



普通高等教育“十五”国家级规划教材

上卷 第二版

基础物理学教程

陆 果



高等教育出版社
Higher Education Press



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



普通高等教育“十五”国家级规划教材

上 卷 第二版

基础物理学教程

陆 果



高等教育出版社
Higher Education Press

内容简介

本书是“面向 21 世纪课程教材”，是在第一版的基础上，根据在北京大学等院校多年的教学实践和读者意见，依照新的教学基本要求，从现代科学技术的发展及对人才培养的要求出发进行修订的，在内容方面充分体现了现代化的特色。全书分力学和相对论、电磁学、光学、量子力学、热物理学五部分，总计 30 章，分上、下卷出版。

本书可作为高等学校理科非物理类专业的物理教材，也可供其他专业的师生选用和社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

基础物理学教程. 上卷 / 陆果. —2 版. —北京:
高等教育出版社, 2006.5

ISBN 7-04-019371-X

I. 基... II. 陆... III. 物理学—高等学校—教材
IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 066246 号

策划编辑 刘伟 责任编辑 王文颖 封面设计 张楠 责任印制 陈伟光

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 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京民族印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 25.25
字 数 470 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
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>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 1998 年 9 月第 1 版
2006 年 5 月第 2 版
印 次 2006 年 5 月第 1 次印刷
定 价 26.40 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
物料号 19371-00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118



第二版前言

自 1997 年 3 月《基础物理学》及其后的《基础物理学教程》出版以来, 经过八年的教学实践, 感到有必要对全书进行修订。首先, 纠正了一些错误或不准确的叙述。其次, 部分内容用小号字体排版并打上星号, 在教学过程中可以略去不讲。同时, 调整了部分内容的顺序, 进一步删减了部分涉及数学较深或理论性较强的内容, 减少了篇幅。最后, 对于较抽象的内容增加了物理图像的叙述, 并增加了必要的数学知识附录, 以适应低年级大学生的要求。

参照教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会颁发的《非物理类理工学科大学物理课程教学基本要求》, 本教材增补了几何光学的基础知识内容。在确保基本要求的基础上, 本教材强调了量子物理(包括量子统计)的重要性, 进一步增加了从物理前沿进展中提炼出来的部分基础物理内容, 希望非物理类理工学科的大学生也能有扎实的物理基础来面对飞速发展的现代科学技术的挑战。

经验表明, 理工学科大学生要学好本教材的内容, 只要求具有大学高等数学的基础, 并不要求系统掌握数学物理方法的内容。本课程最好安排在大学一年级下学期以后。教师针对学生的具体情况, 提出分层次的要求, 启发和引导学生掌握基本内容和基本方法, 着眼于理解物理内涵是十分重要的。实际上, 本教材包括了要求大学生掌握、理解和了解的三个层次的内容。

在本书的编写和修订过程中, 本人阅读了国内外许多同类教材以及相关杂志的文章, 受益匪浅。特别是, 许多老师和同学给予了热情的帮助, 北京大学薛立新同志、高等教育出版社刘伟、王文颖和陈钧元同志为本书的出版做了大量的工作, 我在此谨致以衷心的感谢。

由于本人的学识有限, 缺点和错误在所难免, 诚恳地希望读者提出宝贵的意见。

陆 果

2006 年 1 月于北京大学

第一版前言

20 世纪初，物理学家揭开了原子内部结构的奥秘，建立了相对论和量子力学。1995 年，顶夸克的发现向人们宣告，六种夸克及其反粒子和胶子是构成质子和中子等强子的更为基本的粒子。1998 年，“发现号”航天飞机搭载阿尔法磁谱仪首次升空试验取得了成功，开始了直接到太空中探测和寻找宇宙中的反物质和暗物质的大型国际合作科学试验。今天，人们已经建立起了粒子物理的标准模型和宇宙学的标准模型，并继续探求着浩瀚的未知世界。在研究领域不断取得丰硕成果的同时，科学与技术迅速地、创造性地融合在一起，形成了一系列高、新技术部门。

随着科学技术的飞速发展，学科发展的方向日趋综合，新型的交叉学科不断出现并迅速发展。同时，近代物理学的概念、研究方法和实验技术在生物学、化学和地学等学科中已得到了广泛的应用。特别是，近代化学和生物学的发展已经深入到了微观领域，近代数学的发展与近代物理学的发展更是密切相关和相互促进的。因此，物理学，特别是近代物理学，已经成为各类人才所必须具备的基础知识。

我们正在培养 21 世纪的人才，教学和教材内容的更新势在必行。特别是，对于大学理科非物理类专业，除了普通物理课程之外，一般没有物理方面的后继课程。然而，原来的普通物理课程基本上是参照物理专业的普通物理课程设置的，近代物理学的内容很少，更缺少反映当代物理学及其前沿发展的内容。

为此，从现代科学技术的发展以及理科各个学科人才培养的要求出发，我们对物理课程的框架作了较大的变动，编写了《基础物理学》(陆果. 北京：高等教育出版社，1997)，其内容分为五个部分：力学和相对论、电磁学、光学、量子力学、热物理学。在内容上，不论原来是普通物理的内容还是理论物理的内容，不论是经典物理的内容还是近代物理的内容，只要是当今理科大学生应该掌握的物理基础，就在精心选择、重新组织和整理之后编写在本套书中。我们希望，即使是大学低年级的学生，也能够有限的时间内将发展到今天的物理学的基础和精华学到手，为他们未来的创造性工作打下较好的物理基础。

《基础物理学教程》是在面向 21 世纪课程教材《基础物理学》的基础上，根据近年来的教学实践及读者的意见改写而成的，删减了部分涉及数学较深或理论性较强的内容，减少了篇幅。该教程是教育部“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，希望能够达到如下的目标：不仅牢牢地把握住《基础物理学》的基本要求，保持并发扬《基础物理学》在课程现代化方面的成功之处，而且更适合于各类高等理工院校学生使用。

由于近年来物理学在各个领域都有重大的发展，而且《基础物理学》和《基础物理学教程》涉及面很广，因此无论对于教师还是对于学生，在使用这套教材的过程中都会遇到一定的困难。为了帮助有关师生更深刻地掌握其基本内容并开阔视野，我和陈凯旋老师一起，编写了《基础物理学教学参考书》(高等教育出版社出版)，简明扼要地讲述了以下三个方面的内容：物理学和高技术前沿(包括粒子物理的标准模型、宇宙学的标准模型、非线性科学的基本概念、生命科学中的物理问题和高技术研究等五章)、习题精析提要以及常用的数学结果，最后还给出了诺贝尔物理学奖获得者的简况表。

本书的计算机排版工作由北京大学薛立新同志完成，高等教育出版社胡凯飞同志为本书的出版做了大量的工作。通过立项，我们得到了教育部和北京市教育局的资助。许多专家和学者对我们的工作给予了热情的支持和帮助。自 1997 年 3 月《基础物理学》出版以来，广大教师和学生提出了许多宝贵的意见和建议。对于所有这些帮助，我在此谨致以衷心的感谢。

由于本人的学识有限，缺点和错误在所难免，诚恳地希望读者提出宝贵的意见。

陆 果

1998 年 8 月于北京大学

目 录

绪论	1
§ 1 物理学的意义	1
§ 2 物质和相互作用	2
一 宇宙学的标准模型	2
二 物质的微观结构 夸克的发现	3
三 基本的相互作用	5
四 粒子物理学的标准模型	7
§ 3 物理量的测量和单位制	9
§ 4 物理世界的层次和数量级	10

第一部分 力学和相对论

第一章 质点运动学	13
§ 1-1 质点运动的描述	13
一 质点 参考系和坐标系	13
二 质点运动的矢量描述	13
三 直角坐标系 抛体运动	15
四 平面极坐标系 横向速度和径向速度	17
五 自然坐标系 切向加速度和法向加速度	18
§ 1-2 相对运动	21
习题	22
第二章 动量守恒和质点动力学	24
§ 2-1 惯性定律和惯性系	24
§ 2-2 质量 动量和动量守恒定律	25
一 两质点间的相互作用	25
二 惯性质量	25
三 动量 动量守恒定律	26
§ 2-3 力 冲量和动量定理	28
一 力的定义	28
二 力的叠加原理 质点系动量守恒的条件	29
三 牛顿运动定律	30

四 冲量 动量定理	30
§ 2-4 牛顿运动定律及其应用	33
一 牛顿运动定律的表述	33
二 牛顿运动定律的应用	33
三 自然界中常见的力	35
§ 2-5 伽利略相对性原理 非惯性系	41
一 伽利略相对性原理	41
二 伽利略变换	42
三 非惯性系	43
四 加速平动参考系中的惯性力	44
五 惯性离心力	45
六 科里奥利力	47
习题	50
第三章 机械能守恒	53
§ 3-1 机械能守恒定律	53
§ 3-2 功和功率	55
一 功和能	55
二 功率	56
§ 3-3 势能	56
一 保守力 保守系的机械能守恒	56
二 势能函数	59
§ 3-4 质心参考系	65
一 动量中心系 质心	65
二 质心运动定理	66
三 克尼希定理 资用能	66
§ 3-5 两体碰撞	69
* § 3-6 经典分析力学中的哈密顿量	73
习题	76
第四章 角动量守恒	80
§ 4-1 角动量 角动量守恒定律	80
§ 4-2 力矩 角动量定理	81
一 力矩 质点的角动量定理	81
二 质点系的角动量定理	82
三 质心系的角动量定理	83
§ 4-3 质点在有心力场中的运动	87

一	质点在有心力场中运动的一般描述	87
二	机械能守恒和角动量守恒 离心势能和有效势	87
§ 4-4	对称性与守恒定律	92
一	对称性	92
二	对称性与守恒定律	92
	习题	96
第五章	连续体力学	99
§ 5-1	刚体运动学	99
一	刚体的平移和定轴转动	99
二	刚体的平面平行运动	101
§ 5-2	刚体动力学	102
一	定轴转动刚体的角动量和转动惯量	102
二	刚体定轴转动的角动量定理和转动定理	105
三	刚体定轴转动的动能定理	105
四	刚体的进动 陀螺仪	108
§ 5-3	固体的弹性	111
一	弹性体中的应力和应变	111
二	弹性体的拉伸和压缩	112
三	弹性体的剪切形变	113
§ 5-4	流体力学	114
一	流体的连续性方程	114
二	理想流体的定常流动	117
三	黏性流体的流动	120
四	流体的旋转	123
	习题	125
第六章	振动和波	128
§ 6-1	简谐振动	128
一	描述简谐振动的特征量	128
二	简谐振动的合成	130
三	振动的分解 傅里叶变换	134
§ 6-2	弹性系统的振动	136
一	谐振子的自由振动	136
二	谐振子的阻尼振动	138
三	谐振子的受迫振动和共振	141
§ 6-3	耦合振子	143

一	简正模 简正频率	143
二	简正坐标 简正模的叠加	145
§ 6-4	机械波的产生和传播	146
一	简谐振的描述	146
二	波动方程	148
三	波的能量	150
四	声波	151
§ 6-5	驻波	152
一	驻波的形成和特点	152
二	两端固定的弦中的驻波 多自由度系统的简正模	153
三	半波损失	154
§ 6-6	多普勒效应	155
§ 6-7	波包 非线性波	158
一	波包和群速	158
*二	非线性效应对波动的影响	160
*三	孤波和孤子	160
	习题	161
第七章	相对论	165
§ 7-1	狭义相对论的基本假设	165
一	相对论的意义	165
二	狭义相对论的基本假设	166
三	迈克耳孙-莫雷实验	167
§ 7-2	相对论运动学	168
一	相对论变换和时空观	168
二	闵可夫斯基空间 洛伦兹变换下的不变量	172
三	狭义相对论的时空观	173
§ 7-3	相对论动力学	178
一	动量和质量	178
二	力 功和动能	179
三	能量 质能关系	181
四	能量-动量关系	186
五	动量、能量和力的相对论变换	187
§ 7-4	广义相对论	189
一	等效原理	190
*二	爱因斯坦的引力场方程	192

三 广义相对论的检验	193
习题	197
第二部分 电磁学	
第八章 电相互作用 真空中的静电场	199
§ 8-1 电相互作用	199
一 电荷 电荷守恒定律	199
二 库仑定律 静电力的叠加原理	201
三 电场和电场强度	202
四 场强的叠加原理	202
§ 8-2 静电场的高斯定理	206
一 电场线	206
二 电场通量	207
三 静电场的高斯定理	208
四 静电场的高斯定理的微分形式	210
§ 8-3 静电场的环路定理 电势	213
一 静电场的环路定理	213
二 电势差与电势	215
三 电势叠加原理	216
四 等势面 电势的梯度	217
习题	221
第九章 静电场中的导体和电介质	224
§ 9-1 静电场中的导体	224
一 导体的静电平衡条件	224
二 导体壳 静电屏蔽	226
三 电容和电容器	228
§ 9-2 静电场中的电介质	230
一 电介质的极化	230
二 极化强度和极化电荷	231
三 各向同性线性电介质的极化规律	234
四 电位移 有电介质时的高斯定理	234
*五 铁电体、永电体和压电体	237
六 电介质的击穿	238
§ 9-3 静电场的能量	238
一 带电体系的静电能	238

二 电场的能量和能量密度	242
习题	244
第十章 电磁相互作用	246
§ 10-1 磁相互作用	246
一 磁性现象	246
二 磁场和磁感应强度	246
三 洛伦兹力	247
四 带电粒子在磁场中的运动	247
五 霍尔效应	250
§ 10-2 运动电荷的电磁场	253
一 运动电荷的电场和磁场(非相对论的)	253
二 电磁场的相对论变换	254
三 运动电荷的电磁场(相对论的)	255
四 两个运动电荷之间的相互作用	258
§ 10-3 磁场和电流	260
一 恒定电流	260
二 毕奥-萨伐尔定律	266
三 安培定律	267
习题	274
第十一章 恒定磁场和磁介质	278
§ 11-1 磁场的高斯定理和安培环路定理	278
一 磁场的高斯定理 矢势	278
二 安培环路定理	280
§ 11-2 有磁介质时的高斯定理和安培环路定理	284
一 介质的磁化	284
二 有磁介质时的高斯定理	287
三 有磁介质时的安培环路定理	287
§ 11-3 介质的磁化规律	290
一 顺磁质和抗磁质	290
*二 铁磁质	292
习题	295
第十二章 电磁感应	297
§ 12-1 电磁感应定律	297
一 电磁感应现象的发现	297
二 法拉第电磁感应定律	298

三 楞次定律	299
§ 12-2 动生电动势和感生电动势	300
一 动生电动势	301
二 感生电动势	304
三 电磁感应定律的普遍形式	304
四 电磁感应与相对性原理	307
§ 12-3 互感和自感	307
一 互感	307
二 自感	309
§ 12-4 磁场的能量	311
一 自感磁能	311
二 互感磁能	311
三 磁场的能量	312
§ 12-5 暂态过程	314
一 LR 电路的暂态过程	314
二 RC 电路的暂态过程	315
三 LCR 电路的暂态过程	316
§ 12-6 超导电性	317
一 零电阻现象	317
二 迈斯纳效应	318
*三 磁通量子化 约瑟夫森效应	321
*四 超导磁体的特点	323
习题	325
第十三章 电路	328
§ 13-1 直流电路	328
一 电路中任意两点之间的电势差	328
二 基尔霍夫方程组	329
§ 13-2 交流电及其简单电路	333
一 交流电概述	333
二 交流电路中的基本元件	334
三 简单交流电路的矢量图解法	336
§ 13-3 交流电路的复数解法	340
一 交流电的复数表示法	340
二 交流电路的基尔霍夫方程组及其复数形式	341
§ 13-4 交流电的功率	342

一 瞬时功率和平均功率	342
二 功率因数	343
§ 13 - 5 共振电路	345
一 串联共振电路	345
二 共振电路的品质因数	347
*三 并联共振电路	348
习题	349
第十四章 电磁场和电磁波	353
§ 14 - 1 位移电流	353
一 电磁场的基本规律	353
二 位移电流	354
三 安培环路定理的普遍形式	355
§ 14 - 2 麦克斯韦方程组和边界条件	357
一 麦克斯韦方程组	357
*二 电磁场的边界条件	358
§ 14 - 3 电磁波	359
一 自由空间中的电磁波和平面电磁波	359
二 电磁波的辐射	363
三 电磁波谱	367
§ 14 - 4 电磁场的能量和动量	368
一 电磁场的能量密度和能流密度	368
二 电磁场的动量	371
三 电磁场是物质的一种形态	372
习题	373
附录 A 物理常量和数据	375
附录 A.1 基本物理常量(2002 年国际推荐值)	375
附录 A.2 保留单位和标准值	375
附录 A.3 太阳系的基本数据(I)	376
附录 A.4 太阳系的基本数据(II)	376
附录 B 复数	377
附录 C 矢量	378
附录 D 矢量场的散度和旋度	381
附录 E 正交曲线坐标系	384
参考文献	386

绪 论

§ 1 物理学的意义

物理学是研究物质、能量和它们的相互作用的学科^①，或者说，物理学是研究物质的基本结构、基本运动形式和相互作用的自然科学。它的基本理论渗透在自然科学的各个领域，应用于生产技术的许多部门，是其他自然科学和工程技术的基础^②。

物理学领域包含的尺度从小到**质子**(proton)的半径 10^{-15} m，直到目前可探测到的最远的**类星体**(quasar)的距离 10^{26} m；包含的时间从短到 10^{-25} s的最不稳定粒子的寿命，直到长达 10^{39} s的质子的寿命。研究包含如此广泛范围的物理现象，发明为观测自然界所需要的更为有效的实验工具，创立使我们能够解释已经观测到的物理现象的理论，这些就是物理学的目标和成就。

物理学是一切自然科学的基础。物理学所研究的粒子，构成了蛋白质、基因、器官、生物体、陆地、海洋和大气等一切人造的和天然物质。在这个意义上，物理学构成了化学、生物学、材料科学和地球物理学等学科的基础，物理学的基本概念和技术被应用到了所有的自然科学。在这些学科和物理学之间的边缘领域中，形成了一系列新的分支学科和交叉学科，从而促使自然科学更加迅速地发展。

从古希腊的自然哲学算起，物理学的发展已经有了 2 600 多年的历史。物理学真正成为一门精密的科学，却是从 1687 年牛顿(I. Newton, 1643—1727)发表《自然哲学的数学原理》才开始的。在历史上，人们在实践中首先观察到的是宏观的物体和现象，对它们的研究导致了经典物理学的诞生和发展。到 19 世纪后期，力学、热学、电磁学和光学等经典物理学已经建立了比较完整的理论体系，并取得了巨大的成功；同时，物理学研究开始进入了微观世界领域，并对高速运动现象，特别是光的传播和干涉现象进行了精密的研究，经典物理学的局限性也开始显露了出来。

① 1999 年 3 月召开的第 23 届国际纯粹与应用物理联合会(International Union of Pure and Applied Physics, IUPAP)代表大会通过的决议。决议还指出：物理学是一项国际事业，它对人类未来的进步起着关键的作用。2004 年 6 月 10 日，联合国大会通过决议，正式宣布 2005 年为“国际物理年”(International Year of Physics)。

② 教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会颁发的《非物理类理工科大学物理课程教学基本要求》。

20 世纪初, 普朗克(M. Planck, 1858—1947)的量子论和爱因斯坦(A. Einstein, 1879—1955)的相对论开辟了近代科学的新纪元, 物理学成了自然科学的先驱. 这些崭新的观念从根本上改变了人类的自然观, 引发了 20 世纪物理学的革命, 对化学、生物学、地学、天文学等自然科学学科产生了重要影响, 导致量子化学、分子生物学等交叉学科的建立, 极大地推动了材料、能源、环境、信息等技术科学的进步. 物理学的基础研究, 正在微观、宏观和宇观三个尺度上深入展开; 而物理学的应用研究, 则以多学科交叉结合的方式向更为广阔的基础学科和技术领域迅速扩展^①.

物理学发展着未来技术进步所需的基本知识, 而技术进步将持续驱动着世界经济发动机的运转, 广泛而直接地影响了社会生产和生活的各个方面. 18 世纪 60 年代开始的第一次技术革命, 主要的标志是蒸汽机的广泛应用, 它是牛顿力学和热力学发展的结果. 19 世纪 70 年代开始的第二次技术革命, 主要的标志是电力的广泛应用和无线电通讯的实现, 它是电磁学发展的结果. 20 世纪 40 年代兴起并一直延续到今天的第三次技术革命, 是近代物理学发展的结果, 它的特点是出现了一系列新技术和高技术, 并在此基础上创造了一系列的新产品和新装置, 彻底地改变了人类的生产和生活方式.

§ 2 物质和相互作用

一 宇宙学的标准模型

太阳系(solar system)是人们认识最早和了解最多的天体系统, 它由太阳(sun)、九大行星(planet)、六十多颗卫星(satellite)、几十万颗小行星以及彗星(comet)、流星(meteor)和星际物质(interstellar matter)组成, 太阳系的范围约为 10^{13} m. **银河系(Milky Way Galaxy)**是由包括太阳在内的两千多亿颗恒星组成的星系(galaxy), 直径约为 10^{21} m. 由银河系、仙女星系(Andromeda Galaxy)以及四十多个小星系组成的星系群(group of galaxies), 称为**本星系群(local group of galaxies)**, 它的范围约为 3×10^{22} m. 此外, 还有由数千个星系组成的星系团(cluster of galaxies). 由本星系群、室女座(astron)星系团、大熊星系团(Ursa Major Cluster)以及五十来个较小的星系团和星系群组成的超星系团(super cluster), 称为**本超星系团(local super-cluster)**, 其范围约为 10^{24} m. 现在, 对宇宙的观测范围约为 10^{26} m, 已发现十几个超星系团.

^① 2005 年中国物理学会印制的《推动人类文明与进步的物理学——纪念世界物理年系列图片》.