

物 理 学

下 册

物 理 教 研 组 编

广 东 工 学 院

一 九 七 七 年 六 月

201
萃
士

毛 主 席 语 录

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

教材要彻底改革，有的首先删繁就简。

目 录

(下 册)

电 和 磁

第一章 电场

- § 1 电荷 物质的电结构 (1)
- § 2 电荷的相互作用 库仑定律 (4)
- § 3 电场 电场强度 (7)
- § 4 典型电场 电力线 (12)
- § 5 静电在生产上的应用 (18)
- * § 6 高斯定理 (19)
- § 7 电场力的功 电位 电位差 (24)
- § 8 电场强度和电位差的关系 (31)

第二章 直流电

- § 1 电流 电阻和电阻率 (38)
- § 2 欧姆定律 (42)
- § 3 电流的功和功率 电流的热效应 (52)
- § 4 电动势 闭合电路及一段含源电路的欧姆定律 (59)
- § 5 直流电桥 电位差计 (67)
- * § 6 基尔霍夫定律 (69)
- * § 7 气体的导电性 被激放电和自激放电 (73)

第三章 电场中的导体与电介质

- § 1 电场中的导体与电介质 (84)
- § 2 电容器 电容 (92)
- * § 3 静电场的能量 (98)
- § 4 温差电现象及其应用 (100)

第四章 磁场

§ 1 基本磁现象 电流的磁效应	(108)
§ 2 磁场 磁感强度 磁通量	(111)
§ 3 几种通电导线的磁场	(114)
§ 4 磁场对运动电荷的作用力——罗伦兹力	(119)
§ 5 磁场对载流导线的作用力——安培力	(123)
§ 6 磁介质 磁导率 磁场强度	(129)
* § 7 铁磁性物质	(133)
* § 8 磁路 安培环路定律	(137)

第五章 电磁感应

§ 1 电磁感应的基本定律	(148)
§ 2 交流发电机原理 涡电流	(155)
§ 3 自感现象	(158)
§ 4 互感现象 变压器原理	(162)
* § 5 磁场的能量	(167)
§ 6 电磁振荡与电磁波	(169)

振动与波动

第一章 振动

§ 1 谐振动的基本规律	(177)
§ 2 谐振动方程	(180)
§ 3 谐振动方程中的几个参量	(183)
§ 4 谐振动的能量	(188)
§ 5 阻尼振动 强迫振动 共振	(189)
§ 6 谐振动的合成	(191)

第二章 波动

§ 1 波的产生和传播	(197)
§ 2 波的周期 波长和波速	(199)
§ 3 波的叠加原理和波的干涉	(200)
§ 4 惠更斯原理和波的绕射	(204)

物 理 光 学

§ 1 光的干涉	(208)
§ 2 光的绕射	(219)
§ 3 光电效应	(224)

热 力 学 基 础

§ 1 热力学第一定律	(233)
§ 2 热力学第一定律在理想气体等值过程中的应用	(236)
§ 3 绝热过程	(243)
§ 4 热机简介	(246)
§ 5 循环过程与热机效率	(252)
§ 6 热力学第二定律	(255)

原子物理基础知识

第一章 原子结构和原子发光

§ 1 原子光谱和光谱分析	(260)
§ 2 原子结构与能级概念	(261)
§ 3 多电子原子的结构	(264)
§ 4 X—射线的产生	(265)

第二章 激光

§ 1 激光的主要特点	(268)
§ 2 激光的产生	(269)
§ 3 典型激光器介绍	(273)
§ 4 激光应用举例	(275)

第三章 原子核的结构

§ 1 原子核的组成	(281)
§ 2 原子核的放射性与原子核的衰变	(282)
* § 3 放射性同位素的应用	(283)
§ 4 原子核的结合能	(284)
§ 5 核反应和核能的应用	(286)

电 和 磁

第一章 电 场

§ 1 电荷、物质的电结构

一、电荷、物质的电结构

很早以前，人们就已经发现琥珀用毛皮摩擦后可以吸引羽毛，用毛皮摩擦胶木棒或用丝绸摩擦玻璃棒后，胶木棒和玻璃棒也可以吸引纸屑等轻微物体。又如用塑料垫板或塑料笔杆在衣服上摩擦几次，它们就能够吸引轻微的纸屑或头发等等。这些现象表明经过摩擦后，胶木棒和毛皮，塑料笔杆和衣服等等起了变化，我们说它们都“带了电”。在工业生产中，例如转动着的皮带，印刷机上的纸张，纺织机上的纱线，甚至厂房中的一些灰尘等，都常因摩擦而带电。物体相互摩擦为什么带了电呢？待后说明。用摩擦的方法使物体带电，简称摩擦起电，是使物体带电的方法之一。物体带电后的表现是它能吸引一些轻小的东西。我们把已带电的物体叫做带电体，带电体上所带的电荷的数量叫做电量。

问题是带电体所带的电荷是否一样？怎样区分？

“认识的过程，第一步，是开始接触外界事情，属于感觉的阶段。第二步是综合感觉的材料加以整理和改造，属于概念，判断和推理的阶段。”上面问题只能通过实验来回答。

如图 1—1 (b) 所示，用长丝线把一根玻璃棒水平地悬挂起来，用丝绸摩擦它的一端，使它带电。然后再用丝绸摩擦第二根玻璃棒也使它带电。当把这两根玻璃棒带电的部分互相靠近时，将发现这两根玻璃棒互相排斥。另外如果把用毛皮摩擦过的胶木棒与悬挂着的玻璃靠近，这时胶木棒和玻璃棒就互相吸引如图 1—1 (a)。而用毛皮摩擦过的两根胶木棒则互相排斥。显然，玻璃棒上带的电荷和胶木棒带的电荷在性质上必然是不一样。如果改用其他物质使它带电后，逐次重复这种实验，将发现凡与玻璃棒相吸引的就与胶木棒相排斥，绝没有第三种可能。这些实验说明：电有两种而且只有两种。

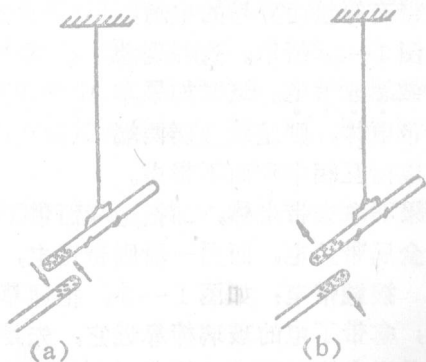


图 1—1

习惯上，大家把玻璃棒经丝绸摩擦后所带的电叫做正电，把胶木棒经毛皮摩擦后所带的电叫做负电。上面实验得出了电荷之间存在着相互作用力和它们的规律：同号电荷相互排斥，异号电荷相互吸引。

上述一些东西相互摩擦后为什么会带电？电是从哪里来的呢？这个问题可以从物质的电结构加以说明。

我们知道，气体、液体和固体都是由分子所组成的，分子是由原子组成的。而原子是由一个带正电荷的原子核和若干个带负电荷的电子所组成。原子的半径的数量级为 10^{-8} 厘米，原子核半径的数量级为 10^{-13} 厘米，所以原子核比整个原子小得多。根据精确的实验测定，电子的质量 $m=9.1\times 10^{-28}$ 克，电子的电量 $e=-1.603\times 10^{-19}$ 库仑。电子有规则地分层分布在原子核的周围，并且不停地一面自旋，一面绕原子核旋转着。正常情况下原子中所有电子所带负电荷的总和与原子核所带的正电荷相等，因此对整个原子来说显示出中性。当原子失去一个或几个电子时，就显示出带正电；原子失去电子后形成的带正电的粒子叫做正离子。反之，当原子获得额外的电子时，就显示出带负电；原子获得电子后形成的带负电的粒子叫做负离子。由此可见，正负电荷是物体所固有的，它既不能被创造，也不能被消灭，而只能从一个物体转移到另一个物体。当正负电荷在一定条件下相互分离并发生转移时，物体就显示出带电现象。在上面的实验中，用丝绸摩擦玻璃棒和用毛皮摩擦胶木棒等的所谓摩擦起电，就是当两种不同的物质相互摩擦时，由于温度升高，在原子核外面运动的电子的动能增加，于是玻璃棒中的一部分电子移到丝绸上去，毛皮中的一部分电子移到胶木棒上去，结果使得玻璃棒及毛皮由于缺少了电子而带正电，而丝绸及胶木棒由于获得电子而带负电。

二、感应带电和接触带电

除摩擦可以使物体带电外，下面介绍使物体带电的另外两种方法。

感应带电：当一个带正电的物体移近（但不接触）绝缘的金属的一端时，由于它吸引金属中的电子，致使金属在靠近带电体的一端因堆积电子而带负电，远离带电体的一端却因缺少电子而带正电。这样在绝缘的金属的两端就分别带有等量而异号的电荷，如图 1—2a 所示。这种现象叫做感应带电。这时如果拿去带电体，则绝缘金属两端的电荷互相中和而不带电。

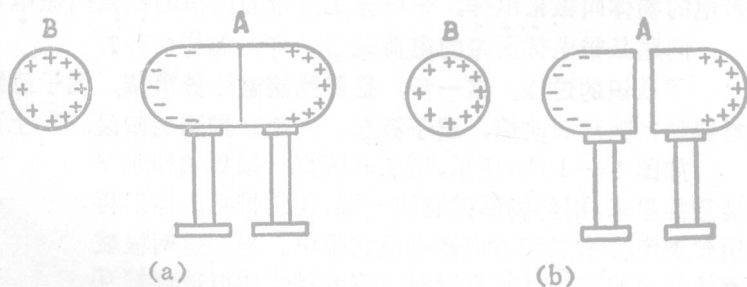


图 1—2

如果不拿去带电体，却把绝缘而带了电的金属分为两段，实验证明，靠近带电体的一段绝缘的金属带负电，而另一段则带正电，如图 1—2b 所示。

接触带电：如图 1—3，把通草做的小球，用丝线挂起来，拿带了电的玻璃棒靠近它，先是通草球被玻璃棒吸引，可是当它接触了玻璃棒以后，它又被推开。而且这时通草球对轻小物体（如纸屑等）也有吸引作用。这就说明和带电体接触后的通草球能从带电体那里取得电荷，成了带电体。接触后带电的物体和原来的带电体所带的是同号的电荷。

由以上的实验结果可以得出下面的结论：

(1) 一切没有带电的物体都具有数量相等但异号的两
种电荷，故从电的总体来看是中性的。

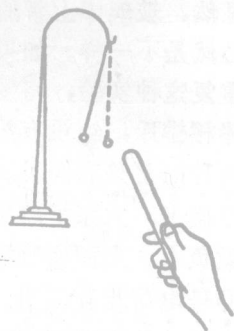


图 1—3

(2) 不论是摩擦带电、感应带电或接触带电,只不过是將物体中的两种电荷分离。电荷可以从一个物体转移到另一个物体,或者在同一个物体内移动,但不能产生,也不能消灭。这个原理叫做电荷守恒原理。

(3) 两种不同号的带_电体相接触时,其数量相等的正、负电量相互中和。

三、导体、半导体、绝缘体

当我们要把电从发电厂传输到工厂,就要选用容易导电的物质(如铜线或铝线)来担负这个任务。我们为了避免触电的危险,就要用不导电的物质把电隔离开,例如开关的外壳用胶木来做。所有的物体从其导电程度(即电荷能在导体中自由移动的程度)来看,大致可分为三类。

(1) 导体——导电能力很强的物体叫做导体,如金、银、铜、铝、铁等金属和酸、碱、盐的水溶液等都是导体。

(2) 绝缘体也叫做电介质,是很难导电或导电能力很弱的物体,如玻璃、胶木、橡胶、有机玻璃、尼龙、塑料、丝绸、陶瓷、矿物油、干木材、干燥空气等都是绝缘体。

(3) 半导体——导电能力介于导体与绝缘体之间,如硅、锗、硒、氧化铜等都是半导体。各种晶体管、可控硅等都是用半导体材料做的。

导体、绝缘体与半导体之间并没有严格的界限,只是导电能力有差异,而且物体的导电能力也并不是一成不变的。随着条件的改变,绝缘体的导电能力也会增强,甚至可以变成导体。

为什么导体容易导电,绝缘体很难导电呢?这要用物质电结构的理论加以解释。构成各种物质的原子中的电子受到原子核的吸引力,所以不易离开原子核。但是,在各种原子中,最外层电子所受原子核的吸引力是不同的。所以最外层电子离开原子核的难易程度也就不一样。

各种金属原子的最外层电子受原子核的吸引力较小,当这些原子结合在一起组成金属后,这些原子的最外层电子不再属于某一个原子,而是可以在原子之间自由运动,这样的电子叫做自由电子。金属导体中就是由于有大量的自由电子,因此导电性能最好。与此相反,在绝缘体中,原子中的最外层电子不容易摆脱原子核的吸引,因此电荷不能自由地运动,这就是绝缘体导电性能很差的缘故。所以如果用摩擦的方法使绝缘体带电时,所带的电荷也只能处在被摩擦的局部地方,而不易移动开来。

至于半导体,它的自由电子比导体少而比绝缘体多,故其导电性能介于导体与绝缘体之间。

思 考 题

1. 图1—1中的玻璃棒为什么要用丝线来悬挂,用铜线或铁线可以吗?
2. 平常我们作摩擦起电的实验,总是用绝缘体而不用导体,是否导体不能起电?
3. 用手握住铜棒与丝绸相摩擦,铜棒不能带电,戴上橡皮手套握着铜棒和丝绸摩擦,铜棒就会带电。这两种情况的结果不同,为什么?

§ 2 电荷的相互作用 库仑定律

上节的实验说明，同号电荷相互排斥，异号电荷相互吸引。电荷相互作用力的大小和方向怎样确定？和那些因素有关？服从什么规律？这是本节所要解决的问题。

带电物体之间的相互作用，在一般情况下是十分复杂的，是与它们的几何形状、大小和所带电量的多少，以及周围的电介质（绝缘体）有关。为了突出主要矛盾，我们先研究真空中两个点电荷之间的相互作用。

所谓点电荷就是如果带电体本身的大小相对于带电体之间的距离小得多时，可近似地把带电体看成是一个“点”，这种简化的带电体模型叫做点电荷。

一、库仑定律

假定在真空中有两个点电荷，它们的电量分别为 q_1 、 q_2 ，而它们之间的距离为 r ，则这两个点电荷之间存在着相互作用力。实验表明，两个点电荷相互作用力的大小与两点电荷的电量乘积成正比，与两点电荷之间的距离的平方成反比，作用力的方向在两电荷的联线上。这个结论叫做库仑定律。写成公式为

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

式中 K 是比例常数，所取的值决定于式中各物理量的单位。

二、单位制

在物理学中，物理量的单位往往是由决定这物理量的基本公式确定的。例如在力学中，可利用牛顿第二定律 $F = ma$ 规定力的单位。在静电学中，用库仑定律来规定电量 q 的单位。

1. 实用单位制

实用单位制常叫做 $M \cdot K \cdot S \cdot A$ 制，即“米·公斤·秒·安培”制。在这种单位制中，长度、质量、时间、电流四个基本量的单位分别是〔米〕、〔公斤〕、〔秒〕、〔安培〕。电量的单位是〔库仑〕，是个导出单位，采用这种单位制时，库仑定律（1—1）式中比例常数 K 的值为：

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \frac{\text{牛顿} \cdot \text{米}^2}{\text{库仑}^2}$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{库仑}^2}{\text{牛顿} \cdot \text{米}^2}$$

ϵ_0 叫做真空中的介电常数，这样，真空中的库仑定律的形式为：

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

* 2. 静电系单位制

静电系单位制简称 CGSE 制。在这种单位制中，长度、质量、时间这三个基本量的单位分别是〔厘米〕、〔克〕、〔秒〕，另外，电量也是基本量，它的单位由库仑定律规定：在真空中有两个等量的点电荷，相距 1〔厘米〕，如果相互作用力为 1〔达因〕，则规定这时

每个点电荷的电量是1〔静电系电荷单位〕，在这种单位制中，库仑定律的比例常数

$$K = \frac{F \cdot r^2}{q_1 q_2} = \frac{1 \times 1^2}{1 \times 1} = 1.$$

所以在静电系单位制中，真空中的库仑定律为

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

(1-3)

比对(1-2)式和(1-3)式可见，

$$1 \text{ [库仑]} = 3 \times 10^9 \text{ [静电系电荷单位]}$$

例1 有两个质量各为0.1克的小球，分别系在长度 l 均为25厘米的线上(见图1-4)。当这两小球带有相等的同号电量后，互相排斥分开的距离为 $r=5$ 厘米。试求出各小球上所带的电量。

【解】 按库仑定律(1-2)式，两小球间的斥力为

$$f = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r^2}$$

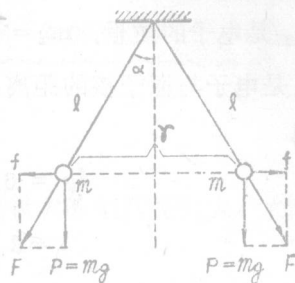


图 1-4

式中 q 是每一小球所带的电量， r 是两小球的距离。从力学知道，两小球除因为带了电而有静电斥力外，还受到地球引力的作用。当静电斥力 f 和重力 $p=mg$ 的合力 F 的方向沿着悬线取向时，则 F 被悬线中的拉力所平衡，小球达到力的平衡状态。从图1-4得

$$f = P \tan \alpha = mg \tan \alpha$$

因 α 很小，故 $\tan \alpha \approx \frac{r}{2l} \approx \frac{r}{2l}$

$$f = mg \frac{r}{2l} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r^2}$$

$$q = \pm \sqrt{\frac{4\pi\epsilon_0 r^3}{2l} mg}$$

代入数字，注意到 $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9$ ，得

$$q = \pm \sqrt{\frac{0.1 \times 10^{-3} \times 9.8 \times (0.05)^3}{9 \times 10^9 \times 2 \times 0.25}} = \pm 5.2 \times 10^{-9} \text{ 库仑}.$$

例2 氢原子中电子和质子的距离约为 5.3×10^{-11} 米，求这两个粒子间的静电力和万有引力各是多大？

【解】 氢原子是由一个带正电的质子和绕着这个质子(氢原子的原子核)运动的电子所组成。电子和原子核间的距离约为 5.3×10^{-11} 米，原子核的直径约为 10^{-16} 米，远小于它和电子的距离，故可看作是两个点电荷。氢原子核所带的电量 $q_1 = 1.6 \times 10^{-19}$ 库仑，电子所带的电量 $q_2 = -1.6 \times 10^{-19}$ 库仑。按库仑定律，原子核和电子间的静电力为：

$$f_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} = -9 \times 10^9 \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(5.3 \times 10^{-11})^2} = -8.2 \times 10^{-8} \text{ 牛顿}$$

负号表示原子核和电子间的作用力是吸引力，方向在原子核和电子间的联线上，对电子而言， f_e 指向原子核。

由力学中我们知道，电子和原子核之间的万有引力为：

$$f_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

式中 G 是万有引力常数， $G = 6.7 \times 10^{-11} \frac{\text{牛顿} \cdot \text{米}^2}{\text{公斤}^2}$ ，

m_1 是质子的质量， $m_1 = 1.7 \times 10^{-27}$ 公斤，

m_2 是电子的质量， $m_2 = 9.1 \times 10^{-31}$ 公斤，

r 是电子与原子核的距离， $r = 5.3 \times 10^{-11}$ 米。

代入得

$$\begin{aligned} f_g &= 6.7 \times 10^{-11} \frac{1.7 \times 10^{-27} \times 9.1 \times 10^{-31}}{(5.3 \times 10^{-11})^2} \\ &= 3.7 \times 10^{-47} \text{ 牛顿。} \end{aligned}$$

可见静电力远较万有引力为大，前者是后者的 2.27×10^{39} 倍。所以在计算原子内部的相互作用力时，万有引力完全可以忽略。原子的稳定结构主要是原子核和电子之间的静电力的作用。

我们还会注意到，表征两个质点之间相互作用力的万有引力定律和表征两个点电荷之间相互作用力的库仑定律的形式是完全相似的，这绝不是偶然的凑合，它告诉我们引力现象与静电现象的规律具有相类似的特征。在下一节我们进一步讨论这个问题。

三、电介质的影响

上述库仑定律讨论了真空中两个点电荷之间的相互作用，如果把带电体放在绝缘物质（称电介质）中时，带电体之间相互作用的情况是相当复杂的。因为这时带电体对组成电介质内部的原子结构发生了影响，可能破坏了电介质原来的电中性状态，所以在电介质中的两个带电体不仅受到它们自己所带电荷的作用，还要受到电介质的影响（关于电介质的影响在第三章 § 1 会进一步说明）。但是，在实际应用中，常常只讨论处在“无限大”（即不考虑电介质的边缘效应）的均匀电介质中两个相距为 r 的点电荷 q_1 和 q_2 之间的相互作用力。实验证明，这时 q_1 和 q_2 之间的相互作用力要比真空时小 ϵ_r 倍。例如在玻璃中要小 5 至 10 倍（即 $\epsilon_r = 5 \sim 10$ ），在云母中要小 6 至 8 倍（即 $\epsilon_r = 6 \sim 8$ ）。显然， ϵ_r 表示两个电荷在电介质（例如玻璃或云母）中的相互作用力比在真空中相对小 ϵ_r 倍这一性质， ϵ_r 叫做电介质的相对介电系数。在无限大均匀电介质中，库仑定律表示如下：

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

比较（1-2）式和（1-4）式可以看到，在相对介电系数为 ϵ_r 的无限大均匀电介质中，两个相距为 r 的点电荷 q_1 和 q_2 之间的相互作用力要比真空时小 ϵ_r 倍，我们还可以引入符号 ϵ ，叫做电介质的介电系数，用它来代替真空中的介电系数 ϵ_0 和电介质的相对介电系数 ϵ_r 的乘积，即 $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ 。下面列出几种常用电介质的相对介电系数：

电 介 质	相对介电系数 ϵ_r	电 介 质	相对介电系数 ϵ_r
真 空	1.00000	石 英	3.8
空 气	1.00059	玻 璃	5~10
纯 水	81	硬 橡 胶	4.3
电容器用纸	3~5	电 木	2.2~2.6
云 母	6~8	聚 苯 乙 稀	2.56
瓷 器	6.5	聚四氟乙稀	2.05~2.2

思 考 题

有两个带电量不相等的点电荷，它们相互作用时，是否电量大的电荷受力大，电量小的电荷受力小？试说明理由。

§ 3 电 场 电 场 强 度

一、物质的两种基本运动形态：实物和场

毛主席教导我们：“感觉只解决现象问题，理论才能解决本质问题。”在日常生活中，我们看到物体之间的相互作用，有的是直接接触发生的，如用手推车，人的作用是从接触处传到车子上去；有的是通过另一物体传递发生的，如用手通过绳子拉车；有的则是通过周围的物质作媒介而发生的，如人吹蜡烛，人没有跟蜡烛接触，而是通过气流而影响蜡烛的；又如一个人在这里讲话，另一个人在那里听见，这是通过中间的空气传递声波的。以上的例子有一个共同点，即物体之间的相互作用通过实物来传递。人的手、绳子、气流、空气等都是实物，没有这些实物，上面的相互作用便不能实现。现在，我们又提出这样的问题：物质运动的形态是否只有“实物”这一种？在真空中不存在空气这种实物就不能传播声音，是否说明也不能传递别的相互作用？库仑定律告诉我们两电荷间在真空中也可以发生相互作用，这又怎么解释呢？我们知道，处在地面上空的石块或别的物体，如果没有东西支持它，它必定加速落下，这是地球对石块吸引的结果。地球对物体的吸引力叫做重力，重力的作用不是通过实物来传递的，那么，重力的作用又靠什么物质来传递呢？人们经过“实践——认识——再实践——再认识”的多次循环，找到了物质运动的另一种形态——场。天体的星球、太阳、地球的周围存在着引力场，人们常把地球周围的引力场叫做重力场。地球对物体的吸引力是通过地球周围的重力场这种物质来传递的，即

地球 $\xrightarrow{\text{(周围有)}}$ 重力场 $\xrightarrow{\text{(作用于)}}$ 另一物体

一般说来，物体在地面附近比在高空中所受的重力要大些，这就表示地面附近的重力场比高空中的重力场要强些。

参加过22万伏特高压带电作业的电工师傅告诉我们，如果不戴着“屏蔽”帽子去接近高压线，离得稍远时则头部感觉很痒，再接近一些，头发会竖起来。这说明高压线附近存在着电场这样一种物质，而且愈靠近电场愈强。

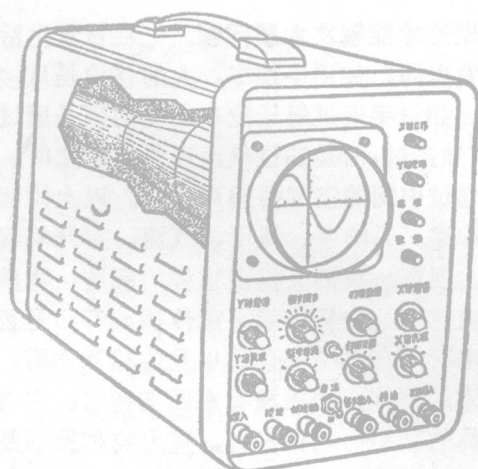
当我们去参观大型发电厂的发电机组时，一个不能防磁的手表如果稍靠近了发电机，表的秒针便不能转动，如果十分靠近则整个手表有损坏的可能，这是因为巨型发电机组的周围存在着磁场这样一种物质的缘故。

把一部开着的半导体收音机，放入在已抽真空的玻璃罩里，测试表明，同样可以收到广播，这是因为在它的周围存在着电磁场。

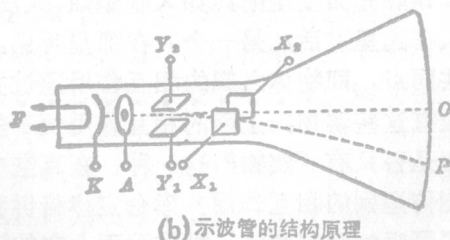
以上的例子具有另外的一个共同点，即物体之间的相互作用可以通过各种场（引力场、电场、磁场、电磁场等）来实现。辩证唯物主义认为物质是在人们的意识之外的客观实在，物质运动的形态是多种多样的，在物理学中，我们把物质分成实物和场这两种基本形态。我们知道，普通物质（即实物）都是由分子原子组成的，而场并不是由分子原子构成的。无论是在有实物存在的空间里，或是在没有实物存在的真空中，场都可以存在着，在同一空间中还可以同时存在几种不同的场。引力场、电场、磁场、电磁场等都具有能量、动量、质量等一般物质的属性。

二、电 场

电场的客观存在可以通过许多现象来了解。图1—5 a、b是电子技术中常用的阴极射线示波器和示波器里的示波管。示波管主要是由电子枪（F、K、A）、偏转板（ x_1 x_2 、 y_1 y_2 ）



(a) 阴极射线示波器



(b) 示波管的结构原理

图 1—5

以及荧光屏D三部分组成。示波管工作时，灯丝F把阴极K加热而发射出电子，这些电子在阳极A的作用下得到加速，形成高速电子束，所以把由灯丝F、阴极K与阳极A组成的系统叫做电子枪。从电子枪中射出的高速电子束将通过极板 y_1 y_2 、 x_1 x_2 投射到荧光屏D的中点O形成亮点。当偏转极板接上电压时（使极板带电），则发现亮点将偏离中心位置O，例如移至荧光屏的某一点P处。亮点（即电子束）为什么会发生偏转呢？这是由于极板带电后，分

别在 x_1, x_2 和 y_1, y_2 的空间里存在着看不见的物质——电场，电子束通过极板时，在电场的作用下而发生了偏转。

我们还可以通过下面的实验把电场的存在形象地表现出来。图 1—6 所示，在玻璃缸内盛着蓖麻油，油里均匀地散发一些剪碎的头发丝（可以经过搅拌使它均匀）。放入两块金属板 A、B 作电极，当 A、B 不带电时，头发丝是杂乱无章地悬浮在油内，但是，当 A、B 两极板分别带电后，两极板间的头发丝就立刻有规则地排列起来。这表明 A、B 两极板带电后，两极板之间存在着电场，头发丝的有规则排列是由于电场的作用，电场的存在就被头发丝的规则排列间接地描绘了出来。

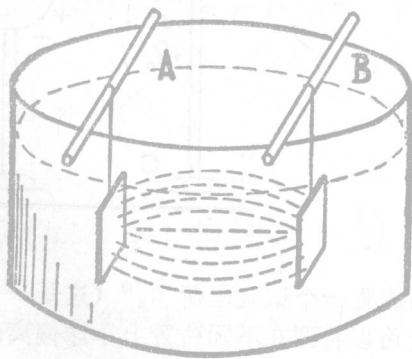


图 1—6

如果带电体静止不动，则在它周围的电场也不变动，这种电场叫做静电场。电荷间的相互作用就是通过电场进行的。例如甲、乙两电荷间的相互作用，是由于电荷甲周围存在的电场对电荷乙施加作用，同时电荷乙周围存在的电场也对电荷甲施加作用。即



在示波管中，当偏转电极带电时，在电极间的空间里就存在着电场。因此它对进入电场中的电子施加了作用力而使它的运动方向改变。同样道理，当电子枪的电极带电时，在电极间也存在着电场，因此对电子施加了作用力，并且对它作了功，使它获得了动能而高速运动。

由上述可知，电场对电荷的作用主要表现在：（1）在电场中的电荷受到电场所施加的作用力，这个力叫做电场力；（2）电荷在电场中移动时，电场力要对它做功。所以我们可以通过电场对电荷的作用来认识电场。进一步的研究表明，电场具有能量，能以电磁波的形式向外传播，也能与其他物质运动形式相互转化。这些事实表明，电荷周围存在的电场，是能被我们所认识的客观实在，这就是说，电场是一种物质。

三、电场强度

前面讲过，电荷周围存在的电场对其他电荷会产生作用，例如示波管中偏转电极间存在的电场，会对电子施加作用力而使电子的运动方向改变，下面就从电场力的角度来研究电场力的性质。

取一个均匀带有电量 q 的球体放在绝缘架上，它周围就形成电场。为了检验这电场是否存在，又电场的分布怎样（那里强，那里弱）？在它周围不同位置上（如图 1—7 中的 a、b、c）

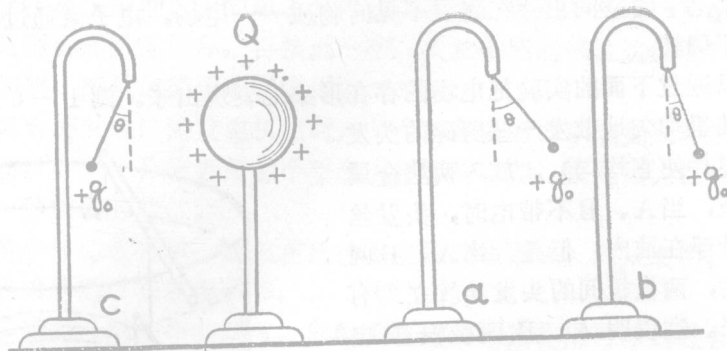


图 1—7

先后放置一个试验电荷 q_0 * (这是一个用丝线悬挂着的、轻而小的带电物体)，在实验中我们就可以看到在不同位置上小球偏离的方向和偏角 θ 都不同，见图 1—7。上述现象说明了什么呢？这首先说明试验电荷的偏离是由于电荷 Q 所产生的电场对它有力的作用。试验电荷 q_0 距离带电体 Q 越远，偏角越小，即表示 q_0 所受的电场力也越小，那里的电场就越弱。其次说明对于电场中不同位置，试验电荷 q_0 偏离的方向不同，表示它受力的方向随位置而变化。这就表明在不同位置电场的性质是不同的。我们是否可以考虑用试验电荷受力的大小来描述电场的强弱呢？实验告诉我们，即使在同一位置上，如果采用了不同电量的试验电荷，它所受力的大小也不同， q_0 越大时，它所受电场力 F 也越大。例如把 q_0 放在电荷 Q 所产生的电场中的 a 点，它就受到电场的作用力 F_2 ，如果改变试验电荷所带的电量，使它等于

$$2q_0, 3q_0, 4q_0, \dots,$$

它在 a 点所受的电场力相应地变为

$$2F_2, 3F_2, 4F_2, \dots,$$

即在电场中某一点，试验电荷所带的电量增加多少倍，那么，它所受到的电场力也相应地增加多少倍。由此可见，试验电荷所受的电场力与它本身所带电量的比值，不变，

$$\frac{F_2}{q_0} = \frac{2F_2}{2q_0} = \frac{3F_2}{3q_0} = \frac{4F_2}{4q_0} \dots$$

是一个与试验电荷的电量无关的量，这个量反映出电场中 a 点电场的强弱。再把试验电荷放到电场中的其他地点，比值 $\frac{F}{q_0}$ 对不同的地点有不同的数值，这个数值的大小正表明了该点处电场的强弱。因此，我们就用这个比值来描述电场某点的强弱，把它叫做电场强度（或场强）用 E 表示。

$$E = \frac{F}{q_0}$$

除以试验电荷电量

(1—5)

式中如果令 $q_0 = +1$ ，则 $E = F$ 。这就是说，电场中某一点的电场强度在数值上等于单位正电荷在该点所受的电场力的大小。

*用以探测电场存在的、体积很小、电量 q_0 也很小的电荷，叫做试验电荷。（电量很小是为了使它的电场不影响原来的电场；体积很小，是为了准确地确定它的位置。）

电场强度不仅有大小，而且有方向。它的方向是这样规定的：正电荷在该点所受力的方向，就是该点电场强度的方向。电场强度是同时具有大小与方向的量，是一个矢量，如图 1—8 所示。从公式 (1—5) 可以看出，当 q_0 为正电荷时，电场力的方向与场强的方向相同， q_0 为负电荷时，电场力的方向与场强的方向相反。



图 1—8

在实用单位制中，力的单位为〔牛顿〕，电量的单位为〔库仑〕，所以场强的单位为〔牛顿〕/〔库仑〕。在工程上，场强的单位常用〔伏特〕/〔米〕，这个单位可以由 $\frac{[\text{牛顿}]}{[\text{库仑}]}$ 转换得出，在 § 8 再解释这个单位的意义。

知道了电场中某点的电场强度 E ，又知道放在该点的电荷的电量为 q ，若要求出 q 所受的电场力 F ，据 (1—5) 式直接用 q 与 E 相乘即得：即

$$F = qE \quad (1-6)$$

这个关系式和力学中重力 $P = mg$ 的式子是相似的。用场的概念可以对这个式子作如下的解释：把上式写成 $g = \frac{P}{m}$ 并与 (1—5) 式比较一下，可以看出 $g \sim E$ ， $P \sim F$ ， $m \sim q$ 。

g 就是重力场强度。在地球表面高度不同的地方， g 是不同的，越近地面 g 越大，即重力场的强度越强。在力学中，由于 g 随离地面高度的变化不甚显著，故常粗略地把 g 看成常数，也就是粗略地把地球表面的重力场看成是均匀场。质量为 m 的物体，在场强为 g 的重力场中，受到重力场所施的重力为 $P = mg$ 。

思 考 题

1. 一个电子在电场中某点所受力的方向和大小，跟该点场强的方向和大小是否相同？它们的关系如何？
2. 在电场中某一点的场强为 $E = \frac{F}{q_0}$ ，如果在该点没有放入试验电荷，那么，该点有没有场强？为什么？
3. 从场强的定义式 $E = \frac{F}{q_0}$ 看到， E 不是跟试验电荷 q_0 成反比吗？为什么说 E 与 q_0 无关呢？

§ 4 典型电场 电力线

一、均匀电场

如果两块平行的靠得很近的金属板，分别均匀地带上正、负电荷如图 1—9 所示。由实验测定和理论分析证明，两板间存在的电场较强，两板外面的电场很弱可以忽略不计。而且两板间的电场除了边缘部分外，各处场强的大小和方向都相同，这种电场叫做均匀电场。因为平行带电板间的电场具有集中、匀强的特性，所以在生产实践中常常用到。

设两平行板的面积为 S ，所带的电量分别为 $+Q$ 、 $-Q$ ，两板间充以相对介电常数为 ϵ_r 的电介质。在实用单位制中，两板间的场强大小为〔证明见 § 6 (1—16) 式〕：

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r S} \quad (1-7)$$

场强的方向与板相垂直，由正板指向负板，场强的大小与两板间的距离无关。

例 1 在示波管中，电子以 $v_0 = 2.3 \times 10^7$ 米/秒的水平速度进入垂直偏转极板 y_1, y_2 之间。已知偏转极板内的场强 $E = 6 \times 10^4$ 牛顿/库仑，方向垂直向下，偏转极板的长度 $x = 1.5$ 厘米。问电子通过偏转极板时，它的位置比不受偏转时偏移多大距离？

【解】 根据题意作出示意图 1—10。

〔已知〕 $E = 6 \times 10^4$ 牛顿/库仑

$x = 1.5$ 厘米 $= 0.015$ 米

电子 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ 库仑

初速 $v_0 = 2.3 \times 10^7$ 米/秒

$m = 9.1 \times 10^{-31}$ 公斤

由于电场是沿铅直方向 (y 方向)，因此，当电子由水平方向 (x 方向) 射入时，电场力不影响它在 x 方向的运动，故电子仍以速度 v_0 在 x 方向作匀速运动，它通过偏转极板所需的时间为

$$t = \frac{x}{v_0}$$

在 y 方向上电子受到电场力 $F = eE$ 及重力 $P = mg$ 的作用，由于重力和电场力相比较是很小可以忽略。因此电子在电场力 F 作用下，作匀加速运动，加速度 $a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m}$ 。又因为在 y 方向的初速度为零，故在 y 方向偏移的距离为

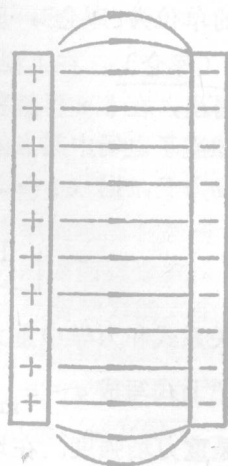


图 1—9

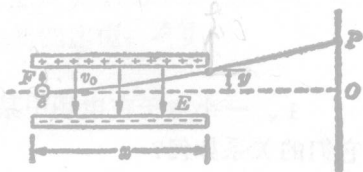


图 1—10