

上海职工高等学校试用教材

普通物理学

下 册

上海科学技术出版社

上海职工高等学校试用教材

普通物理学

(下 册)

上海科学技术出版社

《普通物理学》编写组成员名单

屠庆铭 张汉文 王荣鸣
王秉章 林叶华 魏佩贤
戴继贤

上海职工高等学校试用教材

普通物理学

(下 册)

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 12.5 字数 274,000

1986 年 10 月第 1 版 1986 年 10 月第 1 次印刷

印数 1-6,000 本

统一书号: 13119·1385 定价: 2.05 元

目 录

(下 册)

第四篇 电 磁 学

第十章 静电场	2
§ 10-1 电荷 电量守恒定律	2
§ 10-2 库仑定律	6
§ 10-3 电场 电场强度 电力线	11
§ 10-4 电介质对电场的影响 电位移矢量	28
§ 10-5 电通量 高斯定理	33
§ 10-6 电场力的功 电势	49
§ 10-7 等势面 场强与电势梯度的关系	60
§ 10-8 静电场中的导体	67
§ 10-9 导体的电容 电容器	75
§ 10-10 电场的能量	87
§ 10-11 应用举例	91
习题十	97
第十一章 稳恒电流	102
§ 11-1 稳恒电流 电流密度	103
§ 11-2 一段电路的欧姆定律及其微分形式	106
§ 11-3 电功率 焦耳定律	109
§ 11-4 电动势 闭合电路和一段含源电路的欧姆定律	111
§ 11-5 基尔霍夫定律	117
§ 11-6 金属导电的经典电子论	120
§ 11-7 应用举例	122

习题十一	125
第十二章 电流与磁场	126
§ 12-1 基本磁现象	126
§ 12-2 磁感应强度	129
§ 12-3 磁通量 磁场的高斯定理	132
§ 12-4 毕奥-萨伐定律	136
§ 12-5 安培环路定理	143
§ 12-6 磁场强度 磁介质中的安培环路定理	151
§ 12-7 磁场对载流导线的作用——安培定律	154
§ 12-8 两无限长平行载流直导线间的相互作用力	163
§ 12-9 磁场对运动电荷的作用——洛仑兹力	164
§ 12-10 带电粒子在电场和磁场中的运动	167
§ 12-11 磁介质 物质的磁化	173
§ 12-12 铁磁质	176
§ 12-13 应用举例	180
习题十二	184
第十三章 电磁感应	191
§ 13-1 电磁感应的基本现象	191
§ 13-2 电磁感应的基本规律	194
§ 13-3 在磁场中运动的导体的动生电动势	200
§ 13-4 在磁场中转动的线圈的动生电动势	205
§ 13-5 感生电动势	208
§ 13-6 自感和互感	212
§ 13-7 磁场的能量	218
§ 13-8 应用举例	221
习题十三	224
第十四章 电磁场与电磁波	230
§ 14-1 麦克斯韦电磁场理论的基本概念	230
§ 14-2 电磁振荡 电磁波	237
§ 14-3 电磁波谱	246

习题十四	248
本篇小结	249

第五篇 波动光学

第十五章 光的干涉	253
§ 15-1 相干光 光程 产生干涉明纹和暗纹的条件	253
§ 15-2 杨氏双缝实验	261
§ 15-3 劈形薄膜的干涉 牛顿环	266
§ 15-4 平板薄膜的干涉 等倾干涉条纹	279
§ 15-5 迈克耳逊干涉仪	282
习题十五	284
第十六章 光的衍射	287
§ 16-1 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	287
§ 16-2 夫朗和费单缝衍射	290
§ 16-3 衍射光栅 光栅光谱	295
习题十六	301
第十七章 光的偏振	302
§ 17-1 自然光和偏振光 马吕斯定律	303
§ 17-2 反射和折射时光的偏振	307
§ 17-3 双折射现象	310
习题十七	313
本篇小结	314

第六篇 近代物理简介

第十八章 狭义相对论简介	317
§ 18-1 经典时空观	317
§ 18-2 狭义相对论的基本假设	323
§ 18-3 相对论中的长度、时间和同时性	325
§ 18-4 相对论中的质量和能量	329

习题十八	334
第十九章 光的量子性	335
§ 19-1 热辐射简介	335
§ 19-2 绝对黑体的辐射 普朗克能量子假设	337
§ 19-3 光电效应	341
§ 19-4 光量子 爱因斯坦方程	346
§ 19-5 康普顿效应	350
§ 19-6 德布罗依假设 实物粒子的波粒二象性	352
习题十九	355
第二十章 原子的量子理论简介	355
§ 20-1 卢瑟福的原子有核模型	355
§ 20-2 原子光谱的规律	358
§ 20-3 玻尔的量子化假设	361
§ 20-4 玻尔氢原子理论	364
§ 20-5 玻尔理论的发展	369
§ 20-6 微观粒子运动的一些基本特征	373
§ 20-7 元素周期表 原子的电子壳层结构	375
习题二十	382
本篇小结	382
习题答案	385

第四篇 电 磁 学

电磁学是研究电现象和磁现象以及它们之间相互转换的一门学科。通过本篇的学习，我们将对物质存在的另一种形式——场，如电场、磁场等有所认识。

在现代科学技术和生产中，电磁学的应用十分广泛。电能已成为最普遍应用的能源，这是由于电能便于转换为其它形式的能量，如机械能、热能、光能、化学能等；而且可以较方便地用输电线送到很远的地方。电磁波在现代通信技术中很重要，它能在空中以光速把信号传送到远方。电气测量仪表具有很高的灵敏度，电气的调节、控制仪表是自动控制的基础。通过电磁信号进行远距离控制的遥控技术，已被广泛应用在科研和国防中。

电磁学的研究在理论方面很重要。许多表面上看来与电学无关的现象，如固体和液体的弹性、金属的导热性、光的折射率等等，实际上都与物质的电结构有关。在构成物质的分子、原子等微观领域中，电磁力是主要的相互作用形式，我们研究物质的结构时，必须研究电磁力的作用。电磁理论对光学的发展起着非常重要的作用，光具有电磁波的本质。电磁学在现代物理中具有重要的地位。

普通物理学中的电磁学是许多后续课程，如电工学、电工基础、无线电技术等的基础。

第十章 静 电 场

相对于观察者静止的电荷产生的电场称为静电场。

本章在研究静电场对电荷的作用力和对运动电荷做功的基础上，引入了电场强度和电势这两个描写电场的基本物理量；并进一步研究了静电场的一些基本性质。

这一章还简略地讨论了静电场中导体和电介质的性质，以及它们对电场的影响。

§ 10-1 电荷 电量守恒定律

1. 电荷

大量事实说明：自然界一切电现象都产生于电荷的存在与电荷的运动。那么，电荷是什么呢？如果把两种不同质料的物体，例如丝绢和玻璃棒相互摩擦后，它们都能吸引轻小的物体。这表明摩擦后它们都进入了一种特殊的状态。我们把处于这种特殊状态的物体叫做带电体，或者说物体带上了电荷，简称带电。电荷是不能离开物质而独立存在的，但它本身并不是一种物质，而是物质的一种属性。这种属性表现在它们之间存在着电的相互作用。物体所带电荷的量值叫做电量。电量的单位是从电流的单位导出的。在国际单位制中，电流的单位为安培(A)，而电量的单位为库仑(C)。1库仑的电量为1安培的电流，在1秒钟内流过导体横截面的电量，即

$$1 \text{ 库仑} = 1 \text{ 安培} \cdot \text{秒}.$$

至于物体为什么会带电，这必须从物质的电结构说起。大家知道，一切实物均由分子、原子组成，而原子又有一个原子

核和一定数量的绕核运转的电子所构成。除氢原子核外，其它元素的原子核又是由质子和中子所组成。电子带负电，质子带正电，中子不带电。每一个质子所带的正电荷与每一个电子所带的负电荷的量值相等，都等于 1.6×10^{-19} 库仑，通常用 e 表示。在正常情况下，组成物质的每个原子中的质子数和电子数总是相等的，因而每个原子正负电荷电量的代数和为零，由它们组成的物体各部分正负电荷的电量代数和也必为零。于是，物体对外界不显示带电的性质，而处于电中性状态。可见，要使物体带电，必须借助某种外来的作用，改变物体电中性的状态。使物体带电的方法有摩擦起电、接触起电等。这些起电方法，实际上都是通过某种外来作用，使原来中性的物体因失去电子而带正电，或因获得电子而带负电。物体内部存在的这种正负电荷是矛盾着的两个方面，它们之间对立的统一是一切电现象的本质。

2. 电荷量子化

近代发现：除电子、质子、中子以外，自然界中还存在着许多其它的基本粒子。它们有的不带电，有的带正电或带负电。但是，至今已经发现的所有带电基本粒子的电量要末与质子电量相同为 $+e$ ，要末与电子电量相等为 $-e$ ，而从未发现比它们的电量更小的电荷。由此推知，电子、质子所带的电量是电荷电量的最小自然单位。任何带电体所带的电量 Q 的大小，都只能是电子电量的整数倍，即 $Q = ne$ 。这里的 n 是正的或负的整数。

在物理学中，当一种物理量不允许连续取值，而只限于取某一组确定的分立值时，我们就说该物理量是“量子化”的。电荷的电量只能取分立的、不连续的量值的现象，叫做电荷量子化。电荷的量子就是 e 。在近代，“量子化”是个很基本的概

念,量子化现象是微观领域中普遍存在的。

由于电荷的量子 e 是极其微小的,以致在宏观电现象中,电荷量子化的现象根本表现不出来。例如,在 220 伏 40 瓦特的灯泡中,每秒钟就有 10^{18} 个电子的电量通过灯丝。对于这种宏观电流来说,电荷的量子化就被掩盖了。这正如人们喝水时,从未感觉到水是由一颗颗不连续的水分子所组成的那样。因此,在宏观电磁学的范围内,可以不必考虑电荷量子化,而认为电荷 Q 是能够连续变化的。

3. 电量守恒定律

如前所述,处于电中性状态的物体各部分正负电荷的电量代数和为零。当我们用某种方式使物体带电时,等量的正、负电荷总是同时出现的。例如,玻璃棒与丝绢摩擦后,前者带正电,后者带等量的负电。在静电感应中,正、负感生电荷也总是等量地同时产生的。由此可见,物体带电的过程,只不过是把原来集中在一起的正、负电荷分开,把一种电荷从一个物体迁移到另一物体上去,或把它从物体的这部分转移到另一部分。起电过程,涉及到的只是电荷重新分布,而不能使电荷创生或消灭。大量实践证明:在任何一个与外界没有电荷交换的系统中,不论系统经历何种变化过程(包括化学反应、原子核反应、基本粒子的转化等),系统电量的代数和始终保持不变。这个原理叫做电量守恒定律。它是电磁学中一条最基本的实验定律,也是自然界的基本规律之一。

4. 导体和电介质

能使电荷通过的物体叫做导体。如金属、石墨和电解液(酸、碱、盐的水溶液)等都是属于导体。不能让电荷通过的物体就叫做绝缘体,或称电介质。如石英、石蜡、玻璃、橡胶、丝绢、毛皮、塑料等都是绝缘体。此外,还有一种导电性比较特

殊的材料,叫做半导体,它的导电性能介于导体与绝缘体之间,如硅、锗、硒等元素及砷化镓、锑化铟等化合物。

从物质的微观结构,可以解释各种物体导电性能的差别。金属之所以能够导电,是由于其内部存在大量的自由电子,它们摆脱了原子核的束缚在金属内部可以自由运动。电解液内部存在着许多可以自由移动的正、负离子,这是电解液能够导电的原因。与之相反,对于绝缘体来说,即使原子的外层电子,受原子核束缚也是比较紧的,一般不能脱离它所从属的原子。因此,绝缘体内部基本上没有可作宏观运动的自由电子。这是绝缘体不能导电的原因。

〔例 10-1〕 有一纯铜块,质量为 10 克,处于电中性时,问它含有正、负电荷各多少?

解:电中性时,每个铜原子中所含的质子数和电子数都等于 29。因此,每一铜原子中所含的正、负电荷电量也相等,且为

$$q = ne = 29 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ 库仑} = 4.6 \times 10^{-18} \text{ 库仑}.$$

又,质量为 m 千克的纯铜中包含的铜原子个数 N 为

$$N = \frac{mN_0}{M},$$

式中, $N_0 = 6.0 \times 10^{23}$ 摩尔⁻¹, 为阿伏伽德罗常数, $M = 64 \times 10^{-3}$ 千克·摩尔⁻¹ 是铜的摩尔质量,由此得

$$N = \frac{0.01 \times 6.0 \times 10^{23}}{64 \times 10^{-3}} = 9.4 \times 10^{22}.$$

因此,该铜块包含的正、负电荷的电量都是

$$\begin{aligned} Q = Nq &= 9.4 \times 10^{22} \times 4.6 \times 10^{-18} \\ &= 4.3 \times 10^5 \text{ 库仑}. \end{aligned}$$

§ 10-2 库 仑 定 律

1. 点电荷

两个静止的带电体之间有电性的相互作用力，称为静电作用力。由实验知道，一般情形下决定两个静止的带电体之间的静电作用力的因素很复杂，除了决定于它们的电量与相对位置之外，还与两个带电体的大小、形状和电荷分布状况有关。但是，实验进一步发现，如果两个带电体本身的线度比它们之间的距离小得多，则带电体的大小、形状和电荷分布状况对它们之间静电作用力的影响可以忽略。凡是符合以上条件的带电体，我们就称它们为“点电荷”。当带电体可以作为点电荷处理时，可用一个点来表示它的位置，其上集中了带电体的全部电量，点电荷之间的间隔就代表着两个带电体的距离。“点电荷”的概念与力学中“质点”的概念一样，只有相对的意义。点电荷不一定是体积很小的带电体，只是带电体的线度与它们之间的距离相比实在太小，以致可以略去不计。因此，一个带电体是否可以简化为点电荷，必须由具体情况确定。

2. 真空中的库仑定律

在真空中，两个静止点电荷之间的相互作用力的大小和方向是由库仑定律给出的。库仑由实验得出了如下两个结论：

(1) 静电力的大小与每个点电荷的电量 q_1 、 q_2 成正比，与两个点电荷之间的距离 r 的平方成反比；

(2) 两个点电荷之间的静电力的方向沿着它们之间的联线，同号电荷相斥，异号电荷相吸。

根据结论(1), 静电力的大小可表示为

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (10.1)$$

式中, K 为比例系数, 其量值与力 F 、距离 r 、电量 q 的单位选择有关。

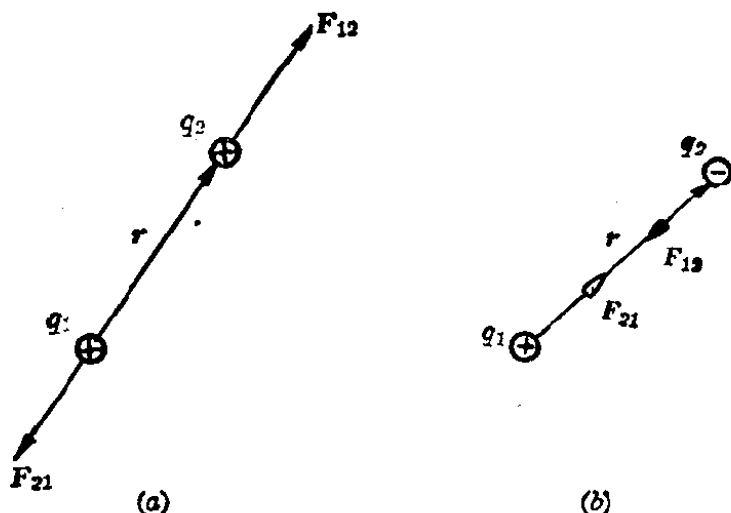


图 10.1 两点电荷之间的相互作用力

再考虑静电力的方向, 如图 10.1 所示, 若以 $\mathbf{r}$ 表示从 q_1 指向 q_2 的位置矢量, 则点电荷 q_1 作用于 q_2 上的力 $\mathbf{F}_{12}$ 可以用矢量表示为

$$\mathbf{F}_{12} = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r}. \quad (10.2)$$

显然, 有

$$\mathbf{F}_{21} = -\mathbf{F}_{12}.$$

可见, 静电力(或称库仑力)符合牛顿第三定律。

在国际单位制中, 由于力、距离和电量的单位已分别选定为牛顿、米和库仑, 因此, 比例系数 K 就不能再任意给定而只能根据实验测定, 实验测得 K 在国际单位制中的数值为

$$K \cong 8.99 \times 10^9 \text{ 牛顿} \cdot \text{米}^2 / \text{库仑}^2,$$

这就是说, 在真空中电量各为 1 库仑, 相距为 1 米的两个点电荷之间的静电力为 8.99×10^9 牛顿。

库仑定律虽是静电学的基本定律，但是很少用它来直接处理问题，通常应用的却是由它推论得到的一些其它公式。为了使这些公式简化，在国际单位制中，常用另一个恒量 ϵ_0 来代替 K ，它与 K 的关系为

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = K.$$

由此得到

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi K} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ 库仑}^2/\text{牛顿} \cdot \text{米}^2,$$

这里的 ϵ_0 叫做真空介电常数。

于是，真空中的库仑定律可表示为

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^3} \mathbf{r}. \quad (10.3)$$

3. 介质中的库仑定律

如果两个点电荷不在真空中而是在电介质中，那末，它们受到的静电作用情况就复杂得多。这里，我们仅介绍一种最简单的情况。当两个点电荷放在无限大的均匀电介质中，实验得到，它们中间的任一个点电荷受到的作用力是真空中的 ϵ_r 分之一。所以，在国际单位制中，无限大均匀电介质中的库仑定律为

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1 q_2}{r^3} \mathbf{r}, \quad (10.4)$$

式中 q_1 、 q_2 分别为两个点电荷的电量， r 为它们之间的距离。 ϵ_r 称为电介质的相对介电常数，它是一个无量纲的纯数。 $\epsilon = \epsilon_0\epsilon_r$ ，称为电介质的绝对介电常数（简称介电常数）。从(10.4)式看到，如果 $\epsilon_r = 1$ ，它就变成真空中的库仑定律。所以我们规定真空的 $\epsilon_r = 1$ 。其它任何电介质的 ϵ_r 都大于 1，不同电介质的 ϵ_r 不同（见表 1）：

表 1 几种电介质的相对介电常数

电 介 质	相 对 介 电 常 数 ϵ_r
真 空	1
空 气	1.0005
水	78~81
甘 油	50
纸	3.5
玻 璃	3.4~10
电 木	5~7.6
云 母	3.7~7.5
聚 乙 烯	2.3~2.7

电介质中电荷受到的静电作用力比在真空中小，这一事实可用电介质的极化来解释。在 § 10-4 中我们将会知道，当带电体放入电介质后，电介质的每个分子中的正、负电荷因受到带电体的作用而发生相对的微观位移，使电介质极化。均匀电介质极化后，在带电体周围总将出现与它符号相反的极化电荷(如图 10.2)。极化电荷的出现等效于原点电荷电量的减少，因此，在电介质中，点电荷所受作用力总是比真空中要小一些。

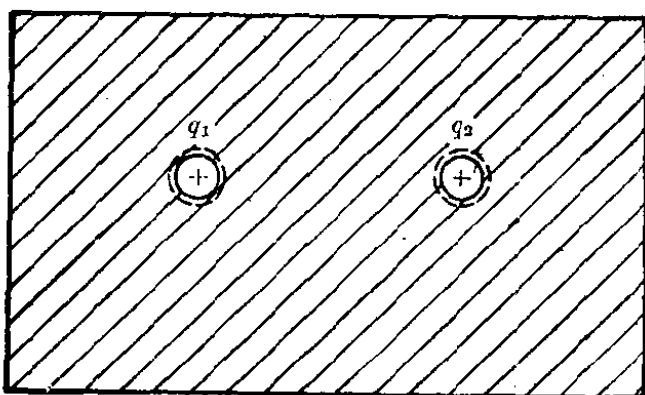


图 10.2 电介质对电荷所受作用力的影响

库仑定律是整个静电学的基础。近代实验证明，它不仅适用于宏观范围，而且在原子的微观范围内仍然精确成立。

4. 静电力迭加原理

库仑定律只是给出两个点电荷之间的相互作用力，但实际上空间往往存在着两个以上的电荷。实验发现，当空间同时存在几个点电荷时，任意一对电荷之间作用力的大小和方向并不因为有其它电荷的存在而发生改变，任一电荷上的静电力等于其它每一电荷对它单独作用的静电力的矢量和。可见，静电力与任何其它力一样，遵循力的矢量相加法则。我们称此法则为静电力迭加原理。

设真空中有 $q_1, q_2, \dots, q_n$ 所组成的点电荷组，根据上述迭加原理，这 n 个点电荷作用在另一点电荷 q_0 上的合力为

$$\mathbf{F} = \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q_i}{r_i^3} \mathbf{r}_i, \quad (10.5)$$

式中， $\mathbf{r}_i$ 是从第 i 个点电荷指向 q_0 所在位置的位置矢量。

对于不能简化为点电荷的带电体的受力，我们可以根据迭加原理，首先把该带电体分割成许多小电荷元，使每一个小电荷元都可看作点电荷，那末，整个带电体所受到的静电力是所有这些电荷元所受力的矢量和。这样，迭加原理和库仑定

律结合在一起，在原则上就可以处理静电学中所有问题。

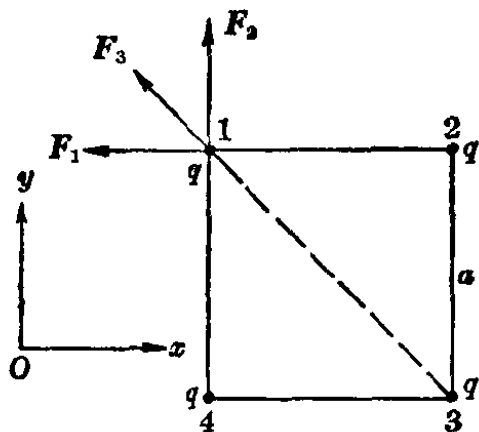


图 10.3 [例 10.2] 用图

[例 10-2] 四个点电荷位于一正方形的四个顶点上(如图 10.3)。每个点电荷的电量为 q ，正方形边长为 a ，试计算处于左上角点 1 处电荷所受的力。

解：左上角 1 处的点电荷所受的静电力为其余三个点电荷单独对它施加的作用力之矢量和。取平面直角坐标系 XOY ，并设 $\mathbf{i}, \mathbf{j}$ 分别为沿 X, Y 轴正