

高等学校教材

大学基础物理学 (下册)

主 编 杨体强

副主编 荣建红 王海增

高等教育出版社

高等

大学基础物理学 (下册)

D A X U E

W U L I X U E

主 编 杨体强

副主编 荣建红 王海增

参 编 王利刚 张俊萍 刘文生



高等教育出版社·北京

内容提要

本书参照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)编写而成。书中涵盖了基本要求中的核心内容,并选取了部分扩展内容,以适应不同的教学需求。本书在体系结构上,按照内容类别编排,强调物质的运动形式、时空性质以及分析问题的方法。

本书由五部分组成,分上、下两册。上册包括力学和电磁学,下册包括光学、热学和近代物理学基础。

本书可作为高等学校理工科“大学物理”课程的教材,也可供其他读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学基础物理学. 下册 / 杨体强主编. -- 北京 :
高等教育出版社, 2015. 9
ISBN 978-7-04-043289-3

I. ①大… II. ①杨… 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(2015)第156317号

策划编辑 王 硕
插图绘制 黄建英

责任编辑 王 硕
责任校对 刘娟娟

封面设计 李小璐
责任印制 刘思涵

版式设计 张 杰

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 唐山市润丰印务有限公司
开 本 787 mm×960 mm 1/16
印 张 17.25
字 数 310千字
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.landracom.com>
<http://www.landracocom.cn>
版 次 2015年9月第1版
印 次 2015年9月第1次印刷
定 价 30.60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 43289-00

参考文献与习题答案可扫描下方二维码获取.



教材参考文献



习题答案

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进行严厉打击。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 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

第三篇 光学基础

第一章 波动光学	3
§ 1.1 光波的基本性质及其描述	4
一、光波的传播速度	4
二、介质的折射率	4
三、定态波场和光波的描述	5
四、光波的强度	6
§ 1.2 光源 单色光 相干光	6
一、普通光源	6
二、单色光	7
三、相干光	7
§ 1.3 光波的干涉	8
一、光程	8
二、相位差与光程差	9
三、光波的叠加原理	9
四、光波的干涉	10
§ 1.4 杨氏双缝干涉	12
一、杨氏双缝干涉实验	12
二、杨氏双缝干涉条纹的理论计算	13
三、劳埃德镜实验	15
§ 1.5 干涉条纹的可见度 光场的时间相干性和空间相干性	16
一、干涉条纹的可见度	16
二、光源非单色性对干涉条纹的影响	16
三、光场的时间相干性	17
四、光源的线度对干涉条纹的影响	18
五、光场的空间相干性	19
§ 1.6 薄膜干涉	20
一、等倾干涉	20
二、等厚干涉	24
三、光的干涉应用	28

§ 1.7 光的衍射	31
一、光的衍射现象	31
二、惠更斯-菲涅耳原理	31
三、菲涅耳衍射与夫琅禾费衍射	33
§ 1.8 夫琅禾费单狭缝衍射	33
一、单缝实验装置和现象	33
二、单缝衍射的强度	34
三、单狭缝衍射图样的特点	37
§ 1.9 夫琅禾费圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	39
一、夫琅禾费圆孔衍射	39
二、光学仪器的分辨本领	42
§ 1.10 衍射光栅	44
一、光栅衍射图样的特点	45
二、光栅衍射强度的计算	46
三、光栅衍射的特点	47
四、光栅光谱	50
五、X射线的衍射	50
§ 1.11 光的偏振态	51
一、线偏振光	51
二、自然光	52
三、部分偏振光	53
四、椭圆偏振光和圆偏振光	54
§ 1.12 二向色性 马吕斯定律	55
一、晶体的二向色性	55
二、马吕斯定律	55
§ 1.13 反射光和折射光的偏振状态	56
一、反射光的偏振态	56
二、折射光的偏振态	57
§ 1.14 光的双折射	58
一、双折射现象	58
二、光轴与主截面	58
三、光在晶体中的波面	59
四、波晶片	60
§ 1.15 偏振光的获得和检验	62
一、线偏振光的获得和检验	62
二、圆偏振光和椭圆偏振光的获得和检验	62

§ 1.16 旋光现象	64
习题	65
第二章 几何光学	69
§ 2.1 几何光学的基本定律	70
一、三条实验定律	70
二、光路可逆原理	71
三、费马原理	71
四、全反射	71
§ 2.2 反射和折射	72
一、光在平面上的反射和折射	72
二、光在球面上的反射和折射	74
§ 2.3 薄透镜	77
一、薄透镜	77
二、傍轴光线条件下的薄透镜物像公式	78
三、薄透镜成像的作图法	78
§ 2.4 光学仪器	79
一、眼睛	79
二、放大镜	80
三、显微镜	81
四、望远镜	82
习题	82
第三章 现代光学简介	84
§ 3.1 激光	85
一、粒子数按能级的统计分布——玻耳兹曼分布	85
二、自发辐射、受激辐射和受激吸收	85
三、激光原理	87
四、激光器	89
五、激光的特性	89
§ 3.2 全息照相	90
一、全息照相	90
二、基本原理	91
三、全息照相的特点	93
四、全息照相的一些应用	93
§ 3.3 光纤通信	94
一、光导纤维	94
二、光纤通信	95

三、光纤通信的特点	95
-----------------	----

第四篇 热学基础

第一章 热学基本概念	99
§ 1.1 热力学系统的分类和宏观物体的微观模型	100
一、热力学系统的分类	100
二、宏观物体的微观模型	100
§ 1.2 热力学系统的平衡态与热力学过程	102
一、平衡态	102
二、状态参量	103
三、热力学过程	103
§ 1.3 温度	104
一、热力学第零定律	104
二、温度	105
三、温标	105
四、理想气体物态方程	108
习题	109
第二章 热力学第一定律	110
§ 2.1 功 热量	111
一、功	111
二、热量	113
三、热容	113
§ 2.2 热力学第一定律	114
一、热力学第一定律	114
二、内能	115
§ 2.3 热容与内能及焓的关系	116
一、定容热容与内能的关系	116
二、定压热容与焓的关系	116
三、理想气体的内能	117
四、理想气体的焓	118
五、理想气体的 C_p 和 C_v 的关系	118
§ 2.4 理想气体的几个热力学过程	119
一、等温过程	119
二、绝热过程	120
三、多方过程	121

§ 2.5 热机及其效率	125
一、热机	125
二、热机的循环过程	126
三、热机的效率	127
四、卡诺循环及其效率	128
习题	130
第三章 热力学第二定律	132
§ 3.1 热力学第二定律	133
一、可逆过程与不可逆过程	133
二、不可逆过程的关联性	134
三、热力学第二定律	135
§ 3.2 卡诺定理	136
§ 3.3 熵与熵增加原理	138
一、熵	138
二、熵增加原理	141
* § 3.4 能量退化原理	144
一、热传导过程造成不可用能的增加	144
二、功变热过程中产生的不可用能的增量	145
三、能量退化原理	146
习题	146
第四章 气体分子动理论与热运动的统计规律	148
§ 4.1 动力学规律与统计规律	149
一、动力学规律	149
二、统计规律	149
§ 4.2 理想气体压强与温度的统计意义	151
一、理想气体的微观模型	151
二、理想气体压强的统计意义	152
三、气体温度的统计意义	154
§ 4.3 熵的统计意义	156
一、宏观态与微观态	156
二、气体自由膨胀不可逆过程的统计意义	156
三、熵的统计意义	158
* 四、熵是系统无序度的量度	159
* § 4.4 范德瓦耳斯方程	159
一、分子间排斥力对理想气体物态方程体积的修正	160
二、分子间引力对理想气体物态方程压强的修正	160

目 录	§ 4.5 麦克斯韦分布律	162
	一、麦克斯韦速度分布律	162
	二、麦克斯韦速率分布律	162
	§ 4.6 玻耳兹曼密度分布律	165
	一、气体分子在重力场中按高度的分布	165
	二、玻耳兹曼密度分布律	167
	§ 4.7 能量按自由度均分定理	168
	一、分子的自由度	168
	二、能量均分定理	169
	三、理想气体的内能	170
	§ 4.8 气体的输运现象	171
	一、气体输运过程的宏观规律	171
	二、气体输运现象的分子动理论	173
	习题	176
	第五篇 近代物理学基础	
	第一章 狭义相对论力学基础	181
	§ 1.1 狭义相对论的基本原理	182
	一、迈克耳孙-莫雷实验	182
	二、狭义相对论的基本原理	184
	§ 1.2 洛伦兹变换	185
	一、坐标变换	185
	二、速度变换	186
	§ 1.3 狭义相对论的时空观	187
	一、同时的相对性	187
	二、长度的收缩	188
	三、时间的延缓	190
	§ 1.4 狭义相对论动力学基础	192
	一、相对论力学的基本方程	192
	二、质量与能量的关系	193
	三、动量和能量的关系	195
	习题	197
	第二章 物质的波粒二象性	198
	§ 2.1 黑体辐射 普朗克量子假设	200
	一、热辐射和基尔霍夫辐射定律	200
	二、黑体辐射的实验定律	202

三、普朗克量子假说	203
§ 2.2 光电效应 爱因斯坦光子理论	207
一、光电效应的实验规律	207
二、经典理论所遇到的困难和缺陷	210
三、爱因斯坦的光子论及其对光电效应的解释	210
§ 2.3 康普顿效应 光的波粒二象性	213
一、康普顿效应	213
二、光子论对康普顿效应的解释	215
三、光的波粒二象性	216
§ 2.4 氢原子光谱 玻尔的量子理论	218
一、原子的有核模型及其与经典理论的矛盾	218
二、氢原子光谱的规律性	220
三、氢原子的玻尔量子论及其遇到的困难	222
§ 2.5 实物粒子的波动性	226
一、德布罗意波	226
二、德布罗意波实验验证	228
三、不确定关系	230
习题	234
第三章 量子物理基础	236
§ 3.1 波函数及其统计诠释	237
一、波函数	237
二、波函数的统计诠释	237
§ 3.2 薛定谔方程	239
一、薛定谔方程的建立	239
二、一维势阱和势垒问题	242
三、一维谐振子问题	248
§ 3.3 氢原子量子理论简介	250
一、氢原子中电子的薛定谔方程	250
二、氢原子中电子的状态描述	256
§ 3.4 电子的自旋和原子的壳层结构	259
一、施特恩-格拉赫实验	259
二、电子的自旋	260
三、泡利不相容原理	261
四、原子的壳层结构	262
习题	263



第三篇 光学基础

▶ 光学是物理学中的一个重要组成部分，是一门发展较早的学科。人类对光的研究至少已有两千多年的历史。

早期的光学只限于研究与眼睛和视觉相联系的自然现象。正是因为眼睛接收了物体所发射、反射或散射的光，我们才能够看到客观世界中的各种景象。最初，人们从物体成像的研究中形成了光线的概念，并以光的直线传播性质为基础，总结出了光在透明介质中的反射和折射规律，由此逐步形成了几何光学 (geometrical optics)。

到 17 世纪，人们提出了两种关于光的本性的学说：一种是牛顿提出的微粒说，认为光是一股微粒流；另一种是惠更斯提出的波动说，认为光是机械振动在“以太”这种特殊介质中的传播。光的微粒说几乎统治了 17 世纪和 18 世纪两个世纪。19 世纪以来，随着实验技术水平的提高，光的干涉、衍射和偏振等实验结果表明，光具有波动性，并且光是横波，使光的波动说获得了普遍的承认。19

世纪后半叶，麦克斯韦提出了电磁波理论，并为赫兹的实验所证实，人们才认识到光是一定波段的电磁波，从而形成了以电磁波理论为基础的波动光学（wave optics）。

从 19 世纪末到 20 世纪初，光学的研究深入到了光的产生以及光与物质相互作用的微观机制问题，光学已发展成为研究从微波、红外线、可见光、紫外线直到 X 射线的宽广波段范围内的电磁辐射的发生、传播、接收和显示，以及与物质相互作用的学科，着重研究的范围是从红外到紫外波段。然而，在光的电磁理论取得了巨大成功的同时，也遇到了严重的困难。例如，这一理论不能解释黑体辐射、光电效应和原子光谱等问题。1900 年普朗克提出了辐射的量子论，1905 年爱因斯坦提出了光量子论，在此基础上人们建立起了量子力学。通常人们把建立在光的量子性基础上，深入到微观领域研究光与物质相互作用规律的分支学科，称为量子光学（quantum optics），并把波动光学和量子光学统称为物理光学（physical optics）。1960 年，梅曼研制成功了第一台红宝石激光器。此后，激光科学和技术得到了异常迅速的发展，形成了研究非线性光学、激光光谱学、信息光学、全息术、光纤通信、集成光学和统计光学等方面问题的现代光学（modern optics），对当代生产和科学技术的发展正起着越来越大的作用。

在这部分中，将分别讨论几何光学、波动光学，同时也讨论现代光学中的一些问题。

第一章 波动光学

19 世纪后半叶，麦克斯韦提出了电磁波理论，并为赫兹的实验所证实，人们才认识到光是一定波段的电磁波，从而形成了以电磁波理论为基础的波动光学。本章主要内容是根据光的干涉、衍射、偏振现象和实验事实来揭示光的波动性，初步明确光波不是机械波而是电磁波，引起光效应的主要是电场强度而不是磁场强度；介绍干涉、衍射、偏振现象和几种重要应用。

§ 1.1 光波的基本性质及其描述

一、光波的传播速度

1865年, 麦克斯韦成功地把电磁学领域内所有前人的研究成果总结成了一组方程, 它最重要的一个结论是确定存在电磁波, 在真空中电磁波电场强度的波动方程为

$$\frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} - \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial r^2} = 0 \quad (3.1.1)$$

根据式(3.1.1)可得, 电磁波在真空中的传播速度为

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (3.1.2)$$

$$c = 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$$

电磁波的传播速度就是光速, 这预言了光是电磁波. 这个预言于1888年为赫兹(H. R. Hertz, 1857—1894)的直接实验所证实. 尽管如此, 光波是电磁波这一理论还是经历了长期实验才赢得人们普遍承认.

同理, 光波在介质中的传播速度为

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} \quad (3.1.3)$$

其中 $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ 为介质的电容率, ϵ_r 为介质的相对电容率; $\mu = \mu_0 \mu_r$ 为介质的磁导率, μ_r 为介质的相对磁导率.

由式(3.1.2)和式(3.1.3)可得, 光波在介质中的传播速度 v 与其在真空中的传播速度 c 的关系为

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \quad (3.1.4)$$

在介质中, $\epsilon_r > 1$, $\mu_r > 1$, 因此, 光波在介质中的传播速度总是小于在真空中的传播速度.

二、介质的折射率

根据电磁波在介质表面上的反射和折射理论, 可以导出光的折射定律为

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{\epsilon_{r2} \mu_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1} \mu_{r1}}} = \frac{n_2}{n_1} \quad (3.1.5)$$

其中, i_1 为入射角, v_1 为光波在第一种介质中的传播速度, n_1 为第一种介质的折射率; i_2 为折射角, v_2 为光波在第二种介质中的传播速度, n_2 为第二种介质的折射率.

当光波由真空入射到折射率为 n 的介质时, 由式 (3.1.5) 得

$$n = \frac{c}{v} \quad (3.1.6)$$

把式 (3.1.4) 和式 (3.1.6) 比较一下, 就可以得到下列麦克斯韦公式:

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (3.1.7)$$

这个公式把光学和电磁学这两个不同领域中的物理量联系起来. 对于我们将要涉及的非磁性物质, $\mu_r = 1$, 因此, $n = \sqrt{\epsilon_r}$.

三、定态波场和光波的描述

具有如下性质的波场叫定态波场: ①空间各点的振动是同频率的简谐振动 (频率与波源频率相同); ②波场中各点振动的振幅不随时间变化, 在空间形成一个稳定的振幅分布. 严格的定态光波要求波列无限长, 但任何实际光源的发光过程总是有限的, 特别是从微观角度看, 发光过程是不连续的. 当波列的持续时间比振动的周期长得多时, 我们可以把它当成无限长波列处理, 这样的波在空间传播时形成定态波场. 今后, 如果没有特别的必要, 我们一律以定态光波为讨论对象.

电磁波的电场强度和磁场强度都和传播方向垂直, 因而电磁波是横波. 由维纳实验的理论分析可以证明, 对人眼和感光仪器起作用的是电场强度, 所以, 光波中振动矢量通常是指电场强度. 由麦克斯韦波动方程 (3.1.1) 得, 光波的定态波场数学表达式为

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = A(\mathbf{r}) \cos[(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r}) + \varphi_0] \quad (3.1.8)$$

式中, $\omega = 2\pi\nu$ 为振动的圆频率, ν 为光波的频率; $A(\mathbf{r})$ 为振幅; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 为波矢的大小, 波矢的方向为波的传播方向; φ_0 为初相位, 是一个常量.

光波的数学表达式, 也可以用复数形式表示:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = A(\mathbf{r}) e^{-i\omega t} e^{i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \varphi_0)} \quad (3.1.9)$$

其中 $\tilde{\mathbf{E}}(\mathbf{r}) = A(\mathbf{r}) e^{i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \varphi_0)}$ 称为复振幅. 在许多情况下, 如果我们不考虑光波随时间的变化, 只考虑空间各点频率相同且振动稳定的单色光时, 可用复振幅来表示光波, 从而使计算简化.