

高等学校试用教材, 064773

物理学 中册

南京工学院等七所工科院校 编 马文蔚 柯景凤 改编

人民教育出版社

高等学校试用教材

物 理 学

中 册

南京工学院等七所工科院校 编

马文蔚 柯景凤 改编

人 民 教 育 出 版 社

内 容 提 要

本书是在南京工学院等七所工科院校编《物理学》(简称第一版)的基础上修订的。修订时参照了1980年颁布的高等工业学校普通物理学教学大纲。本书中册与第一版中册相比,体系没有改动,重写了部分章节,如第十章、第十四章;改变了部分内容的讲法,如静电场中的导体、电流的稳恒条件、位移电流等;一些基本定律和定理的进一步证明和一些技术性课题如质谱仪等,用“小字”排印;一些非基本内容,如密立根油滴实验、基尔霍夫定律等,冠以“*”号,教师可根据学生和专业情况酌情选用,删去这部分内容不影响全书体系。

本书仍分三册,上册为力学、气体分子运动论和热力学基础,中册为电磁学,下册为波动过程和量子物理基础。

本书可作总学时为200学时、讲课学时为130学时的一般工科专业普通物理课程的教材,也可作其他院校一些专业的参考书。

责任编辑:奚静平

高等学校试用教材

物 理 学

中 册

南京工学院等七所工科院校编

马文蔚 柯景凤 改编

*

人民教育出版社出版

四川省新华书店重庆发行所发行

武汉市江汉印刷厂印装

*

开本850×1168 1/32 印张10 字数230,000

1978年2月第1版

1981年12月第2版 1982年6月第1次印刷

印数00,001—55,500

书号13012·0684 定价0.90元

第二版中册前言

南京工学院等七所工科院校编写的《物理学》(简称第一版)自1977年出版以来已有三年多的时间了。在这段时间里,许多教师和读者通过各种方式对第一版的体系、内容、深广度以及文字表达等方面,都提出了很多宝贵的意见和建议。我们谨向这些同志表示衷心感谢。

根据高等学校工科物理教材编审委员会1980年哈尔滨会议制定的教材规划,《物理学》第二版是在第一版的基础上,参照1980年颁布的高等工业学校普通物理学教学大纲进行修订的。本书仍分三册,上册为力学、气体分子运动论和热力学基础,中册为电磁学,下册为波动过程和量子物理基础。本书可作总学时为200学时,讲课时数为130学时的一般工科专业普通物理课程的教材。

本书中册修订时,无论在系统安排上,还是基本内容的选取上,都注意保持第一版的特点;并参照教学大纲的要求,做了必要的和适当的补充;变动了部分章节的系统;增添和更换了部分插图、例题、问题和习题。

在保持全书必要的系统性和科学性的前提下,有些内容冠以“*”,有些证明用小字排印,删去这些内容并不影响全书的系统性。编者虽然做了这样一些考虑,但不一定能满足各方面的要求,请使用本书的教师,根据学生的实际情况和专业特点,在保证全书必要的系统性、完整性和科学性的基础上,作进一步的增补和删节。

本书由北方交通大学余守宪主审,余守宪以及西北工业大学徐绪笃、北京工业学院陈广汉、上海铁道学院朱培豫、哈尔滨工业大学田恩瑞审阅了修订稿,并提出了较详细的具体修改意见和建议。

谈漱梅为中册增添的习题做了解答。在中册修改过程中，编者还得到校内外许多老师的支持和帮助。编者借此向他们致以谢意。

由于改编时间仓促，编者水平有限，书中必定还有不少错误和不妥之处。敬请使用本书的老师和同学们批评指正。

改编者

一九八一年十月于南京工学院

中 册 目 录

第九章 静电场	1
9-1 电荷的量子化 电荷守恒定律.....	1
9-2 点电荷 真空中的库仑定律.....	3
9-3 电场 电场强度.....	7
9-4 场强迭加原理 电场强度的计算.....	13
9-5 电力线 电场强度通量.....	20
9-6 高斯定理及其应用.....	27
*9-7 密立根测定电子电荷实验.....	36
9-8 静电场力所作的功 电势能.....	38
9-9 电势 电势差.....	43
9-10 电势的迭加原理 电势的计算.....	46
9-11 等势面 场强与电势的关系.....	49
问题.....	58
习题.....	60
第十章 静电场中的导体和电介质	64
10-1 静电场中的导体.....	64
10-2 电容 电容器.....	78
10-3 静电场中的电介质 电极化强度.....	88
10-4 电位移矢量 有电介质时的高斯定理.....	96
*10-5 电场的边界条件.....	103
10-6 电场的能量 能量密度.....	105
10-7 静电的一些应用.....	108
问题.....	111
习题.....	114
第十一章 稳恒电流	118
11-1 电流 电流密度.....	118
11-2 电阻率 欧姆定律.....	123

11-3	电功率 焦耳定律	128
11-4	电源 电动势	131
11-5	闭合电路和不均匀电路的欧姆定律	134
*11-6	基尔霍夫定律	138
*11-7	电容器的充放电	147
11-8	电子逸出功 温差电现象	153
11-9	气体中的电流	158
	问题	161
	习题	163
第十二章	磁场	166
12-1	基本磁现象	166
12-2	磁场 磁感强度	170
12-3	磁通量 磁场的高斯定理	174
12-4	运动电荷在磁场中所受的力——洛仑兹力	179
12-5	磁场对载流导线的作用——安培定律	184
12-6	磁场对载流线圈的作用	187
12-7	毕奥-萨伐尔定律	194
12-8	两无限长平行载流直导线间的相互作用	199
12-9	安培环路定律	201
12-10	运动电荷的磁场	209
12-11	带电粒子在电场和磁场中运动举例	211
	问题	223
	习题	227
第十三章	磁介质	234
13-1	磁介质 磁化强度矢量	234
13-2	磁场强度 磁介质中的安培环路定律	238
*13-3	磁场的边界条件	243
13-4	铁磁质	247
	问题	254
	习题	254
第十四章	电磁感应 电磁场	255

14-1	电磁感应现象	255
14-2	电磁感应定律	258
14-3	动生电动势和感生电动势	262
14-4	互感和自感	271
*14-5	RL 电路	281
14-6	涡电流	284
14-7	磁场的能量	287
14-8	位移电流 电磁场基本方程的积分形式	291
	问题	297
	习题	300
	习题答案	306

第九章 静 电 场

电磁现象是一种极为普遍的自然现象。地球上几乎没有一种变化发生而不同时显示出电现象的。从工农业生产到人们的日常生活,都与电磁现象有关,特别在近代科学技术中,更是离不开电磁现象。研究电磁运动的规律,不仅有助于我们更深入地认识周围的物质世界,更重要的是掌握了电磁运动的规律,便可以能动地改造自然,为人类服务。

为了便于掌握电磁运动的规律,我们先讨论电磁运动中最简单的情况——电荷相对参照系静止时的情况。

本章讨论真空中相对于观察者为静止的电荷,在其周围所激发的电场(即静电场)的性质。主要内容有:从静电场对电荷有力的作用,以及电荷在电场中移动时电场力将对它作功这两个方面的性质,引入描述电场性质的两个重要物理量——电场强度和电势,静电场所遵循的一个基本规律——高斯定理。

9-1 电荷的量子化 电荷守恒定律

一 电荷是量子化的

根据大量实验和理论研究的结果,现在我们知道,自然界中只存在着两种性质不同的电荷,一种是负电荷,以“-”号表示,如电子带的电荷就是负电荷;另一种是正电荷,以“+”号表示,如质子(即氢原子核)带的电荷就是正电荷。电荷与电荷之间有相互作用力,同号电荷互相排斥,异号电荷互相吸引。

通常,物体都是由分子、原子构成的。原子由带正电的原子核

和带负电的电子所组成。原子呈电中性时，原子核带的正电荷和电子带的负电荷是相等的。在正常状态下，平均来说，物体每个足够大的体积内部都存在着等量的正电荷和负电荷，对外呈现为电中性(即不带电)。当由于某种作用(如摩擦作用、光电作用等)破坏了物体的电中性状态，使物体内电子过多或不足时，该物体就带电了，或者说带了电荷。电子过多时，物体带负电荷；电子不足时，物体则带正电荷。

物体所带电荷的量值叫做电量，常用符号 Q 或 q 表示。电量的单位名称为库仑，其代号为库，国际代号为 C 。例如，质子带的电量为 $1.602 \times 10^{-19} C$ ，电子带的电量为 $-1.602 \times 10^{-19} C$ ，正电子带的电量为 $1.602 \times 10^{-19} C$ 。

已有的实验表明，带电体所带的电量 q 总是某一基本电量的整数倍^①(这个基本电量的值约为 $1.602 \times 10^{-19} C$ ，以 e 表示)，亦即 $q = ne$ ，这里 n 为整数。换句话说，电量不能连续地变化，只能取基本电量整数倍的值。

电荷的这种只能取分立的、不连续的量值的性质，叫做电荷的量子化。电荷的量子就是 e 。量子化是近代物理中的一个基本概念，当研究的范围在原子线度大小时，很多物理量如频率、能量等都是量子化的。这些将在光的量子性、原子结构等章节中再加以介绍。

二 电荷守恒定律

上面的讨论已经指出，在正常状态下，物体是不带电的，正负电荷电量的代数和为零。但若把一些电子从一个物体移到另一个物体上，则前者带正电，后者带负电，不过这两个物体的正负电量

^① 详见本章、节 9-7 密立根油滴实验。

的代数和仍为零。相反，如果让两个带有等量异号电荷的导体互相接触，则带负电导体上多余的电子，将移到带正电的导体上去，从而使两个导体对外都不呈现带电的性质。在这个过程中，正负电荷电量的代数和始终不变，即总是为零。大量的实验表明：若把参与相互作用的几个物体或粒子叫做一个系统，而整个系统与外界没有电荷交换，那么不管在系统中发生了什么样的变化，整个系统电量的代数和始终保持不变。这个结论叫做电荷守恒定律，它是物理学中的一条基本定律。直到现在，无论在宏观现象中，或者在原子、原子核和基本粒子范围中，电荷守恒定律都是正确的。在以后的章节中，我们还将举例说明这个基本定律的应用。

9-2 点电荷 真空中的库仑定律

一 点电荷

前面已经指出，带电体之间存在着作用力，力的大小除与带电体所带电量的多少以及它们之间的距离有关外，还与带电体的形状、大小及带电体所在处的介质性质有关。但是，在一些具体问题中，往往可以忽略带电体的大小和形状。例如，在讨论两个相同带电球体 A 、 B 的相互作用时(图 9-1)，如果球体的直径 d 与两球间的距离 r 相比可以忽略，即当 $r \gg d$ 时，它们之间的作用力主要决定于它们之间的距离、所带的电量和介质的性质，而可忽略它们的形状和大小，即把带电体所带的电量看成是集中在—“点”上，从而把带电体看成一个点电荷。点电荷是抽象出来的一个模型，一个带电体能否看成为一个点电荷，必须根据具体情况来决定。例如上

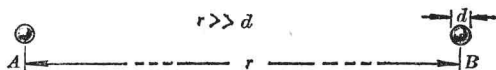


图 9-1 当 $r \gg d$ 时，可把带电球 A 、 B 看成点电荷

述的 A, B 带电球, 在研究它们的相互作用力时, 可把它们看成是点电荷, 但要研究每个球上电荷的分布情况时, 就不能再认为电荷集中在一点上, 因而也就不能把它们看成是点电荷了。但是我们可以把带电体分成很多很多的小块, 并使每一小块都足够小, 以致可以把它们看成是点电荷 (图 9-2, 其中第 i 个小块带的电量为 Δq_i)。这

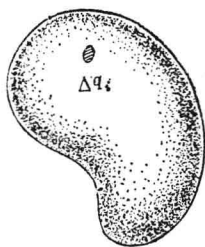


图 9-2 一个带电体可以看成是无限多个点电荷的集合体

样, 整个带电体就可以看成是无限多个点电荷的集合体, 整个带电体的电性质就由这些点电荷电性质的总和来决定。所以, 要研究任意带电体的电性质, 首先就应对点电荷进行研究。

二 真空中的库仑定律

假定在真空中有两个点电荷, 电量分别为 q_1 和 q_2 , 它们之间的距离为 r 。实验表明: 真空中两点电荷之间存在相互作用力, 其大小与两点电荷电量的乘积成正比, 与两点电荷之间距离的平方成反比, 作用力的方向在两点电荷的连线上, 同号电荷间为斥力, 异号电荷间为引力。这就是真空中的库仑定律^①。

如果用 \mathbf{r} 表示由 q_1 到 q_2 的位置矢量, 那么电荷 q_2 受到电荷 q_1 的作用力 \mathbf{F} 为

$$\mathbf{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{r}_0 \quad (9-1)$$

式中的 \mathbf{r}_0 是沿 \mathbf{r} 方向的单位矢量, 即 $\mathbf{r}_0 = \frac{\mathbf{r}}{r}$, k 为比例系数, k 的数值和单位决定于式中各量的单位, 可由实验确定。在国际单

^① 库仑 (Coulumb 1736—1806) 是法国物理学家。库仑定律是他于 1785 年利用扭秤对两个带电球体间的相互作用力进行定量测定后总结出来的, 其实验装置与卡文迪许测定万有引力常数所用的实验装置很相似。

位制中, 电量的单位为库仑, 距离的单位为米, 力的单位为牛顿, 这时 k 的数值和单位为

$$\begin{aligned} k &= 8.98755 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2} \\ &\approx 9.0 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2} \end{aligned} \quad (9-2)$$

在实际问题中, 直接用到库仑定律的机会很少, 常用的却是从它推导出来的其他公式^①. 为了使这些常用公式的形式简单些, 这里我们宁可使库仑定律的形式复杂些. 令比例系数 k 表示为

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (9-3)$$

式中 ϵ_0 叫做真空的介电常数, 是电学中常用到的一个常量. 它的大小和单位为

$$\begin{aligned} \epsilon_0 &= \frac{1}{4\pi k} = 8.8542 \times 10^{-12} \text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \\ &= 8.8542 \times 10^{-12} \text{F} \cdot \text{m}^{-1} \text{②} \end{aligned}$$

在一般计算中 ϵ_0 取 $8.85 \times 10^{-12} \text{F} \cdot \text{m}^{-1}$. 把 $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ 代入式(9-1), 可使真空中库仑定律的数学表达式写成

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{r}_0 \quad (9-4)$$

由上式可以看出, 当 q_1 和 q_2 同号时, $q_1 q_2 > 0$, \mathbf{F} 和 \mathbf{r}_0 同向, q_2 受到 q_1 的排斥, 即同号电荷相斥(图 9-3a); 当 q_1 和 q_2 异号时, $q_1 q_2 < 0$, \mathbf{F} 和 \mathbf{r}_0 反向, 即异号电荷相吸(图 9-3b).

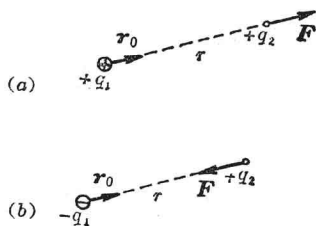


图 9-3 q_2 受到的作用力 \mathbf{F}
(a) q_1, q_2 同号 (b) q_1, q_2 异号

① 如节 9-6 的高斯定理, 节 10-2 电容器的电容等.

② F 是电容单位名称——法拉的代号, 在节 10-2 中将讲到.

必须指出，真空中的库仑定律只能用于研究真空中点电荷之间的相互作用，在计算任意带电体之间的相互作用时，不能直接应用。

例 1 在氢原子中，电子与质子的距离约为 $5.3 \times 10^{-11} \text{m}$ ，求它们之间电的相互作用力和万有引力，并比较这两种力的大小。

解 由于电子与质子之间的距离约为它们本身直径的 10^5 倍，故电子与质子都可看成为点电荷。质子带的电荷为 $+e$ ，电子带的电荷为 $-e$ ，故它们之间的电力为引力。根据式(9-4)，此电力的大小为

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2}$$

此外，由万有引力定律知，电子和质子间万有引力的大小为

$$f_m = G \frac{mM}{r^2}$$

于是，电力和万有引力的比值为

$$\frac{F_e}{f_m} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 GmM}$$

由于电子的质量 $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{kg}$ ，质子的质量 $M = 1.67 \times 10^{-27} \text{kg}$ ， $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ ，所以

$$\frac{F_e}{f_m} = 2.3 \times 10^{39}$$

亦即电力要比万有引力大得多，所以在原子中，作用在电子上的力主要为电力，而万有引力完全可以忽略不计。

例 2 在图 9-4 中， q_1 、 q_2 、 q_3 为处于真空中的三个点电荷， $q_1 = -2.0 \times 10^{-8} \text{C}$ ， $q_2 = +4.0 \times$

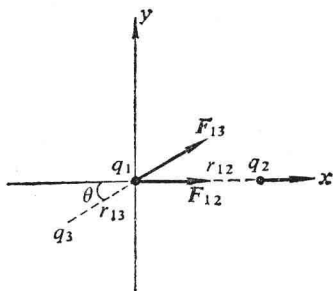


图 9-4

10^{-8}C , $q_3 = -3.0 \times 10^{-8}\text{C}$, $r_{12} = 0.15\text{ m}$, $r_{13} = 0.10\text{ m}$, $\theta = 30^\circ$, 求作用于 q_1 上的力 F_1 。

解 选坐标如图 9-4 所示, q_3 对 q_1 的作用力 F_{13} 为斥力, q_2 对 q_1 的作用力 F_{12} 为引力, 由库仑定律可得

$$\begin{aligned} F_{12} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r_{12}^2} \\ &= 9 \times 10^9 \times \frac{2.0 \times 10^{-8} \times 4.0 \times 10^{-8}}{(0.15)^2} \\ &= 3.2 \times 10^{-4}\text{N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{13} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_3|}{r_{13}^2} \\ &= 9 \times 10^9 \times \frac{2.0 \times 10^{-8} \times 3.0 \times 10^{-8}}{(0.10)^2} = 5.4 \times 10^{-4}\text{N} \end{aligned}$$

作用在 q_1 上的合力 F_1 在 x 轴、 y 轴上的分量分别为

$$\begin{aligned} F_{1x} &= F_{12} + F_{13} \cos \theta = 3.2 \times 10^{-4} + 5.4 \times 10^{-4} \cos 30^\circ \\ &= 7.88 \times 10^{-4}\text{N} \end{aligned}$$

$$F_{1y} = F_{13} \sin \theta = 5.4 \times 10^{-4} \sin 30^\circ = 2.7 \times 10^{-4}\text{N}$$

所以 F_1 的大小为

$$F_1 = \sqrt{F_{1x}^2 + F_{1y}^2} = 8.34 \times 10^{-4}\text{N}$$

F_1 与 x 轴的夹角为

$$\alpha = \arctan \frac{F_{1y}}{F_{1x}} = \arctan \frac{2.7 \times 10^{-4}}{7.88 \times 10^{-4}} = 18.9^\circ$$

9-3 电场 电场强度

一 电场

上一节讨论了点电荷间的相互作用力, 那么, 这种相互作用又是怎样得以实现的呢? 人们通过反复的研究, 终于弄清了在任何

电荷周围都存在着特殊形态的物质——电场，电荷间的相互作用就是通过电场来实现的。例如，甲、乙两电荷间的相互作用，就是由于电荷甲周围存在的电场对电荷乙施加作用，以及电荷乙周围存在的电场对电荷甲施加作用，即电荷之间的相互作用力是通过电场对电荷的作用来实现的。电场对电荷的作用力叫做电场力。

如果带电体相对于观察者来说是静止的，那么在它周围存在的电场就叫做静电场。

电场和其他物质一样，也是客观存在的。我们可以通过实验来认识它。如图 9-5 所示，在玻璃缸 G 内盛有蓖麻油，油里均匀散放一些剪短的头

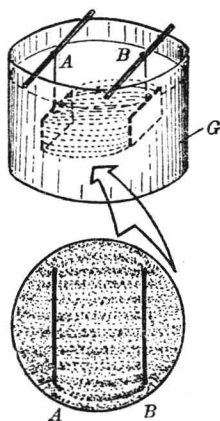


图 9-5 带有等量而异号电荷的平行板间的电场

发丝，然后放入两个极板 A 、 B 。把 A 、 B 分别接在高压直流电源的正、负极上，使它们分别带上正、负电荷。可以看到，两极板间原来杂乱无章的头发丝就有规则地排列起来了。这表明在带电极板的周围确实存在着电场，头发丝有规则的排列就是由于电场作用的结果。通过头发丝的排列，间接地表现出带电极板间存在着电场。

电场的客观存在，由示波管中电子束的偏转也可得到说明。图 9-6 是示波管的结构原理图。若在纵偏转极板的两板上加上电压，使两极板分别带正、负电荷，则偏转极板间就有电场存在。电子射进偏转极板间的空间时，就会受到电场的作用力，使电子运动方向发生偏转，从而使荧光屏上的亮点沿铅直方向偏移。同样，若在横偏转极板的两板上加上电压后，会使荧光屏上的亮点沿水平方向偏移。此外，在示波管的阴极和阳极间若加上一定的电压，它们之间也存在着电场。从阴极射出的电子要受到电场力的加速作

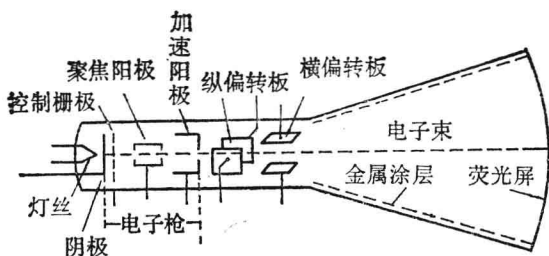


图 9-6 示波管结构原理图

用而获得很高的速度，因而具有足够的动能，当它投射到荧光屏上时，能够形成亮点。电子在电场中运动而获得能量，这是因为电场力对它作了功。

前面曾指出，场是物质的一种形式，它和物质的另一种形式——实物（原子、分子等微观粒子，以及由它们组成的宏观物体）一起构成了物质世界非常丰富的图景。静电场存在于静止电荷的周围，并分布在一定的空间。我们知道，处于万有引力场中的物体要受到万有引力的作用，并且当物体移动时，引力要对它做功；处于静电场中的电荷也受到电场力的作用，并且当电荷在电场中运动时电场力也要对它做功。在引力场中我们曾从力和功这两方面来研究引力场的性质，分别引出引力场强和引力势能两个物理量，现在我们仍将从力和功这两方面来研究静电场的性质，分别引出描述电场性质的两个物理量——电场强度和电势。下面先介绍电场强度，电势则在节 9-9 中介绍。

二 电场强度

现在先来研究电荷在电场中受力作用的情况，从而引出描述电场性质的一个物理量——电场强度。

取一个相对于惯性参照系静止的带有电量 $+Q$ 的电荷，在它周围便存在着静电场。今用一带有正电的点电荷来测试此电