

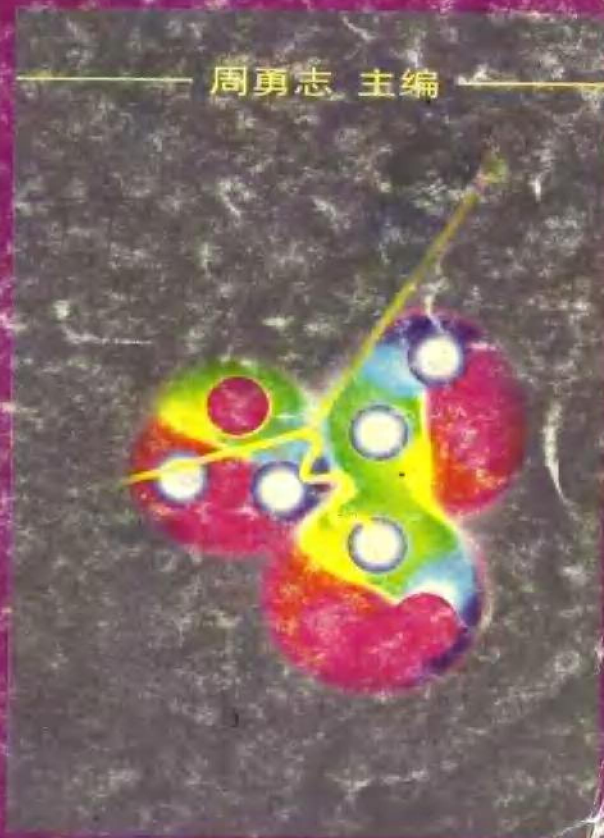
(第三版)

大学物理

第二册

高等学校教材

周勇志 主编



华南理工大学出版社

高等学校教材

大学物理

(第三版)

第二册 电磁学 近代物理学基础

周勇志 主编

华南理工大学出版社

· 广州 ·

内 容 简 介

《大学物理》是依照高等工业学校大学物理课程教学基本要求编写的教材。为适应教育形势发展的需要,经一再修订,现为第三版。全书共分三册。第一册为力学、振动与波、热学和光学;第二册为电磁学与近代物理学基础;第三册为现代工程技术的物理基础专题。

本书可作高等工业院校各专业大学物理课程教材,也可作理科非物理类专业的物理课程教材或参考书,亦可供青年读者自学和科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理(第二册)/周勇志主编. —3版. —广州:华南理工大学出版社,1998.4

ISBN 7-5623-1177-3

I. 大… II. 周… III. 物理-高等学校教材 IV. O4

华南理工大学出版社出版发行

(广州五山 邮编 510641)

责任编辑:潘宜玲

东莞市印刷厂印装

*

1998年4月第3版第5次印刷

开本:850×1168 1/32 印张:13.625 字数:350千

印数:23 521—28 520

定价:20.50元

第三版前言

我们编写的《大学物理》，自 1988 年出版后，于 1991 年再版。随着教育改革的深入，依据国家教委高等学校工科物理教学指导委员会修订的教学基本要求，及其最近制订的“重点工业大学物理课程改革指南”（初稿）精神，编者感到有必要对第二版进行修订。把原为三册的教材及配套的习题集作了简约，调整为两册，第一册包括力学、机械振动与机械波、波动光学、气体动理论和热力学基础；第二册包括电磁学和近代物理学基础。内容顺序较第一、二版有所变动，这是为了适应教学课时的安排。新编的第三册，内容主要为现代工程技术的物理基础。这样，经修订后的第三版，其经典物理内容适当压缩，使选材更为少而精，但基础部分切实保证，并保持初版的注意理论联系实际、培养能力等方面的特色。按照“指南”精神，第三册属于提高性的知识，故列作各个独立的专题，供有关专业选用。采取这样的整体安排，是为求逐步实现物理教学内容现代化，为迎接高新科技飞速发展的挑战提供物理基础。

为了使教材有较大的适应性，第一、二册内容分为三个档次：有适应于本科各专业的基本内容；有带 * 号的供各专业选用的内容；还有属于加深要求的内容，用小字排

印。

本教材初版由周勇志统稿,具体编写分工为:绪论、光学(周勇志),力学包括相对论(钟韶),机械振动与机械波(黄月霞),分子物理学(钟亮佩),热力学(谢坤芳、周勇志),电磁学(简趣玲),量子物理(许仁名),习题集(宗馥英、黄志明、吴天海)。参加第三版修订工作的有:许仁名(力学、近代物理学基础),周勇志(机械振动与机械波、光学、气体动理论与热力学基础),简趣玲(电磁学),宗馥英(习题)。参加第三版第三册(新编)编写工作的有吴天海、何天霖、李仁英、魏宝华等。第三版第一、二册由周勇志、简趣玲统稿,第三册由吴天海统稿。

限于我们的水平,虽经努力,难免仍有不足之处,恳请读者批评指正。

编者

1997年2月

目 录

第五篇 电磁学

| | |
|---------------------------|----|
| 第十一章 静电场 | 3 |
| § 11-1 电荷 库仑定律 | 3 |
| 一、电荷 | 3 |
| 二、库仑定律 | 5 |
| 三、电介质对电荷相互作用的影响 | 8 |
| § 11-2 电场 电场强度 | 11 |
| 一、电场 | 11 |
| 二、电场强度 | 12 |
| § 11-3 电位移 电通量 高斯定理 | 24 |
| 一、电位移 | 24 |
| 二、电通量 | 25 |
| 三、高斯定理 | 28 |
| 四、高斯定理的应用 | 32 |
| § 11-4 电场力的功 电势 | 38 |
| 一、电场力的功 电势能 | 38 |
| 二、电势 | 41 |
| 三、电子伏特 | 52 |
| § 11-5 电场强度与电势的关系 | 53 |
| 一、电势梯度 | 54 |
| 二、电场强度与电势梯度的关系 | 55 |

| | |
|-------------------------------|-----------|
| *§ 11-6 带电粒子在电场中的运动 | 56 |
| 一、带电粒子在电场中的加速运动 | 57 |
| 二、带电粒子在电场中的电偏转 | 57 |
| 三、电子束在电场中的电聚焦 | 58 |
| 习题 | 59 |
| 第十二章 静电场中的导体和电介质 | 67 |
| § 12-1 静电场中的导体 | 67 |
| 一、导体的静电平衡条件 | 67 |
| 二、导体上的电荷分布 | 69 |
| 三、导体表面附近的场强 | 71 |
| 四、静电屏蔽 | 73 |
| § 12-2 电容 电容器 | 79 |
| 一、孤立导体的电容 | 79 |
| 二、电容器及其电容 | 80 |
| § 12-3 静电场中的电介质 | 85 |
| 一、电介质 | 85 |
| 二、电介质的极化 | 86 |
| 三、电极化强度矢量 | 87 |
| § 12-4 静电场的能量 | 90 |
| 一、带电系统的能量 | 90 |
| 二、电场的能量 | 91 |
| 阅读材料 1 电介质的损耗和击穿 变电体 压电现象 ... | 93 |
| 一、电介质的损耗 | 93 |
| 二、电介质的击穿 | 94 |
| 三、变电体 | 94 |
| 四、压电现象 | 95 |
| 阅读材料 2 静电的应用与危害 | 95 |
| 一、静电技术的重要应用 | 95 |

| | |
|-----------------------------|------------|
| 二、静电的危害与消除 | 101 |
| 习题 | 102 |
| 第十三章 稳恒电流的磁场 | 109 |
| § 13-1 磁场 磁感应强度 | 109 |
| 一、磁场 | 109 |
| 二、磁感应强度 | 111 |
| 三、磁感应线 | 113 |
| § 13-2 毕奥-萨伐尔定律 | 114 |
| 一、毕奥-萨伐尔定律 | 114 |
| 二、毕奥-萨伐尔定律的应用 | 116 |
| 三、毕奥-萨伐尔定律的微观意义 | |
| ——运动电荷的磁场 | 124 |
| § 13-3 磁场的高斯定理和安培环路定律 | 126 |
| 一、磁通量与磁场的高斯定理 | 126 |
| 二、磁场强度 安培环路定律 | 129 |
| 习题 | 138 |
| 第十四章 磁场对电流的作用 | 145 |
| § 14-1 磁场对载流导体的作用 | 145 |
| 一、安培定律 | 145 |
| 二、两个平行电流的相互作用力 电流单位“安培”的定义 | |
| | 148 |
| 三、磁场对载流线圈的作用 | 150 |
| 四、磁力的功 | 157 |
| § 14-2 磁场对运动电荷的作用 | 159 |
| 一、洛伦兹力 | 159 |
| 二、洛伦兹力与安培力的关系 | 164 |
| 三、霍尔效应 | 166 |
| § 14-3 带电粒子在磁场中的运动 | 171 |

| | |
|---------------------------|------------|
| 一、带电粒子在均匀磁场中的运动规律····· | 171 |
| *二、带电粒子在电、磁场中运动规律的应用····· | 174 |
| 习题····· | 183 |
| 第十五章 电磁感应 ····· | 191 |
| § 15-1 电磁感应定律····· | 191 |
| 一、电磁感应现象····· | 191 |
| 二、电磁感应定律····· | 193 |
| § 15-2 动生电动势与感生电动势····· | 198 |
| 一、动生电动势····· | 198 |
| 二、感生电动势····· | 206 |
| § 15-3 自感 互感 涡电流····· | 213 |
| 一、自感应····· | 213 |
| 二、互感应····· | 220 |
| 三、涡流及其应用····· | 224 |
| § 15-4 磁场能量····· | 227 |
| 阅读材料 非电量电测法····· | 231 |
| 一、电能与其他能量的转换····· | 231 |
| 二、非电量电测法····· | 231 |
| 习题····· | 237 |
| 第十六章 物质的磁性 ····· | 247 |
| § 16-1 物质的磁性····· | 247 |
| § 16-2 顺磁质与抗磁质的磁化····· | 248 |
| § 16-3 磁化强度····· | 250 |
| § 16-4 铁磁质的磁化和应用····· | 251 |
| 一、铁磁质的特性····· | 252 |
| 二、铁磁质的磁化机理····· | 255 |
| *三、铁磁材料的分类与应用····· | 258 |
| 习题····· | 259 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 第十七章 电磁场和电磁波 | 261 |
| § 17-1 电场、磁场知识的回顾 | 262 |
| 一、电场方面 | 262 |
| 二、磁场方面 | 263 |
| § 17-2 位移电流及其所激发的磁场 | 265 |
| 一、位移电流 | 265 |
| 二、位移电流与全电流 | 267 |
| 三、位移电流的磁场 | 268 |
| § 17-3 麦克斯韦方程组 | 271 |
| § 17-4 电磁波 | 274 |
| 一、电磁场的传播——电磁波 | 274 |
| 二、电磁波的能量 | 276 |
| 三、电磁波谱 | 278 |
| § 17-5 电磁场的物质性与统一性 | 282 |
| 一、电磁场是物质的一种状态 | 282 |
| 二、电磁场是统一的整体 | 284 |
| 习题..... | 286 |

第六篇 近代物理学基础

| | |
|-------------------------------|-----|
| 第十八章 狭义相对论基础 | 292 |
| § 18-1 伽利略变换与力学相对性原理 | 292 |
| 一、伽利略坐标变换式与绝对时空观 | 292 |
| 二、伽利略速度变换公式 | 294 |
| 三、力学相对性原理 | 295 |
| § 18-2 狭义相对论的基本假设与洛伦兹变换 | 296 |
| 一、迈克耳逊-莫雷实验 | 296 |
| 二、狭义相对论的基本假设 | 299 |
| 三、洛伦兹坐标变换公式 | 300 |

| | |
|----------------------------|------------|
| § 18-3 狭义相对论的时空观 | 303 |
| 一、同时的相对性 | 304 |
| 二、时间间隔的相对性 | 305 |
| 三、长度的相对性 | 306 |
| *四、相对论的速度变换公式 | 310 |
| § 18-4 狭义相对论动力学基础 | 313 |
| 一、质量和速率的关系 | 313 |
| 二、相对论力学的基本方程 | 317 |
| 三、质量和能量的关系 | 317 |
| *四、能量和动量的关系 | 320 |
| 阅读材料 广义相对论简介 | 320 |
| 习题 | 322 |
| 第十九章 波粒二象性 | 326 |
| *§ 19-1 热辐射 | 326 |
| 一、热辐射的基本概念 | 326 |
| 二、绝对黑体及其辐射定律 | 328 |
| 三、普朗克黑体辐射公式 | 331 |
| § 19-2 光电效应 | 334 |
| 一、光电效应的实验规律 | 334 |
| 二、爱因斯坦光子理论及其对光电效应的解释 | 337 |
| § 19-3 康普顿效应 | 343 |
| 一、康普顿效应的实验规律 | 343 |
| 二、用光子理论解释康普顿效应 | 345 |
| § 19-4 德布罗意波 | 348 |
| 一、德布罗意假设 | 348 |
| 二、德布罗意波的实验验证 | 350 |
| § 19-5 不确定关系 | 353 |
| 习题 | 358 |

| | |
|--------------------------------|-----|
| 第二十章 原子的量子理论 | 362 |
| § 20-1 氢原子光谱的实验规律 | 362 |
| 一、氢原子光谱的实验规律 | 362 |
| 二、经典理论的困难 | 365 |
| § 20-2 玻尔的氢原子理论 | 366 |
| 一、玻尔的三个基本假设 | 366 |
| 二、定态能级公式和电子轨道公式 | 367 |
| 三、用玻尔理论解释氢原子光谱的规律性 | 368 |
| *四、夫兰克-赫兹实验 | 369 |
| 五、玻尔理论的成功与缺陷 | 372 |
| § 20-3 量子力学的基本概念 薛定谔方程 | 375 |
| 一、波函数及其统计意义 | 375 |
| 二、薛定谔方程 | 378 |
| § 20-4 薛定谔方程的应用举例——势阱和势垒 | 381 |
| 一、一维势阱中的粒子 | 381 |
| *二、势垒穿透 | 385 |
| § 20-5 氢原子的量子力学处理 | 387 |
| 一、氢原子的薛定谔方程 | 387 |
| 二、量子化条件和量子数 | 389 |
| *三、电子的空间概率分布 | 395 |
| § 20-6 原子的电子壳层结构 | 397 |
| 一、泡利不相容原理 | 398 |
| 二、能量最小原理 | 400 |
| 习题 | 405 |
| 附录 习题答案 | 408 |

第五篇 电 磁 学

电磁学是研究电磁场的基本性质和规律,以及电磁场和带电粒子相互作用的一门学科。远在公元前7世纪,我国已有发现磁矿石的记载。公元前585年,古希腊发现了摩擦后的琥珀会吸引草屑的现象。公元前239年,在我国的《吕氏春秋》中,载有“慈石召铁”的现象。东汉时(公元25—220年),我国发明了磁性指南器具——司南。北宋时(公元11世纪)发明了指南针。但在相当长的一段时间里,电现象和磁现象被认为是互不相关的,故电学和磁学一直彼此独立地发展。直到1819年,奥斯特发现了电流对磁针的作用;1820年安培发现了磁铁对电流的作用,人们才开始认识到电与磁的联系。1831年,法拉第发现了电磁感应规律,人们对电与磁的关系便有了更为深刻的认识。麦克斯韦在此基础上,于1865年建立了系统的电磁场理论,并指出了光波也是电磁波,从而使光学成为电磁场理论的组成部分。

电磁学的研究对人类社会起着越来越重要的作用。现今,从日常生活到生产部门,从各种新技术的应用到尖端科学的研究,都离不开电与磁。现代化程度越高,电磁应用的范围就越广。一切电磁器件和光电器件,例如电动机、发电机、电视机、微波、雷达、高能加速器、电子显微镜和电子计算机等,莫不有赖于电磁学的基本原理。而电工学、无线电电子学、自动控制学和物质的电结构理论等,都是在电磁学的基础上建立和发展起来的。特别值得指出的是超

导材料的研究,1986年以来取得了历史性的突破,被誉为这是百年一遇的重大发现,它将会在21世纪引起一场重大的产业革命。

本篇将介绍电磁现象与电磁规律及其在生产和科研中的一些应用。由于电和磁有着密切的联系,电场和磁场是统一电磁场的两个侧面,因此,在讨论电现象和磁现象的基础上,再讨论电和磁的联系,介绍统一的电磁运动的规律。

第十一章 静 电 场

静电场是相对于观察者静止的电荷所产生的场。本章首先从电场对电荷有力的作用和电荷在电场中移动时电场力对电荷做功出发,引入电场强度和电势来描述静电场的特性,进而阐明反映静电场基本规律的场强叠加原理、高斯定理和场强环流定律,最后讨论场强和电势两者的关系。

§ 11-1 电 荷 库 仑 定 律

一、电荷

1. 电荷与电荷守恒

物质世界往往是千奇百怪的,物质所具有的质量没有正负之分,而物质所带的电荷却有正负之别。物质中的原子是由带正电荷的原子核和带负电荷的电子组成的。在正常状态下,原子呈电中性,没有净电荷,即核外电子的负电荷数目与核内的正电荷数目相等。然而,我们可用各种各样的方法使物体带电,例如:摩擦起电、静电感应、气体电离、电磁感应和化学作用等,都能使物体带电。

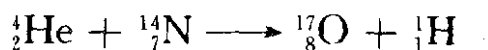
物体所带电荷数量的多少叫做电荷量,简称电荷。在国际单位制中,电荷的单位是库仑(简称库,用C表示)。电子所带负电荷为 $-1.60 \times 10^{-19} \text{C}$,这个数值是电荷的最小自然单位。1库仑电荷量是这个最小单位的

$$\frac{1}{1.60 \times 10^{-19}} = 6.25 \times 10^{18} (\text{倍})$$

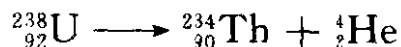
实验证明,物体所带的净电荷不是无中生有地产生的,而是使物体中原有的正、负电荷分离或转移的结果。也就是说,物体的带电过程,是把一些电子从一个物体转移到另一个物体,或从物体的一部分转移到另一部分的过程。总之,缺少了电子的物体带正电荷,具有多余电子的物体带负电荷。而且,不管用什么方法使物体带电,正、负电荷总是同时出现,量值又总是相等的。

因此,某个系统若与外界无电荷交换,那末无论系统发生怎样的物理、化学变化,这个系统电荷的代数和总是保持不变的,这个规律叫做电荷守恒定律。电荷守恒定律是自然界的基本定律之一,它不仅在一切宏观过程中成立,一切微观过程(如核反应和基本粒子相互作用过程)也是普遍遵循的。

例如,两个高能光子湮没会产生正、负电子对,湮没前两个光子与湮没后正、负电子对的电荷代数和均为零,电荷是守恒的。又如1919年卢瑟福的 α 粒子散射实验:



反应前的电荷数(2+7)与反应后的电荷数(8+1)相等。铀核 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 核裂变



反应前电荷数(92)也等于反应后电荷数(90+2)。可见电荷守恒定律是自然界一切现象所必须遵循的基本规律。

2. 电荷量子化

前面已经指出,电子电荷的绝对值(用 e 表示)是电荷的最小自然单位,因此任何带电体所带的电荷量 Q 可表示为

$$Q = ne$$

式中 n 是正或负的整数。若物体带正电, n 取正值,如对质子来说, $n = +1$;若物体带负电, n 取负值,如对电子来说, $n = -1$ 。这就是

说物体所带的电荷不是以连续的方式出现的,而是以一个个不连续的量值出现的。电荷这种只能取分立的、不连续量值的性质,叫做电荷量子化。电荷的量子就是 e 。

电荷的量子 e 是一个很小的量,小得使电的“微粒性”在研究宏观电现象的实验中表现不出来,就像我们喝水时感觉不到水是由一个个水分子组成的那样。

然而,近代物理学已经从理论上预言,有电荷量为 $\pm \frac{1}{3}e$ 或 $\pm \frac{2}{3}e$ 的粒子——层子(或称夸克)存在,并认为质子和中子等许多粒子都是由这更深层次的粒子——层子组成的。不过至今尚未有直接的确切的实验证实其存在。但可以相信,随着理论和实验研究的进一步深入,电荷的最小单元是可能会有新的变更的。而无论科学的发展是否能证实层子的存在,也无论电荷量子如何变更,电荷量子化的概念却是不会改变的。

在科学发展的今天,人们已深信电荷量子化的性质是无容置疑的。量子化是近代物理学中的一个基本概念,在以后的学习中还会知道,除了电荷量以外,诸如质量、能量、角动量等都是量子化的,故量子化概念也是研究物质及其运动的一个基本概念。

二、库仑定律

人们很早就知道,电荷间存在着力的作用。但对这种力的认识,很长一段时间都处于定性的初级阶段。直至 18 世纪后期才开始作定量的研究。法国物理学家库仑利用扭秤装置,于 1785 年首先确立了点电荷间相互作用力的规律,即库仑定律。为了更好地学习库仑定律,以精确研究电荷的相互作用,我们先来讨论点电荷的概念。