



高等院校物理系列教材
Textbook Series in Physics for Higher Education

大学基础物理学 (下册)

University Fundamental Physics

张三慧 编著

Zhang Sanhui

清华大学出版社



高等院校物理系列教材
Textbook Series in Physics for Higher Education

大学基础物理学 (下册)

University Fundamental Physics

张三慧 编著

Zhang Sanhui

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书下册的内容包括电磁学、波动与光学、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。波动与光学篇介绍了振动与波的基本特征和光的干涉、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”栏目介绍了超导、全息等几个现代物理和技术的课题。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。

本书上下册内容概括了大学物理教学的最基本要求,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。

图书在版编目(CIP)数据

大学基础物理学. 下册/张三慧编著. —北京:清华大学出版社,2003

(高等院校物理系列教材)

ISBN 7-302-07258-2

I. 大… II. 张… III. 物理学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 083720 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 朱红莲

文稿编辑: 王仁康

版式设计: 刘祎森

印 装 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×230 印张: 30.25 字数: 625 千字

版 次: 2003 年 11 月第 1 版 2003 年 12 月第 4 次印刷

书 号: ISBN 7-302-07258-2/O·319

印 数: 35001~45000

定 价: 32.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704。

前言

FOREWORD

大学物理课程是大学阶段一门重要的基础课,它是为提高学生的现代科学素质服务的。为此,物理课程应提供一定范围、一定深度的系统的现代物理学知识作为科学素质的基础,还要在介绍这些知识的同时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,本书系统而又严谨地讲述了基础物理知识。内容的安排总体上是按传统的力、热、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、能源开发、超导、全息等课题,以开扩学生视野,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,长征火箭的发射,热核反应的实验等等。对这些例题和习题的分析与求解能使学生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学风,增强民族自信心。为了便于阅读和理解,本书取材力求少而精,论述力求简而明。

本书共分五篇:力学、热学、电磁学、波动与光学、量子物理简介,分上下两册出版。

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,而在解

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8章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。

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磁场规律的相对性,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。

波动与光学篇主要着眼于清晰地讲解波、光的干涉和衍射的基本现象和规律。

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。为了帮助学生掌握各篇内容的体系结构与脉络,每篇开始都编制了该篇内容及基本知识系统图。本书还简述了若干位科学家的生平、品德与贡献,用以提高学生素养,鼓励成才。书中最后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。

诚挚地欢迎对本书的各种批评和建议。

张三慧

2003年5月于清华园

目 录

CONTENTS

第 3 篇 电磁学

第 11 章 静止电荷的电场	330
11.1 电荷	330
11.2 库仑定律与叠加原理	333
11.3 电场和电场强度	336
11.4 静止的点电荷的电场及其叠加	339
11.5 电场线和电通量	343
11.6 高斯定律	346
11.7 利用高斯定律求静电场的分布	348
提要	353
思考题	354
习题	355
第 12 章 电势	358
12.1 静电场的保守性	358
12.2 电势差和电势	360
12.3 电势叠加原理	363
12.4 电势梯度	366
12.5 电荷在外电场中的静电势能	368
* 12.6 电荷系的静电能	369

12.7 静电场的能量	372
提要	373
思考题	374
习题	375
第 13 章 有导体和电介质存在时的静电场	378
13.1 导体的静电平衡条件	378
13.2 静电平衡的导体上的电荷分布	379
13.3 有导体存在时静电场的分析与计算	381
13.4 静电屏蔽	384
13.5 电容器	385
13.6 电介质对电场的影响	388
13.7 电介质的极化	389
13.8 D 矢量及其高斯定律	393
13.9 电容器的能量	394
提要	396
思考题	397
习题	398
第 14 章 电流和磁力	402
14.1 电流和电流密度	402
14.2 电流的一种经典微观图像	404
14.3 磁力与电荷的运动	406
14.4 磁场与磁感应强度	407
14.5 带电粒子在磁场中的运动	411
14.6 霍尔效应	413
14.7 载流导线在磁场中受的力和力矩	415
提要	420
思考题	420
习题	422

第 15 章 磁场的源	427
15.1 毕奥-萨伐尔定律	427
* 15.2 匀速运动点电荷的磁场	433
15.3 安培环路定理	435
15.4 利用安培环路定理求磁场的分布	438
15.5 与变化电场相联系的磁场	441
15.6 平行电流间的相互作用力	443
* 15.7 电场和磁场的相对性	446
提要	448
思考题	449
习题	450
科学家简介 麦克斯韦	454



今日物理趣闻 E 等离子体

E.1 物质的第四态	455
E.2 等离子体内的磁场	456
E.3 磁场对等离子体的作用	457
E.4 热核反应	459
E.5 等离子体的约束	460
E.6 冷聚变	462

第 16 章 有磁介质存在时的磁场	464
16.1 磁介质对磁场的影响	464
16.2 原子的磁矩	465
16.3 磁介质的磁化	467
16.4 H 矢量及其环路定理	469
16.5 铁磁质	470
16.6 简单磁路	474
提要	476
思考题	476
习题	478

第 17 章 电磁感应	480
17.1 法拉第电磁感应定律	480
17.2 动生电动势	482
17.3 感生电动势和感生电场	485
17.4 互感	489
17.5 自感	490
17.6 磁场的能量	492
提要	494
思考题	495
习题	496
科学家简介 法拉第	499

今日物理趣闻 F 超导电性

F.1 超导现象	500
F.2 临界磁场	501
F.3 超导体中的电场和磁场	502
F.4 第二类超导体	504
F.5 BCS 理论	505
F.6 约瑟夫森效应	506
F.7 超导在技术中的应用	508
F.8 高温超导	510

第 18 章 麦克斯韦方程组和电磁波	511
18.1 麦克斯韦方程组	511
18.2 电磁波	512
* 18.3 电磁波的动量	515
* 18.4 加速电荷的电场	517
* 18.5 加速电荷的磁场	519
提要	522
思考题	523
习题	523

第 4 篇 波动与光学

第 19 章 振动	528
19.1 简谐运动的描述	528
19.2 简谐运动与匀速圆周运动	530
19.3 简谐运动的动力学方程	533
19.4 简谐运动的能量	535
19.5 单摆的微小振动	536
19.6 阻尼振动	537
19.7 受迫振动 共振	538
19.8 同一直线上同频率的简谐运动的合成	540
19.9 同一直线上不同频率的简谐运动的合成	542
* 19.10 谐振分析	543
提要	546
思考题	547
习题	547
第 20 章 波动	551
20.1 行波	551
20.2 简谐波的形成过程	553
20.3 简谐波的波函数 波长	554
20.4 物体的弹性形变	558
20.5 弹性介质中的波速	561
20.6 波的能量	562
20.7 惠更斯原理与波的反射和折射	565
20.8 波的叠加 驻波	570
20.9 声波	574
20.10 多普勒效应	577
* 20.11 行波的叠加和群速度	582
提要	584
思考题	586

习题	587
第 21 章 光的干涉	591
21.1 杨氏双缝干涉	591
21.2 相干光	595
21.3 光程	598
21.4 薄膜干涉	600
21.5 迈克耳孙干涉仪	602
提要	603
思考题	604
习题	606
第 22 章 光的衍射	609
22.1 光的衍射和惠更斯-菲涅耳原理	609
22.2 单缝的夫琅禾费衍射	611
22.3 光学仪器的分辨本领	616
22.4 细丝和细粒的衍射	619
22.5 光栅衍射	622
22.6 光栅光谱	627
22.7 X 射线衍射	630
提要	632
思考题	633
习题	634
今日物理趣闻 G 全息照相	
G.1 全息照片的拍摄	637
G.2 全息图像的观察	639
G.3 全息的应用	641
第 23 章 光的偏振	642
23.1 自然光和偏振光	642
23.2 由介质吸收引起的光的偏振	643
23.3 由反射引起的光的偏振	646
23.4 由双折射引起的光的偏振	648

23.5 由散射引起的光的偏振	649
* 23.6 旋光现象	651
提要	652
思考题	653
习题	654



今日物理趣闻 H 液晶

H.1 液晶的结构	655
H.2 液晶的光学特性	656

第 5 篇 量子物理基础

第 24 章 量子物理的基本概念	661
24.1 量子概念的诞生	661
24.2 光的粒子性的提出	663
24.3 康普顿散射	667
24.4 粒子的波动性	670
24.5 概率波与概率幅	674
24.6 不确定关系	678
24.7 薛定谔方程	682
24.8 无限深方势阱中的粒子	683
24.9 势垒穿透	686
24.10 谐振子	690
提要	692
思考题	694
习题	694
科学家简介 德布罗意	697
第 25 章 原子中的电子	698
25.1 氢原子	698
25.2 电子的自旋与自旋轨道耦合	704
25.3 各种原子中电子的排布	709
* 25.4 X 射线	714

25.5	激光	717
* 25.6	分子的振动和转动能级	721
	提要	724
	思考题	726
	习题	726
	科学家简介 玻尔	729
第 26 章	固体中的电子	730
26.1	自由电子按能量的分布	730
26.2	金属导电的量子论解释	734
26.3	能带 导体和绝缘体	736
26.4	半导体	739
26.5	PN 结	740
26.6	半导体器件	742
	提要	744
	思考题	745
	习题	746
第 27 章	核物理	747
27.1	核的一般性质	747
27.2	核力	750
27.3	核的结合能	752
* 27.4	核的液滴模型	755
27.5	放射性和衰变规律	757
27.6	三种射线	761
27.7	核反应	764
	提要	766
	思考题	767
	习题	768
	元素周期表	770
	数值表	771
	习题答案	773
	索引	785

第

3

篇

电 磁 学

电 磁学是研究电磁现象的规律的学科。关于电磁现象的观察记录,可以追溯到公元前 6 世纪希腊学者泰勒斯(Thales),他观察到用布摩擦过的琥珀能吸引轻微物体。在我国,最早是在公元前 4 到 3 世纪战国时期《韩非子》中有关“司南”(一种用天然磁石做成的指向工具)和《吕氏春秋》中有关“慈石召铁”的记载。公元 1 世纪王充所著《论衡》一书中记有“顿牟缀芥,磁石引针”字句(顿牟即琥珀,缀芥即吸拾轻小物体)。西方在 16 世纪末年,吉尔伯特(William Gilbert, 1540—1603 年)对“顿牟缀芥”现象以及磁石的相互作用做了较仔细的观察和记录,electricity(电)这个字就是他根据希腊字 ἤλεκτρον(原意琥珀)创造的。在我国,“电”字最早见于周朝(公元前 8 世纪)遗物青铜器“番生簋”上的铭文中,是雷电这种自然现象的观察记录。对“电”字赋以科学的含义当在近代西学东渐之后。

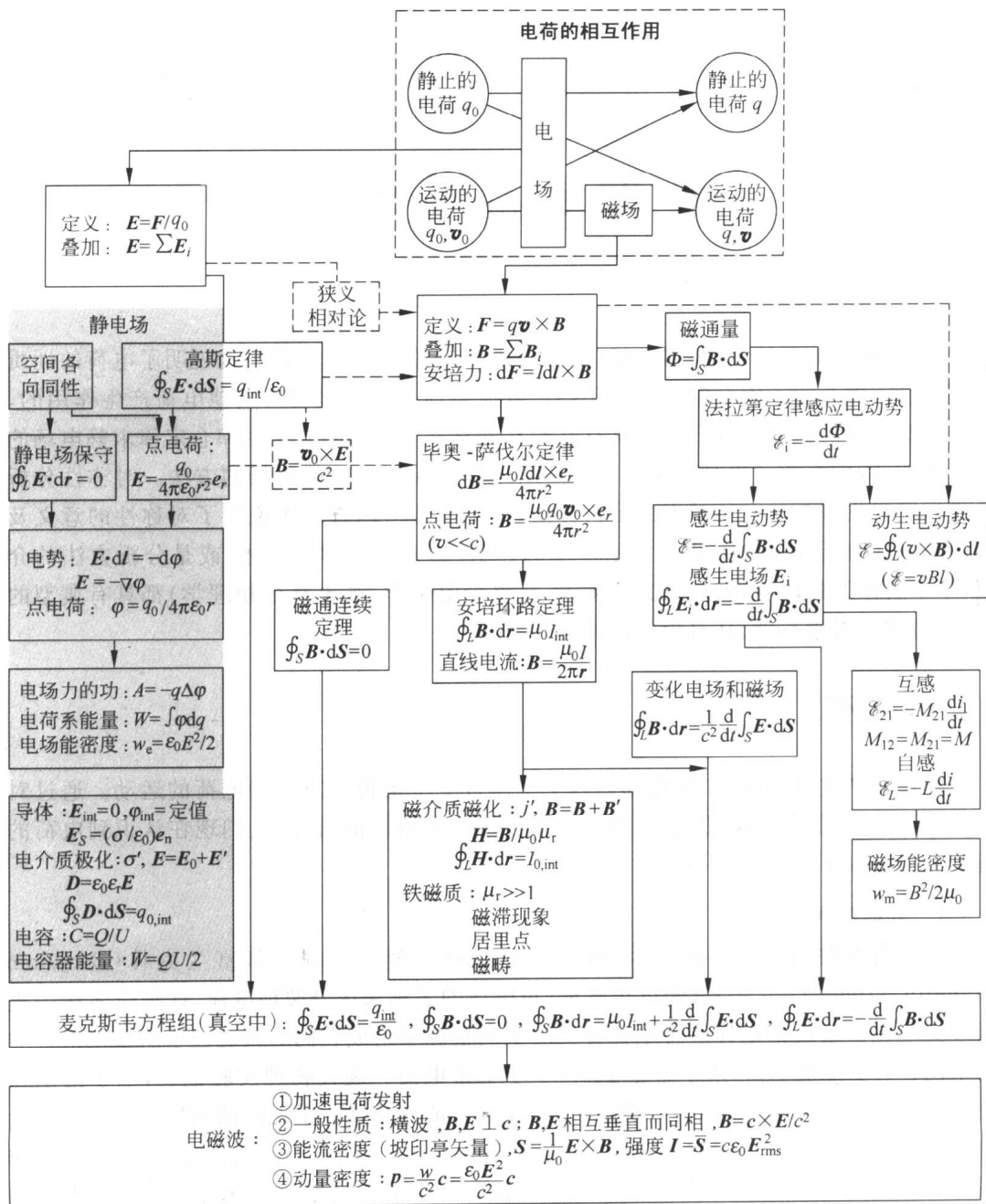
关于电磁现象的定量的理论研究,最早可以从库仑 1785 年研究电荷之间的相互作用算起。其后通过泊松、高斯等人的研究形成了静电场(以及静磁场)的(超距作用)理论。伽伐尼于 1786 年发现了电流,后经伏特、欧姆、法拉第等人发现了关于电流的定律。1820 年奥斯特发现了电流的磁效应,很快(一两年内),毕奥、萨伐尔、安培、拉普拉斯等作了进一步定量的研究。1831 年法拉第发现了有名的电磁感应现象,并提出了场和力线的概念,进一步揭示

了电与磁的联系。在这样的基础上,麦克斯韦集前人之大成,再加上他极富创见的关于感应电场和位移电流的假说,建立了以一套方程组为基础的完整的宏观的电磁场理论。在这一历史过程中,有偶然的机遇,也有有目的的探索;有精巧的实验技术,也有大胆的理论独创;有天才的物理模型设想,也有严密的数学方法应用。最后形成的麦克斯韦电磁场方程组是“完整的”,它使人类对宏观电磁现象的认识达到了一个新的高度。麦克斯韦的这一成就可以认为是从牛顿建立力学理论到爱因斯坦提出相对论的这段时期中物理学史上最重要的理论成果。

1905年爱因斯坦创立了相对论。它不但使人们对牛顿力学有了更全面的认识,也使人们对已知的电磁现象和理论有了更深刻的理解。根据电磁现象的规律必须满足相对论时空洛伦兹变换(这本质上是自然界的一种重要的对称性——匀速直线运动的对称性或洛伦兹对称性的表现)的要求,可以证明,从不同的参考系观测,同一电磁场可表现为只是电场,或只是磁场,或电场和磁场并存。更确切地说,表征电磁场的物理量——电场强度和磁感应强度——是随参考系改变的。这说明电磁场是一个统一的实体,而且麦克斯韦方程组可以在此基础上加以统一的论证。本篇只在15.7节中对这一思想加以简单介绍。

本篇介绍的是经典的电磁理论,它是基于电磁场是连续地分布在空间这种认识的。20世纪初关于光电效应及热辐射规律的研究提出了电磁场是由不带电的分立的粒子——光子——组成的观点,从而建立了量子场论,它更全面而深刻地阐明了电磁场的规律。本书在第5篇量子物理基础中介绍光子的概念及其若干应用,对于量子场论,由于其理论很深,本书作为基础物理教材,不再涉及。

本篇所采用的电磁学知识系统图



第11章

静止电荷的电场

作为电磁学的开始,本章讲解静止电荷相互作用的规律。在简要地说明了电荷的性质之后,就介绍了库仑定律。由于静止电荷是通过它的电场对其他电荷产生作用的,所以关于电场的概念及其规律就具有基础性的意义。本章除介绍用库仑定律求静电场的方法之外,特别介绍了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,希望读者细心地、认真地学习体会。

11.1 电荷

物体能产生电磁现象,现在都归因于物体带上了电荷以及这些电荷的运动。通过对电荷(包括静止的和运动的电荷)的各种相互作用和效应的研究,人们现在认识到电荷的基本性质有以下几方面。

1. 电荷的种类

电荷有两种,同种电荷相斥,异种电荷相吸。美国物理学家富兰克林(Benjamin Franklin, 1706—1790年)首先以正电荷、负电荷的名称来区分两种电荷,这种命名法一直延续到现在。宏观带电体所带电荷种类的不同根源于组成它们的微观粒子所带电荷种类的不同:电子带负电荷,质子带正电荷,中子不带电荷。现代物理实验证实,电子的电荷集中在半径小于 10^{-18}m 的小体积内。因此,电子被当成是一个无内部结构而有有限质量和电荷的“点”。通过高能电子束散射实验测出的质子和中子内部的电荷分布分别如图11.1(a),(b)所示。质子中只有正电荷,都集中在半径约为 10^{-15}m 的体积内。中子内