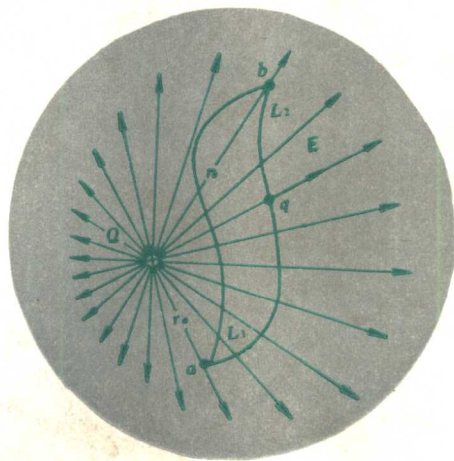




高等教育基础课教材

普通物理学(二)

惠和兴 郑锡珪 编



北京工业学院出版社

普通物理学(二)

惠和兴 郑锡璉 编

北京工业学院出版社

内 容 简 介

本书是根据原教育部颁发的《普通物理函授教学大纲》的要求编写的，共分三册。第一册包括力学和热学，第二册为电磁学，第三册包括光学和近代物理学。

本书是第二册，主要内容为：真空中的静电场、有介质时的静电场、稳恒电流、电流的磁场、电磁感应以及电磁场理论的基本概念。

本书特点是叙述由浅入深、细致严密，章后小结内容明确、详尽、重点突出，每节均有指定的思考题和习题，每篇后有测验作业，便于函授和自学。

本书除作为高等教育自学函授教材外，还可作为电大、夜大、职工大学和普通高等学校的学生参考。

陈广汉副教授审读了书稿，提出了很好的建议。

普 通 物 理 学 (二)

惠和兴 郑锡璜 编

*

北京工业学院出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防科工委印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 11.875印张 255千字

1988年6月第一版 1988年6月第一次印刷

ISBN7-81013-039-0/O·6

印数：1—10,000册 定价：1.95元

前 言

这套教材是根据高等工业学校函授大学教学大纲和自学考试大纲编写的机械类专业用基础课教材。它的出版为高等函授学生和参加自学考试的自学者做了一件极有意义的好事。

党的十一届三中全会以来，随着我国四个现代化建设事业的发展，出现了全社会努力学习科学文化的可喜形势。成千上万的自学者在缺少面授条件的困难条件下，为四化事业而勤奋地刻苦学习。但是，由于缺乏合适的教材，给他们的学习造成不少困难。他们迫切需要能反映成人教育特点、及便于自学的书。

现在推荐给读者的这套教材，就是北京工业学院一批热心成人教育的同志奉献给广大自学者的礼物。这套教材包括高等数学、工程数学、普通物理、英语、机械制图、理论力学、材料力学、机械原理、机械零件、电工电子学等。它不仅适用于函授学生和参加自学考试的人员，也可作为电大、夜大、职工大学、甚至普通高等学校学生的参考资料。

参加编写的同志把自己多年和累的丰富的教学经验和心得编入书中，力求按照自学者学习特点和规律进行编写，使本书具有鲜明的特色。全书内容取材适当，重视基本概念和基本理论，并保证一定的高度和深度；为了便于自学，书中叙述详尽细致，讲解深入透澈；书中编有具体的自学指

导，针对性强，编排合理，指导及时，便于读者参阅使用，全书力求文字简洁、通俗易懂，生动活泼，引人入胜。

希望这套书能够有效地帮助读者顺利学习，迅速自学成材，这是编者们的最大心愿。

孙树本

一九八五年二月于北京工业学院

目 录

序	1
第一章 真空中的静电场	
§1-1 电荷 库仑定律	4
§1-2 电场和电场强度	9
§1-3 场强的计算	16
§1-4 电通量 高斯定理	27
§1-5 高斯定理的应用	33
§1-6 电场力的功 电势	41
§1-7 电势的计算	53
§1-8 等势面 场强和电势的关系	58
§1-9 带电粒子在电场中的运动	65
小结	69
思考题	73
习题	76
第二章 有导体和电介质时的静电场	
§2-1 有导体时的静电场	83
§2-2 电容 电容器	94
§2-3 电场和电介质的相互影响	104
§2-4 电位移矢量 有介质时的高斯定理	108
§2-5 电场的能量	121
小结	131

思考题	135
习题	139

第三章 稳恒电流

§3-1 电流 电流密度	146
§3-2 欧姆定律 电阻 电阻率	150
§3-3 电流的功和功率 焦耳定律	156
§3-4 金属导电的经典电子论 逸出功	159
§3-5 电源 电动势	165
§3-6 直流电路	171
*§3-7 电容器充放电	179
小结	185
思考题	189
习题	192

第一次测验作业

第四章 电流的磁场

§4-1 基本磁现象	201
§4-2 磁感应强度 磁感应线	206
§4-3 毕奥-萨伐尔定律	213
§4-4 磁场的高斯定理与环路定理	226
§4-5 磁场对电流的作用	239
§4-6 磁场对运动带电粒子的作用	248
小结	256
思考题	259
习题	263

第五章 有磁介质时的磁场

§5-1 磁场和磁介质的相互影响	272
------------------------	-----

§5-2 有介质时的安培环路定理	275
§5-3 顺磁质 抗磁质 铁磁质	280
小结	286
习题	287
 第六章 电磁感应 电磁场理论的基本概念	
§6-1 电磁感应现象及其基本规律	291
§6-2 动生电动势	303
§6-3 感生电动势 涡旋电场	313
§6-4 互感和自感	321
§6-5 *R-L电路的暂态特性 磁场的能量	331
§6-6 电磁场理论的基本概念	340
小结	347
思考题	353
习题	358
第二次测验作业	365

序

人类对电磁现象的观察和研究，有很悠久的历史。摩擦起电现象的发现，至少可追溯到公元前六世纪。中国古书上也早有“琥珀拾芥”的记载。罗盘的发明在中国至少也可上溯到公元前二世纪，并于公元十三世纪传入欧洲。这是利用永磁现象的最早例子。但是，在十八世纪以前的漫长岁月里，电磁学的发展并没有取得实质性的进展。十八世纪中期以后，人们对电现象进行了一系列重要的观察，其中最主要的发现也许是，1752年富兰克林用实验证明了雷雨云的电性质。

直到1785年库仑定律的发表，电磁学的研究才成为定量的科学。1800年，伏打在伽伐尼研究的基础上制成了伏打电堆，从此，人们才获得了较强的稳定电流。1820年，奥斯特发现了电流的磁效应，首次揭示了电和磁之间的联系。1821—1822年，安培提出了分子电流假设，使永磁现象和电流的磁效应联系了起来。同年(1822年)，安培建立了磁场对电流作用的规律。在安培实验的基础上，毕奥和萨伐尔同时表述了电流元产生磁场的规律。1826年，欧姆阐明了电动势和端电压的差别，建立了欧姆定律，定义了电阻，并建立了电阻定律。在电磁学的发展中，特别应当提到法拉第。1831年，他发现了电磁感应定律，揭示了电和磁的又一个重要联系，为发电机的出现奠定了基础。1843年，法拉第首次用实验证明了电

荷守恒定律，不过，由于当时人们持有电流质的观点，而电流质的不可灭性早已为人们所接受，因此他的实验并没有得到应有的重视。场的概念也来源于法拉第，他不仅采用力线来描述电场和磁场，而且认识到电作用和磁作用的传递不是没有媒介的。完成电磁学理论总结工作的人是麦克斯韦，1855—1856年，他在一篇论文中为法拉第的力线概念提供了适当的数学表述形式，并且指出了电流是磁场的涡旋中心。对于建立统一的电磁理论最有决定意义的一步是，他于1862年提出了位移电流的概念。1865年，在以太假设的基础上，麦克斯韦预言了电磁波，并得出电磁波的传播速度等于光速的结论，提出了光的电磁理论。二十多年后，即1888年，赫兹从实验上发现了电磁波的存在，为麦克斯韦理论提供了最有力的支持。在此之前，坡印廷提出了电磁能流的概念和表达式(1884)，其后，洛仑兹和彭加勒提出了关于电磁冲量的概念(1900)，列别捷夫于1901年完成了光压实验，这些成就对于认识电磁场的物质性具有重要的意义。

今天，电磁学在科学技术、工农业生产乃至日常生活中的重要地位是不言而喻的。作为一本普通物理学的自学函授教材，我们主要介绍电磁学的重要实验规律和一些主要的概念，这些规律、概念的数学表述，以及它们的简单应用。在选材上，我们的主要依据是1981年12月教育部审订的函授教学大纲。在讲述方法上，我们充分考虑了自学和函授教学的特点，突出重点，由浅入深，首先保证基本内容、物理概念的理解和应用，并达到应有的深度和高度，而略去一些较专门问题的讨论和一些较难的理论证明。对此我们也采取了谨慎的态度。为了弥补可能由此带来的欠缺，我们挑选了一些

思考题和基本的习题，并且在讲述过程中穿插一些学习方法指导。每节末以布置作业的形式指出了哪些思考题和习题与本节内容有关，并不表示该节必须完成的作业量，有些题目可以留到复习的时候去解决。同类型的题目，可任意挑选其中的一两题，关键不在于做的题目多，而在于做得认真，做得好。对于数学上的困难，例如矢量运算，积分运算等，我们也适当降低了起点，但不降低最后应达到的高度。尽管我们作了一定的努力，但是，由于编者知识水平的限制，内容取舍、层次安排和叙述方法方面的不当之处肯定不少，如能得到广大读者和专家们的指教，将不胜感谢。

编者 1985年10月

第一章 真空中的静电场

本章研究真空中的静电现象，这是整个电学的基础。

静电现象的基本实验规律是库仑定律，它给出了真空中两个静止点电荷之间相互作用的定量规律。电荷之间的相互作用是通过一种特殊物质——电场传递的。电场的对外表现是：对放入其中的电荷有作用力；当电荷在电场中移动时，电场力能够作功。电场强度和电势分别从力的角度和功能的角度定量地描述了静电场。场强叠加原理也是一个实验规律。根据库仑定律和场强叠加原理，可以导出静电场的两个重要性质，分别由高斯定理和环路定理表示。高斯定理反映了电场和场源电荷之间的联系，并提供了求解静电场的一种方法。环路定理则是引入电势概念的基础。

§1-1 电荷 库仑定律

一、电荷 人类认识电现象，开始于对摩擦起电现象的观察。中国古书上就曾有“琥珀拾芥”的记载，也就是说，经过摩擦的琥珀可以吸引轻小物体。经毛皮摩擦过的硬橡胶棒和经丝绸摩擦过的玻璃棒也具有这种性质，我们说它们带了电，或者说带有电荷。人们又发现，上述硬橡胶棒和玻璃棒上所带的电荷是两种不同的电荷，因为两根这样的玻璃棒或两根这样的硬橡胶棒彼此排斥，而玻璃棒和硬橡胶棒却彼

此吸引。大量的实验表明，其他所有物体所带的电，也只有这两种。我们把上述硬橡胶棒所带的电称为负电或阴电，把上述玻璃棒上所带的电称为正电或阳电。同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。电荷的量值叫做电量。

1897年，英国物理学家J.J.汤姆孙发现了电子，电子带负电。后来人们发现，世界上的一切实物都是由带正电的原子核和带负电的电子组成的。平时，物体中所带正负电荷的数量相等，因此不显示出带电，我们称之为电中性。当两种物体摩擦时，就有一些电子从一物体转移到另一物体，失去电子的物体有了多余的正电荷，因此带正电，得到电子的物体有了多余的负电荷，因此带负电。

到目前为止，电子电量的绝对值是电荷的最小单元，所有物体带电，只能是这个最小单元的整数倍。也就是说，物体所带的电量不能连续变化，只能以这个最小单元为单位一份一份地增减，这就是电荷的量子化。近年来，理论上已提出可能存在更小的电荷单元，即所谓的分数电荷，但实验上尚未发现。由于电子的电量是很小的，而在一般的实验中，电量的变化都涉及大量电子的迁移，因此通常近似地认为电量可以连续变化。

二、电荷守恒定律 实践表明，任何一个物体，不管通过什么方式带了电荷，一定有另外的物体带了等量异号的电荷，它们所带电荷的代数和总是等于零。例如用丝绸与玻璃棒摩擦使玻璃棒带正电，同时丝绸上必定带有等量的负电。原来丝绸和玻璃棒都不带电，电荷的代数和为零，后来两者都带了电，电荷的代数和仍是零。又如使带电的玻璃棒和通草球接触使后者带电，这时前者的电荷一定减少，两者电荷

的总量等于原来玻璃棒上所带的电量。通过对大量实验的分析，人们得出如下结论：电荷既不能消灭也不能创生，只能从一物体转移到另一物体，或者从物体的一部分转移到另一部分。这就是电荷守恒定律，它是自然界的基本定律之一。

三、库仑定律 物体带电的表现之一是，两个带电体之间存在吸引或排斥力，也就是说，电荷之间有相互作用力，称为电力或电性力。库仑用实验研究了电力的大小和方向，并于1785年总结出库仑定律，只是在此之后，电学才成为真正的科学。为了叙述库仑定律的内容，我们首先来介绍点电荷的概念。

实际的带电体都有一定的形状和大小，带电体之间的作用力不仅和它们的电量有关，而且还和带电体的形状、大小、相对位置等几何因素有关。但是，如果带电体的大小和它们之间的距离相比很小，就可以忽略带电体的形状和大小，而将它们看成是具有一定电量的几何点，称为点电荷。点电荷的概念与力学中质点的概念一样，都是对实际问题的一种数学抽象。一个带电体是否能看成点电荷，要由问题本身来确定。只有问题中所涉及的距离比带电体的几何尺寸大得多时，才能将带电体看成点电荷。

库仑定律给出了两个静止点电荷之间相互作用的定量规律。实验表明：真空中，两个静止点电荷之间的相互作用力沿着它们的连线，力的大小和它们电量的乘积成正比，和它们之间距离的平方成反比。若用 q 和 q_2 表示两个点电荷的电量，用 r 表示它们之间的距离，用 F 表示作用力的大小，则有

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

其中 k 是比例系数，它的量值与式中各量的单位选择有关。在国际单位制(SI)中， r 的单位为米(m)， F 的单位为牛顿(N)，电量的单位为库仑(C)，若导线中通有1安培电流，则1秒内流过导线横截面的电量就是1库仑。在选定了这些单位后，比例系数 k 的实验值是

$$k = 8.98776 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

通常近似地取 $k \approx 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ 。

人们发现，最好是将比例系数 k 写成

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

这里 ϵ_0 是另一个常数：

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} \approx 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

这时电力大小的公式为

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

这样改写能使以后的许多公式比较简单。 ϵ_0 叫做真空的介电常数，以后将会说明这一名称的由来，这里我们先记住它的量值。

公式(1-1)还不能反映库仑定律的全部内容，因为它没有表示出电力的方向。为了使公式既能表示电力的大小，又能反映电力的方向，需要将库仑定律的数学表达式改写成矢量形式。

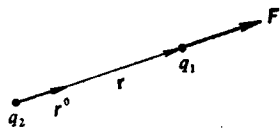


图1-1

如图1-1所示，设 $\mathbf{r}$ 是从 q_2 到 q_1 的矢径， $\mathbf{r}^0$ 是沿 $\mathbf{r}$ 方

向的单位矢量, $\mathbf{r}^0 = \mathbf{r}/r$, 式中 r 是矢径 $\mathbf{r}$ 的大小, $\mathbf{r}^0$ 的大小等于 1, 方向与 $\mathbf{r}$ 的方向相同。用 $\mathbf{F}$ 表示 q 所受的力, 则有

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{r}^0 \quad (1-2)$$

当 q_1 和 q_2 同号时, $\mathbf{F}$ 与 $\mathbf{r}^0$ 同向, 表示 q 受到的是排斥力; 当 q_1 和 q_2 反号时, $\mathbf{F}$ 与 $\mathbf{r}^0$ 反向, 表示 q 受到的是吸引力。如果要表示 q_1 受到的力, 只要将 $\mathbf{r}$ 理解成从 q 到 q_1 的矢径即可, 总之, $\mathbf{r}$ 和 $\mathbf{r}^0$ 总是指向受力的那个点电荷。

式 (1-2) 就是库仑定律的数学表示, 它成立的条件为: 两个电荷必须是静止的点电荷, 而且它们是处在真空中。

四、电力的叠加 当一个点电荷 q 同时受到另外两个点电荷 q_1 和 q_2 作用时, q 所受的合力 $\mathbf{F}$ 是 q_1 和 q_2 单独对 q 的作用力 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 的矢量和:

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

它包括两层意思, 第一, $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 是按平行四边形法则叠加的; 第二, $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 是 q_1 和 q_2 分别对 q 的作用力, 与另一个点电荷

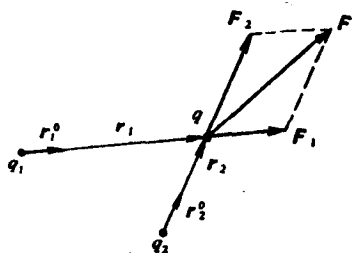


图1-2

的存在与否无关, 或者说, 叠加是在独立作用的基础上进行的。因此, 若设 $\mathbf{r}_1^0$ 和 $\mathbf{r}_2^0$ 是 q_1 和 q_2 指向 q 的单位矢量, 如图1-2所示, 则 q 所受的合力为

$$\mathbf{F} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q_1}{r_1^2} \mathbf{r}_1^0 + \frac{q_2}{r_2^2} \mathbf{r}_2^0 \right)$$

若有 N 个点电荷 $q, \dots, q_i, \dots, q_N$ 同时作用于点电荷 q , 则 q 所受的合力 F 可以写成

$$F = \sum_{i=1}^N F_i = \sum_{i=1}^N \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^2} r_i^0$$

式中 r_i 是第 i 个点电荷 q_i 到 q 的距离, r_i^0 是从 q_i 指向 q 的单位矢量。

思考题 1-1, 1-2

习 题 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 1-6

§1-2 电场和电场强度

一、电场 大家知道, 我们要想推动或拉动一个物体, 就必须直接或通过某种媒介和它接触。例如从井里往上提水, 我们是用手拉住绳子, 绳子的另一端系住水桶, 绳子就是传递作用力的媒介。

起初, 人们认为两个点电荷之间的作用力不需要媒介传递, 而是跨越一个空间间隔直接相互作用的, 而且这种相互作用过程不需要时间, 是从一个点电荷瞬时地到达另一个点电荷的。这就是所谓的“超距作用”观点。这种观点可以形象地表示为

电荷 $\longleftrightarrow$ 电荷

后来的研究表明, 超距作用的观点不仅不符合人们的常识, 而且也不能说明一系列新的实验现象。人们逐渐认识到, 带电体周围存在着一种特殊的物质, 称为**电场**, 电力是通过电场以有限速度传递的。这种观点称为“**近距作用**”观点, 可以形象地表示为