

(京)112号

内 容 提 要

本书是教育部理科物理学和天文学“九五”规划教材和面向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。本书配有电子版辅助教学材料,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/卢德馨编著. — 北京:高等教育出版社,
1998.9

ISBN 7-04-006930-X

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(98)第21993号

*

高等教育出版社出版

北京沙滩后街55号

邮政编码:100009 传真:64014048 电话:64054588

高等教育出版社发行

北京外文印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/18 印张 39.25 字数 620 000

1998年9月第1版 1998年9月第1次印刷

印数 0 001—3 609

定价 49.00 元

凡购买高等教育出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题者,请与当地图书销售部门联系调换

版权所有,不得翻印

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 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

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很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、梁昆淼、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	10
§ 1.4 矢量	11
§ 1.5 正交坐标系	16
习题	20
参考文献	21

第一部分 力 学

第二章 运动学	27
§ 2.1 物体的运动和运动的物体	27
§ 2.2 平动	27
§ 2.3 转动	31
§ 2.4 振动	34
§ 2.5 相平面和相空间	37
§ 2.6 伽利略变换	39
* § 2.7 科里奥利加速度	41
习题	43
参考文献	44
第三章 质点动力学	45
§ 3.1 惯性定律和惯性系	45
§ 3.2 牛顿第二定律和第三定律	46
§ 3.3 力	50
§ 3.4 非惯性系和惯性力	54
§ 3.5 动量和角动量	56

§ 3.6 机械功和机械能	58
习题	62
参考文献	64
第四章 引力	65
§ 4.1 万有引力定律	65
§ 4.2 引力势能	71
§ 4.3 引力质量 引力红移 引力塌缩	77
§ 4.4 开普勒问题和散射	82
§ 4.5 引力场	87
习题	93
参考文献	95
第五章 质点系动力学	97
§ 5.1 质心和质心系	97
§ 5.2 变质量系	101
§ 5.3 碰撞	103
§ 5.4 流体运动	111
§ 5.5 对称性和守恒律	113
习题	114
参考文献	117
第六章 刚体动力学	118
§ 6.1 定轴转动和转动惯量	118
§ 6.2 转动动力学	121
§ 6.3 角动量的进动	124
§ 6.4 刚体的平衡和稳定性	126
习题	128
参考文献	130
第七章 振动	131
§ 7.1 简谐振动	131

§ 7.2 耦合振动	135
§ 7.3 阻尼振动	138
* § 7.4 非线性振动	139
§ 7.5 强迫阻尼振动	142
习题	145
参考文献	147
第八章 波	148
§ 8.1 波及其分类	148
§ 8.2 波动方程	149
§ 8.3 简谐波及其叠加	152
§ 8.4 干涉和衍射	159
* § 8.5 色散和波包	162
§ 8.6 多普勒效应	164
* § 8.7 孤立波	165
习题	166
参考文献	168
第九章 相对论力学	169
§ 9.1 伽利略变换	169
§ 9.2 洛伦兹变换	173
* § 9.3 空时图和孪生子佯谬	179
§ 9.4 相对论运动学	183
§ 9.5 相对论动力学	185
习题	190
参考文献	192

第二部分 热 物 理

第十章 温度	198
§ 10.1 平衡态	198

§ 10.2 热平衡和温度	200
§ 10.3 经验温标	201
§ 10.4 物态方程	203
习题	205
参考文献	206
第十一章 热力学第一定律	207
§ 11.1 功和内能	207
§ 11.2 热和热力学第一定律	209
§ 11.3 热容和比热容	211
§ 11.4 气体的自由膨胀和内能	214
§ 11.5 绝热方程	215
§ 11.6 卡诺循环	217
习题	218
参考文献	221
第十二章 热力学第二定律	222
§ 12.1 热力学第二定律	222
§ 12.2 卡诺定理 热力学温标	223
§ 12.3 熵和熵原理	225
§ 12.4 热力学势	230
* § 12.5 相对论热力学	235
* § 12.6 黑洞热力学	237
习题	238
参考文献	240
第十三章 理想气体的微观模型	241
§ 13.1 理想气体	241
§ 13.2 平衡分布	244
* § 13.3 能量均分定理	247
§ 13.4 泻流	248

§ 13.5 输运现象	250
习题	256
参考文献	258
第十四章 相变	259
§ 14.1 范德瓦耳斯方程	259
§ 14.2 相和相图	261
§ 14.3 克拉珀龙方程	262
§ 14.4 高级相变	265
* § 14.5 现代相变理论中的一些概念	268
习题	270
参考文献	272

第三部分 电 磁 学

第十五章 静电场	275
§ 15.1 电荷和库仑定律	275
§ 15.2 静电场	279
§ 15.3 高斯定律	284
§ 15.4 电势	290
§ 15.5 电势能	293
习题	297
参考文献	299
第十六章 导体和电介质	301
§ 16.1 静电场中的均匀导体	301
§ 16.2 电容	303
§ 16.3 电导率和欧姆定律	306
§ 16.4 电介质	308
§ 16.5 电矢量	310
习题	314

参考文献	316
第十七章 磁场	317
§ 17.1 磁场	317
§ 17.2 磁高斯定律和安培环路定律	322
§ 17.3 磁力	325
§ 17.4 霍尔效应	331
习题	333
参考文献	335
第十八章 电磁感应	336
§ 18.1 法拉第电磁感应定律	336
§ 18.2 动生电动势	339
§ 18.3 电感	341
§ 18.4 E 和 B 的相对性	346
习题	349
参考文献	351
第十九章 物质的磁性	352
§ 19.1 微观粒子的磁偶极矩	352
§ 19.2 磁矢量	357
§ 19.3 宏观物体的磁性	360
* § 19.4 地球的磁性	365
习题	365
参考文献	367
第二十章 麦克斯韦方程组	368
§ 20.1 准方程和磁单极子	368
§ 20.2 位移电流和感应磁场	371
* § 20.3 麦克斯韦方程组的微分形式	375
§ 20.4 能流和场动量密度	376
习题	378

参考文献	380
第二十一章 电磁波	381
§ 21.1 波动方程	381
§ 21.2 行波	382
§ 21.3 辐射	385
§ 21.4 晶体衍射	387
§ 21.5 驻波和态密度	388
习题	390
参考文献	390

第四部分 近代物理基础

第二十二章 能量量子化	393
§ 22.1 黑体辐射	393
§ 22.2 光电效应	396
§ 22.3 康普顿效应	399
§ 22.4 线状谱 原子中的能量量子化	401
习题	405
参考文献	406
第二十三章 物质的波动性质	407
§ 23.1 物质波	407
§ 23.2 戴维逊-革末实验	408
§ 23.3 电子双缝实验	409
§ 23.4 不确定关系	410
习题	413
参考文献	413
第二十四章 薛定谔方程	414
§ 24.1 波函数	414
§ 24.2 薛定谔方程	414

§ 24.3 一维势阱·····	417
§ 24.4 势垒·····	419
§ 24.5 简谐振子·····	423
习题·····	425
参考文献·····	426
第二十五章 原子 ·····	428
§ 25.1 氢原子·····	428
§ 25.2 能级和跃迁·····	429
§ 25.3 概率密度·····	432
§ 25.4 角动量和自旋·····	434
§ 25.5 多电子原子·····	437
§ 25.6 激光·····	438
§ 25.7 X 射线·····	441
习题·····	443
参考文献·····	444
第二十六章 分子和团簇 ·····	445
§ 26.1 原子轨道·····	445
§ 26.2 分子轨道·····	448
§ 26.3 离子键·····	452
§ 26.4 分子振动和转动·····	454
§ 26.5 生物大分子·····	454
§ 26.6 团簇·····	460
习题·····	461
参考文献·····	462
第二十七章 费米统计和玻色统计 ·····	464
§ 27.1 费米子和玻色子·····	464
§ 27.2 费米-狄拉克分布·····	466
§ 27.3 玻色-爱因斯坦分布 光子气·····	467

§ 27.4 玻色-爱因斯坦凝聚·····	468
* § 27.5 固体的热容·····	470
习题·····	474
参考文献·····	475
第二十八章 凝聚态物质 ·····	476
§ 28.1 凝聚态物质中的空间序·····	476
§ 28.2 豪斯多夫维数和分形·····	479
§ 28.3 晶体中的键·····	481
§ 28.4 金属自由电子模型·····	483
§ 28.5 能带·····	484
习题·····	486
参考文献·····	487
第二十九章 核物理 ·····	489
§ 29.1 原子核·····	489
§ 29.2 核力和核模型·····	492
§ 29.3 放射性衰变·····	495
§ 29.4 穆斯堡尔效应·····	500
§ 29.5 裂变和聚变·····	502
习题·····	508
参考文献·····	511
第三十章 轻子和夸克 ·····	512
§ 30.1 粒子及其分类·····	512
§ 30.2 相互作用·····	516
§ 30.3 守恒定律·····	519
§ 30.4 夸克·····	521
§ 30.5 CPT 定理·····	523
习题·····	526
参考文献·····	528

第三十一章 天体物理	530
§ 31.1 星体演化和结构	530
§ 31.2 白矮星	531
§ 31.3 中子星和脉冲星	533
§ 31.4 类星体	535
§ 31.5 黑洞和原始黑洞	537
习题	540
参考文献	541
第三十二章 物理宇宙学	542
§ 32.1 基本事实和宇宙学原理	542
§ 32.2 基本概念	545
§ 32.3 弯曲时空和度规	548
§ 32.4 引力场方程	552
§ 32.5 标准宇宙模型的动力学	555
§ 32.6 宇宙学的进展	558
习题	559
参考文献	559

附 录

A 常用物理常量	563
B 单摆和雅可比椭圆函数	566
C 临界阻尼和过阻尼	568
D 傅里叶级数与频谱	570
E 关于波包的积分结果	573
F 太阳系中的行星	576
G 高斯积分和 Γ 函数	577
H 算符 ∇	579
I 狄拉克 δ 函数	582

第一章 绪 论

§ 1.1 什么是物理学

物理学是研究自然界基本规律的科学。它的英文词physics来源于希腊文，原义是自然，而中文的含义是“物”（物质的结构、性质）和“理”（物质的运动、变化规律）。中文含义与现代观点颇为吻合。现代观点认为物理学主要研究：**物质和运动，或物质世界及其各部分之间的相互作用，或物质的基本组成及它们的相互作用。**

物质可以小至微观粒子——分子、原子以至“基本”粒子(elementary particles)。所谓基本粒子，顾名思义是物质的基本组成成分，本身没有结构。然而基本与否与人们的认识水平以及科学技术水平有关，因此对“基本”的理解有阶段性。有鉴于此，物理学家简单地称之为“粒子”。有时为了表达认识的层次，我们仍然可以说：“现阶段的基本粒子为……”。当前我们认为基本粒子有轻子(lepton)、夸克(quark)、光子(photon)和胶子(gluon)等等。科学家们正在努力寻找自由夸克。此外，分数电荷、磁单极也在寻找之列。我们周围的物体是物质的聚集状态。人们可以用自己的感官感知大多数聚集状态的物质，并称它们为宏观(macroscopic)物质以区别前面所说的微观(microscopic)粒子。居间的尺度是介观(mesosopic)，而更大的尺度是宇观(cosmological)。场(field)传递相互作用，电磁场和引力场就是例子。

在物理学的范围内，物质的运动是指机械运动、热运动、微观粒子的运动、原子核和粒子间的反应等等。运动总是发生在一定的时间和空间。时间和空间首先是作为物质运动的舞台，但最后也成了物理学研究的对象。

现在知道物质之间的相互作用有四种，即万有引力、弱相互作用、电磁相互作用和强相互作用。

爱因斯坦(A. Einstein, 1879—1955)生前曾致力于统一场论的工作，试图用统一的理论来描述各种相互作用。在60年代，走向统一有了突破性的进展。格拉肖(S.L.Glashow)、温伯格(S.Weinberg)和萨拉姆(A.Salam)等人发现弱相互作用和电磁相互作用可以统一，用弱电相互作用(electroweak)来描述。鲁比亚(1983^[1]，C.Rubbia)等提供了实验支持。大统一理论(Grand Unification Theory, GUT)试图将强相互作用也

^[1] 事件发生年份。