



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学基础物理学 (第2版) 下

University Fundamental Physics (2nd Ed.) Vol. II

F1版

张三慧 编著

Zhang Sanhui

清华大学出版社

F1版

大学基础物理学 (第2版) 下

University Fundamental Physics (2nd Ed.) Vol. II

张三慧 编著

Zhang Sanhui

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

《大学基础物理学》(第2版)F1版分上、下两册。上册内容包括力学、热学及振动和波动。力学篇讲述经典的质点力学、理想流体的运动规律、刚体转动的基本内容和狭义相对论基础知识等。热学篇着重在分子论的基础上用统计概念说明温度、气体的压强以及麦克斯韦分布率。振动和波动篇介绍了振动与波动的基本特征。下册内容包括电磁学、光学、量子物理基础。电磁学篇按传统体系讲述了电场、电势、磁场、电磁感应和电磁波的基本概念和规律,还说明了电场和磁场的相对性。光学篇介绍了光的干涉、衍射和偏振的基本规律。量子物理基础篇介绍了波粒二象性、概率波、不确定关系和能量量子化等基本概念以及原子和固体中电子的状态和分布的规律,最后还介绍了原子核的结合能、放射性衰变和核反应等基本知识。“今日物理趣闻”栏目介绍了一些现代物理理论发展及其应用的前沿课题。本书还编写了大量来自生活、实用技术以及自然现象等方面的例题和习题。

本书上、下册内容涵盖了大学物理学教学的基本要求,可作为高等院校物理课程的教材,也可作为中学物理教师或其他读者的自学参考书。

与本书配套的《大学基础物理学学习辅导与习题解答》(第2版)、电子教案、教师用书(电子版)均由清华大学出版社出版。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

大学基础物理学:F1版.下/张三慧编著.--2版.--北京:清华大学出版社,2010.12
ISBN 978-7-302-24306-9

I. ①大… II. ①张… 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(2010)第227945号

责任编辑:邹开颜

责任校对:赵丽敏

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社总机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×230

印 张:24.5

字 数:503千字

版 次:2010年12月第2版

印 次:2010年12月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:33.00元

产品编号:040601-01

前言

FOREWORD

大学物理课程是大学阶段一门重要的基础课,它将在高中物理的基础上进一步提高学生的现代科学素质。为此,物理课程应提供内容更广泛更深入的系统的现代物理学知识,并在介绍这些知识的同时进一步培养学生的科学思想、方法和态度并引发学生的创新意识和能力。

根据上述对大学物理课程任务的理解,本书在高中物理的基础上系统而又严谨地讲述了基本的物理原理。内容的安排总体上是按传统的力、热、振动和波动、电、光、量子物理的顺序。所以“固守”此传统,是因为到目前为止,物理学的发展并没有达到可能和必要在基础物理教学上改变这一总体系的程度。书中具体内容主要是经典物理基本知识,但同时也包含了许多现代物理,乃至一些物理学前沿的理论和实验以及它们在现代技术中应用的知识。本书还开辟了“今日物理趣闻”专栏,简要地介绍了如基本粒子、宇宙发展、能源与环境、超导、全息等课题,以开阔学生视野,激发其学习兴趣,并启迪其创造性。

本书选编了大量联系实际的例题和习题,从光盘到打印机,从跳水到蹦极,从火箭到对撞机,从人造卫星到行星、星云等都有涉及。其中还特别注意选用了我国古老文明与现代科技的资料,如王充论力,苏东坡的回文诗,神舟飞船的升空,热核反应的实验等。对这些例题和习题的分析与求解能使学生在更实在又深刻地理解物理概念和规律,了解物理基础知识的重要的实际意义,同时也有助于培养学生联系实际的学风,增强民族自信心。为了便于理解,本书取材力求少而精,论述力求简而明。

本书分上、下两册,共包括六篇:力学、热学、振动和波动、电磁学、光学、量子物理基础。

力学篇完全按传统体系讲述。以牛顿定律为基础和出发点,引入动量、角动量和能量概念,导出动量、角动量和机械能等的守恒定律,最后将它们都推广到普遍的形式。守恒定律在物理思想和方法上讲固然是重要的,但在解决实际问题时经典的动力学概念与规律也常是不可或缺的。本书对后者也作了较详细的讲解。力学篇还强调了参考系的概念,说明了守恒定律的意义,并注意到物理概念和理论的衍生和发展。

热学篇除了对系统,特别是气体的宏观性质及其变化规律作了清晰的介绍外,大大加强了在分子理论基础上的统计概念和规律的讲解。除了在第7章温度和气体动理论中着重介绍了统计规律外,在其他各章对功、热的实质、热力学第一定律、热力学第二定律以及熵的微观意义和宏观表示式等都结合统计概念作了许多独特而清晰的讲解。

振动和波动在牛顿力学的基础上介绍了机械振动与机械波的规律。

电磁学篇以库仑定律、毕奥-萨伐尔定律和法拉第定律为基础展开,直至麦克斯韦方程组。在讲解了电流的磁场之后,还根据相对论指出了电场和磁场的相对性,使学生对电磁场的性质有更深入的理解。在分析方法上,本篇强调了对称性的分析,如在求电场和磁场的分布时,都应用了空间对称性的概念。

光学篇主要着眼于清晰地讲解光的干涉、衍射、偏振和几何光学的基本现象和规律。

量子物理基础篇的重点放在最基本的量子力学概念方面,如波粒二象性、不确定关系等,至于薛定谔方程及其应用、原子中电子运动的规律、固体物理等只作了很简要的陈述。

本书内容概括了大学物理学教学的最基本要求。本书还简述了若干位科学家的生平、品德与贡献,以提高学生素养,鼓励成才。书末附有物理学常用数据的最新公认取值的“数值表”,便于学生查阅和应用。

诚挚地欢迎各位读者对本书提出各种意见和建议。

张三慧

2010年11月于清华园

目 录

CONTENTS

第 4 篇 电磁学

第 12 章 静电场	2
12.1 电荷	2
12.2 电场和电场强度	3
12.3 库仑定律与静电场的计算	5
12.4 电场线和电通量	11
12.5 高斯定律	13
12.6 利用高斯定律求静电场的分布	15
12.7 导体的静电平衡	20
12.8 电场对电荷的作用力	24
提要	26
思考题	27
习题	28
第 13 章 电势	31
13.1 静电场的保守性	31
13.2 电势差和电势	33
13.3 电势叠加原理	36
13.4 等势面	38
13.5 电势梯度	41
13.6 点电荷在外电场中的静电势能	43

* 13.7	电荷系的静电能	44
13.8	静电场的能量	46
	提要	47
	思考题	48
	习题	49
第 14 章	电容器和介电质	52
14.1	电容器及其电容	52
14.2	电容器的联接	54
14.3	介电质对电场的影响	56
14.4	介电质的极化	58
14.5	D 矢量及其高斯定律	61
14.6	电容器的能量	62
14.7	介电质中电场的能量	63
	提要	64
	思考题	65
	习题	65
第 15 章	电流和磁场	68
15.1	电流和电流密度	68
15.2	电流的一种经典微观图像 欧姆定律	70
15.3	磁力与电荷的运动	72
15.4	磁场与磁感应强度	74
15.5	毕奥-萨伐尔定律	77
* 15.6	匀速运动点电荷的磁场	82
15.7	安培环路定理	84
15.8	利用安培环路定理求磁场的分布	87
15.9	与变化电场相联系的磁场	90
* 15.10	电场和磁场的相对性	92
	提要	94
	思考题	96
	习题	97
	科学家简介 麦克斯韦	99

第 16 章 磁力	100
16.1 带电粒子在磁场中的运动	100
16.2 霍尔效应	103
16.3 载流导线在磁场中受的磁力	105
16.4 载流线圈在均匀磁场中受的磁力矩	106
16.5 平行载流导线间的相互作用力	109
提要	112
思考题	112
习题	114
今日物理趣闻 E 等离子体	
E.1 物质的第四态	117
E.2 等离子体内的磁场	118
E.3 磁场对等离子体的作用	119
E.4 热核反应	120
E.5 等离子体的约束	121
E.6 冷聚变	124
第 17 章 物质的磁性	125
17.1 物质对磁场的影响	125
17.2 原子的磁矩	126
17.3 物质的磁化	128
17.4 H 矢量及其环路定理	130
17.5 铁磁质	131
17.6 简单磁路	136
提要	137
思考题	138
习题	139
第 18 章 电磁感应和电磁波	141
18.1 法拉第电磁感应定律	141
18.2 动生电动势	143
18.3 感生电动势和感生电场	147

18.4	互感	150
18.5	自感	151
18.6	磁场的能量	153
18.7	麦克斯韦方程组	155
18.8	电磁波	156
18.9	电磁波的动量	159
	提要	161
	思考题	163
	习题	164
	科学家简介 法拉第	167

今日物理趣闻 F 超导电性

F.1	超导现象	168
F.2	临界磁场	169
F.3	超导体中的电场和磁场	170
F.4	第二类超导体	171
F.5	BCS 理论	172
F.6	约瑟夫森效应	173
F.7	超导在技术中的应用	174
F.8	高温超导	175

第 5 篇 光学

第 19 章	光的干涉	178
19.1	杨氏双缝干涉	178
19.2	相干光	182
19.3	光程	185
19.4	薄膜干涉	187
19.5	迈克耳孙干涉仪	189
	提要	190

思考题	191
习题	192
第 20 章 光的衍射	196
20.1 光的衍射和惠更斯-菲涅耳原理	196
20.2 单缝的夫琅禾费衍射	198
20.3 光学仪器的分辨本领	203
20.4 细丝和细粒的衍射	206
20.5 光栅衍射	209
20.6 X 射线衍射	214
提要	216
思考题	217
习题	218
今日物理趣闻 G 全息照相	
G.1 全息照片的拍摄	221
G.2 全息图像的观察	223
G.3 全息的应用	225
第 21 章 光的偏振	226
21.1 自然光和偏振光	226
21.2 由介质吸收引起的光的偏振	227
21.3 由反射引起的光的偏振	230
21.4 由双折射引起的光的偏振	232
* 21.5 由散射引起的光的偏振	233
* 21.6 旋光现象	235
提要	236
思考题	237
习题	238
今日物理趣闻 H 液晶	
H.1 液晶的结构	239
H.2 液晶的光学特性	240

第6篇 量子物理基础

第 22 章 量子物理的基本概念	244
22.1 量子概念的诞生	244
22.2 光的粒子性的提出	246
22.3 康普顿散射	250
22.4 粒子的波动性	253
22.5 概率波与概率幅	257
22.6 不确定关系	261
22.7 薛定谔方程	265
22.8 无限深方势阱中的粒子	266
22.9 势垒穿透	269
* 22.10 谐振子	273
提要	275
思考题	277
习题	277
科学家简介 德布罗意	280
第 23 章 原子中的电子	281
23.1 氢原子	281
23.2 电子的自旋与自旋轨道耦合	287
23.3 各种原子中电子的排布	292
* 23.4 X 射线谱	297
23.5 激光	300
* 23.6 分子的振动和转动能级	303
提要	306
思考题	308
习题	309
科学家简介 玻尔	311
第 24 章 固体中的电子	312
24.1 自由电子按能量的分布	312

24.2 金属导电的量子论解释	316
24.3 能带 导体和绝缘体	317
24.4 半导体	320
24.5 PN 结	321
24.6 半导体器件	323
提要	325
思考题	326
习题	327



今日物理趣闻 I 新奇的纳米科技

I.1 什么是纳米科技	328
I.2 纳米材料	329
I.3 纳米器件	331

第 25 章 核物理	333
25.1 核的一般性质	333
25.2 核力	336
25.3 核的结合能	338
* 25.4 核的液滴模型	341
25.5 放射性和衰变定律	343
25.6 三种射线	347
25.7 核反应	351
提要	353
思考题	354
习题	354

元素周期表	356
-------------	-----

数值表	357
-----------	-----

习题答案	359
------------	-----

索引	367
----------	-----

第

4

篇

电 磁 学

静 电 场

作为电磁学的开篇,本章讲解静止电荷相互作用的规律。在中学物理课程中,大家已学习了很多这方面的知识,例如电荷,库仑定律,电场和电场强度的概念,带电粒子在电力作用下的运动等。本章除对这些内容作更准确地说明外,还特别侧重于介绍更具普遍意义的高斯定律及应用它求静电场的方法。对称性分析已成为现代物理学的一种基本的分析方法,本章在适当地方多次说明了对称性的意义及利用对称性分析问题的方法。无论是概念的引入,或是定律的表述,或是分析方法的介绍,本章所涉及的内容,就思维方法来讲,对整个电磁学(甚至整个物理学)都具有典型的意义,希望大家细心地、认真地学习体会。

12.1 电荷

电磁现象现在都归因于物体所带的**电荷**以及这些电荷的运动。电荷是物质的基本属性之一,它的一般性质有以下几方面。

电荷有两种,正电荷和负电荷。静止的电荷,同种相斥,异种相吸。物体所带电荷最终由(目前所认识的)组成它们的基本粒子——**夸克和反夸克**的电荷决定。和电荷有两种相比较,物质的另一属性——**质量**则只有一种,与之相联系的相互作用只有一种——**相互吸引的引力**。

带电体所带电荷的多少叫**电量**(也常简单地直称电荷),常用 Q 或 q 表示,在国际单位制中,它的单位的规定方法见 16.5 节,其名称为库[仑],符号为 C。正电荷电量取正值,负电荷电量取负值。一个带电体所带总电量为其所带正负电量的代数和。

电荷是量子化的,即在自然界中,电荷总是以一个**基本单元**的整数倍出现,这个特性叫做电荷的**量子性**。电荷的基本单元就是一个电子所带电量的绝对值,常以 e 表示。经测定为

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

是正整数或负整数。近代物理理论认为每一个夸克或反夸克可能带有 $\pm \frac{1}{3}e$ 或 $\pm \frac{2}{3}e$ 的电量。然而至今单独存在的夸克尚未在实验中发现(即使发现了,也不过把基元电荷的大小缩小到目前的 $1/3$,电荷的量子性依然存在)。

本章讨论电磁现象的宏观规律,所涉及的电荷常常是基元电荷的许多倍。在这种情况下,将只从平均效果上考虑,认为电荷连续地分布在带电体上,而忽略电荷的量子性所引起的微观起伏。尽管如此,在阐明某些宏观现象的微观本质时,还是要从电荷的量子性出发。

在以后的讨论中经常用到点电荷这一概念。当一个带电体本身的线度比所研究的问题中所涉及的距离小很多时,该带电体的形状与电荷在其上的分布状况均无关紧要,该带电体就可看作一个带电的点,叫点电荷。由此可见,点电荷是个相对的概念。至于带电体的线度比问题所涉及的距离小多少时,它才能被当作点电荷,这要依问题所要求的精度而定。当在宏观意义上谈论电子、质子等带电粒子时,完全可以把它们视为点电荷。

电荷是守恒的,即对于一个系统,如果没有净电荷出入其边界,则该系统的正、负电荷的电量的代数和将保持不变。这就是电荷守恒定律。宏观物体的带电、电中和以及物体内的电流等现象实质上是由于微观带电粒子在物体内部运动的结果。因此,电荷守恒实际上也就是在各种变化中,系统内粒子的总电荷数守恒。

现代物理研究已表明,在粒子的相互作用过程中,电荷是可以产生和消失(或湮灭)的。然而在已观察到的这种过程中,正、负电荷总是成对出现或成对消失,所以这种电荷的产生和消失并不改变系统中的电荷数的代数和,因而电荷守恒定律仍然保持有效。

和电荷守恒相比,质量也是守恒的,相应地也有质量守恒定律。不过,在爱因斯坦创立相对论以后,它已和能量守恒定律合二而一了。

电荷与带电体的运动速率无关,即随着带电体的运动速率的变化,它所具有的电荷的电量是不改变的。由于同一带电体的速率在不同的参考系内可以不同,因而电荷的这一性质也可说成是电荷与参考系无关。因此,电荷的这一性质又被称为电荷的相对论不变性。

和电荷的相对论不变性相比较,物体的质量是随其速率变化的,在高速领域更是这样。

12.2 电场和电场强度

自法拉第 1830 年代提出电荷是通过中间介质发生相互作用并把这种中间介质称为“场”以来,今天的物理学家们已普遍地接受了场的概念并作出了许多有关场的非常深入

的研究。现已确认：两个电荷，无论运动与否，它们之间的相互作用是靠场来传递的。其中一种相互作用叫**电场力**，而传递这种力的场称为**电场**。下面我们来说明什么是电场以及如何描述电场^①。

在图 12.1 中，电荷 Q 和 q 通过它们的场发生相互作用。当我们研究 q 受 Q 的作用时， Q 称为**场源电荷**或**源电荷**。它周围存在着与它相联系的，或说是“由 Q 产生的”场。 q 在这场中某点（这点称为**场点**）时就受到在该点处 Q 产生的场的作用力，这力称为**场力**。为了描述 Q 的场在各处的特征，我们将被称为**检验电荷**的点电荷 q 放在这场内某场点 P 处，使其保持**静止**并测量它受的场力。以 F 表示所测得的场力，然后依次把 q 放到其他场点处做同样的实验。结果表明，对于一定的场源电荷 Q ，同一检验电荷 q 在各场点所受的场力的方向和大小一般都不相同。但电量不同的同种检验电荷 q 在同一场点所受场力的方向都是一样的，而且尽管由于 q 不同所受场力的大小不等，但是比值 F/q 在同一场点对不同的 q 却是一个定值，它与 q 无关而只决定于场点所在的位置。这样就可以用比值 F/q 连方向带大小来确定场源电荷周围各场点的场的特征。这种利用**静止的检验电荷 q** 确定的场称为**电场**， F 就称为**电场力**而比值 F/q 就称为各点的**电场强度**。以 E 表示电场强度，就有定义公式

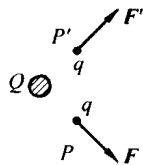


图 12.1 静止的检验电荷受的电场力

$$E = \frac{F}{q} \quad (q \text{ 静止}) \quad (12.1)$$

这就是说，电场中某场点的电场强度的方向为静止的正的检验电荷受场力的方向，而其大小等于静止的单位电荷受的场力。在场源电荷静止的情况下，其周围的电场称为**静电场**。这时，由式(12.1)所定义的电场强度（也常简称为**电场**）是空间坐标的矢量函数。

电场强度的 SI 单位为牛[顿]每库[仑]，符号为 N/C ^②。一些典型的电场强度的值由表 12.1 所给出。

几个电荷可以同时在同一空间内产生自己的电场。这时空间中某一场点的电场强度仍由式(12.1)定义，不过式中 F 应是各场源电荷单独存在时在该场点的电场对检验电荷 q 的电场力的合力。以 F_i 表示一个场源电荷单独存在时在某场点的 q 所受的电场力，则 $F = \sum F_i$ 。将此 F 代入式(12.1) 可得该场点的电场强度为

$$E = \frac{F}{q} = \frac{\sum F_i}{q} = \sum \frac{F_i}{q} \quad (12.2)$$

① 电荷之间的另一种相互作用是磁场力，它和电荷的运动有关，磁场和磁场力将在第 15 和 16 章介绍。

② 电场强度的另一 SI 单位为伏[特]每米，符号为 V/m ，它和单位 N/C 完全等效。

表 12.1 一些电场强度的数值

N/C

铀核表面	2×10^{21}
中子星表面	约 10^{14}
氢原子电子内轨道处	6×10^{11}
X 射线管内	5×10^6
空气的电击穿强度	3×10^6
范德格拉夫静电加速器内	2×10^6
电视机的电子枪内	10^5
电闪内	10^4
雷达发射器近旁	7×10^3
太阳光内(平均)	1×10^3
晴天大气中(地表面附近)	1×10^2
小型激光器发射的激光束内(平均)	1×10^2
日光灯内	10
无线电波内	约 10^{-1}
家庭用电路内	约 3×10^{-2}
宇宙背景辐射内(平均)	3×10^{-6}

但由式(12.1)可知 F_i/q 为一个场源电荷单独在有关场点产生的电场强度 E_i , 所以由式(12.2)又可得

$$E = \sum_{i=1}^n E_i \quad (12.3)$$

此式表示: 在 n 个电荷产生的电场中某场点的电场强度等于每个电荷单独存在时在该点所产生的电场强度的矢量和。这个结论叫电场叠加原理。

12.3 库仑定律与静电场的计算

电荷既然是通过它们的场相互作用的, 那么, 要想求出一个电荷受的电场力以及其运动情况, 就必须先知道电场的分布状况。场源电荷和它在周围产生的电场的分布有什么关系呢? 我们将从最简单的情况开始讨论, 即先考虑在真空中一个静止的电荷 q 的电场分布。

1785 年法国科学家库仑用扭秤做实验确定了电荷间相互作用的基本定律, 现在就叫库仑定律。它的内容是: 在真空中两个静止的点电荷之间的作用力的方向沿着两个点电荷的连线(同性相斥, 异性相吸), 作用力的大小 F 和两个点电荷的电量 q_1 和 q_2 都成正比, 和它们之间的距离 r 的平方成反比。用 SI 单位, 写成数学等式, 就有

$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2} \quad (12.4)$$