

高等学校教材

物理学原理 简明教程（第二版）下册

主编 许丽萍 魏天杰



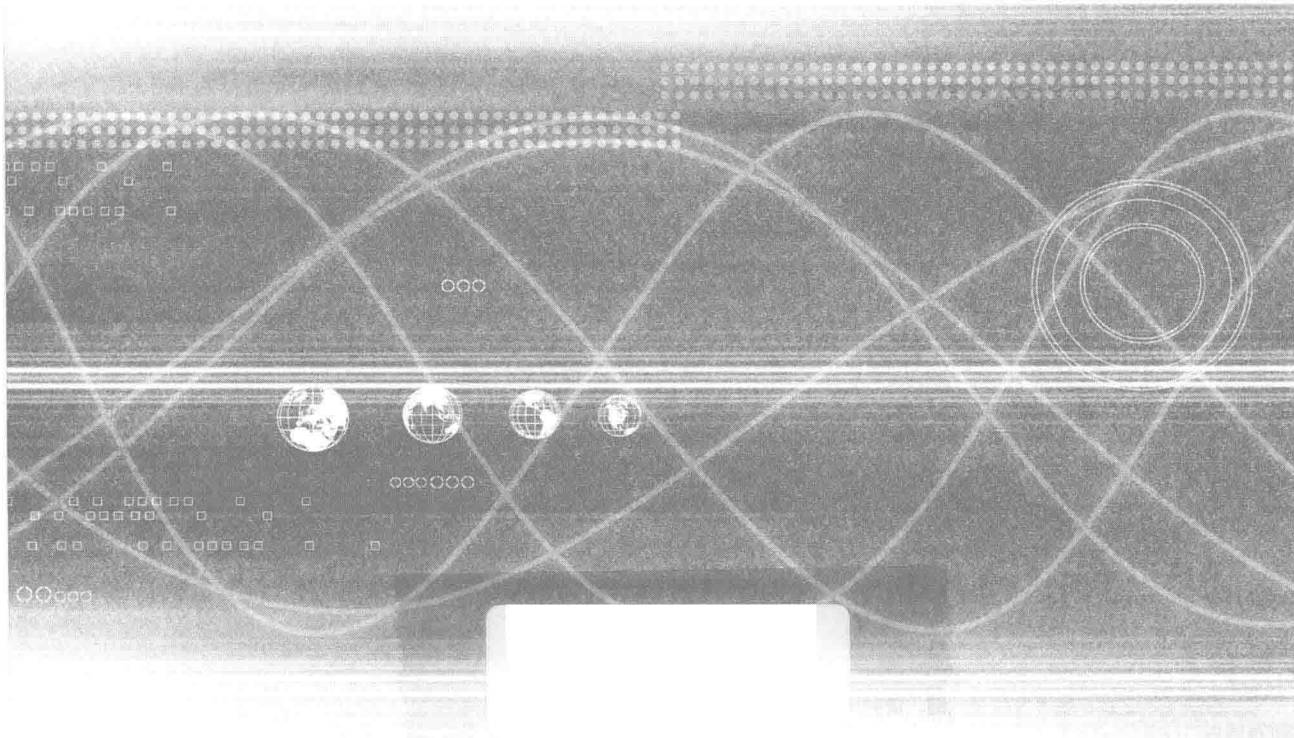
高等教育出版社

高等学校教材

物理学原理 简明教程（第二版）下册

Wulixue Yuanli Jianming Jiaocheng

主编 许丽萍 魏天杰



高等教育出版社·北京

内容提要

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)编写而成。全书分为上、下两册。上册内容包括:第一篇 力学;第二篇 振动与波;第三篇 热学;第四篇 电磁学(电学部分)。下册内容包括:第四篇 电磁学(磁学部分及电磁场理论);第五篇 波动光学;第六篇 近代物理学。

本书可作为高等学校工科各专业大学物理课程的教材,也可供理科非物理类专业选用。

图书在版编目(CIP)数据

物理学原理简明教程.下册 / 许丽萍, 魏天杰主编

— 2版. — 北京:高等教育出版社, 2016.10

ISBN 978-7-04-045461-1

I. ①物… II. ①许… ②魏… 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(2016)第 102629 号

策划编辑 张海雁

责任编辑 缪可可

封面设计 赵阳

版式设计 杜微言

插图绘制 杜晓丹

责任校对 李大鹏

责任印制 刘思涵

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×1092 mm 1/16

印张 21.5

字数 510千字

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.hepmall.com.cn>

<http://www.hepmall.com>

<http://www.hepmall.cn>

版 次 2013年3月第1版

2016年10月第2版

印 次 2016年10月第1次印刷

定 价 32.80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 45461-00

常用物理量和单位

物理量		单位	
名称	符号	名称	符号
电流	I	安培	A
电流密度	j	安培每平方米	$A \cdot m^{-2}$
电阻	R	欧姆	Ω
电阻率	ρ	欧姆米	$\Omega \cdot m$
电动势	$\mathcal{E}$	伏特	V
磁感强度	B	特斯拉	T
磁矩	m	安培平方米	$A \cdot m^2$
磁化强度	M	安培每米	$A \cdot m^{-1}$
磁化率	χ_m	—	1
磁导率	μ	亨利每米	$H \cdot m^{-1}$
真空磁导率	μ_0	亨利每米	$H \cdot m^{-1}$
相对磁导率	μ_r	—	1
磁场强度	H	安培每米	$A \cdot m^{-1}$
磁通量	Φ	韦伯	Wb
自感	L	亨利	H
互感	M	亨利	H
磁场能量	W_m	焦耳	J
磁场能量密度	w_m	焦耳每立方米	$J \cdot m^{-3}$
位移电流	I_d	安培	A
波长	λ	米	m
频率	ν	赫兹	Hz
角频率	ω	弧度每秒	$rad \cdot s^{-1}$
光速	c	米每秒	$m \cdot s^{-1}$
折射率	n	—	1
光程差	δ	米	m

续表

物理量		单位	
名称	符号	名称	符号
辐出度	M	瓦特每平方米	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
单色辐出度	M_{λ}	瓦特每立方米	$\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$
斯特藩-玻耳兹曼常量	σ	瓦特每平方米 每四次方开尔文	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
维恩常量	b	米开尔文	$\text{m} \cdot \text{K}$
普朗克常量	h	焦耳秒	$\text{J} \cdot \text{s}$
原子序数	Z	—	1
中子数	N	—	1
核子数	A	—	1
电子静质量	m_e	千克	kg
质子静质量	m_p	千克	kg
中子静质量	m_n	千克	kg
元电荷	e	库仑	C
里德伯常量	R	每米	m^{-1}
轨道角动量量子数	l	—	1
自旋角动量量子数	s	—	1
主量子数	n	—	1
轨道角动量磁量子数	m_l	—	1
波函数	ψ	—	1

基本物理常量

物理量	符号	数值	单位	相对标准不确定度
光速	c	299 792 458	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	精确
真空磁导率	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$	$\text{N} \cdot \text{A}^{-2}$	精确
		$= 12.566\,370\,614 \dots \times 10^{-7}$	$\text{N} \cdot \text{A}^{-2}$	精确
真空电容率	ε_0	$8.854\,187\,817 \dots \times 10^{-12}$	$\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$	精确
引力常量	G	$6.673\,84(80) \times 10^{-11}$	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$	1.2×10^{-4}
普朗克常量	h	$6.626\,069\,57(29) \times 10^{-34}$	$\text{J} \cdot \text{s}$	4.4×10^{-8}
约化普朗克常量	$\hbar/2\pi$	$1.054\,571\,726(47) \times 10^{-34}$	$\text{J} \cdot \text{s}$	4.4×10^{-8}
元电荷	e	$1.602\,176\,565(35) \times 10^{-19}$	C	2.2×10^{-8}
电子静质量	m_e	$9.109\,382\,91(40) \times 10^{-31}$	kg	4.4×10^{-8}
质子静质量	m_p	$1.672\,621\,777(74) \times 10^{-27}$	kg	4.4×10^{-8}
中子静质量	m_n	$1.674\,927\,351(74) \times 10^{-27}$	kg	4.4×10^{-8}
精细结构常数	α	$7.297\,352\,569\,8(24) \times 10^{-3}$		3.2×10^{-10}
里德伯常量	R_∞	$10\,973\,731.568\,539(55)$	m^{-1}	5.0×10^{-12}
阿伏伽德罗常量	N_A	$6.022\,141\,29(27) \times 10^{23}$	mol^{-1}	4.4×10^{-8}
法拉第常量	F	$96\,485.336\,5(21)$	$\text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$	2.2×10^{-8}
摩尔气体常量	R	$8.314\,462\,1(75)$	$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	9.1×10^{-7}
玻耳兹曼常量	k	$1.380\,648\,8(13) \times 10^{-23}$	$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$	9.1×10^{-7}
斯特藩-玻耳兹曼常量	σ	$5.670\,373(21) \times 10^{-8}$	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$	3.6×10^{-6}
气体摩尔体积	V_m	$22.413\,968(20) \times 10^{-3}$	$\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$	9.1×10^{-7}

注:表中数据为国际科学联合会理事会科学技术数据委员会(CODATA)2010年国际推荐值。

第二版前言

2013年2月,本书第一版正式出版并投入使用。在使用过程中,编者发现了一些不尽如人意的地方,希望在此书再版时,尽量完善这些不足之处。在第一版的基础上,第二版做了如下修改:

1. 增加了物理学家简介,引导大家科学地思考,体会这些物理学家是怎么成为大家的,学习他们的科学精神、透过现象看本质的能力、感悟大自然规律的洞察力,其目的就是提高学生的创新能力。

2. 在各章的最后部分,增加了“应用拓展”一节内容,介绍各章涉及的物理学原理在工程技术、日常生活中的应用,希望能够回答物理学是什么、有什么用的问题,真正使得物理好学、好玩、好用。

3. 替换了部分例题、习题,例题与习题的配置更注重学生对于基本概念、基本规律的掌握,尽量避免繁杂的数学运算掩盖物理本质。

参加本书编写的教师都是近年来在第一线讲授本科生课程“大学物理”的教师,根据他们的日常教学工作及科研工作侧重,具体编写分工如下:温廷敦编写第0章、第六篇量子物理学基础两章;杨常青编写第一篇第1章、第2章两章;郑忠喜编写第3章;薛锐编写第4章;田瑞生编写第二篇振动与波两章;李慧生编写第三篇中第7章、第8章两章;牛万青编写第四篇中电学两章;魏天杰编写第四篇中电学、磁学各一章;许丽萍编写第四篇中电磁感应、物质的磁性、电磁场理论三章;李亦军编写第五篇光学三章;杨晓峰编写第六篇狭义相对论、光的量子性两章。

编 者

2016年1月

第一版前言

以物理学基础为内容的大学物理课程,是高等学校理工科各专业学生的重要的通识性必修基础课,在培养学生树立科学的世界观,增强学生分析问题和解决问题的能力,培养学生的探索精神和创新意识等方面,具有其他课程不能替代的重要作用。因此,多年来,针对大学物理教学的关于内容、方法、手段的改革,真可谓百花齐放,百家争鸣。随之出现的教材也是各有千秋。其中虽不乏名家名著,但都有各自不同的使用群体与学时数限制。我们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),以物理系多年教学改革成果为基础,借鉴、参考了国内外相关教材,将国外教材与国内教材的优势相结合,编写了本套大学物理教材。

现有的大学物理教材,包括一些名家名著及相关学习参考书,重点是侧重基本内容掌握及解题技巧方面,在内容的选择与前沿性方面存在明显不足。根据最新的大学物理教学基本要求,结合现行教学改革项目,本教材力求具有如下特点:

1. 通俗性 鉴于现代学生需要学习掌握的知识与技能太多,时间与精力有限,所讲内容必须深入浅出,尽可能使用通俗易懂的语言,从生活中的常见现象入手进行讲授。

2. 基础性 突出常识性与原理性,这样可以使学生进得来,出得去,对日后能将物理学中的原理应用到实际中去起长久的作用。

3. 学科交叉性 环顾我们的生活、工作环境,所使用的工具、电器、材料等,原理上讲,都属于物理学范畴。授课时,应充分将物理学原理与学生熟悉的工程技术、日用产品等结合起来,让物理学从书本走进人们的生活、工作中,不管走到哪儿,都能体会到物理学的存在。

4. 创造性 随着计算机的普及,人脑的部分工作将由计算

机取代。一般而言,人脑擅长形象思维,富有创造性,适合进行定性、半定量分析;而计算机擅长快速计算与按既定的规则进行严格地逻辑推理。因此,在一般表述中,应侧重于定性、半定量叙述,为学生提供完整的物理图像,培养学生的抽象思维能力,激发学生的探索欲望与创造激情。

5. 先进性 科学技术突飞猛进,要能及时介绍最新科学成果与技术,要做到使学生对新概念、新现象、新原理不陌生。

参加本书编写的教师都是近年来在教学一线讲授本科生大学物理课程的教师。根据他们的日常教学工作及科研侧重,分工编写的内容如下:杨常青编写第一篇力学部分四章,田瑞生编写第二篇振动与波两章,李慧生编写第三篇热学两章,牛万青编写第四篇中电学两章,魏天杰编写第四篇中恒定电流、恒定磁场各一章,许丽萍编写第四篇中电磁感应、物质的磁性、麦克斯韦方程组三章,李亦军编写第五篇波动光学三章,杨晓峰编写第五篇狭义相对论、光的量子性两章,温廷敦编写第0章及第六篇近代物理学基础两章。

全书完成后,我们也请其他讲授相关课程的教授仔细审阅了全稿,并提出了很多宝贵意见,进一步提高了本书的质量。本书编写过程中,高等教育出版社物理分社的有关人员付出了大量的劳动,物理系其他老教师给予了热情的帮助与指导,编者谨在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不当之处,敬请读者批评指正。请将意见或建议发到以下邮箱:lpxu@sina.com。

编 者

2012年12月

目 录

第四篇 电磁学(磁学部分及电磁场理论)

第 11 章 恒定电流	2	受力、力矩及其应用	42
11.1 电流和电阻	2	12.9 应用拓展	46
11.1.1 电流 电流密度矢量	2	12.9.1 磁约束——托卡马克装置	46
11.1.2 电流的微观模型 电阻率	4	12.9.2 电磁炮	48
11.2 电流的连续性方程 恒定条件	9	思考题	49
11.3 电源及其电动势	10	习题	50
11.3.1 非静电力	10		
11.3.2 电动势	11	第 13 章 电磁感应	53
11.4 电功率与电路	12	13.1 电磁感应的基本定律	53
11.4.1 电功率	12	13.1.1 电磁感应现象的发现	53
11.4.2 电路	13	13.1.2 楞次定律	56
思考题	14	13.1.3 法拉第电磁感应定律	56
习题	15	13.1.4 感应电动势的指向	57
		13.1.5 其他相关问题	58
第 12 章 恒定磁场	16	13.2 在磁场中运动的导体内的感应 电动势——动生电动势	60
12.1 基本磁现象	16	13.2.1 动生电动势	60
12.2 磁场 磁感应强度	17	13.2.2 用洛伦兹力解释动生 电动势	60
12.3 毕奥-萨伐尔定律	20	13.2.3 计算动生电动势的公式	61
12.3.1 毕奥-萨伐尔定律	20	* 13.2.4 洛伦兹力不做功	61
12.3.2 应用	21	13.3 感生电动势与感生电场	65
12.4 运动电荷的磁场	24	13.3.1 问题的提出	65
12.5 磁场的高斯定理	25	13.3.2 感生电场与感生电动势	66
12.5.1 磁感应线	25	13.3.3 电子感应加速器	68
12.5.2 磁通量	26	13.4 涡电流	69
12.5.3 磁场的高斯定理	27	13.4.1 涡电流	69
12.6 安培环路定理	28	13.4.2 涡电流的有效利用	69
12.6.1 安培环路定理	28	13.5 自感应与自感	72
12.6.2 安培环路定理的应用	30	13.5.1 自感现象	72
12.7 带电粒子在磁场中的运动	33	13.5.2 自感与自感电动势	72
12.7.1 带电粒子在均匀磁场中的 运动规律	33	13.6 互感应与互感	74
12.7.2 应用	35	13.6.1 互感现象	74
12.8 载流导线在磁场中的受力	40	13.6.2 互感与互感电动势	75
12.8.1 载流导线在磁场中的受力 安培定律	40	13.6.3 变压器	78
12.8.2 电流单位安培的定义	41	13.7 磁场的能量	80
12.8.3 闭合载流线圈在均匀磁场中		13.7.1 自感磁能	80

13.7.2 磁能密度	81
13.7.3 互感磁能	83
13.8 应用拓展——水力发电、火力发电及 风力发电	84
13.8.1 水力发电	85
13.8.2 火力发电	86
13.8.3 风力发电	88
思考题	90
习题	91
第 14 章 物质的磁性	95
14.1 磁介质的磁化与磁介质的分类	95
14.1.1 磁介质及其磁化	95
14.1.2 磁介质的分类	96
14.2 磁化强度 磁化电流	97
14.2.1 分子电流假说	97
14.2.2 分子磁矩——顺磁性	98
14.2.3 附加磁矩 Δm ——抗磁性	99
14.2.4 磁化强度	99
14.2.5 磁化电流	100
14.3 用磁场强度表示的安培环路 定理	101
14.3.1 磁场强度 用磁场强度表示的 安培环路定理	101
14.3.2 磁场强度、磁感应强度、磁化 强度之间的关系	102
14.4 铁磁质	103
14.4.1 铁磁质的磁化规律—— 磁滞回线	104
14.4.2 铁磁质的分类	105
14.4.3 铁磁质的磁化机理	106
14.5 磁路	108
14.5.1 磁路	108
14.5.2 磁路的欧姆定律	108
14.5.3 磁路与电路的类比	109
14.6 2007 年诺贝尔物理学奖简介—— 巨磁电阻效应	110
14.6.1 2007 年诺贝尔物理学奖	110

14.6.2 巨磁矩效应	111
14.7 地磁场	112
14.8 拓展阅读——磁记录与磁记录材料 ...	114
14.8.1 磁记录	115
14.8.2 磁记录方式	116
14.8.3 磁记录材料	116
14.8.4 磁记录与日常生活	119
14.8.5 磁记录展望	120
思考题	121
习题	121

第 15 章 麦克斯韦方程组 电磁场与 电磁波	123
15.1 麦克斯韦电磁场理论	125
15.1.1 涡旋电场假说	125
15.1.2 位移电流假说	126
15.1.3 麦克斯韦-安培环路定理	129
15.2 麦克斯韦方程组	130
15.2.1 普遍情况下的高斯定理	130
15.2.2 麦克斯韦方程组	131
* 15.2.3 电磁场的边界条件	132
15.3 电磁场与电磁波	133
15.3.1 电磁场与电磁波	133
15.3.2 电磁振荡 无阻尼自由电磁 振荡方程	133
15.3.3 电磁辐射	136
15.3.4 平面电磁波	137
15.3.5 电磁场的能量 坡印廷矢量	138
15.4 赫兹实验 电磁波谱	140
15.4.1 赫兹实验	140
15.4.2 电磁波谱	145
15.5 应用拓展——雷达原理及应用	146
15.5.1 雷达分类	146
15.5.2 雷达的工作原理	148
15.5.3 雷达应用举例	151
思考题	153
习题	154

第五篇 波动光学

引言	158
第 16 章 光的干涉	160
16.1 光是电磁波 光源	160

16.1.1 光的电磁特性	160
16.1.2 光源	161
16.2 光的相干性 光程	162

16.2.1 相干光	162	17.5.1 光栅	194
16.2.2 光程与光程差	163	17.5.2 光栅衍射条纹的形成	195
16.2.3 相干光的获得	164	17.5.3 光栅衍射的讨论	196
16.3 杨氏双缝实验	164	17.6 X射线的衍射	198
16.3.1 杨氏双缝实验	165	17.6.1 X射线	199
16.3.2 菲涅耳双面镜实验	167	17.6.2 劳厄实验	199
16.3.3 劳埃德镜实验	168	17.6.3 布拉格方程	199
16.4 薄膜干涉	169	17.7 应用拓展——衍射理论实际应用	200
16.4.1 平行薄膜的干涉	169	17.7.1 全息技术	200
16.4.2 薄膜干涉的应用 增透膜和 增反膜	171	17.7.2 光谱仪	201
16.5 劈尖干涉 牛顿环	173	17.7.3 光学信息处理	201
16.5.1 劈尖干涉	173	思考题	202
16.5.2 牛顿环	176	习题	203
16.6 迈克耳孙干涉仪	177	第 18 章 光的偏振	205
16.6.1 干涉仪结构及分析	177	18.1 光的偏振态 起偏与检偏	205
16.6.2 干涉图样的讨论	178	18.1.1 光的偏振态	205
16.7 应用拓展——干涉理论实际应用	180	18.1.2 起偏与检偏	206
16.7.1 干涉法测量微小量	180	18.2 马吕斯定律	207
16.7.2 OCT 光学相干断层扫描技术	181	18.3 反射和折射时光的偏振	209
16.7.3 迈克耳孙干涉仪的应用	181	18.3.1 反射起偏 布儒斯特定律	209
思考题	182	18.3.2 折射起偏 玻璃堆	210
习题	183	18.4 光的双折射	211
第 17 章 光的衍射	185	18.4.1 双折射现象	211
17.1 光的衍射现象	185	18.4.2 晶体的有关概念	211
17.2 惠更斯-菲涅耳原理	186	* 18.4.3 惠更斯原理在双折射中的应用	212
17.2.1 惠更斯-菲涅耳原理	186	18.4.4 晶体双折射应用	213
17.2.2 菲涅耳衍射和夫琅禾费衍射	187	18.5 偏振光的干涉及应用	214
17.3 单缝的夫琅禾费衍射	188	18.5.1 波片	214
17.3.1 衍射装置和现象	188	* 18.5.2 偏振光的干涉及应用	215
17.3.2 单缝衍射图样分析	188	18.6 应用拓展——偏振理论实际应用	217
17.3.3 分析与讨论	190	18.6.1 立体电影	217
17.4 圆孔的夫琅禾费衍射 光学仪器 分辨率	191	18.6.2 摄影用偏光镜	217
17.5 光栅衍射	194	18.6.3 偏光显微镜	218
		思考题	219
		习题	219

第六篇 近代物理学

引言	222	19.1.3 电磁学规律“不”满足 相对性原理	227
第 19 章 狭义相对论	224	19.2 迈克耳孙-莫雷实验	228
19.1 相对性原理	224	19.3 狭义相对论的基本原理 洛伦兹 变换式	230
19.1.1 牛顿力学满足相对性原理	224		
19.1.2 伽利略变换	225		

19.3.1 物理学面临的困境	230	20.5 原子概念发展的历史 原子结构	267
19.3.2 狭义相对论的基本原理	231	20.5.1 早期的原子理论	267
19.3.3 洛伦兹变换	232	20.5.2 支持原子理论的实验证据	267
19.3.4 洛伦兹速度变换	232	20.5.3 物质的原子结构	269
19.4 狭义相对论时空观	233	20.5.4 卢瑟福原子模型	271
19.4.1 时间延缓	234	20.6 玻尔氢原子理论	272
19.4.2 长度收缩	235	20.6.1 原子光谱及其规律	272
19.4.3 同时性的相对性	236	20.6.2 玻尔氢原子理论	275
19.4.4 一般情形下的时空	237	20.6.3 玻尔理论的局限和意义	277
19.5 相对论动力学	237	20.7 弗兰克-赫兹实验	277
19.5.1 相对论的动量、质量	238	20.8 应用拓展——钠元素的黄光之谜	279
19.5.2 狭义相对论力学的基本方程	238	思考题	280
19.5.3 质量与能量的关系	239	习题	281
19.5.4 动量与能量的关系	240		
19.6 质能相当关系在核物理方面的 应用	241	第 21 章 量子物理学基础	283
19.6.1 原子核的结合能	241	21.1 德布罗意波 实物粒子的波粒 二象性	283
19.6.2 重核裂变	242	21.1.1 德布罗意假说	284
19.6.3 热核聚变	244	21.1.2 德布罗意波的实验证实	285
19.7 应用拓展	245	21.1.3 电子波动性的实际应用	286
19.7.1 辐射的利用与危害	245	21.2 海森伯不确定关系	287
19.7.2 宇宙大爆炸理论	247	21.3 波函数及其统计学诠释 薛定谔 方程	291
思考题	248	21.3.1 物质波波函数及其统计学 诠释	291
习题	249	21.3.2 薛定谔方程	292
第 20 章 光的量子性	252	21.4 一维定态薛定谔方程的应用	296
20.1 热辐射	252	21.4.1 一维无限深势阱问题	296
20.1.1 热辐射现象	252	21.4.2 一维势垒 隧道效应	298
20.1.2 绝对黑体 基尔霍夫 辐射定律	253	21.5 氢原子结构	301
20.2 黑体辐射实验及理论困难 普朗克的能量量子假设	255	21.5.1 氢原子的薛定谔方程	301
20.2.1 黑体辐射实验定律	255	21.5.2 三个量子数	302
20.2.2 经典理论对黑体辐射的解释	256	21.6 空间量子化的进一步讨论:空间量子化 实验验证 施特恩-格拉赫实验	307
20.2.3 普朗克的能量量子假说 普朗克黑体辐射公式	257	21.6.1 电子的轨道磁矩	307
20.3 光电效应	259	21.6.2 空间量子化的表现	308
20.3.1 光电效应的实验规律	259	21.6.3 施特恩-格拉赫实验	309
20.3.2 爱因斯坦的光子假说与 光电效应的解释	261	21.7 电子的自旋 原子的壳层结构	310
20.3.3 光的波粒二象性	263	21.7.1 电子自旋	310
20.4 康普顿效应	264	21.7.2 原子的壳层结构	311
20.4.1 实验现象	264	21.7.3 能量最低原理	312
20.4.2 康普顿效应的理论解释	265	21.8 应用拓展——电子隧道效应的应用	313
		思考题	315
		习题	316

附录 1	参考文献	319
附录 2	基本天文数据	320
附录 3	数学基础——矢量	321
附录 4	级数展开和近似公式	323
附录 5	基本积分公式	324

第 四 篇

电磁学 (磁学部分及 电磁场理论)

第 11 章 恒定电流

大家在中学阶段围绕欧姆定律,掌握了直流电路的知识,能够处理一些基本的直流电路问题.本章将以第 9 章、第 10 章静电场知识为基础,认清金属导电的微观机理,引出电流密度、电导率、电阻率等基本概念,说明金属导电的宏观规律.同时对电源本质进行定性分析,引入非静电力、电动势等概念,以便从本质上认识电源的作用.这些知识,将为今后电路的学习打下基础,又为本书的后续课程,如恒定磁场、电磁感应现象等提供帮助.

11.1 电流和电阻

11.1.1 电流 电流密度矢量

正如水的定向运动形成水流,电荷的定向运动形成电流.由于电荷有正负,因此电流的性质更为复杂,尤其是从微观角度来看.

导体中存在能够自由运动的电荷,在电场作用下会发生定向移动.同一电场中,正、负电荷受力方向相反,因此运动方向相反.不同导体中的自由电荷是不同的,一般来说,金属中的自由电荷为电子,带负电荷;半导体中可能是带正电荷的空穴或电子,甚至两者兼而有之;电解液或气态导体中,则可能是正、负两种带电离子.我们将能够自由运动的带电粒子称为载流子.为了方便,电学中规定正电荷运动方向为电流的方向,则沿着同方向运动的负电荷产生的电流反向,因此导体中的电流方向就是电场的方向,由高电势点指向低电势点.以下我们只研究金属导体中的电流.

电流的大小用 I 描述.如图 11-1 所示,假设有电荷通过一个截面 S (将其想象为一个导线的截面),如果在时间间隔 Δt 内

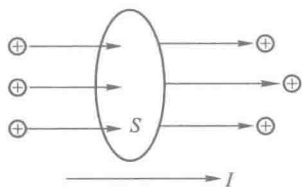


图 11-1 通过截面 S 的运动电荷

有电荷量 ΔQ 通过了截面 S , 则电流 I 定义为

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (11-1)$$

即电流是单位时间内通过导体任一横截面的电荷量。

电流不随时间变化的电流称为恒定电流; 随时间变化的电流称为交变电流, 则任意时刻的瞬间电流应当用微分表达式表示为

$$I(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ(t)}{dt} \quad (11-2)$$

电流的单位是安培, 用 A 表示, 即

$$1 \text{ A} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}}$$

这是国际单位制 (SI) 的基本单位之一, 其定义我们将在恒定磁场一章详细讲解。有时, 使用安培作单位描述电流太大, 引入毫安 (mA)、微安 (μA), 分别为

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$$

$$1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

如果在 Δt 时间内电荷 ΔQ 不是均匀地通过导体, 比如说集中地通过截面 S 的上半部分或下半部分, 虽然电流 I 不变, 但是电荷集体运动的状态不同, 由此产生的物理效果可能也大不相同。后面我们会看到, 这两种电流产生的磁场确实不同。正如对河道中水流的描述, 除了要了解单位时间内通过闸门的流量外, 很多时候还需要知道在不同部位的水流快慢及方向。同样, 对于一个大块导体, 往往需要知道不同部位电流的大小及方向, 这些知识有时相当重要, 如在高频交流电情况下, 由于趋肤效应, 导线表面附近单位面积上的电流会比中心附近大得多 (见 13.4.2 小节)。

电流密度矢量能够更完整、详细地描述导体中电荷的运动。其定义是: 导体中任意一点处, 沿着正电荷运动方向, 单位时间内流过单位面积的电荷量, 用 j 表示。

如图 11-2 (a) 所示, 用带箭头的曲线表示正电荷的运动轨迹, 如果导体中取垂直于正电荷运动方向的面积元 dS , dt 时间内通过该截面积的电荷量为 dQ , 则

$$j = \frac{dQ}{dt dS} = \frac{dI}{dS} \quad (11-3)$$

显然, 电流密度的单位为 $\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

式 (11-3) 也可以写为

$$dI = j dS$$

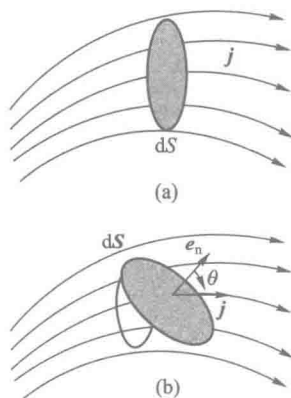


图 11-2 电流密度