

• 物理学 •

潘生泉 何志江 马松杰编

• 下 册 •

中南工业大学出版社

物 理 学

(下)

潘生泉 何志江 马松杰 编

中南工业大学出版社

一九八六·长沙

内 容 简 介

本书是参照1984年8月全国高等专科学校教材会议所制订的教材编写大纲，结合我校近年来的教学实践而编写的。

全书保持了普通物理原有的理论体系。注意到中学的原有基础及专科的特点，对质点力学、电介质、磁介质和热辐射等作了简化。全书内容主次分明、简明扼要，每章末都进行了小结，并附有适量的思考题和习题；各篇附有自我测试题一至两份。

本书分上、下两册。上册内容包括：力学、机械振动、机械波、分子物理学和热力学；下册内容包括：电磁学、光学和近代物理。

本书可作为大学专科班、培训班、夜大、职工大学及高等专科学校一般专业的试用教材，也可作为一般技术人员和其他在职人员的自学用书。

物 理 学

下 册

潘生泉 何志江 马松杰 编

中南工业大学出版社出版
湖南省新华书店发行
望城县湘江印刷厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：11.125 字数：258,000

1986年4月第一版 1986年4月第一次印刷

印数：1—8000

书号：13442·004 定价：2.20元

下 册 目 录

第四篇 电磁学

第八章 静电场	(2)
§ 8—1 电荷 库仑定律	(2)
§ 8—2 电场 电场强度	(7)
§ 8—3 电力线 高斯定理及其应用	(15)
§ 8—4 电场力的功 电势能和电势	(24)
§ 8—5 场强和电势的关系	(31)
* § 8—6 静电的一些应用	(34)
§ 8—7 静电场中的导体	(38)
§ 8—8 电容器的电容量	(43)
§ 8—9 静电场中的电介质 介质中的高斯定理	(49)
§ 8—10 电场的能量	(56)
本章小结	(59)
思考题	(62)
习题	(64)
第九章 直流电	(69)
§ 9—1 电流 欧姆定律	(69)
§ 9—2 电流的功 功率	(75)
§ 9—3 电动势	(77)
§ 9—4 一段含源电路和闭合电路的欧姆定律	(79)
§ 9—5 温差电现象	(82)

本章小结	(86)
思考题	(87)
习题	(88)
第十章 磁 场	(91)
§ 10—1 基本磁现象 磁场	(91)
§ 10—2 磁感强度 磁通量	(94)
§ 10—3 洛仑兹力	(99)
§ 10—4 毕奥—沙伐尔定律及其应用	(103)
§ 10—5 安培环路定律及其应用	(107)
§ 10—9 磁场对电流的作用	(114)
§ 10—7 磁场对载流线圈的作用	(117)
§ 10—8 磁介质	(121)
※ § 10—9 铁磁性物质 磁畴	(126)
本章小结	(130)
思考题	(131)
习题	(136)
第十一章 电磁感应	(142)
§ 11—1 电磁感应现象	(142)
§ 11—2 电磁感应的基本定律	(144)
§ 11—3 电磁感应的本质	(149)
§ 11—4 自感和互感	(155)
§ 11—5 磁场的能量	(162)
本章小结	(165)
思考题	(166)
习题	(169)
第十二章 电磁场理论的基本概念	(174)
§ 12—1 位移电流	(174)
§ 12—2 麦克斯韦方程组的积分形式	(177)
§ 12—3 电磁振荡和电磁波	(179)

思考题	(333)
习题	(333)
§ 12—4 电磁波谱	(185)
本章小结	(187)
思考题	(188)
习题	(188)
自我测试题 六 七	(190)

第五篇 波动光学

第十三章 光的干涉	(202)
§ 13—1 光的相干性	(202)
§ 13—2 杨氏双缝实验和洛埃镜实验	(204)
§ 13—3 光程和光程差	(208)
§ 13—4 薄膜干涉和劈尖干涉	(211)
※ § 13—5 迈克尔逊干涉仪	(219)
本章小结	(221)
思考题	(223)
习题	(225)
第十四章 光的衍射	(228)
§ 14—1 光的衍射	(228)
§ 14—2 单缝衍射	(231)
§ 14—3 衍射光栅	(237)
本章小结	(241)
思考题	(242)
习题	(243)
第十五章 光的偏振	(245)
§ 15—1 自然光与偏振光	(245)

§ 15—2 获得偏振光的方法·····	(247)
§ 15—3 偏振光的应用·····	(250)
本章小结·····	(252)
思考题·····	(253)
习题·····	(254)
自我测试题 八·····	(255)

第六篇 近代物理基础

第十六章 狭义相对论·····	(259)
§ 16—1 经典时空观·····	(259)
§ 16—2 经典时空观的困难 迈克尔逊—莫雷实验·····	(264)
§ 16—3 狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换·····	(268)
§ 16—4 相对论力学·····	(274)
本章小结·····	(279)
思考题·····	(281)
习题·····	(282)
第十七章 量子物理简介·····	(284)
§ 17—1 普朗克黑体辐射公式 普朗克能量子假设·····	(284)
§ 17—2 光电效应 ※康普顿效应·····	(289)
§ 17—3 物质波 实物粒子的波粒二象性·····	(296)
§ 17—4 玻尔的氢原子理论·····	(303)
§ 17—5 波函数和薛定谔方程·····	(313)
※ § 17—6 激光·····	(317)
本章小结·····	(330)
自我测试题 九·····	(335)
习题答案·····	(336)
自我测试题答案·····	(345)

第四篇

电 磁 学

电磁学是研究电磁运动规律及其应用的学科。它是物理学的重要组成部分。电磁现象是一种非常普遍的自然现象。众所周知，生产实践和日常生活无不与“电”密切相关。恩格斯说过：“电和热一样，也具有某种无处不在的性质，只不过方式不同而已。地球上几乎没有一种变化发生而不同时显示出电的现象。”可见，电磁运动和机械运动及热运动一样，也是物质运动的一种基本形式。

有关电磁运动的规律，在国防、科学技术、工农业生产以至日常生活等各个领域中有着广泛的应用。特别是由于电能便于远距离输送、控制和调节，它与其它形式能量之间的转换又非常方便，因此电能是目前科技与生产中的一种重要的能源形式。

现在电磁学已成为物理理论和应用学科的基础，电工学与无线电电子学就是以电磁学为基础发展起来的。因此，掌握电磁运动规律不仅对人类深入认识物质世界有着重要的意义，同时也为后继课程的学习和今后的工作创造了有利的条件。

本篇主要介绍电磁学的基本知识，包括静电场和稳恒电流的磁场的特性，电和磁的相互联系以及电磁场理论的初步知识。

第八章 静电场

相对于观察者为静止的电荷所产生的电场，称为静电场。本章重点研究真空中静电场的特性，其次讨论静电场与导体及介质的相互影响，最后介绍静电场的能量。

§8—1 电荷 库仑定律

一、物质的电结构

大家知道，两种不同性质的物体互相摩擦后，都具有吸引轻小物体的性质。这时，我们就说物体处于带电状态。处于带电状态的物体称为带电体。带电体吸引轻小物体的能力与其带电的多少有关，描述带电多少的物理量称为电量，常以符号 q （或 Q ）表示。有时，我们把带电体及其所带的电量，统称为电荷。实验表明，自然界中的电荷只有两种：即正电荷（ $+q$ ）和负电荷（ $-q$ ）。电荷之间有相互作用力，它们表现为：同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。

摩擦起电可以从物质的电结构加以定性说明。我们知道，任何宏观物体都是由大量分子、原子组成的。原子是由一个带电的原子核和一定数量的绕核运动的电子组成的。原子核是由带正电的质子和不带电的中子所组成。一个质子与一个电子所带的电量相等，但荷号相反。它们所带的电量是电量的最小基

本单元，其大小为 $e = 1.602 \times 10^{-19}$ 库仑^①。虽然近代理论界提出了比这电量更小的基本单元的假设，但迄今尚未为实验所证实。在通常情况下，原子内的电子数与质子数相同，因此，整个物体的正、负电量相等，所以不表现带电的性质。正是由于电子和原子核间的电性力才构成了原子整体，虽然原子核内的质子间存在着电性斥力，但同时还存在远比这种电性斥力大得多的吸引力——核力，所以原子核一般是很稳定的。原子内的外层电子受原子核的电性束缚较弱，不同的物质束缚程度也不相同，因此两种不同的物体摩擦时，束缚程度较弱的物体将失去电子带正电荷，另一个物体将获得电子而带等量的负电荷。可见摩擦起电，并非创造电荷，它只是使一定量的电子从一个物体转移到另一个物体，而任一物体所带的电量也只可能是电子电量（或质子电量）的整数倍。这种电量以其最小基本单元为单位，一份一份不连续方式存在的性质，称为电荷的量子化。量子化是近代物理中的一个基本概念，当研究微观世界的运动很多物理量，如质量、能量、动量、角动量等也都是量子化的。但必需指出的是，在讨论宏观电现象时，由于带电体的电量一般总是比电子电量大得多，而电子电量又是如此之小，因而显示不出电荷的量子化，即在宏观上仍然认为电量是可以连续变化的。这正如任一物体的质量，从微观结构来看，是由一个一个的不连续的分子或原子组成的，但组成物质的分子的质量是如此地小，而其数量又如此地大，以致在宏观现象中，我们通常认为物体的质量是可以任意改变的，即认为其质量是连续的一样。

二、电荷守恒定律

根据物质的电结构和对摩擦起电的定性分析可知，无论用

① 1 库仑表示 1 安培电流在 1 秒钟内通过导体横截面的电量。

什么方法使物体带电，本质上只是使物体的正负电荷分离并在物体间转移，一个物体得到多余的电子带负电荷，必定有另外的一个或几个物体同时失去等量的电子而带正荷。如果这些物体互相接触，则带负电荷的物体上的多余电子又将转移到带正电荷的物体上，结果正负电荷相互中和，各个物体又恢复中性状态。总之，在一个孤立的系统内，无论进行怎样的物理过程，系统内电量的代数和保持不变，这一结论称为电荷守恒定律。它是自然界所遵守的普遍规律之一，是平衡化学离子反应和核反应方程式的重要依据之一。

三、库仑定律

上面已经指出，两电荷之间存在相互作用力。实验表明，电荷之间的相互作用，不仅与电量和相对位置有关，而且还依赖于带电体的大小、形状和周围的环境。为了研究这种作用与电量和距离的关系，我们首先撇开带电体的大小、形状和周围物质对电荷之间相互作用的影响，研究两点电荷在真空中的相互作用。所谓点电荷就是指大小和形状可忽略的带电体。点电荷的概念类似于力学中的质点，实际的带电体总是有一定大小和形状的，但是当带电体的线度远比带电体之间的距离小得多时，我们就可把它抽象为点电荷这样一个理想化的物理模型来处理。可见点电荷是一个相对的概念，一个带电体能否当作点电荷，应根据研究问题的具体条件而确定。

1785年，法国科学家库仑通过实验确定了两个静止点电荷之间相互作用的基本规律，即在真空中两个点电荷 q_1 和 q_2 之间的相互作用力等值而反向，其方向沿着它们的连线，其大小与 q_1 和 q_2 的乘积成正比，而与它们之间距离 r 的平方成反比，其数学表达式为：

$$f = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (8-1)$$

式中 k 为比例系数，为了同时反映力的大小和方向，我们常将库仑定律写成如下的矢量形式：

$$\mathbf{f}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^3} \mathbf{r}_{12} \quad (8-2)$$

式中 $\mathbf{r}_{12}$ 为由 q_1 引向 q_2 的矢量， $\mathbf{f}_{12}$ 表示 q_1 对 q_2 的作用力，若 q_1 与 q_2 同号，则 $\mathbf{f}_{12}$ 的方向与 $\mathbf{r}_{12}$ 的方向相同；若 q_1 与 q_2 异号，则表示 $\mathbf{f}_{12}$ 的方向与 $\mathbf{r}_{12}$ 的方向相反（如

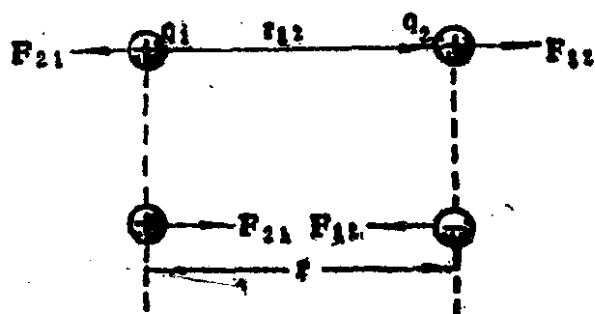


图 8-1 库仑定律

图8—1)。比例系数 k 的数值和单位与单位制的选择有关，在国际单位制中，力的单位为牛顿，距离的单位为米，电量的单位为库仑，则由实验测定：

$$k = 8.9875 \times 10^9 \text{ 牛顿} \cdot \text{米}^2 / \text{库仑}^2 \approx 9 \times 10^9 \text{ 牛顿} \cdot \text{米}^2 / \text{库仑}^2.$$

为了使以后由此导得的其它常用公式简化，常把 k 表示成： $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ 。其中 ϵ_0 称为真空中的介电常数。由上式可知， $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ 库仑}^2 / \text{牛顿} \cdot \text{米}^2$ 。因此，在国际单位制中，库仑定律的矢量表示式为：

$$\mathbf{f}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r_{12}^3} \mathbf{r}_{12} \quad (8-3)$$

最后要提出大家注意的是：（1）库仑定律讨论的是真空中两个点电荷之间的静电力。由于空气对电荷间的相互作用影响很小，所以空气中电荷间的相互作用也近似适用；（2）当空间有两个以上点电荷时，实验表明，作用于任一点电荷的总静

电力等于其它点电荷单独存在时作用于该电荷的静电力的矢量和。这一事实称为静电力的可迭加性，利用库仑定律和力的可加性，原则上可以解决各种带电体之间的相互作用。

例 两同号等值点电荷， $q_1 = q_2 = +5 \times 10^{-5}$ 库仑，相距 $2a$ ，若有一点电荷 $q_3 = +\frac{1}{9} \times 10^{-5}$ 库仑，置于 q_1 、 q_2 中垂线上任一点 P 处（如图 8—2），求 q_3 所受的静电力，在中垂线上什么位置所受静电力最大。

解 设 $PO = y$ ， q_1 （或 q_2 ）至 q_3 的距离为 r ，由于 q_3 受到的总静电力为 q_1 对 q_3 和 q_2 对 q_3 的两作用力的矢量和，而 q_1 对 q_3 的作用 f_{13} 和 q_2 对 q_3 的作用力 f_{23} 的方向分别如图所示，其大小为：

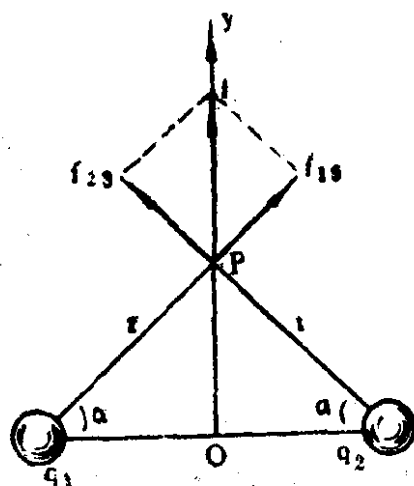


图 8—2

$$f_{13} = f_{23} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_3}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{5 \times 10^{-5} \times \frac{1}{9} \times 10^{-5}}{r^2}$$

$$= \frac{1}{2r^2} \text{ 牛顿}$$

由对称性知，合力沿 y 方向，大小为：

$$f = 2f_{13} \cdot \sin\alpha = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{y}{r} = \frac{y}{(y^2 + a^2)^{3/2}} \text{ 牛顿}$$

静电力最大值的位置为：

$$\frac{df}{dy} = \frac{(y^2 + a^2)^{-3/2} - y \cdot \frac{3}{2}(y^2 + a^2)^{-5/2} \cdot 2y}{(y^2 + a^2)^3} = 0$$

$$\therefore y = \sqrt{\frac{2}{2}} a.$$

以上结果表示, q_3 在中垂线上所受的力与其位置 y 有关, 当 $y = 0$, 或 $y \rightarrow \infty$ 时, q_3 所受静电力 $f = 0$; 当 $y = \sqrt{\frac{2}{2}} a$ 时, q_3 所受静电力最大。

§ 8—2 电场 电场强度

一、电场

- 库仑定律说明了真空中两点电荷之间相互作用的定量关系。但是两带电体并没有直接接触, 那么这种电荷间的相互作用力是怎样传递的呢? 大量事实证明: 静止电荷的周围存在一种特殊形式的物质, 称为**电场**。电场对置于其中的其它电荷施加力的作用, 这个力称为**电场力**。这种作用是以有限速度传播的, 这个速度就是光速 c , $c = 3 \times 10^8$ 米/秒。因此, 两静止电荷之间的相互作用, 是由它们各自在周围空间激发的电场, 再通过电场对对方互施作用力的。我们常把这种作用简单表示如下:

$$\text{电荷} \longleftrightarrow \text{电场} \longleftrightarrow \text{电荷}$$

电场和实物一样是客观存在的物质, 尽管它与通常见到的由分子、原子构成的实物不同, 眼不能见, 手不能摸, 但作为场的普遍形式的电磁场^①, 具有一切物质所具有的根本属性, 如能量、质量、动量。因此场是不同于实物的一种特殊物质,

^①运动电荷的周围不仅存在电场, 而且还存在磁场, 我们把运动电荷周围的场统称为电磁场。

是物质存在的另一种基本形式。在历史上有过一种所谓“超距作用”的观点，即认为两电荷间的相互作用是直接的，既不要借助于中间物质，也不需要时间。实验表明，如果相互作用的两个电荷，当其中一个电量发生变化时，那么另一个电荷所受力的变化，并不是即时反映出来的，而是要滞后一段时间，其所滞后的时间与两电荷间距离成正比，这就证明了场的观点的正确性。

静电场是电磁场的一种特殊情况，在静电场存在的空间里将表现出某些特殊的性质：

(1) 静电场对置于场中的其它电荷有力的作用。

(2) 当电荷在场中移动时，电场力将对它做功，这表明电场具有能量。

我们将从电场在这两个方面的对外表现来研究电场的性质与规律。

二、电场强度

电场强度是根据电场对电荷有力的作用这一表现，用以反映场中各点力的性质的物理量。为此我们首先引入试验电荷的概念，所谓试验电荷就是电量很小的点电荷。对试验电荷的电量和线度的这两个要求是显而易见的。如图 8—3 所示，为了研究带电体 A 周围电场各点力的性质，必须用另一个电荷（试验电荷）来探知其在场中各点所受力的情况。但是试验电荷的引入，必然会改变带电体 A 上的电荷分布，从而改变了原先场的分布，只有当试验电荷的电量足够

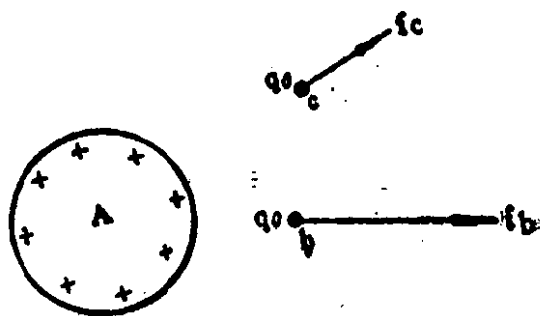


图 8—3

试验电荷在电场中各点所受的力

小，其对场源电荷的分布影响很小时，我们才可认为带电体周围的场仍然保留原先的分布不变；另外，为了探知场中各点性质，可见试验电荷本身的线度必须小到可视为点的程度。为了明确起见，我们规定试验电荷的电量为正，并以 q_0 表示。

实验表明，试验电荷 q_0 在电场中不同位置所受电场力 f 的大小和方向一般也不相同（如图8—3），但在场中某一确定点， q_0 所受力 f 的方向不变，其大小与试验电荷 q_0 的电量成正比。可见，电场力 f 与 q_0 之比 $\frac{f}{q_0}$ ，与试验电荷无关。这一比值

反映了试验电荷所在处电场本身的性质。因此，我们用这一比值来描述电场的性质，称为电场强度，简称场强，用符号 E 表示。即

$$E = \frac{f}{q_0} \quad (8-4)$$

由上式可知，如果 $q_0 = +1$ ，则 $E = f$ ，即电场中某点的电场强度在数值上等于单位正电荷在该点所受电场力的大小，场强的方向与正电荷受力的方向一致。

在国际单位制中，场强的单位为：牛顿/库仑，也可用：伏特/米表示。可以证明这两个单位是一致的，电工书籍中常用后者。

如果知道了电场中某点的场强，则我们可以求出一已知电荷 q 在该点所受的电场力为：

$$f = qE \quad (8-5)$$

三、电场强度的计算

点电荷 q 的场强 根据电场强度的定义，要求距点电荷 q 为 r 的任一点 P 的场强，可将试验电荷 q_0 置于 P 点，由库仑定

律知, q_0 所受的电场力为:

$$f = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{qq_0}{r^3} \mathbf{r}$$

则 P 点的场强为:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{f}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^3} \mathbf{r} \quad (8-6)$$

式中 $\mathbf{r}$ 为由 q 引向 P 点的矢径。上式表明, 点电荷周围空间任一点 P 的场强 $\mathbf{E}$ 的大小与点电荷的电量 q 成正比, 与点电荷到 P 点的距离 r 的平方成反比。其方向决定于点电荷 q 的正负。当 q 为正时, $\mathbf{E}$ 的方向与矢径 $\mathbf{r}$ 的方向一致, 即空间各点场的方向背离 q ; 当 q 为负时, $\mathbf{E}$ 的方向与矢径 $\mathbf{r}$ 的方向相反, 即空间各点场的方向指向 q (如图 8-4)。

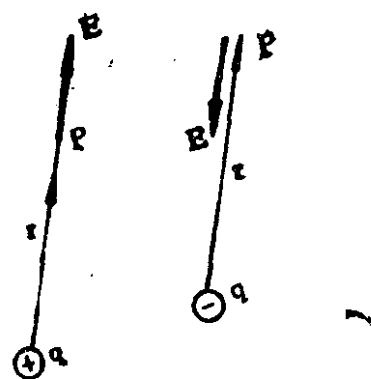


图 8-4

点电荷电场的场强

点电荷系的场强 如果电场是由两个或两个以上的点电荷产生, 其空间任一点 P 的场强, 同样可由场强的定义求得。将 q_0 置于 P 点, 由静电力的可迭加性可知, 作用于 q_0 电场力为:

$$\begin{aligned} \mathbf{f} &= \mathbf{f}_1 + \mathbf{f}_2 + \cdots + \mathbf{f}_i + \\ &\quad \cdots + \mathbf{f}_n = \sum_{i=1}^n \mathbf{f}_i \end{aligned}$$

$\mathbf{f}_i$ 表示第 i 个点电荷 q_i 对 q_0 的作用力, 所以 P 点的场强为:

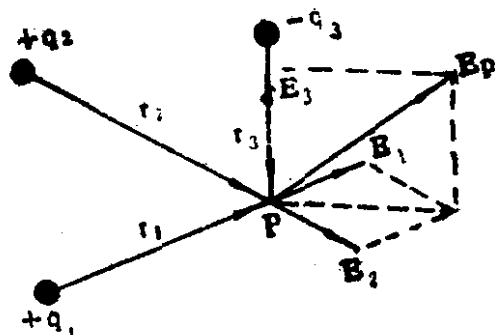


图 8-5 场强迭加原理

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{f}}{q_0} = \frac{\mathbf{f}_1}{q_0} + \frac{\mathbf{f}_2}{q_0} + \cdots + \frac{\mathbf{f}_n}{q_0} = \sum_{i=1}^n \mathbf{E}_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^3} \mathbf{r}_i \quad (8-7)$$