性的见解,而且有足够的能力和毅力,将这些概念付诸实践.这本书就是他多年教学经验的结晶,既新颖可喜,又脚踏实地,是一本优秀的基础物理学课程的教材.

基础物理学改革的浪潮是全球性的,持续了好几十年,既有成功的经验,也有失败的教训.理论物理大师费曼(R. P. Feynman)的例子就是颇有启发性的:他于20世纪60年代初介入了大学基础物理的教学改革,曾在美国加州理工学院教过大学一、二年级的物理课程.称著于世的三大卷《费曼物理讲义》就是这段经历的见证.他对于物理学的许多方面做出了富有创造性的重大贡献,随之而来的是他对物理学的透彻洞见和精辟理解.他在上物理课时,若天马行空,纵横驰骋;即物穷理,多蕴妙悟;且谈笑风生,挥洒自如.以此,这部讲义对广大物理工作者和教师,深富启迪和教益,成为被引证最多的一部物理著作,在物理学界产生广泛的影响.从这个意义上来说,这个教改的尝试是成功的.但是应该看到事物的另一面:这本讲义,陈意过高,使得刚入大学的学生难以掌

握，因而不适宜作为实际施教的教科书。可以这么说，这是一本为教师而写的，而不是为学生而写的教科书。对学生来说，显得高不可攀，难以理解其底蕴。作为教材，在可接受性上出了问题。随之而来的多卷本《伯克莱物理教程》，虽在可接受性上略有改进，但仍有问题。因而可接受性成为了评衡教材的另一重要标准。瑞斯尼克(R. Resnick)与哈立德(D. Halliday)的《物理学》虽然没有费曼那样高的独创性，但稳打稳扎，更贴近于传统教材，可接受性良好，受到广大教师的青睐，遂成为美国应用最广泛的大学物理学教材。革新性教材的另一个问题，是由于要增加很多新的内容所引起的。适应科学发展的需要，必然要增添许多反映新的进展的内容，而作者往往喜新不厌旧，对于传统的内容舍不得抛弃，结果就会使教材的内容臃肿，篇幅浩繁，也不利于施教。

本书作者力图推陈出新，变革教材的陈旧面孔。在这一点上，显然受到费曼的影响，但是他并不沿袭费曼的具体做法，而是有自己的新意。例如在第四章，他采用透视历史的方法来引入万有引力定律，娓娓道来，引人入胜。然后讨论了引力的现代问题，诸如引力质量与惯性质量的等同性，引力红移和引力塌缩等，和物理学的前沿相衔接；然后再回过头来处理二体开普勒问题的理论，使得学生能切实地掌握相应的理论方法。整章读下来，从历史到现实，从概念到理论，有融会贯通的乐趣。又如在第二十七章叙述玻色-爱因斯坦统计之后，紧接着引入最新的实验结果来讨论玻色-爱因斯坦凝聚问题，使学生不是单纯被动地接受一些知识，而是置身于物理学发展的动态环境之中，有身历其境之感，培养了学生对物理学的参与意识。

本书作者一方面对创新下了不少功夫，同时清醒地意识到可接受性的重要。篇章的顺序是力学——热物理——电磁学——近代物理，大体上符合循序渐进的教学原则，不会使学习者产生太大的跳跃和脱节的感觉。本书作者也注意到学生容易犯错误的地方，例如在教矢量的地方，着重提醒哪些表达式是非法的，这一细节反映出作者是一位经验丰富的教师。另外，全书的篇幅控制在

600 页左右, 使得这一教材可以游刃有余地在 180 小时课堂教学中完成, 避免了篇幅过大的毛病.

这本教材自 1989 年起即在南京大学强化部大学物理学课程中试用, 1993 年起又用于南京大学天文系的学生. 历次教学的效果良好: 它激发了学生对物理学的兴趣, 也培养了思考物理学问题的能力, 这从学生们所做的小论文工作取得良好成绩得到了验证. 当然, 强化部的学生素质较高, 也为这一教学改革顺利进行提供了良好的条件. 总之, 这是一本令人耳目一新、适于实际施教的大学物理学教材, 值得向物理教学界推荐.

冯 端

1996 年 10 月

第二版说明

本书第一版出版至今已经有四年多了。受读者评议的鼓励做了第二版。同行和学生的意见对本书的改善作用很大,四年多的教学也使我们受益非浅。许望教授和我共同教学有年,对本书和相应课程的建设有重要贡献。

在第二版中改正了所有已经发现的错误。很多小节已经重写以使得更确切和容易理解。根据读者要求书末附了奇数习题的答案。附录 A 常用物理常量已经更新为 1998 年推荐值,书中出现的相应的量均已改成新的值。书中提及了一些前沿课题研究的最新进展,加入了一些新的文献和数据。诚然本书为基础课教材,我们力图为学生以外的读者提供一些有价值的参考。

计算机和软件的进步使我得以“越俎代庖”尝试做一些排版、勘误工作。并且把所有插图都作重新处理,希望看起来更清楚、美观,有助于阅读。由此体会到编辑工作的艰难和重要。在此谨向他们表示敬意。

卢德馨

2003 年 3 月

前 言

本书是作者在南京大学基础学科教学强化部讲授的“大学物理学”课程基础上写成的。强化部有天文、物理、生物物理、化学、生物、生物化学等学科方向。“大学物理学”作为一门公共基础课，很难根据现有的“本系”或“外系”教材来讲授。因此需要一本全新构思的书。普通物理教科书的基本内容往往仍然是以 17 世纪、19 世纪的为主，这在世纪之交是很不适宜的。学制的缩短、双休日制度的实施使课时过多的矛盾更加突出。作者尝试撰写一本以 20 世纪内容为主导的教科书，篇幅适合两个学期的课程，希望能够作为多个学科学生的公共基础课教材。

从当前科学发展的趋势看，学科的交叉、渗透相当普遍。在教材中努力体现这种倾向是值得尝试的。在本学科中各分支间的关联以至融会贯通也是应该强调的。当然寻求物理学与其它学科、物理学各分支间的“枝连”是颇为艰难的事。再者作者本人相信前沿课题应该在基础内容中有其“根”，寻根的工作也是相当艰难的。但是一旦发现前沿课题中有适合基础教学的内容，则务求能纳入教材。希望这种搜索寻根的工作使教材更为丰满、充实。实际研究工作者的思路、方法对于初学者来说是有价值但又难以获得的。例如在研究工作中如何获取和处理信息，处理好数学和物理的关系，不断调整研究步骤，深入理解结果的意义，扩大成果等等，本书试图通过实际问题向读者展示。

传统的基础课强调基础知识、基本理论和基本技能。实践证明完全可能通过课程达到进一步的目标：培养学生的探索精神和创造精神。可以通过历史、展示现实作出示范。同时还可以创造条件使学生有向内容的深度和广度发展的余地。讲授应该不局限于一本教材，提倡开放式。本书引用一定数量的文献和

参考书, 展示一些悬而未决的问题, 都是基于这种考虑. 列出的一些经典文献和专业文献主要是供给教师研究用. 标有*的节和段落可以作为参考内容. 在本书的辅助材料电子版中列举了作者对题解、文献阅读、课程论文等环节的观点并包含了有关参考材料.

基于以上考虑, 本书的选材、表达不同以往. 例如, 光学和电路没有纳入; 提出了不少新的观点和处理问题的方式; 尝试对物理定律的美学价值进行思考等等. 读者可以见仁见智, 加以评论. 本书写出初稿已有 8 年了, 首次在教材建设组披露部分内容也已有 4 年. 但是仍不能臻于理想, 错误、不当仍然难免.

成书过程中曾先后得到陈祖福、冯端、冯致光、江元生、许敖敖、邓崇光诸位的鼓励和支持. 作者还得到江元生、梁昆森、陈廷扬、黄天衣、沈健、赵其昌、潘大谦诸君不少有益的意见和帮助. 冯端先生通读全书、作序, 对内容的调整和增补提出了宝贵的意见, 使我获益非浅. 在此一并表示感谢. 我的助教和学生在教和学的过程中对本书的形成起了重要作用, 石名俊选编了部分习题. 希望本书能唤起他们美好的回忆.

卢德馨

1996 年 10 月于南京

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 什么是物理学	1
§ 1.2 物理量	4
§ 1.3 物理学中的近似	9
§ 1.4 矢量	10
§ 1.5 正交坐标系	14
习题	18
参考文献	19

第一部分 力 学

第二章 运动学	25
§ 2.1 物体的运动和运动的物体	25
§ 2.2 平动	25
§ 2.3 转动	29
§ 2.4 振动	32
§ 2.5 相平面和相空间	35
§ 2.6 伽利略变换	36
* § 2.7 科里奥利加速度	38
习题	40
参考文献	41
第三章 质点动力学	42
§ 3.1 惯性定律和惯性系	42
§ 3.2 牛顿第二定律和第三定律	43
§ 3.3 力	47
§ 3.4 非惯性系和惯性力	50
§ 3.5 动量和角动量	52
§ 3.6 机械功和机械能	55
习题	58
参考文献	60
第四章 引力	61

§ 4.1 引力定律	61
§ 4.2 引力势能	67
§ 4.3 引力质量 引力红移 引力塌缩	72
§ 4.4 开普勒问题和散射	78
§ 4.5 引力场	83
习题	88
参考文献	89
第五章 质点系动力学	91
§ 5.1 质心和质心系	91
§ 5.2 变质量系	96
§ 5.3 碰撞	97
§ 5.4 流体运动	105
§ 5.5 对称性和守恒律	107
习题	108
参考文献	110
第六章 刚体动力学	112
§ 6.1 转动惯量	112
§ 6.2 转动动力学	115
§ 6.3 角动量的进动	118
§ 6.4 刚体的平衡和稳定性	119
习题	122
参考文献	123
第七章 振动	124
§ 7.1 简谐振动	124
§ 7.2 耦合振动	128
§ 7.3 阻尼振动	131
* § 7.4 非线性振动	132
§ 7.5 受迫阻尼振动	134
习题	138
参考文献	139
第八章 波	140
§ 8.1 波及其分类	140
§ 8.2 波动方程	141
§ 8.3 简谐波及其叠加	144
§ 8.4 干涉和衍射	151
* § 8.5 色散和波包	154
§ 8.6 多普勒效应	155

* § 8.7 孤立波	157
习题	157
参考文献	159
第九章 相对论力学	160
§ 9.1 伽利略变换	160
§ 9.2 洛伦兹变换	164
* § 9.3 空时图和孪生子佯谬	170
§ 9.4 相对论运动学	173
§ 9.5 相对论动力学	175
习题	181
参考文献	183

第二部分 热 物 理

第十章 温度	188
§ 10.1 平衡态	188
§ 10.2 热平衡和温度	190
§ 10.3 经验温标	190
§ 10.4 物态方程	192
习题	195
参考文献	196
第十一章 热力学第一定律	197
§ 11.1 功和内能	197
§ 11.2 热和热力学第一定律	199
§ 11.3 热容和比热容	200
§ 11.4 气体的自由膨胀和内能	203
§ 11.5 绝热方程	205
§ 11.6 卡诺循环	206
习题	207
参考文献	210
第十二章 热力学第二定律	211
§ 12.1 热力学第二定律	211
§ 12.2 卡诺定理 热力学温标	212
§ 12.3 熵和熵原理	214
§ 12.4 热力学势	219
* § 12.5 相对论热力学	223
* § 12.6 黑洞热力学	225

习题	227
参考文献	228
第十三章 理想气体的微观模型	230
§ 13.1 理想气体	230
§ 13.2 平衡分布	233
* § 13.3 能量均分定理	236
§ 13.4 泻流	237
§ 13.5 输运现象	239
习题	245
参考文献	246
第十四章 相变	247
§ 14.1 范德瓦耳斯方程	247
§ 14.2 相和相图	249
§ 14.3 克拉珀龙方程	250
§ 14.4 高级相变	253
* § 14.5 现代相变理论中的一些概念	255
习题	257
参考文献	259

第三部分 电 磁 学

第十五章 静电场	263
§ 15.1 电荷和库仑定律	263
§ 15.2 静电场	266
§ 15.3 高斯定律	272
§ 15.4 电势	277
§ 15.5 电势能	280
习题	284
参考文献	286
第十六章 导体和电介质	287
§ 16.1 静电场中的均匀导体	287
§ 16.2 电容	289
§ 16.3 电导率和欧姆定律	292
§ 16.4 电介质	294
§ 16.5 电矢量	296
习题	299
参考文献	301

第十七章 磁场	302
§ 17.1 磁场	302
§ 17.2 磁高斯定律和安培环路定律	307
§ 17.3 磁力	309
§ 17.4 霍尔效应	315
习题	317
参考文献	318
第十八章 电磁感应	319
§ 18.1 法拉第电磁感应定律	319
§ 18.2 动生电动势	322
§ 18.3 电感	324
§ 18.4 E 和 B 的相对性	329
习题	331
参考文献	333
第十九章 物质的磁性	334
§ 19.1 微观粒子的磁偶极矩	334
§ 19.2 磁矢量	339
§ 19.3 宏观物体的磁性	342
* § 19.4 地球的磁性	346
习题	347
参考文献	348
第二十章 麦克斯韦方程组	349
§ 20.1 准方程和磁单极子	349
§ 20.2 位移电流和感应磁场	351
* § 20.3 麦克斯韦方程组的微分形式	356
§ 20.4 能流和场动量密度	357
习题	359
参考文献	360
第二十一章 电磁波	361
§ 21.1 波动方程	361
§ 21.2 行波	362
§ 21.3 辐射	365
§ 21.4 晶体衍射	367
§ 21.5 驻波和态密度	368
习题	369
参考文献	370

第四部分 近代物理基础

第二十二章 能量量子化	373
§ 22.1 黑体辐射	373
§ 22.2 光电效应	376
§ 22.3 康普顿效应	379
§ 22.4 线状谱 原子中的能量量子化	380
习题	385
参考文献	385
第二十三章 物质的波动性质	387
§ 23.1 物质波	387
§ 23.2 戴维孙-革末实验	388
§ 23.3 电子双缝实验	389
§ 23.4 不确定关系	390
习题	393
参考文献	393
第二十四章 薛定谔方程	394
§ 24.1 波函数	394
§ 24.2 薛定谔方程	394
§ 24.3 一维势阱	397
§ 24.4 势垒	398
§ 24.5 简谐振子	402
习题	405
参考文献	406
第二十五章 原子	407
§ 25.1 氢原子	407
§ 25.2 能级和跃迁	408
§ 25.3 概率密度	411
§ 25.4 轨道角动量和自旋	413
§ 25.5 多电子原子	416
§ 25.6 激光	417
§ 25.7 X 射线	419
习题	421
参考文献	422
第二十六章 分子和团簇	423
§ 26.1 原子轨道	423

§ 26.2	分子轨道	426
§ 26.3	离子键	429
§ 26.4	分子振动和转动	431
§ 26.5	生物大分子	432
§ 26.6	团簇	436
	习题	437
	参考文献	438
第二十七章	费米统计和玻色统计	439
§ 27.1	费米子和玻色子	439
§ 27.2	费米-狄拉克分布	441
§ 27.3	玻色-爱因斯坦分布 光子气	442
§ 27.4	玻色-爱因斯坦凝聚	443
* § 27.5	固体的热容	445
	习题	449
	参考文献	450
第二十八章	凝聚态物质	451
§ 28.1	凝聚态物质中的空间序	451
§ 28.2	豪斯多夫维数和分形	454
§ 28.3	晶体中的键	455
§ 28.4	金属自由电子模型	458
§ 28.5	能带	459
	习题	460
	参考文献	461
第二十九章	核物理	463
§ 29.1	原子核	463
§ 29.2	核力和核模型	466
§ 29.3	放射性衰变	469
* § 29.4	穆斯堡尔效应	474
§ 29.5	裂变和聚变	475
	习题	481
	参考文献	483
第三十章	轻子和夸克	484
§ 30.1	粒子及其分类	484
§ 30.2	相互作用	488
§ 30.3	守恒定律	491
§ 30.4	夸克	493
§ 30.5	CPT 定理	494

习题	497
参考文献	499
第三十一章 天体物理	501
§ 31.1 星体演化和结构	501
§ 31.2 白矮星	502
§ 31.3 中子星和脉冲星	504
§ 31.4 类星体	506
§ 31.5 黑洞和原始黑洞	507
习题	510
参考文献	511
第三十二章 物理宇宙学	512
§ 32.1 基本事实和宇宙学原理	512
§ 32.2 基本概念	515
§ 32.3 弯曲时空和度规	518
§ 32.4 引力场方程	521
§ 32.5 标准宇宙模型的动力学	524
§ 32.6 宇宙学的进展	527
习题	528
参考文献	528

附 录

A 常用物理常量	533
B 单摆和雅可比椭圆函数	536
C 临界阻尼和过阻尼	538
D 傅里叶级数与频谱	540
E 关于波包的积分结果	543
F 太阳系中的行星	546
G 高斯积分和 Γ 函数	547
H 算符 ∇	549
I 狄拉克 δ 函数	552
J 黎曼 ζ 函数	553
K 波函数	554
L 电磁场的相对论变换	556
奇数问题参考答案	560
索引	568