



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理教程 (第二版)

下 册

廖耀发 主 编

陈义万 李云宝 徐滔滔 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理教程 (第二版)

Daxue Wuli Jiaocheng

下 册

廖耀发 主 编

陈义万 李云宝 徐滔滔 副主编



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

内容简介

本书根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版)的精神,吸收了近年来编者所取得的教学研究成果,保持了编者过去所写教材的特色,借鉴了鄂、桂、津部分大学物理教师的教学经验,采纳了鄂、桂、津、皖部分高校的使用意见,在此基础上加工整理,改编而成。

本书分上、下两册,上册内容包括力学、狭义相对论基础和电磁学三大部分;下册包括热学、振动与波、光学、量子物理学基础以及分子与固体、核物理学与粒子物理学、天体物理学与宇宙学、现代科学与高新技术的物理基础专题选讲等部分。各部分均按“保证基础、加强近代、联系实际、方便教学”的原则进行选材,并注意突出物理思维方法。

为了方便教学,编者精选了全书的例题、习题和阅读材料,并将部分内容打上了*号,以适应不同的教学要求。该教材配套的还有《大学物理教程(第二版)学习指导》(另书出版),主要包括目的要求、内容提要、重点难点、方法技巧、习题解答、自我检测等内容,以减轻学生的学习压力。

本书可作为高等学校理工科各专业的大学物理课程教材,也可供相关科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理教程. 下册/廖耀发主编. -- 2版 -- 北京: 高等教育出版社, 2011.6
ISBN 978-7-04-034233-8

I. ①大… II. ①廖… 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 (2011) 第 273039 号

策划编辑 高 建	责任编辑 马天魁	封面设计 赵 阳	版式设计 杜微言
插图绘制 尹 莉	责任校对 俞声佳	责任印制 尤 静	

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 大厂益利印刷有限公司
开 本 787 mm × 960 mm 1/16
印 张 25.25
字 数 460 千字
插 页 1
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
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>
版 次 2006 年 1 月第 1 版
2011 年 6 月第 2 版
印 次 2011 年 6 月第 1 次印刷
定 价 36.00 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 34233-00

第二版前言

本书第一版自 2006 年 1 月面世以来, 已经过 5 年多的试用。期间, 我国的高等教育及科学技术事业均有较大的发展, 对大学理工科人才的培养亦有较高、较新的要求; 期间, 我们承担了全国教育科学“十一五”规划课题“我国应用型人才培养模式研究”的子课题——“在培养应用型人才模式下大学物理教学改革的研究与实践”, 从中悟出了必须进行适度改革的道理; 期间, 很多使用本书的老师在充分肯定第一版所取得成就的同时, 也提出了不少改进的建议。在这样的形势下, 我们认为, 对《大学物理教程》第一版进行适度的修订是非常必要的。

本次修改主要在如下几个方面进行了修改:

1. 将第一版中的“温度 热力学第零定律”及“气体动理论”两章合并成“气体动理论”一章, 并进行了适当的整合与提高;
2. 将“几何光学”一章更名为“光的直线传播”, 置于“光的偏振”之后;
3. 在“刚体的定轴转动”一章中加强了角动量的概念, 并将它贯穿全章内容中;
4. 对于全书的例题、习题, 本着“数量适当, 难易适中”的原则进行了整合, 并注意突出物理思想及方法, 起到“举一反三”的作用;
5. 适当地增加了一些物理学史及物理小常识的内容, 以开拓视野, 教书育人;
6. 从培养应用型人才的视野出发, 重新审视了各章的内容, 适度地增加了一些联系实际的内容。

本次修订由廖耀发任主编, 孙向阳、李云宝、别业广任上册副主编, 陈义万、李云宝、徐滔滔任下册副主编。参与修订的学校及人员有湖北工业大学廖耀发、陈义万、别业广、阎旭东、徐国旺、陈之宜; 武汉科技大学李云宝、李钰、周怡、李新、张立刚; 武汉工业学院孙向阳、徐滔滔、董长缨、谢柏林; 武汉大学梁荫中; 广西工学院申文光; 深圳职业技术学院陈琪莎 (插图)。

本次修订由武汉大学梁荫中教授担任主审。梁教授非常认真细致地审阅了全部书稿,并提出了很多极好的修订建议。特此致谢!

由于水平有限,书中肯定还有不少错误与不妥之处,诚望读者批评指正,不胜感谢!

编者

2011 年 8 月

第一版前言

本书由湖北、广西、天津三地高校部分物理老师,根据教育部“理工科非物理类专业大学物理课程教学基本要求(讨论稿)”精神编写而成。在编写过程中,既注意了保持过去所编教材(廖耀发,邓远霖,吴参,李坤仲,沈霖生,潘超英等,《大学物理学》,华工版,1988年;廖耀发,孙端清,郑树文,梁荫中,陶作花等,《大学物理教程》,武测版,1992年;廖耀发,张立刚,张兆国,田旭,李长真等,《大学物理》,武大版,2000年)的特色,同时又注意广泛吸收国内外同类教材的优点和部分教师的先进教学经验,以使新编教材更加适应当前的大学物理教学要求。

本教材的编写原则是“保证基础,加强近代,联系实际,方便教学”。按此原则,我们重构了本教材的内容及体系,并适当提高了力学部分的教学起点,减少了与中学物理不必要的重复,选编了一定数量的阅读材料,突出了物理思想及方法,增加了部分物理学史及物理学家的介绍。我们认为,这些内容对于扩大知识面,激发学生学习物理的兴趣是非常有益的。

“加强近代,联系实际”是大学物理教材改革的永恒主题。问题是如何操作才能获得更好的效果,尚需不断进行探讨。^{①②}我们认为,关键是要掌握好一个“度”字。本教材就是本着这样的精神来处理上述问题的。是否可行,尚需日后实践来检验。

本教程分上、下两册出版。上册包括力学、狭义相对论基础和电磁学三大部分,下册包括热学、振动与波、光学、量子物理学基础、分子与固体、核物理学与粒子物理学、天体物理学与宇宙学以及现代科学与高新技术的物理基础专题选讲等部分,以使读者能对物理学有一大致的了解。

考虑到不同专业对物理要求的侧重及教学时数均有不同,因此,对于一些非核心内容我们打上了“*”号,仅供选择参考。它们大多自成体系,纵使跳过不讲,

① 参见:廖耀发. 工科物理教学现代化的认识与实践. 教学与教材研究, 1996 (1)

② 参见:廖耀发,余守宪. 工科物理教材应有特点的探讨. 工科物理, 1996 (2)

也不会对全书的完整性构成太大影响。

本书由廖耀发任主编,张立刚、阎旭东、孙向阳、申文光任副主编,参加编写的单位及人员有湖北工业大学廖耀发、阎旭东、陈义万、徐国旺、别业广、陈之宜;武汉科技大学张立刚、周怡、熊祖钊、李云宝、李钰;武汉工业学院孙向阳、徐滔滔、董长缨;广西工学院申文光;天津理工大学王喆、丁士连;武汉大学梁荫中;武汉理工大学田旭、张兆国、李建青、赵中云、余利华、陶作花;三峡大学王大智;深圳职业技术学院陈琪莎(插图)。

本书由北京交通大学余守宪先生担任主审。余先生不仅仔细地审阅了全部书稿,而且对很多具体内容都提出了极好的修改意见,为本书特色的形成和质量提高起了极大的作用。

由于编者水平所限,书中不妥及错误之处在所难免,敬请广大读者批评指教,不胜感激。

编者

2005年8月

在引力场可以忽略的情况下, 当 $dv \rightarrow 0$ 时, 球壳内的分子 (质量为 m) 能量

$$E_i = E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

注意到玻耳兹曼能量分布律 $n_i = Ae^{-E_i/2kT}$ [参见式 (16.11)] 则可得到球壳内的分子数

$$dN = n_i dv = Ae^{-\frac{mv^2}{2kT}} 4\pi v^2 dv \quad (1)$$

于是, 整个速率空间的分子总数

$$N = \int dN = \int_0^\infty 4\pi Ae^{-\frac{mv^2}{2kT}} v^2 dv \quad (2)$$

令 $x = v, \alpha = \frac{m}{2kT}$ 作积分变量变换, 并注意到积分公式

$$\int_0^\infty x^2 e^{-\alpha x^2} dx = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\pi}{\alpha^3}}$$

由式 (2) 得

$$A = N \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2}$$

将之代入式 (1), 得

$$dN = 4\pi N \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} v^2 dv$$

即

$$\frac{dN}{N} = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} v^2 dv$$

*16.5.4 麦克斯韦速率分布律的实验验证

由于技术条件的限制, 用实验直接验证麦克斯韦速率分布律的工作在 20 世纪 20 年代以后才开始进行. 1920 年, 施特恩曾用银分子做实验, 定性地验证了麦克斯韦速率分布律: 大部分分子都处于某一速率 (最概然速率) 附近, 大于或小于这一速率的分子数目是较少的. 1934 年, 我国物理学家葛正权教授对施特恩实验进行了改进, 使实验结果与麦克斯韦速率分布律的理论较好地符合, 从而定量地验证了麦克斯韦速率分布律.

16.6 气体分子的平均碰撞频率和平均自由程

16.6.1 气体分子热运动的图像

据式 (16.15) 可以算出, 气体分子在常温下将以几百米每秒的平均速率运动. 而经验告诉我们, 打开香水瓶后, 香气要经过几秒到几十秒时间才传过几米的距

*16.5.4 麦克斯韦速率分布律的实验验证	22
16.6 气体分子的平均碰撞频率和平均自由程	22
16.6.1 气体分子热运动的图像	22
16.6.2 气体分子的平均碰撞频率与平均自由程	23
*16.6.3 $\bar{u} = \sqrt{2}\bar{v}$ 的证明	25
*16.7 气体内部的输运现象	25
16.7.1 黏性现象	26
16.7.2 热传导现象	26
16.7.3 扩散现象	27
*16.8 范德瓦耳斯方程	28
思考题与习题	30
阅读材料 布朗运动及其应用	33
第十七章 热力学第一定律	36
17.1 热力学第一定律	36
17.1.1 内能、功与热量	36
17.1.2 热力学第一定律	38
17.2 等体、等压与等温过程	40
17.2.1 等体过程	40
17.2.2 等压过程	41
17.2.3 等温过程	43
17.3 绝热过程与多方过程	45
17.3.1 绝热过程	45
*17.3.2 多方过程	47
17.4 循环过程与卡诺循环	49
17.4.1 循环过程	49
17.4.2 卡诺循环	51
思考题与习题	53
阅读材料 能量守恒定律的建立	57
第十八章 热力学第二定律	59
18.1 可逆过程与不可逆过程	59
18.1.1 宏观过程的方向性	59
18.1.2 可逆过程与不可逆过程	60

18.2	热力学第二定律	60
18.2.1	热力学第二定律的两种表述	60
*18.2.2	两种表述的等价性	61
18.2.3	热力学第二定律的实质	62
18.2.4	热力学第二定律的统计意义	63
18.3	熵与熵增加原理	64
18.3.1	熵的概念 玻耳兹曼关系式	64
18.3.2	熵增加原理	65
*18.3.3	等温过程中 $\frac{\Omega_2}{\Omega_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^N$ 的证明	67
*18.3.4	熵变的计算	67
*18.4	熵概念的泛化与应用	68
18.4.1	信息与熵	68
18.4.2	能量与熵	70
18.4.3	生命与熵	70
	思考题与习题	71
	阅读材料 耗散结构	72

第四篇 振动与波

第十九章	机械振动	77
19.1	简谐振动的特征	77
19.1.1	简谐振动的运动学特征	77
19.1.2	简谐振动的动力学特征	78
19.2	简谐振动的描述	80
19.2.1	简谐振动的解析描述 —— 描述简谐振动的物理量	80
19.2.2	简谐振动的几何描述 —— 旋转矢量法	83
19.3	简谐振动的能量	86
19.4	简谐振动的合成	88
19.4.1	两个同方向、同频率的简谐振动的合成	88
*19.4.2	两个同方向、不同频率的简谐振动的合成 拍	91
*19.4.3	两个相互垂直、频率相同或为整数比的简谐振动的合成	93
*19.5	阻尼振动 受迫振动 共振	95
19.5.1	阻尼振动	95

19.5.2 受迫振动 共振	97
*19.6 非线性振动与混沌	98
19.6.1 非线性振动	98
19.6.2 混沌	100
思考题与习题	101
阅读材料 共振的利弊	105
第二十章 机械波	107
20.1 机械波的基本概念	107
20.1.1 机械波的产生条件	107
20.1.2 横波与纵波	108
20.1.3 波线与波面	109
20.1.4 波长、周期、频率与波速	109
20.2 平面简谐波的波函数	110
20.2.1 波函数的概念及其表达式	110
20.2.2 波函数的物理意义	111
20.2.3 波函数的求解	112
20.3 波的能量与能流	114
20.3.1 波的能量	114
20.3.2 波的能流	115
20.4 波的衍射	116
20.4.1 惠更斯原理	116
20.4.2 波的衍射	118
20.5 波的干涉	118
20.5.1 波的叠加原理	118
20.5.2 波的干涉	119
20.6 驻波 相位突变 (半波损失)	121
20.6.1 驻波	121
20.6.2 相位突变 (半波损失)	123
20.7 多普勒效应	124
*20.8 声波	127
20.8.1 声波与声强	127
20.8.2 超声波	129
20.8.3 次声波	129

思考题与习题	130
阅读材料 孤波与孤子	134

第五篇 光 学

第二十一章 光的干涉	139
21.1 光与光程	139
21.1.1 光与相干光	139
21.1.2 获得相干光的基本方法	140
21.1.3 光程与光程差	140
21.2 双缝干涉	142
21.2.1 杨氏双缝干涉实验	142
21.2.2 劳埃德镜干涉与半波损失	144
21.3 薄膜干涉	145
21.3.1 平行平面膜的等倾干涉	146
21.3.2 非平行膜的等厚干涉	151
*21.4 迈克耳孙干涉仪	156
*21.5 光的时间相干性与空间相干性	157
21.5.1 光的时间相干性	158
21.5.2 光的空间相干性	159
思考题与习题	160
第二十二章 光的衍射	167
22.1 惠更斯 - 菲涅耳原理	167
22.1.1 惠更斯 - 菲涅耳原理	167
22.1.2 衍射的分类	169
22.2 单缝衍射	170
22.2.1 单缝衍射实验	170
22.2.2 半波带法	171
*22.3 圆孔衍射	174
22.3.1 圆孔衍射	174
22.3.2 光学仪器的分辨本领	176
22.4 光栅衍射	178
22.4.1 光栅衍射现象	178
22.4.2 光栅方程	180

22.4.3 缺级与重叠	182
*22.5 X 射线衍射	184
*22.6 全息照相简介	186
思考题与习题	189
第二十三章 光的偏振	192
23.1 自然光与偏振光	192
23.1.1 自然光	192
23.1.2 偏振光	193
23.2 起偏与检偏 马吕斯定律	194
23.2.1 起偏与检偏	194
23.2.2 马吕斯定律	195
23.3 布儒斯特定律 由反射与折射获得偏振光	197
23.3.1 布儒斯特定律	197
23.3.2 由反射与折射获得偏振光	198
*23.4 双折射现象	199
23.4.1 双折射现象	199
23.4.2 双折射现象的产生机理	201
23.4.3 晶片 波片 偏振片	202
*23.5 偏振光的干涉与人工双折射	204
23.5.1 椭圆偏振光与圆偏振光	204
23.5.2 偏振光的干涉	204
23.5.3 人工双折射及其应用	206
*23.6 旋光现象及其应用	207
*23.7 光的吸收、色散与散射	208
23.7.1 光的吸收	208
23.7.2 光的色散	209
23.7.3 光的散射	210
思考题与习题	210
阅读材料 液晶	213
*第二十四章 光的直线传播	218
24.1 几何光学的基本定律	218
24.1.1 光的直线传播定律	218
24.1.2 光的独立传播定律	219

24.1.3	光的反射与折射定律	219
24.2	光在平面上的反射与折射	221
24.2.1	光在平面上的反射	221
24.2.2	光在平面上的折射	222
24.3	光在球面上的反射与折射	223
24.3.1	光在球面上的反射	223
24.3.2	光在球面上的折射	226
24.4	薄透镜	229
24.4.1	薄透镜及其成像原理	229
24.4.2	薄透镜成像的作图法	232
24.5	几种常见的光学仪器	233
24.5.1	眼睛	233
24.5.2	放大镜	234
24.5.3	显微镜	235
24.5.4	望远镜	236
24.5.5	照相机	237
	思考题与习题	238
	阅读材料 光纤通信	239

第六篇 量子物理学基础及固体物理学简介

第二十五章	量子力学的实验基础	245
25.1	黑体辐射的实验规律	245
25.1.1	黑体辐射	245
25.1.2	普朗克能量子假说	247
25.2	光电效应	248
25.2.1	光电效应的实验规律	248
25.2.2	光电效应的理论解释 爱因斯坦的光子理论	250
25.2.3	光的波粒二象性	253
25.3	康普顿效应	253
25.3.1	康普顿效应	253
*25.3.2	康普顿偏移公式的推导	255
*25.4	玻尔的氢原子模型 弗兰克 - 赫兹实验	257
25.4.1	氢原子光谱的实验规律	257
25.4.2	玻尔的氢原子模型	258

25.4.3	弗兰克 – 赫兹实验	261
25.4.4	对应原理	262
25.5	德布罗意波	263
25.5.1	德布罗意假设	263
25.5.2	德布罗意物质波的实验验证	264
	思考题与习题	265
	阅读材料 玻尔	268
第二十六章	量子力学初步	270
26.1	波函数	270
26.1.1	波函数的概念	270
26.1.2	波函数的统计解释	271
26.1.3	波函数的特性	272
26.1.4	德布罗意波与经典波的比较	274
26.2	不确定关系	275
26.3	薛定谔方程	277
26.3.1	薛定谔方程的一般形式	277
26.3.2	定态薛定谔方程	277
*26.3.3	态叠加原理	278
26.4	一维无限深势阱	279
*26.5	线性谐振子	281
*26.6	一维势垒 扫描隧穿显微镜	283
26.6.1	一维势垒	283
26.6.2	扫描隧穿显微镜	285
	思考题与习题	286
	阅读材料 AB 效应	287
第二十七章	原子结构的量子理论	291
27.1	氢原子的量子理论	291
27.1.1	氢原子的薛定谔方程	291
27.1.2	氢原子的能量及角动量	292
27.2	电子的自旋	294
27.2.1	施特恩 – 格拉赫实验	294
27.2.2	电子的自旋	295
*27.2.3	全同粒子的交换对称性	296

27.3 原子的壳层结构	296
27.3.1 四个量子数	296
27.3.2 原子的壳层结构	297
27.3.3 元素周期表	300
思考题与习题	300
*第二十八章 分子与固体	302
28.1 化学键	302
28.1.1 离子键	302
28.1.2 共价键	303
28.2 分子的振动与转动	303
28.2.1 分子的振动	303
28.2.2 分子的转动	303
28.3 金属导电的量子解释	304
28.3.1 固体的结构	304
28.3.2 金属中自由电子的能量分布	305
28.3.3 金属导电的量子解释	305
28.4 能带理论	307
28.4.1 电子的共有化	307
28.4.2 能带的形成	308
28.5 绝缘体 导体 半导体	309
28.5.1 绝缘体	309
28.5.2 导体	309
28.5.3 半导体	310
28.5.4 半导体的特性及其应用	311
思考题与习题	314
阅读材料 纳米科学与技术	315
*第二十九章 核物理学与粒子物理学	317
29.1 原子核的一般性质	317
29.1.1 原子核的构造	317
29.1.2 原子核的大小和密度	318
29.1.3 原子核的自旋和磁矩	318
29.1.4 结合能	319
29.1.5 核力	320

29.2	原子核的衰变、裂变与聚变	321
29.2.1	原子核的衰变	321
29.2.2	原子核的裂变	323
29.2.3	原子核的聚变	325
29.3	粒子及其分类	326
29.4	守恒定律	327
29.4.1	重子数守恒定律	327
29.4.2	轻子数守恒定律	327
29.4.3	奇异数守恒定律	327
29.4.4	同位旋守恒定律	328
29.4.5	超荷守恒定律	328
29.4.6	宇称守恒定律	328
29.5	基本相互作用 夸克模型与标准模型	329
29.5.1	基本相互作用	329
29.5.2	夸克模型	331
29.5.3	标准模型	332
	思考题	332

*第七篇 天体物理学与宇宙学

第三十章	广义相对论与宇宙学	335
30.1	广义相对论基础	335
30.1.1	广义相对论的基本原理	335
30.1.2	广义相对论的验证	336
30.2	星体的演化	337
30.2.1	恒星的形成	337
30.2.2	白矮星	338
30.2.3	中子星	338
30.2.4	黑洞	339
30.3	大爆炸宇宙学	340
30.3.1	大爆炸宇宙学的观测证据	340
30.3.2	宇宙创生于真空的一次大爆炸	342
30.3.3	宇宙的演化过程	343
30.3.4	宇宙的可能结局	346