



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Physics

物理学教程

(第二版) 下册

马文蔚 周雨青 解希顺 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

物理学教程

(第二版) 下册

马文蔚 周雨青 解希顺 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本教材在修订时参照了教育部物理基础课程教学指导分委员会制订的《理工科非物理类专业大学物理课程教学基本要求》(讨论稿),涵盖了基本要求中的核心内容。在内容选取上采用压缩经典、简化近代;削枝强干、突出重点;简约理论论证、适度增加应用等办法,以适应不同院校和专业对大学物理的要求。同时考虑到应用型院校的特点和实际情况,在保证必要的基本训练的基础上,适度降低了例题和习题的难度。

本书配有丰富的教学资源,包括《大学物理网络课程》V2.0、《物理学教程(第二版)电子教案》、《物理学原理在工程技术中的应用》(第三版)、《物理学教程(第二版)习题分析与解答》、《物理学教程(第二版)学习指导》和《大学物理素材库》等,构成了“物理学教程(第二版)系列教材”较为完善的资源体系,将为各类高校开设大学物理课程提供良好的服务。

本书分上、下两册。上册内容包括力学、机械振动、机械波和热学。下册包括电磁学、光学、狭义相对论和量子物理等。

本书可作为高等学校工科非物理专业大学物理课程的教材或参考书,也可供文理科相关专业选用和社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

物理学教程.下册/马文蔚,周雨青,解希顺编.2版.

—北京:高等教育出版社,2006.11

ISBN 7-04-020058-9

I.物... II.①马...②周...③解... 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120804号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	化学工业出版社印刷厂		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	1999年11月第1版
印 张	23.25		2006年11月第2版
字 数	430 000	印 次	2006年11月第1次印刷
		定 价	26.70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 20058-00

电磁学、光学和近代物理的量 and 单位

量		单 位	
名 称	符 号	名 称	符 号
电 荷	q, Q	库 仑	C
电 场 强 度	E	伏 特 每 米	$V \cdot m^{-1}$
真 空 电 容 率	ϵ_0	法 拉 每 米	$F \cdot m^{-1}$
相 对 电 容 率	ϵ_r		
电 场 强 度 通 量	Φ_e	伏 特 米	$V \cdot m$
电 势 能	E_p	焦 耳	J
电 势	V	伏 特	V
电 势 差	U	伏 特	V
电 偶 极 矩	p	库 仑 米	$C \cdot m$
电 容	C	法 拉	F
电 极 化 强 度	P	库 仑 每 平 方 米	$C \cdot m^{-2}$
电 位 移	D	库 仑 每 平 方 米	$C \cdot m^{-2}$
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	$A \cdot m^{-1}$
真 空 磁 导 率	μ_0	亨 利 每 米	$H \cdot m^{-1}$
相 对 磁 导 率	μ_r		
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

续表

量		单 位	
名 称	符 号	名 称	符 号
互感	M	亨利	H
位移电流	I_d	安培	A
折射率	n		
物距	p	米	m
像距	p'	米	m
焦距	f	米	m
光速	c	米每秒	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
辐射强度	I	瓦特每平方米	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
辐射能密度	$w(u)$	焦耳每立方米	$\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$
原子序数	Z		
中子数	N		
核子数	A		
原子质量常数	m_u	原子质量单位	u 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
普朗克常数	h	焦耳秒	$\text{J} \cdot \text{s}$
玻尔半径	r_1	米	m
里德伯常数	R	每米	m^{-1}
主量子数	n		
波函数	ψ		

① 一个原子质量单位等于一个处于基态的¹²C中性原子的静质量的1/12。 $1 u = 1.660\ 538\ 86(28) \times 10^{-27} \text{ kg}$ 。

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

策划编辑	庞永江
责任编辑	李松岩
封面设计	张 志
责任绘图	朱 静
版式设计	王艳红
责任校对	张 颖
责任印制	尤 静

目 录

第九章 静电场	1
9-1 电荷的量子化 电荷守恒定律	1
一 电荷的量子化	1
二 电荷守恒定律	2
9-2 库仑定律	2
9-3 电场强度	4
一 静电场	4
二 电场强度	4
三 点电荷的电场强度	5
四 电场强度的叠加原理	6
9-4 电场强度通量 高斯定理	12
一 电场线	13
二 电场强度通量	14
三 高斯定理	17
四 高斯定理应用举例	20
9-5 静电场的环路定理 电势能	23
一 静电场力所作的功	23
二 静电场的环路定理	24
三 电势能	25
9-6 电势	26
一 电势	26
二 点电荷电场的电势	28
三 电势的叠加原理	28
9-7 电场强度与电势梯度	32
一 等势面	32
二 电场强度与电势梯度	34
问题	35
习题	36
第十章 静电场中的导体和电介质	41

10-1	静电场中的导体	41
一	静电平衡条件	41
二	静电平衡时导体上的电荷分布	42
三	静电屏蔽	45
10-2	静电场中的电介质	46
一	电介质对电场的影响 相对电容率	46
二	电介质的极化	46
三	电介质中的电场强度 极化电荷与自由电荷的关系	49
10-3	电位移 有电介质时的高斯定理	51
10-4	电容	53
一	电容器 电容	53
二	电容器的并联和串联	58
10-5	静电场的能量 能量密度	60
一	电容器的电能	60
二	静电场的能量 能量密度	61
10-6	静电的应用	63
一	范德格拉夫静电起电机	63
二	静电除尘	64
三	静电分离	64
	问题	65
	习题	66
第十一章 恒定磁场		71
11-1	恒定电流 电流密度	72
11-2	电源 电动势	75
11-3	磁场 磁感强度	77
11-4	毕奥-萨伐尔定律	79
一	毕奥-萨伐尔定律	80
二	毕奥-萨伐尔定律应用举例	81
三	磁矩	83
11-5	磁通量 磁场的高斯定理	86
一	磁感线	86
二	磁通量 磁场的高斯定理	87
11-6	安培环路定理	89
一	安培环路定理	89
二	安培环路定理应用举例	91

11-7 带电粒子在磁场中运动	93
一 带电粒子在磁场中所受的力	94
二 带电粒子在磁场中的运动举例	94
三 带电粒子在现代电磁场技术中的应用举例	98
11-8 载流导线在磁场中所受的力	103
一 安培力	103
二 磁场对载流线圈作用的力矩	106
11-9 磁场中的磁介质	108
一 磁介质 磁化强度	108
二 磁介质中的安培环路定理 磁场强度	111
三 铁磁质	113
问题	119
习题	121
第十二章 电磁感应 电磁场和电磁波	126
12-1 电磁感应定律	126
一 电磁感应现象	126
二 电磁感应定律	128
三 楞次定律	129
12-2 动生电动势和感生电动势	133
一 动生电动势	133
二 感生电动势	135
三 涡电流	136
12-3 自感和互感	139
一 自感电动势 自感	139
二 互感电动势 互感	141
12-4 磁场的能量 磁场能量密度	144
12-5 位移电流 电磁场基本方程的积分形式	147
一 位移电流 全电流安培环路定理	147
二 电磁场 麦克斯韦电磁场方程的积分形式	150
12-6 电磁振荡 电磁波	151
一 振荡电路 无阻尼自由电磁振荡	151
二 电磁波的产生与传播	153
三 真空中的平面电磁波及其特性	154
四 真空中电磁波的能量	156
五 电磁波谱	157

问题	158
习题	160
第十三章 几何光学简介	165
13-1 几何光学基本定律	165
一 反射和折射定律	165
二 全反射	166
13-2 光在平面上的反射、折射成像	168
一 平面的反射成像	168
二 平面的折射成像	168
13-3 光在球面上的反射、折射成像	169
一 球面镜的反射成像	169
二 球面上的折射成像	170
13-4 薄透镜	172
一 薄透镜的成像公式	172
二 薄透镜成像特性	174
三 薄透镜的横向放大率	174
13-5 显微镜、望远镜和照相机	175
一 显微镜	175
二 望远镜	176
三 照相机	177
问题	178
习题	178
第十四章 波动光学	180
14-1 相干光	180
一 光的相干性	180
二 相干光的获取	182
14-2 杨氏双缝干涉实验 光程 劳埃德镜	183
一 杨氏双缝干涉实验	183
二 光程和光程差	187
三 劳埃德镜	189
14-3 薄膜干涉	191
一 薄膜干涉的光程差	191
二 劈尖	194
三 牛顿环	198
14-4 迈克耳孙干涉仪	199

一 迈克耳孙干涉仪	199
二 等倾干涉	201
14-5 光的衍射	202
一 光的衍射现象	202
二 惠更斯-菲涅耳原理	203
三 菲涅耳衍射和夫琅禾费衍射	204
14-6 单缝衍射	205
14-7 圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	210
14-8 衍射光栅	213
一 光栅	213
二 光栅衍射条纹的形成	214
三 衍射光谱	218
* 四 X射线衍射简介	219
14-9 光的偏振性 马吕斯定律	221
一 自然光 偏振光	221
二 偏振片 起偏与检偏	223
三 马吕斯定律	224
14-10 反射光和折射光的偏振	225
* 14-11 双折射现象	228
一 双折射的寻常光和非常光	228
二 人为双折射现象	230
* 14-12 旋光现象	231
问题	232
习题	235
第十五章 狭义相对论	239
15-1 伽利略变换式 牛顿力学相对性原理遇到的困难	240
一 伽利略变换式 经典力学的相对性原理	240
二 经典力学的绝对时空观	242
三 光速依赖于惯性参考系的选取吗	242
15-2 狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换式	243
一 狭义相对论的基本原理	243
二 洛伦兹变换式	245
* 三 洛伦兹速度变换式	246
15-3 狭义相对论的时空观	248
一 同时的相对性	248

二 长度的收缩	249
三 时间的延缓	250
* 15-4 光的多普勒效应	251
15-5 相对论性动量和能量	253
一 动量与速度的关系	253
二 狭义相对论力学的基本方程	255
三 质量与能量的关系	255
* 四 质能公式在原子核裂变和聚变中的应用	257
五 动量与能量的关系	259
问题	260
习题	261
第十六章 量子物理	263
16-1 黑体辐射 普朗克能量子假设	264
一 黑体 黑体辐射	264
二 斯特藩-玻耳兹曼定律 维恩位移定律	265
* 三 黑体辐射的瑞利-金斯公式 经典物理的困难	268
四 普朗克假设 普朗克黑体辐射公式	269
16-2 光电效应 光的波粒二象性	271
一 光电效应实验的规律	271
二 光子 爱因斯坦方程	272
* 三 光电效应在近代技术中的应用	274
四 光的波粒二象性	275
16-3 康普顿效应	276
16-4 氢原子的玻尔理论	280
一 氢原子光谱的规律	281
二 卢瑟福的原子有核模型	283
三 氢原子的玻尔理论	286
四 氢原子玻尔理论的困难	289
16-5 德布罗意波 实物粒子的二象性	290
一 德布罗意假设	290
二 德布罗意波的实验证明——G. P. 汤姆孙电子衍射实验	293
三 应用举例	294
四 德布罗意波的统计解释	294
16-6 不确定关系	295
16-7 量子力学简介	298

一	波函数 概率密度	299
二	薛定谔方程	300
三	一维势阱问题	302
四	对应原理	305
五	一维方势垒 隧道效应	307
16-8	多电子原子中电子分布	308
一	四个量子数	308
二	多电子原子中的电子分布	311
16-9	激光	317
一	自发辐射 受激辐射	317
二	激光原理	318
三	激光器	320
四	激光的特性和应用	322
16-10	半导体	323
一	固体的能带	323
二	本征半导体和杂质半导体	325
三	pn 结	327
四	光生伏特效应	328
16-11	超导体	329
一	超导体的转变温度	329
二	超导体的主要特性	330
三	超导电性的 BCS 理论	332
四	超导的应用前景	333
16-12	纳米材料	333
一	纳米效应	334
二	纳米材料的制备	335
三	一种纳米新材料——碳纳米管	335
四	应用前景	336
	问题	337
	习题	338
	习题答案	341
	索引	347
	照片说明	354

第九章 静电场

电磁运动是物质的又一种基本运动形式,电磁相互作用是自然界已知的四种基本相互作用之一,也是人们认识得较深入的一种相互作用。在日常生活和生产活动中,在对物质结构的深入认识过程中,都要涉及电磁运动。因此,理解和掌握电磁运动的基本规律,在理论上和实践上都有极重要的意义。

一般来说,运动电荷将同时激发电场和磁场,电场和磁场是相互关联的。但是,在某种情况下,例如当我们所研究的电荷相对某参考系静止时,电荷在这个静止参考系中就只激发电场,而无磁场。这个电场就是本章所要讨论的静电场。

本章的主要内容有:静电场的基本定律——库仑定律,静电场的两条基本定理——高斯定理和环路定理,描述静电场的两个基本物理量——电场强度和电势等。

9-1 电荷的量子化 电荷守恒定律

按照原子理论,在每个原子中,电子环绕由中子和质子组成的原子核运动,这些电子的状况可视为如图9-1所示的电子云。原子核的线度比电子云的线度要小得多。一般来说,原子核的线度约为 $5 \times 10^{-15} \text{ m}$,电子云的线度(即原子的直径)约为 $2 \times 10^{-10} \text{ m}$ 。这就是说,原子的线度约为原子核线度的 10^5 倍。原子中的中子不带电,质子带正电,电子带负电,质子与电子所具有的电荷量(简称电荷)的绝对值是相等的。在正常情况下,每个原子中的电子数与质子数相等,故物体呈电中性,若电子过多,物体就带了负电;若是电子不足,则物体带了正电。

一 电荷的量子化

1897年J. J. 汤姆孙从实验中测量阴极射线粒子的电荷与质量之比时,得出

阴极射线粒子的电荷与质量之比较之氢离子要大约 2 000 倍. 这种粒子后来被称为**电子**. 所以一般认为 J. J. 汤姆孙是电子的发现者. 电子的电荷与质量之比称为电子的比荷^①(e/m). 通过数年努力, 1913 年 R. A. 密立根终于从实验中得出带电体的电荷是电子电荷 e 的整数倍的结论, 即 $q = \pm ne, n$ 为 1, 2, 3, \dots . 这是自然界存在不连续性(即量子化)的又一个例子. 电荷的这种只能取离散的、不连续的量值的性质, 叫做**电荷的量子化**. 电子的电荷绝对值 e 称为**元电荷**, 或称电荷的量子.

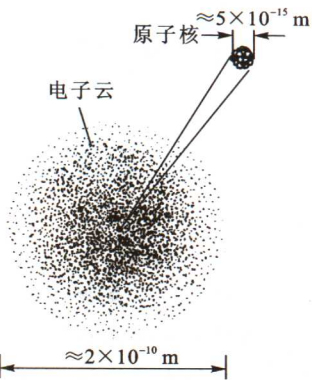


图 9-1 电子云

电荷的单位名称为库仑, 简称库, 符号为 C, 在通常的计算中, 电子电荷的近似值为

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

现在知道的自然界中的微观粒子, 包括电子、质子、中子在内, 已有几百种, 其中带电粒子所具有的电荷或者是 $+e$ 、 $-e$, 或者是它们的整数倍. 因此可以说, 电荷量子化是一个普遍的量子化规则. 量子化是近代物理中的一个基本概念, 当研究的范围达到原子线度大小时, 很多物理量如角动量、能量等也都是量子化的. 这些内容将在光的量子性、原子结构等章节中再加以介绍.

二 电荷守恒定律

前面已指出, 在正常状态下, 物体是电中性的, 物体里正、负电荷的代数和为零. 如果在一个系统中有两个电中性的物体, 由于某些原因, 使一些电子从一个物体移到另一个物体上, 则前者带正电, 后者带负电, 不过两物体正、负电荷的代数和仍为零. 总之, 不管系统中的电荷如何迁移, 系统的电荷的代数和保持不变, 这就是**电荷守恒定律**. 电荷守恒定律就像能量守恒定律、动量守恒定律和角动量守恒定律那样, 也是自然界的基本守恒定律. 无论是在宏观领域里, 还是在原子、原子核和粒子范围内, 电荷守恒定律都是成立的.

9-2 库仑定律

1785 年法国物理学家库仑用扭秤实验测定了两个带电球体之间的相互作用

^① 按 1996 年全国自然科学名词审查委员会公布的物理学名词, e/m 定名为比荷, 又称电子荷质比(为不推荐用名).

用的电力. 库仑在实验的基础上提出了两个点电荷之间相互作用的规律, 即库仑定律^①. “点电荷”是一个抽象的模型. 当两带电体本身的线度 d 比问题中所涉及的距离 r 小很多, 即 $d \ll r$ 时, 带电体就可近似当成是“点电荷”. 库仑定律的表述为:

在真空中, 两个静止的点电荷之间的相互作用力, 其大小与它们电荷的乘积成正比, 与它们之间距离的二次方成反比; 作用力的方向沿着两点电荷的连线, 同号电荷相斥, 异号电荷相吸.



库仑 (Charles Augustin de Coulomb, 1736—1806), 法国物理学家. 他使用自己创制的扭秤确定了电荷间作用力的库仑定律. 他通过对滚动和滑动摩擦的实验研究, 得出摩擦定律.

如图 9-2 所示, 两个点电荷 q_1 和 q_2 , 由电荷 q_1 指向电荷 q_2 的矢量用 \mathbf{r} 表示. 那么, 电荷 q_2 受到电荷 q_1 的作用力 \mathbf{F} 为

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_r \quad (9-1)$$

式中 \mathbf{e}_r 为从电荷 q_1 指向电荷 q_2 的单位矢量, 即 $\mathbf{e}_r = \mathbf{r}/r$. 而 ϵ_0 叫做真空电容率^②, 是电学中常用到的一个物理量. 一般计算时, 其值为

图 9-2 库仑定律

① 比库仑的扭秤实验早 12 年的 1773 年, 英国物理学家卡文迪许 (H. Cavendish, 1731—1810) 也得出了电荷间作用力的二次方反比定律, 但卡文迪许没有发表, 直到 1871 年才被麦克斯韦发现而公之于世. 关于库仑定律中二次方指数的偏差, 即 $2 + \delta$ 中 δ 的准确值, 则是自卡文迪许、库仑以来, 迄今为止许多著名实验室仍在研究的一个课题. 有关这方面的问题, 读者如有兴趣可参阅郭奕玲编《大学物理中的著名实验》之 80~87 页, 科学出版社, 1994 年; 马文蔚等编《物理学发展史上的里程碑》之 139~145 页, 江苏科学技术出版社, 1992 年.

② 1996 年全国自然科学名词审定委员会公布的物理学名词, ϵ_0 又称真空介电常数 (为不推荐用名).

$$\begin{aligned}\varepsilon_0 &= 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \\ &= 8.85 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}. \textcircled{1}\end{aligned}$$

由上式可以看出,当 q_1 和 q_2 同号时, $q_1 q_2 > 0$, q_2 受到斥力作用;当 q_1 和 q_2 异号时, $q_1 q_2 < 0$, q_2 受到引力作用. 静止电荷间的电作用力, 又称库仑力. 应当指出, 两静止点电荷之间的库仑力遵守牛顿第三定律. 由于我们所研究的电荷或是处于静止, 或是其速率非常小 ($v \ll c$), 都属于低速的情况, 牛顿第二定律以及由牛顿第二定律所导出的结论, 也都能适用于有库仑力作用的情形.

9-3 电场强度

一 静电场

任何电荷在其周围都将激发起电场, 电荷间的相互作用是通过电场对电荷的作用来实现的. 场是一种特殊形态的物质, 它和物质的另一种形态——实物一起, 构成了物质世界非常丰富的图景. 静电场存在于静止电荷的周围, 并分布在一定的空间. 处于静电场中的电荷要受到电场力的作用, 并且当电荷在电场中运动时电场力也要对它做功. 由这两方面的性质可分别引出描述电场性质的两个物理量——电场强度和电势. 下面我们先介绍电场强度, 电势则在第 9-6 节中介绍.

二 电场强度

为了表述电场对处于其中的电荷施以作用力的这个性质, 我们把一个试验电荷 q_0 放到电场中不同位置, 观察电场对试验电荷 q_0 的作用力的情况. 试验电荷必须满足如下要求: (1) 试验电荷必须是点电荷; (2) 它的电荷应足够小, 以致把它放进电场中对原有的电场几乎没有什么影响. 为叙述方便, 我们取试验电荷为正电荷 $+q_0$ ^②.

如图 9-3 所示, 在静止电荷 Q 周围的静电场中, 先后将试验电荷 $+q_0$ 放到电场中 A 、 B 和 C 三个不同的位置处. 我们发现, 试验电荷 $+q_0$ 在电场中不同位置处所受到的电场力 F 的大小和方向均不相同. 另一方面, 就电场中某一点而言, 试验电荷 q_0 在该处所受的电场力 F 只与 q_0 的大小有关; 但 F 与 q_0 之比, 则与

① 其中 F 是电容的单位法拉的符号.

② 试验电荷也可取负电荷, 负试验电荷在电场中的受力方向与正试验电荷的受力方向相反. 本书提到的试验电荷都指正试验电荷.