

高等学校函授教材（兼作高等教育自学用书）

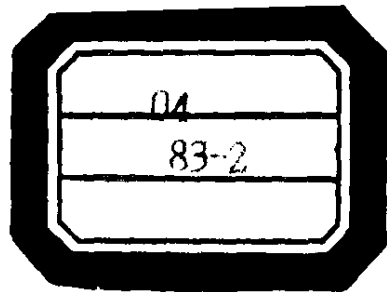
物理学

严导淦 编

高等教育出版社

第三版
下册





1758900

高等学校函授教材
(兼作高等教育自学用书)

物 理 学

(第 三 版)

下 册

严导淦 编

121155/18



高等教育出版社



北师大图书 B1378333

(京)112 号

图书在版编目(CIP)数据

物理学 下册/严导淦编. —3 版(修订版). —北京:
高等教育出版社, 1998

高等学校函授教材(兼作高等学校教育自学用书)

ISBN 7-04-006428-6

I. 物… II. 严… III. 物理学-高等学校-教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 27429 号

*

高等教育出版社出版

北京沙滩后街 55 号

邮政编码: 100009 传真: 64014048 电话: 64054588

新华书店总店北京发行所发行

中国科学院印刷厂 印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 21.125 字数 540 000

1982 年 6 月第 1 版

1998 年 8 月第 3 版 1998 年 8 月第 1 次印刷

印数 0 001—10 088

定价 21.10 元

凡购买高等教育出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页等
质量问题者, 请与当地图书销售部门联系调换

版权所有, 不得翻印



北师大图书 B1378333

内 容 提 要

本书是为高等学校工科各专业编写的大学物理函授教材,兼作夜大学、电视大学、职工大学、业余大学、高等职业技术学院等各类成人高等院校以及高等教育自学考试的教学用书,也可供全日制普通高等院校师生选用或参考。

本书是在原《物理学》(第二版)的基础上,参照国家教育委员会审订的高等工业学校(本、专科)大学物理课程现行教学基本要求修订而成的。本书修订后在教材内容的选取和安排上更适应工科各专业学生的自学特点和需要。

全书分上、下两册出版,内容如下表所列:

上 册	下 册
第三版序言 致读者 本课程自学方法和函授的一些说明 A. 物理学的自学方法和有关注意事项 B. 学时分配及作业安排的建议	
预 篇 物理学 物理量 第一篇 力学的物理基础 第二篇 机械振动和机械波 第三篇 热学基础 附 录	第四篇 电磁学 第五篇 光学 第六篇 相对论和量子物理简介 附 录

目 录

第四篇 电 磁 学

引言	(1)
第十章 真空中的静电场	(2)
§ 10-1 电荷	(2)
§ 10-2 电荷间的相互作用 库仑定律	(7)
§ 10-3 静电场	(14)
§ 10-4 电场强度 电场强度叠加原理	(17)
§ 10-5 电场强度的计算	(22)
§ 10-6 电荷在电场中所受的力	(36)
§ 10-7 电场的图示法——电场线	(43)
§ 10-8 电通量 真空中静电场的高斯定理	(46)
§ 10-9 高斯定理的应用	(53)
§ 10-10 静电场的环路定律 电势能	(60)
§ 10-11 电势 电势的计算	(68)
§ 10-12 电场的图示法——等势面	(76)
§ 10-13 电场强度与电势的关系	(79)
学习指导	(83)
第十一章 静电场中的导体和电介质	(88)
§ 11-1 静电场中的金属导体	(88)
§ 11-2 静电场中的电介质	(100)
§ 11-3 有电介质时的静电场和高斯定理	(104)
§ 11-4 导体的电容	(113)
§ 11-5 电容器的电容	(115)
§ 11-6 电容器的接法和构造	(123)
§ 11-7 电场的能量	(127)

学习指导	(132)
选读材料——静电的应用和静电危害的防治	(135)
第五次测验作业	(139)
第十二章 电流	(145)
§ 12-1 导体中电流的形成	(145)
§ 12-2 电流强度 电流密度	(150)
§ 12-3 稳恒电场 恒定电流的连续性	(153)
§ 12-4 欧姆定律 电阻	(156)
§ 12-5 电功率 焦耳定律	(162)
§ 12-6 电阻的连接	(165)
§ 12-7 电动势 闭合电路的欧姆定律	(170)
§ 12-8 一段含源电路的欧姆定律	(180)
学习指导	(184)
第十三章 真空中的稳恒磁场	(185)
§ 13-1 磁的基本现象	(185)
§ 13-2 磁场 磁感强度	(189)
§ 13-3 磁感线 磁通量 磁场的高斯定理	(194)
§ 13-4 毕奥-萨伐尔定律	(199)
§ 13-5 毕奥-萨伐尔定律的应用举例	(202)
§ 13-6 运动电荷的磁场	(211)
§ 13-7 安培环路定理	(214)
§ 13-8 安培环路定理的应用	(218)
§ 13-9 磁场对载流导线的作用力 安培定律	(224)
§ 13-10 均匀磁场对平面载流线圈的作用	(230)
§ 13-11 磁场对运动电荷的作用力——洛伦兹力	(240)
§ 13-12 带电粒子在电场和磁场中的运动	(245)
学习指导	(254)
第十四章 磁介质	(257)
§ 14-1 磁场中的磁介质	(257)
§ 14-2 有磁介质时磁场的安培环路定理	(264)
§ 14-3 铁磁质	(270)

学习指导	(274)
选读材料——磁性材料在工程上的应用	(276)
第六次测验作业	(279)
第十五章 电磁感应	(284)
§ 15-1 电磁感应现象 楞次定律 感应电动势	(284)
§ 15-2 法拉第电磁感应定律	(294)
§ 15-3 动生电动势	(300)
§ 15-4 交流发电机的基本原理	(311)
§ 15-5 自感	(314)
§ 15-6 互感	(324)
§ 15-7 涡电流	(328)
§ 15-8 磁场的能量	(332)
学习指导	(335)
第十六章 电磁场与电磁波	(337)
§ 16-1 涡旋电场	(338)
§ 16-2 位移电流	(343)
§ 16-3 电磁场理论的基本概念 麦克斯韦方程组的 积分形式	(348)
§ 16-4 电磁振荡	(352)
§ 16-5 电磁波	(358)
§ 16-6 电磁波谱	(366)
学习指导	(369)
第七次测验作业	(370)

第五篇 光 学

引言	(375)
第十七章 光学基本知识	(377)
§ 17-1 几何光学的基本定律	(377)
§ 17-2 透镜	(384)
§ 17-3 光的色散和吸收现象	(386)
第十八章 光的干涉	(389)

§ 18-1	光的干涉 光强度	(389)
§ 18-2	相干光的获得	(394)
§ 18-3	杨氏实验 劳埃德镜	(398)
§ 18-4	光程 光程差	(406)
§ 18-5	平行平面薄膜的光干涉	(412)
§ 18-6	劈形薄膜的光干涉	(419)
§ 18-7	牛顿环	(425)
§ 18-8	迈克耳孙干涉仪	(429)
	学习指导	(431)
第十九章	光的衍射	(433)
§ 19-1	光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	(433)
§ 19-2	单缝衍射	(436)
§ 19-3	衍射光栅 衍射光谱	(444)
* § 19-4	光学仪器的分辨率	(452)
§ 19-5	X射线的衍射 布拉格公式	(457)
	学习指导	(461)
第二十章	光的偏振	(463)
§ 20-1	自然光和偏振光	(463)
§ 20-2	偏振片的起偏和检偏 马吕斯定律	(467)
§ 20-3	反射和折射时光的偏振	(472)
§ 20-4	椭圆偏振光和圆偏振光 波片	(478)
§ 20-5	偏振光的干涉 人为双折射	(482)
	学习指导	(486)
第八次测验作业		(488)

第六篇 相对论和量子理论简介

引言		(491)
第二十一章 狭义相对论简介		(493)
§ 21-1	力学的相对性原理 伽利略变换	(494)
§ 21-2	狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换	(498)
§ 21-3	相对论的时空观	(503)

§ 21 - 4 狭义相对论的动力学基础	(511)
学习指导	(517)
第二十二章 光的量子性	(519)
§ 22 - 1 热辐射及其规律	(519)
§ 22 - 2 普朗克的量子假设 普朗克公式	(524)
§ 22 - 3 光电效应	(529)
§ 22 - 4 爱因斯坦方程 光子 光的二象性	(534)
§ 22 - 5 光电效应的实际应用	(538)
* § 22 - 6 康普顿效应	(540)
学习指导	(543)
第二十三章 氢原子光谱 玻尔量子理论	(546)
§ 23 - 1 原子的有核模型	(546)
§ 23 - 2 原子光谱的规律性	(549)
§ 23 - 3 玻尔量子理论	(554)
§ 23 - 4 前期量子论的缺陷	(565)
学习指导	(566)
第九次测验作业	(568)
第二十四章 量子力学基础	(570)
§ 24 - 1 德布罗意的假设 海森伯的不确定关系	(570)
§ 24 - 2 波函数	(577)
§ 24 - 3 薛定谔方程	(582)
§ 24 - 4 定态薛定谔方程的应用	(586)
§ 24 - 5 电子的自旋 多电子原子及电子壳层模型	(600)
* § 24 - 6 激光	(607)
* § 24 - 7 固体的能带结构 半导体	(613)
* § 24 - 8 超导体	(621)
学习指导	(624)
第二十五章 原子核物理学简介	(627)
§ 25 - 1 原子核的结构和基本性质	(627)
§ 25 - 2 原子核的衰变和衰变规律	(634)
§ 25 - 3 核反应	(640)

§ 25 - 4 原子核能的利用	(644)
§ 25 - 5 基本粒子简介	(651)
学习指导	(654)
附录	(657)
附录一 希腊字母表	(657)
附录二 常用数学符号	(657)
附录三 一些常用数字	(658)
附录四 几种常用单位的换算	(658)
附录五 一些物理常量	(661)
附录六 数学公式	(661)
主要参考书目	(664)

第四篇 电 磁 学

引 言

电磁学是研究电磁现象及其基本规律的一门学科.它是现代工程技术和自然科学的重要基础.

在日常生活和工农业生产的电气化、自动化方面以及医疗、生物学等各个领域,电磁学得到了广泛的应用.例如,电动机是工程上许多机械的原动力,电灯和电炉是照明和加热的常用器具,电话、电报、传真、电视、电子计算机等是信息传输中最有效的工具.电的广泛应用是与电所具有的各种特性分不开的.第一,电能较容易转变为机械能、热能、光能、化学能等其他形式的能量,所以利用电作为能源最为简便.第二,大功率的电能便于远距离传输,而且能量的损耗较少.第三,电磁信号可借电磁波的形式在空中传播,能够在极短时间内把信号传送到远方.因而便于远距离控制、检测和自动控制,使工业自动化和探测遥远星体成为可能.

电磁学的研究,对人类认识物质结构也是极重要的.从表面来看,自然界中许多现象,如植物的生长、水的冻结等等,似乎与电磁作用无关,但是研究表明,在从原子到细胞的广阔领域内,许多物质的物理和化学性质都与电磁作用有关.例如,一切化学反应都可归结为分子中的原子在电的相互作用下进行重新组合.

19世纪以来,许多科学家对电磁现象的规律和物质的电结构做了大量的实验和理论研究,总结出了经典电磁理论.

本篇主要研究经典电磁学.

第十章 真空中的静电场

在本章和下一章中,主要研究静电场的基本性质和规律,以及导体和电介质与静电场之间的相互作用.这些都属于静电学的内容.首先,我们研究真空中的静电场,继而在下一章中,讨论有导体和电介质存在时的静电场;并介绍静电学在工程技术上的一些应用.

本章的一些基本概念和规律以及处理问题的方法,应很好钻研,这是学习本篇其他各章内容的基础.其次,在学习本章内容时,必须经常联系前面第一篇力学中的有关概念,这将有助于对问题的理解.从本章开始,在电磁学整篇内容中,不论是阅读正文或解算习题、作业,都会经常用到高等数学和有关矢量方面的知识,建议读者事先复习一下.

§ 10-1 电 荷

(一) 电荷

一切电的现象都起源于电荷的存在或电荷的运动.那么什么叫做电荷呢?我们把两种质料不同的物体,例如丝绢和玻璃棒相互摩擦后,它们都能吸引羽毛、小纸片等轻微物体(图 10-1).这时,我们就说丝绢和玻璃棒这两个物体都已处于带电状态,它们分别带有电.处于带电状态的物体,称为带电体或电荷.归纳大量的实验结果证明,

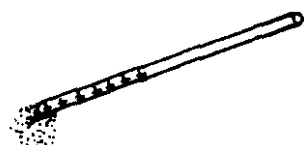


图 10-1 用丝绢摩擦过的玻璃棒能吸引轻微物体

自然界中只存在两种电荷,即正电荷和负电荷^①.带同种电荷的物体互相排斥,带异种电荷的物体互相吸引.这种相互作用的吸力或斥力都是电力.根据带电体的性质和相互之间作用力的大小,我们能够确定物体所带电荷的多少(带电的程度).物体所带电荷的量值以 q 或 Q 表示.在国际单位制中,电荷的单位是 C,称为库仑,简称库.

使物体带电,叫做起电.上述用摩擦方法使物体带电,叫做摩擦起电,任何物体都可能带电.要使物体带电,除上述摩擦起电外,有时也可利用接触起电、静电感应等方法.

物体是否带电,通常可用验电器来检验,其构造如图 10 - 2 所示.图中 C 是一金属球,它和金属杆 D 相连接,金属杆 D 穿过橡皮塞 B,其下端挂两片极薄的金箔 E_1 和 E_2 ,封装在玻璃瓶内.检验时,把物体与金属球接触,如果物体带电,就有一部分电荷传到两片金箔上,金箔由于带了同种电荷,彼此排斥而张开,所带的电荷越多,张开的角度越大;如果物体不带电,则金箔不动.当已知物体带电时,若要识别它所带

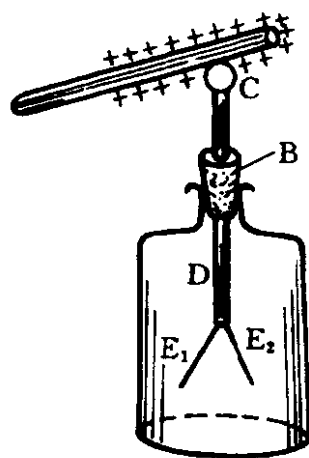


图 10 - 2 验电器

电荷的种类,只要先把这带电体与金属球接触一下,使金箔张开.然后,再用已知的带足够多正电的物体接触验电器的金属球,如果金箔张开的角度更大,则表示该带电体的电荷为正的;反之,如果金箔张开的角度减小,或先闭合而后张开,则表示带电体的电荷是负的.以上事实意味着,带电体再增加同种电荷时,电荷的量值增大;带电体再增加异种电荷时,电荷的量值减小.因此,人们通常将

① 我们沿袭历史上的规定:如果物体所带的电荷,与用丝绸摩擦过的玻璃棒所带电荷是同种的,则该物体所带的电荷叫做正电荷;若与用毛皮摩擦过的硬橡胶棒所带电荷是同种的,则叫做负电荷.电荷正、负的这种人为规定是相对的.

正、负电荷分别表示为正值和负值.例如.将带有等量异种电荷的物体相接触,它们所带正、负电荷之代数和为零,表现为对外的电效应相互抵消,宛如不带电一样.这时,它们呈电中性.这种现象叫做放电或电中和.

至于物体为什么会带电?我们可从物质的内部结构来说明.

(二) 物质的电结构理论

我们知道,宏观物体(固体、液体、气体)都是由分子、原子组成的.任何化学元素的原子,都含有一个带正电的原子核和若干个在原子核周围运动着的带负电的电子.原子直径的数量级为 10^{-10}m ,原子核直径的数量级为 10^{-15}m (图 10-3).可见原子核远小于原子.

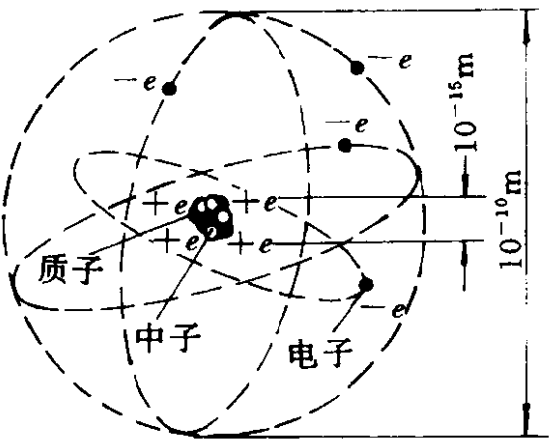


图 10-3 原子的结构

原子核中含有带正电的质子和不带电的中子,原子核所带的正电就是核内全部质子所带正电之总和.一个质子所带电荷的大小和一个电子所带电荷的大小相等.其大小都用 e 表示.据测定, $e \approx 1.60 \times 10^{-19}\text{C}$.质子的质量和中子的质量大致相等,两者都约为电子质量的 1840 倍.据测定,电子的质量 $m \approx 9.11 \times 10^{-31}\text{kg}$.现将上述结果列于表 10-1 中,供读者学习和解题时参考.

表 10-1 电子、质子、中子的电荷和质量

	电 子	质 子	中 子
电 荷	$-e$	e	0
质 量	m	$1840m$	$1840m$

其中: $e = 1.60 \times 10^{-19}\text{C}$, $m = 9.11 \times 10^{-31}\text{kg}$

由于任何宏观物体都是由大量原子所组成的,而每一原子又由带正电的原子核和带负电的电子所构成,因此从电学的角度来看,任何物体都是一个拥有大量正、负电荷的集合体.在正常状态下,原子核外电子的数目,等于原子核内质子的数目,因此每个原子中电子所带的负电和原子核所带的正电都相等,原子内的净电荷为零(即正、负电荷之代数和为零),因而每个原子都呈电中性.这时,整个物体对外界不显示电性.换句话说,在一切不带电的中性物体中,总有等量的正、负电荷同时存在.

但是原子核所带的正电荷和核外电子所带的负电荷之间相互作用的电性力,随物质的不同而有强弱.如果有若干个中性的原子或分子,由于外来原因,失去一个或若干个电子,则这些原子或分子内全部质子所带的正电荷多于全部电子所带的负电荷,于是,它们获得了正电荷而成为正离子;反之,如果有若干个中性的原子或分子从外界获得了一个或若干个电子,则这些原子或分子内的负电荷多于正电荷,于是,它们获得了负电荷而成为负离子^①.上述这些现象称为电离.在这两种电离情况下,对整个物体来说,都呈现带电状态.

如上所述,物体带电实际上是获得或失去电子的结果.这意味着电荷不能离开电子、质子而存在.由此看来,电荷乃是电子、质子等微观粒子所具有的一种属性.

可以这么说,所有电磁现象都是电子的得失或运动而引起的,亦即,电子在其中扮演了重要的角色.

根据上述的物质电结构理论,可以说明许多电磁现象.

问题 10.1.1 简述物质的电结构理论;电荷是什么?何谓起电和放电?

(三) 电荷守恒定律

在两种质料不同的物体相互摩擦而起电的过程中,使每个物

^① 中性分子或原子因电离而失去电子时,若这些电子的速度甚小,或者说,其动能不大,则往往附着在其他原子或分子上,使它们成为负离子.

体中都有一些电子摆脱了带正电的原子核的束缚,转移到另一个物体上去.但由于不同质料的物体,彼此向对方转移的电子个数往往不相等,其结果,必然是一个物体因失去一部分电子而带正电,另一个物体则得到这部分电子而带负电.所以,摩擦起电时,两个物体总是同时带异种而等量的电荷.

由摩擦起电和其他起电过程的大量实验事实表明,一切起电过程其实都是使物体上正、负电荷分离或转移的过程,在这种过程中,电荷既不能消灭,也不能创生,只能使原有的电荷重新分布.由此可以总结出电荷守恒定律:一个孤立系统的总电荷(即系统中所有正、负电荷之代数和)在任何物理过程中始终保持不变.所谓孤立系统,就是指它与外界没有电荷的交换.电荷守恒定律也是自然界中一条基本的守恒定律,在宏观和微观领域中普遍适用.

根据电荷守恒定律可知,电荷不能被创造或消灭,只能被迁移或中和.当我们分离正、负电荷时,必须付出某种形式的能量,以反抗正、负电荷间的吸引力而作功.在正、负电荷分离过程中,所作的功就转变为电能.相反地,两种电荷互相中和时,电能就转变为其他形式的能量(如热能、声能、光能等).例如,大量的正、负电荷中和时,往往会发生火花,并伴有劈啪声,形成火花放电;火花放电有时甚至还会引起爆炸^①.所以,随着物体起电或中和过程的进行,必定有电能和其他形式能量在相互转换着.并且,在转换过程中,是遵循能量守恒定律的.

(四) 电荷的量子化

实验表明,电子是自然界具有最小电荷的带电粒子.任一带电体的电荷都是电子电荷 e 的整数倍,这就是说, e 是电荷的一个基

① 例如,用管道输送干燥的粉末状物质(糖、面粉等)时,往往由于粉末颗粒间摩擦产生的正、负电荷中和而引起爆炸.为了避免火花放电事故,常需采取相应的措施,例如,运油汽车都有铁链拖在地上,这就是为了让晃动着的汽油与贮油罐器壁摩擦而产生的电荷泄放到大地中去,以免这些电荷积累起来而发生火花放电,酿成事故.

本单元.当带电体的电荷发生改变时,它只能按 e 的整数倍改变,不能作连续的任意改变.这种电荷只能一份一份地取分立的、不连续的数值的性质,叫做电荷的量子化.电荷的量子就是 e .不过,常见的宏观带电体所带的电荷远大于电子的电荷,在一般灵敏度的电学测试仪器中,电荷的量子性是显示不出来的.因此在分析带电情况时,可以认为电荷是连续变化的.这正象人们看到江河中滔滔流水时,认为它是连续的,而并不感觉到水是由一个个分子、原子等微观粒子组成的一样.

上面,我们从物质的电结构阐述了电荷的本源及其性质.从下节开始,我们将讨论电荷的宏观表现,不涉及其微观本质.

问题 10.1.2 (1) 何谓电荷的量子化? 试述电荷守恒定律.

(2) 在干燥的冬天,人在地毯上走动时,为什么鞋和地毯都有可能带电? 人在夜里脱卸化纤衣服时,为什么衣服上会出现闪光的火花?

§ 10-2 电荷间的相互作用 库仑定律

带电物体相互间有力的作用,这是电荷的一种对外表现,人们对电现象的认识,就是从这种作用开始的.一般地说,两个带电体之间的相互作用,除了和它们所带的电荷有关外,还和它们本身的大小、形状、电荷在带电体上的分布以及周围介质的性质等有关,情况相当复杂.为此,下面我们先讨论最简单的、也是最基本的问题,即两个相对静止的点电荷在真空中相互作用力的规律.

(一) 点电荷

在电学中,当所研究的带电体之间的距离比它们本身的线度大得多时,我们就可把这些带电体看作点电荷.在电学中,点电荷这个概念与力学中“质点”这个概念同样重要,它是从实际带电体中抽象出来的理想模型.点电荷本身不一定是体积很小的带电体.