



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

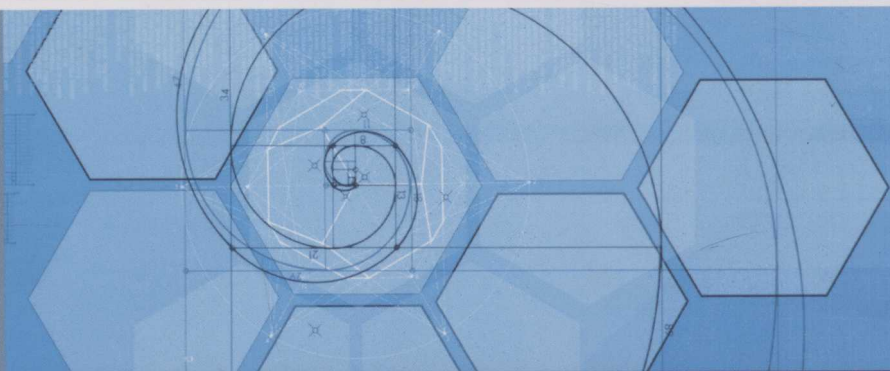


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

基础物理学

(第二版) 上册

Fundamental
Physics



蔡怀新 李洪芳 梁励芬 陈暨耀 原著

陈暨耀 改编



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“十一五”国家级规划教材

基础物理学

(第二版) 上册



蔡怀新 李洪芳 梁励芬 陈暨耀 原著

陈暨耀 改编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书第一版是教育部“面向 21 世纪教学内容和课程体系改革研究项目——理科非物理类专业基础物理内容和课程体系研究”的成果,是面向 21 世纪课程教材。经过多年教学实践的检验,被列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材,并作了全面的修订。

本书在体系和内容方面进行了改革,全书不仅将近代物理的基础理论适当提前至上册,使得在课程的较多部分运用近代物理的概念和方法进行阐释,而且在经典物理的各个部分,结合近代物理的概念、理论和思想方法,介绍了经典物理在前沿学科和高新科学技术中的广泛应用,既体现了经典物理内容的现代化,又切实有效地加强了基础,同时又注意适应现代社会和学科发展的要求。

本书上册主要内容为质点运动与牛顿定律、狭义相对论的时空观、守恒定律(一)、守恒定律(二)、弹性体与流体、振动、波、波粒二象性、薛定谔方程、原子结构等 10 章。下册主要内容为静电场、磁场、电磁感应和电磁场、交流电、电磁波、光通过各向同性介质及其边界时的传播、干涉和衍射、光在各向异性介质中的传播、气体分子动理论、热力学、物态与相等 11 章。本册为上册。

本书可作为高等学校非物理类专业基础物理课程的教材,也可供其他专业的师生及科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基础物理学.上册/蔡怀新等原著;陈暨耀改编. —2

版. —北京:高等教育出版社,2012.6

ISBN 978-7-04-034684-8

I. ①基… II. ①蔡…②陈… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 037776 号

策划编辑	王 硕	责任编辑	张海雁	封面设计	杨立新	版式设计	于 健
插图绘制	尹 莉	责任校对	金 辉	责任印制	张福涛		

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 100120
印 刷 北京市白帆印务有限公司
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 24
字 数 430 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2003 年 7 月第 1 版
2012 年 6 月第 2 版
印 次 2012 年 6 月第 1 次印刷
定 价 37.30 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 34684-00

第二版序

本书(《基础物理学》上册、下册)第一版是教育部“面向 21 世纪教学内容和课程体系改革研究项目——理科非物理类专业基础物理教学内容和课程体系研究”的成果,是面向 21 世纪课程教材。本书的前身是蔡怀新主编的《物理学》(上册、中册、下册)(第一版由高等教育出版社于 1980 年出版,第二版由高等教育出版社于 1985 年出版)。

从《物理学》(上册、中册、下册)到《基础物理学》(上册、下册)(第一版),对象均为理科院校非物理类专业的学生,因为非物理类专业的课程设置中少有后继的物理课程,故这套教材中应包含所有最基本的物理内容(即经典物理与近代物理两部分),尤其为能全面地介绍物理学的发展过程及使课程有现代感,近代物理的内容是必不可缺的。因此在本书第一版的编写中,我们力图将近代物理的内容有机地糅合进经典物理之中,提前介绍近代物理的内容,具体的做法是将狭义相对论的运动学与动力学内容分别渗入经典物理的运动学与动力学中去;而在动力学内容之后讨论振动与波,在有了波的概念后,立即转入波粒二象性引入近代物理波动力学,这样在经典力学之后便引入了近代物理的基本内容,对原有的体系(近代物理放在经典物理之后的历史传统)作了较大的变更。

按照上述新的思路,对本书的前身作了较大的改动并于 1998 年形成讲义,最终于 2003 年出版本书的第一版。笔者从 1998 年起用本书的前身讲义及本书第一版在复旦大学生命科学院讲授物理学至今,经过十余年的实践,已积累了不少得与失的体会,现又对第一版进行全面的修订。这次修订的内容主要体现在以下几个方面:

(1) 十余年的教学实践证明,新的(近代物理提前)内容体系是成功的。非物理类专业(如生物专业)的学生完全可以提前接受近代物理的概念及内容,并由此大大增加了学习物理的兴趣。这样的体系安排也为更好地理解后续的经典物理中的一些内容提供了坚实的基础,如学习量子力学中的隧道效应可以对电磁学中介绍的扫描隧穿显微镜给出完满的解释;又如由于较早地建立了原子能级的概念,在光学中介绍激光原理时便有了水到渠成之感。因此在这次修订中,此内容体系被完全保留。

(2) 在本书第一版的编写中,本着教材现代化的考虑及与研究前沿接轨的思路,开了很多与现代研究相关的“窗口”内容,但这样一来使教材显得臃肿庞

大。实践证明学生基本无暇顾及这些“窗口”内容,尤其是处于当今知识量迅速增长的年代。在这次修订中,本着少而精的原则,对这些内容进行了整理,而且对全书进行了精简,大约删去了30%左右的内容,使之更适用于两学期的基础物理教学。

(3) 在本书的第一版中,对热力学作了较大的变动,将统计物理的部分概念与气体分子动理论进行了全新的组合,而且放在热力学内容之后。虽然出发点是想让学生理解一些统计物理的概念,但实践效果显示欲速则不达,很多学生在学习这部分内容时颇感困难。因此在这次修订中将热力学部分仍按传统的体系,先介绍气体分子动理论,然后再介绍热力学的两个定律。一本教材的适用与否,只有通过大量的教学实践检验,不断地修正不妥之处,才能逐步完善。

(4) 在本书的第一版中,为了精简传统的内容,将电磁学部分作了过量的压缩,这也被实践证明是不妥当的。因为电磁学的内容非但体现在本身是继牛顿力学后第二个物理高峰,而且是整个光学的理论基础。所以在这次修订中增加了必要的内容,以保持电磁学的系统性与完整性。

本书的第一版由四位教师分头编写部分章节,因此在全书的连接及统筹上难免会有不顺之处。现改编者全面统筹改编此书,望能使本书的第二版更为通顺,各章节的连接更为紧密。但此次修订,因投入时间有限,再加上作者认识理解的局限性,难免有错误及疏漏,欢迎读者发现后及时批评及指正。

陈璧耀

2012年2月于复旦大学

目 录

绪论	1
§ 1 物理学研究的对象	1
一、物质与运动	1
二、自然界物质的层次结构	1
三、物质间的基本相互作用	3
§ 2 物理学发展简史	4
一、物理学的萌芽	4
二、经典物理学的建立和完善	5
三、近代物理的产生和发展	8
§ 3 物理学对社会进步和科技发展的作用	9
第一章 质点的运动与牛顿定律	12
§ 1.1 质点和质点的运动	12
一、质点	12
二、长度和时间的测量基准	12
三、参考系和坐标系	13
四、位矢	14
五、位移	15
六、速度	16
七、加速度	17
八、速度、加速度的分量式(一)	17
九、角速度	18
十、速度、加速度的分量式(二)	19
十一、相对运动	21
十二、例题	22
§ 1.2 牛顿运动定律	26
一、牛顿运动定律	26
二、惯性运动和加速运动	26

三、惯性参考系	26
四、质量和力	27
五、作用和反作用	29
六、几种常见的力	29
七、惯性力	33
八、量纲	35
九、例题	37
§ 1.3 伽利略相对性原理	42
思考题	44
习题	46
第二章 狭义相对论的时空概念	52
§ 2.1 爱因斯坦的基本假设	52
一、牛顿力学的时空性质	53
二、爱因斯坦的基本假设和洛伦兹变换	54
§ 2.2 洛伦兹变换和相对论时空性质	56
一、同时的相对性	57
二、长度的收缩	58
三、时间的延缓	58
四、速度变换	60
* 五、四维时空	61
六、例题	62
思考题	65
习题	66
第三章 守恒定律(一)	68
§ 3.1 动量和动量守恒	68
一、动量和动量定理	68
二、一对质点的动量守恒	69
三、质点系	69
四、质心	71
五、例题	72
§ 3.2 功与能 机械能守恒	74
一、功	74

二、动能	76
三、势能和保守力	77
四、几种保守力和非保守力	80
五、质点系的势能	83
六、机械能和机械能守恒	84
七、势能曲线	86
§ 3.3 粒子碰撞 守恒定律应用举例	88
一、弹性正碰和斜碰	89
二、反应	91
三、质心参考系	91
四、守恒定律应用举例	94
§ 3.4 相对论的质量、动量和能量	97
一、相对论的动量-速度关系	97
二、相对论的质量-能量关系	99
三、例题	104
思考题	105
习题	108
第四章 守恒定律(二)	116
§ 4.1 角动量和角动量守恒	116
一、力矩	116
二、角动量定理	118
三、角动量守恒	121
* § 4.2 行星运动	123
一、用有效势能解行星运动问题	123
二、约化质量	127
三、例题	128
* § 4.3 卢瑟福 α 粒子散射	130
一、两种原子模型	130
二、 α 粒子的散射过程	131
§ 4.4 刚体运动	133
一、刚体的运动	133
二、刚体的动力学	135
三、例题	141

§ 4.5 守恒与对称	143
思考题	145
习题	147
第五章 弹性体和流体	153
§ 5.1 固体的弹性	153
一、弹性体与流体	153
二、应力和应变	154
三、应力-应变曲线	156
§ 5.2 流体的运动	156
一、流体运动的描述	156
二、连续性方程	157
三、伯努利方程	159
四、实际流体	161
五、例题	164
思考题	165
习题	167
第六章 振动	171
§ 6.1 简谐振动	171
一、弹簧振子	171
二、简谐振动的特征量	173
三、简谐振动的其他表示法	174
四、简谐振动的能量	176
五、线性谐振子	177
六、几个例子	178
七、简谐振动的一般特征	181
八、微振动	182
九、例题	184
§ 6.2 振动的合成和分解	186
一、同方向同频率的简谐振动的合成	186
二、同方向不同频率的两个简谐振动的合成	187
三、两个相互垂直的同频率的简谐振动的合成	188
四、两个相互垂直的不同频率的简谐振动的合成 李萨如图形	190

五、振动的分解	190
§ 6.3 阻尼振动	192
一、阻尼振动方程	193
二、阻尼振动方程的解	193
三、品质因数	195
§ 6.4 受迫振动	195
一、受迫振动方程	196
二、稳态解的振幅、相位与驱动力频率的关系 共振	196
三、共振峰的锐度	197
四、隔振	198
思考题	199
习题	201
第七章 波	204
§ 7.1 机械波	204
§ 7.2 简谐波	205
一、简谐波	205
二、波长、频率和波速	206
三、波的几何描述	207
四、简谐波的数学表示	208
五、波矢和三维空间简谐波的数学表示	210
六、例题	211
§ 7.3 波的产生和传播	212
一、波动方程	212
二、波速	214
三、波的能量	215
四、能流密度	217
五、地震震级和烈度	219
§ 7.4 声波与电磁波	220
一、声波	220
二、电磁波	223
三、例题	224
§ 7.5 惠更斯原理 波的衍射、反射和折射	226
一、惠更斯原理	226

二、波的衍射	227
三、波的反射和折射定律	228
§ 7.6 波的叠加 驻波	229
一、波的叠加原理	229
二、驻波	229
三、简正模式	232
四、例题	234
§ 7.7 波包	235
一、相速度和群速度	235
* 二、波包	237
* 三、色散	240
* 四、孤波	241
§ 7.8 多普勒效应	243
一、声音的多普勒效应	243
二、光的多普勒效应	245
三、哈勃关系	247
四、例题	247
思考题	248
习题	249
第八章 波粒二象性	252
§ 8.1 黑体辐射与能量量子化	252
§ 8.2 光的粒子性	256
一、光电效应	256
二、康普顿效应	260
三、电磁辐射具有粒子性的其他著名实验	264
四、例题	265
§ 8.3 实物粒子的波动性	267
一、德布罗意假设	268
二、物质波的实验验证	268
三、粒子波动性的应用	269
四、例题	269
§ 8.4 波函数的统计解释	270
一、概率的一些基本概念	271

二、物质波的概率解释	273
三、电子和光子的双缝衍射	274
§ 8.5 不确定关系	275
一、不确定关系	275
二、例题	278
思考题	279
习题	280
第九章 薛定谔方程	282
§ 9.1 薛定谔方程	282
一、波函数的一些性质	282
二、自由粒子的波函数	283
三、态叠加原理	284
四、薛定谔方程	285
§ 9.2 定态薛定谔方程	287
一、定态薛定谔方程	287
二、本征方程和本征值	288
三、本征函数的标准条件	289
四、定态波函数的一些性质	289
§ 9.3 一维无限深势阱	290
一、薛定谔方程	290
二、能级	293
三、波函数	294
四、宇称	296
五、例题	297
* § 9.4 一维线性谐振子	298
一、经典的一维谐振子	298
二、量子力学的一维线性谐振子	298
三、谐振子的能量	299
四、波函数和概率密度	301
§ 9.5 势垒贯穿与隧道效应	301
一、经典力学中的势垒问题	301
二、一维方势垒的薛定谔方程	302
三、波函数和概率密度函数	303

* 四、隧道效应应用举例	305
思考题	306
习题	306
第十章 原子结构	308
§ 10.1 氢原子光谱和玻尔模型	308
一、原子的核型结构	308
二、氢原子光谱	310
三、玻尔模型的量子理论	313
四、玻尔的氢原子模型和量子化	314
五、氢原子量子化条件和圆运动参量	315
六、例题	320
§ 10.2 粒子在中心势场中的运动	321
一、薛定谔方程	321
二、角动量算符 $\hat{L}_z$ 和 $\hat{L}^2$ 的本征值和本征函数	322
§ 10.3 氢原子的能级	325
一、薛定谔方程	325
二、定态波函数	327
三、能级和简并	328
四、概率密度和概率分布函数	329
五、类氢离子的能级	332
六、能级跃迁及选择定则	333
§ 10.4 磁场中的原子	334
一、轨道磁矩	334
二、塞曼效应	335
三、施特恩-格拉赫实验	338
§ 10.5 电子自旋	339
一、谱线的精细结构	339
二、电子自旋	339
三、自旋角动量算符的本征函数	340
四、氢原子的定态波函数	341
五、自旋和轨道磁矩之间的相互作用	341
六、原子的总角动量	342
七、磁共振	343

§ 10.6 原子壳层结构与元素周期表	345
一、单电子近似	345
二、元素周期律与原子壳层结构	345
三、各个元素的原子壳层结构——元素周期表	350
四、泡利不相容原理的说明	355
§ 10.7 分子	356
一、化学键	356
二、分子能级和分子光谱	359
思考题	363
习题	363
附录	365
基本物理常量	365
一些常用单位的换算因子	366

绪 论

5.1 物理学研究的对象

一、物质与运动

我们人类赖以生存活动的自然界,是一个无限广阔、无限深邃、变化多端、丰富多彩的物质世界.所谓物质,就是宇宙中存在的客观事物.大至日月星辰、星系和星系团,小至灰尘微粒,分子、原子,轻子、夸克以及各种“场”(电磁场、引力场等),都是物质.

自然界一切物质都处在运动、变化和发展之中,例如天体的运动与演化、生物的生长与发育、物种的进化与演变、分子的化合与分解、基本粒子的衰变与转化、人脑的思维等.正如恩格斯所说:“运动,就它被理解为存在的方式,被理解为物质的固有属性这一最一般的意义来说,囊括宇宙中发生的一切变化和过程,从单纯的位置变动起直到思维.”

物质的运动是多种多样的,它们既有共同的本质,遵循共同的普遍原理,又有各自特殊的属性,并服从不同的规律.对各种不同形式运动的研究,形成了自然科学中的不同分支和学科.

物理学所研究的运动,是物质运动中最简单、最基本的运动形式.它包括机械运动(物体位置的移动)、热运动(大量原子、分子的无规运动)、电磁运动(电磁场的变化与运动)、原子和原子核的运动(原子中电子和核子的运动和转化)以及基本粒子的运动(相互作用和转化)等.

自然界中的其他运动形式,一般都比物理学研究的运动高级和复杂,如化学、生物、思维活动等.但它们普遍地包含着各种形式的物理运动,而且都以物理运动为基础.因此物理学所研究的物质运动形式是最普遍,也是最基本和重要的运动形式,其运动规律具有极大的普遍性,因而长期以来物理学是一切自然科学的基础.

二、自然界物质的层次结构

构成自然界物质的多样性和复杂性,除反映在其运动形式上外,还表现在基

本存在方式上. 世界上形形色色的物质, 就其空间形态而言可分为“实物”和“场”两种类型, 各种类型的物体都是由少数几个所谓基本粒子构成的, 以这些粒子作“砖块”、场作为“水泥”建成自然界中大小不一、千差万别的各种物体, 即从“基本”粒子到宇宙天体. 图 0.1-1 给出了物质世界中一些典型物体的空间尺度. 以人为标准, 向尺度大的物体方向看, 有地球、太阳系、银河系……向尺度小的物体方向看, 有分子、原子、原子核……它们的线度每相差几个数量级就构成一个物质层次, 而在每个层次上的各个物体, 它们的空间尺度相差不多, 构成一个系统. 如地球上的各种物体, 汽车、轮船、飞机、卫星、飞船及各种生物等, 它们都在地球表面或空间以地球为中心, 绕地球运动; 而地球作为太阳系的一员, 和其他七大行星一起, 以太阳为中心, 绕太阳运动, 并构成太阳系. 从更大的范围

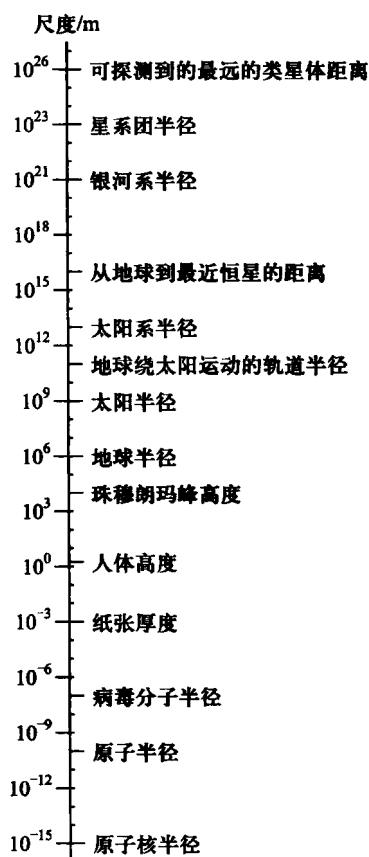


图 0.1-1 宏观世界和微观世界的尺度标尺

标度是按对数值画出的, 1 格间距相当于相差 1 000 倍

看,太阳系又是银河系的一个成员,银河系中包含千亿个太阳系,太阳系绕银河系的中心旋转着.而我们看来十分庞大的银河系,也只是星系团的一个小部分,它绕星系团的某个中心转动……从小的物体来看,任何微粒尘埃都是大量原子、分子构成的,这些原子、分子都在作无规运动.而任何原子都由原子核和绕核运动的电子构成,原子的结构与太阳系的构造在形式上十分相似;原子核又由质子和中子组成.世界上各种不同的物体都由相同的质子、中子和电子组成.现在已经知道质子和中子都由更基本的粒子夸克和胶子组成.由此可见整个物质世界就是由大小不同的各种系统构成的,每个系统组成一个层次,它们层层相套,构成一个统一而多样、变化而有序的世界.

研究不同层次的物质的结构和运动,就成为各门自然科学的任务.而物理学是研究物质基本结构的一门科学.

三、物质间的基本相互作用

物质世界虽然结构上纷繁多姿、运动形式上变化多端,但它们间的相互作用却只有四种基本形式,如表 0.1-1 所示.其中强相互作用最强,引力相互作用最弱,它们相差达 10^{38} 倍,也就是相差 38 个数量级.强相互作用和弱相互作用都是短程相互作用,它们只能在原子核半径以下的范围内起作用.引力相互作用虽是长程作用,但因其弱,所以在原子、分子及质量较小物体范围不起作用,而可忽略;但它在天体运动中是主要因素.电磁作用范围较大,强度也不小,所以无论在原子、分子还是一般物体的尺度内它都起着重要作用,它是许多复杂作用(如原子、分子、电磁系统相互作用)的基础.

表 0.1-1 四种基本形式的相互作用

类型	相对强度	作用距离
强相互作用	约 10^2	短(10^{-15} m)
电磁相互作用	1	长
弱相互作用	约 10^{-11}	短(10^{-18} m)
引力相互作用	约 10^{-36}	长

物体之间的相互作用是物体运动状态发生变化的根本原因.物体之间的各种相互作用都是以上述四种基本相互作用为基础形成的.也可以说,物质世界的统一性来源于物质相互作用的统一性.

物理学的一个基本任务就是研究物质运动的这几种基本相互作用,研究它们的规律,研究它们对物质运动和物质结构的作用和影响.