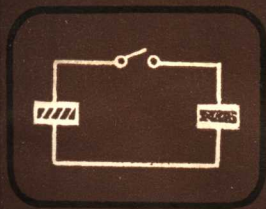


中学物理教学参考丛书



# 静电场

上海教育出版社

7-200-4701A-Z011

中学物理教学参考丛书

# 静 电 场

汪 思 谦

上海教育出版社

中学物理教学参考丛书

静 电 场

汪 思 谦

上海教育出版社出版

(上海水福路 123 号)

新华书店上海发行所发行 江苏高邮印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 6.125 字数 110,000

1981年4月第1版 1981年4月第1次印刷

印数 1—32,000本

统一书号: 7150·2434 定价: 0.43元

## 编者的话

本书是中学物理教学参考丛书之一，主要供中学物理教师参考。全套丛书共有二十本左右，将陆续出版。

《静电场》的主要内容是论述有关电场的基础知识，如库仑定律、电场强度、电势、电容等。全书共分七章：第一章讨论带电物体相互作用，第二、三章论述了电场强度、电势等基本概念，第四章分析了带电粒子在匀强电场中的运动情况，第五章介绍了感应起电和它的应用，第六、七章论述了电容以及有关电介质的基本知识。

在有关的章节中，还介绍一些简便易行的实验，以供教师在教学中选用。

## 目 录

<b>第一章 库仑定律</b> .....	1
一、基本静电现象 .....	1
二、电的本质 .....	4
三、静电演示实验 .....	7
四、库仑定律 .....	15
<b>第二章 电场 电场强度</b> .....	23
一、电场 .....	23
二、电场强度 .....	24
三、电场的迭加 .....	26
四、电力线 .....	30
<b>第三章 电势 电势差</b> .....	37
一、电场力所作的功 电势能 .....	37
二、电势 .....	44
三、电势差 .....	48
四、静电计 .....	50
五、等势面 .....	53
六、电势和电场强度的关系 .....	55
七、处于静电平衡下的绝缘导体 .....	58
八、带电导体表面上电荷的分布 .....	63
<b>第四章 带电粒子在匀强电场中的运动</b> .....	67
一、基本电荷的测定——密立根油滴实验 .....	67
二、带电粒子在匀强电场中的加速 .....	73

三、带电粒子在匀强电场中的偏转	77
四、阴极射线示波管的原理	79
<b>第五章 电场中的导体</b>	<b>86</b>
一、感应起电	86
二、静电屏蔽	89
三、高压带电作业	91
四、范德格喇夫起电机原理	92
<b>第六章 电容 电容器</b>	<b>94</b>
一、导体的电容	94
二、电容器	98
三、平行板电容器	101
四、电容器的并联与串联	104
五、带电导体的静电能	111
六、静电场的能量	116
<b>第七章 电介质</b>	<b>118</b>
一、电介质对电容器的作用	118
二、电场中电介质的极化	122
三、电介质的击穿	130
四、压电效应	134
<b>习题</b>	<b>136</b>
<b>计算题答案</b>	<b>153</b>
<b>附录 电学常用单位制</b>	<b>156</b>

# 第一章 库仑定律

## 一、基本静电现象

早在公元前 600 年左右时，古希腊的自然哲学家泰勒斯 (Thales, 约公元前 625—545 年) 已注意到用毛织物摩擦过的琥珀能吸引羽毛等轻小物体的现象。这是人类发现静电现象的最早记录。在希腊文中，带电体“ $\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\nu$ ”就是“琥珀”。当时人们对电的了解仅限于此。在我国东汉时期 (公元 200 年左右) 的古书《论衡》中也有过“顿牟掇芥”<sup>\*</sup>的记载。

电学的近代研究可以说是从十六世纪英国伊莉莎白女王的御医吉伯 (W. Gilbert, 1540—1605 年) 的工作开始的。吉伯通过实验证明琥珀并不是唯一可以摩擦起电的物质。玻璃、火漆、硫黄、宝石经过摩擦，都能吸引纸屑和稻草。处于这种状态的物体称为带电体，或者说这种物体带有电荷。吉伯还发现他不能通过摩擦使各种金属以及其他一些物质带电。后来英国电学家格雷 (S. Gray, 1696—1736 年) 发现通过摩擦并非不能使金属带电，只是由于经摩擦在金属上产生的电荷已迅速转移到其他物体上去了，因此金属并不显示电性。如果在金属棒上装个木柄，通过摩擦同样可使金属显示电性。于是格雷把物质分为两类：能转移或传递电荷的物质称为导体，或导体；不能转移或传递电荷的物质称为绝缘体，或非导体。各种金属、石墨、人体、大地以及酸、碱、盐类的水溶液等

<sup>\*</sup> 顿牟就是琥珀。芥是一种很轻的草本植物，掇芥就是吸引轻小物体的意思。

都是导体；而琥珀、玻璃、丝绸、松香、硫黄等都是绝缘体。然而这种分类并不是绝对的，无论采用多好的绝缘体也会发生漏电现象。况且在一定条件下，物体的导电能力还会发生变化。例如绝缘体如果带电超出一定的范围就会被“击穿”而变成导体。

格雷在 1729 年还发现另一种重要的起电方法，叫做静电感应。他曾经做过这样的实验：用两根粗毛绳将一个小孩轻轻地吊起，当用带电玻璃管靠近而并未接触小孩脚部时，小孩的面部可以吸引数厘米远的铜箔屑 [图 1-1 (a)]。为了表明流体也能导电，他用丝线将一陶土制成的烟斗挂起，并在烟斗上吹出一肥皂泡膜。当用带电的玻璃管靠近而并未接触烟斗的吸口时，肥皂泡膜也能吸引几厘米远的铜箔屑 [图 1-1 (b)]。

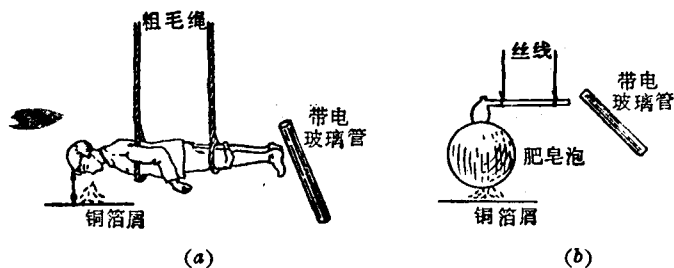


图 1-1 格雷的实验

发明抽气机的德国科学家奥托 (Otto von Guericke) 首先注意到在带电体吸引轻小物体时，当轻小物体接触到带电体之后，又会发生被带电体推斥的现象。后来法国科学家杜菲 (Du Fay) 又发现用丝绸摩擦过的玻璃棒在靠近用呢绒或毛皮摩擦过的硬橡胶棒时会相互吸引，而两根分别用丝绸摩



擦过的玻璃棒却相互排斥。其他任何带电体不是同毛皮摩擦过的硬橡胶棒相互吸引、同丝绸摩擦过的玻璃棒相互排斥，就是同毛皮摩擦过的硬橡胶棒相互排斥、同丝绸摩擦过的玻璃棒相互吸引。同这两种带电棒都相互吸引或者都相互排斥的带电体是不存在的。于是杜菲在1734年明确提出自然界中只有两种电荷，它们的性质完全不同。他把前一种电荷叫做玻璃态的电荷；而把后一种电荷叫做橡胶态的电荷。异种电荷相互吸引；同种电荷相互排斥。被吸引的轻小物体在接触到带电体后，就是由于带上同种电荷才受到了带电体的排斥。杜菲的发现在当时曾引起所谓“两种电流质”的假说，认为玻璃态的电荷和橡胶态的电荷是两种没有重量的流质。

早在1650年左右，奥托曾创造出一台可以产生大量电荷的摩擦起电机，它的主要装置是一个能连续转动的硫黄球，它是用布片接触连续转动的硫黄球来产生电荷的。这是世界上最早的起电机。历史上另一件重要的电学仪器是荷兰莱顿大学的马森布罗克 (Pieter van Musschenbroek) 等人在1745年制成的莱顿瓶，它可以将电荷收集，暂时储存起来。图1-2(a)就是莱顿瓶的外形和构造简图。它是由一个内壁和外壁都贴有锡箔的玻璃圆筒所构成。内壁的锡箔和伸到瓶口外的带有金属球的金属棒由金属链相连接。起电机中产生的电荷用金属导线引到莱顿瓶的金属球上，同时让外壁接地，根据静电感应原理就可使莱顿瓶的内外壁上存有等量的异种电荷。因此莱顿瓶是一种电容器。如果要使带电的莱顿瓶放电，可以使用一个有绝缘柄的弧形导体——放电叉。只要让放电叉的一端与莱顿瓶的外壁接触，同时让放电叉的另一端靠近金属球，如图1-2(b)所示，当靠近到相当距离时，它们之间就会发生电火花。这种现象称为火花放电。

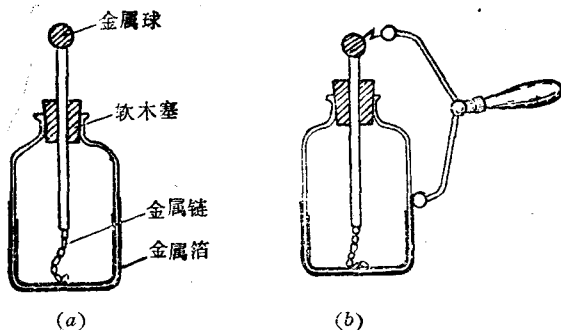


图 1-2 莱顿瓶

美国科学家富兰克林(B. Franklin, 1706—1790年)就是利用这些电学仪器,进行一系列的研究,发现天空中的闪电现象与火花放电的性质完全相同。在1749年他指出闪电和电火花都是瞬时作用,并且都产生相似的光和声。它们都能使物体着火。他在1752年所进行的著名的风筝实验,证明雷雨云层中的电荷与起电机所产生的电荷在效应上是一样的。

## 二、电的本质

为了解释基本静电现象,富兰克林曾经提出只有一种电流质的设想。他认为这种没有重量的电流质渗透在整个空间和一切物质的实体之中。如果物体内部的电流质密度同外部的一样,这个物体的电特性就是中性的。如果物体内部的电流质过多,物体就带正电;如果物体内部的电流质过少,物体就带负电。富兰克林的这种假说能成功地解释不少静电现象。例如它能用来解释为什么两个物体在相互摩擦后能分别带上等量的异种电荷;为什么在静电感应现象中,物体在靠近

施感电荷的一端带有与施感电荷相异的电荷(图 1-3),而在远离施感电荷的一端带有与它相同的电荷;并在取走施感电荷后,物体又恢复了中性。但是富兰克林的这种假说却不能解释这一现象:

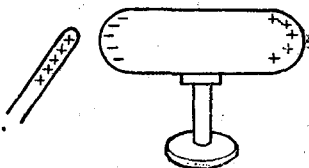


图 1-3

既然一切物质的实体中都存有电流质,为什么内外壁带有异种电荷的莱顿瓶不会自动放电。

1881年,德国物理学家赫尔姆霍茨(H. Helmholtz, 1821—1894年)在法拉第电解定律的启示下指出,法拉第定律的最可惊异的结果也许是这样:如果我们接受元素物质由原子组成的假说,我们就必然要作出结论说:电,不论是正电还是负电,也是与元素物质部分有关的。从此人们就开始把电和物质联系起来。英国科学家汤姆逊(J. J. Thomson, 1856—1940年)于1897年通过对阴极射线的研究,进一步指出这一股带负电荷的电子流是一切物质的共同成分。他还初步测定了电子的荷质比:

$$e/m = 1.759 \times 10^{11} \text{ 库仑/千克。}$$

美国物理学家密立根(R. A. Millikan, 1868—1953年)在1913年到1917年中,详细考察了荷电油滴在方向相反的电力和重力作用下的运动。他在测定了许多油滴所带的电荷后,发现一个油滴所带的最小电荷是和这些油滴所能带的许多较大电荷的最小公倍数是一致的。这样就确定了电荷的基本量,这个基本量就是电子所带的基本电荷。

$$e \approx 1.602 \times 10^{-19} \text{ 库仑。}$$

在原子的核式结构得到证实之后,电的本质就得到进一步的澄清。原来物质是由分子、原子组成的,而原子又是由带

正电的原子核和带负电的电子组成的。原子核中有质子和中子，中子不带电，质子带正电。虽然一个质子的质量约为电子的 1836 倍，但是一个质子所带的正电荷和一个电子所带的负电荷在数值上却是相等的。前者等于  $+e$ ，后者等于  $-e$ 。这就是说，物质内部本来就存在着两类基本电荷。电是物质的固有属性。电荷既不能被创造，也不能被消灭，而只能从一个物体转移到另一个物体，或者从物体的一部分转移到那一部分。或者说，对于一个与外界没有电荷交换的物质系统说来，在系统内部无论进行什么物理过程，整个系统的电荷的代数和始终保持不变。这个结论就叫做电荷守恒定律。它也是物理学中的重要基本定律之一，不仅适用于宏观过程，也适用于微观过程。

对于金属导体说来，它的原子的最外层电子容易摆脱原子核的束缚，可以在整个导体内部作无规则的自由运动，因而被称为自由电子。这类导体叫做第一类导体。在正常情况下，第一类导体内部的自由电子所带的负电荷和导体其余部分所带的正电荷恰好抵销，因而对外并不显示电性。当第一类导体与缺少电子的带正电体接触时，自由电子迅速前往补充，从而使导体本身也带正电。当第一类导体与有多余电子的带负电体接触时，其多余的电子也进入导体参加自由电子的行列，从而使导体也带负电。这就是第一类导体具有导电性的原因。

酸、碱、盐类的水溶液是第二类导体。这类导体内部并不存在自由电子，却具有可以自由移动的带电离子。这里所谓离子就是缺少电子或者有多余电子的原子或分子。例如硫酸铜分子  $\text{CuSO}_4$  在通常情况下是电中性的，但它的水溶液由于受到水分子的作用就会电解成带正电的铜离子  $\text{Cu}^{2+}$  和带负

电的硫酸根离子  $\text{SO}_4^{2-}$ 。当我们把两块由铜制成的正、负极板插入硫酸铜溶液，并接通电源时(图1-4)，正极铜板上缺少大量电子，而负极铜板上集聚着大量电子。于是溶液中的铜离子受到负极板的吸引而趋向负极板，在那里获

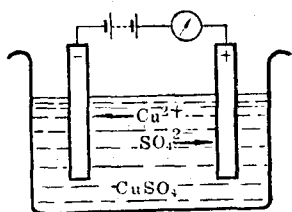


图 1-4

得两个电子而中和成铜原子而淀积在负极板上。硫酸根离子受到正极板的吸引而趋向正极板，在那里和铜原子结合成硫酸铜分子又溶解在水中，同时使正极板获得两个电子。由此可见，第二类导体是通过自由离子的运动不断使电源正极获得电子，负极失去电子的。这就是第二类导体具有导电性的原因。在第二类导体导电的过程中，必将伴随着化学变化，同时发生物质的迁移。

在绝缘体中，电子受原子核的束缚相当强，不象金属导体中的外层电子那样可以在各个原子间自由运动，而只能在一个原子或分子的范围内作微小的移动。这种电荷叫做束缚电荷。因此绝缘体的导电性能极差。莱顿瓶的内壁和外壁带有等量的异种电荷，但中间隔着一层玻璃是绝缘体，所以莱顿瓶不会自动放电。

### 三、静电演示实验

静电演示实验的成功关键在于所使用的实验器具必须保持干燥，以避免或者减少漏电现象。尤其是在黄梅季节，室内空气湿度较高，要做好静电演示实验，必须将各种实验器具在火上烤干，或者利用红外线照射。这里介绍的一系列静电演

示实验,所用的实验器具比较简单,都是容易办到的。

演示一 验证带电体与不带电体之间的吸引作用是相互的。

先用细铅丝弯成图 1-5 所示的框架,并用干燥的丝线把它悬挂起来,丝线的另一端固定在支架上。然后将毛皮(或呢绒)摩擦过的硬橡胶棒靠近它。这时框架会受到硬橡胶棒的吸引而趋向硬橡胶棒(图 1-5)。由于框架这时并不带电,这表明带电体吸引不带电的轻小物体。如果将带电的硬橡胶棒放在框架上,用不带电的塑料尺靠近它。这时硬橡胶棒又会受到塑料尺的吸引而趋向塑料尺(图 1-6)。这表明不带电的物体吸引带电体。由此可见,带电体与不带电体之间的吸引作用是相互的。为了增强实验效果,在用毛皮摩擦硬橡胶棒前,最好先用细砂皮纸将硬橡胶棒表面的一层老化层擦掉。

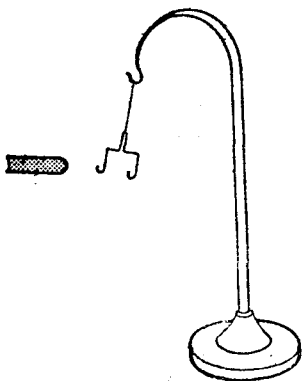


图 1-5

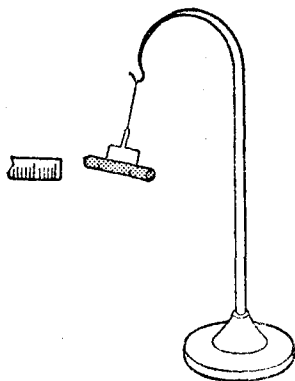


图 1-6

演示二 验证同种电荷相互排斥;异种电荷相互吸引。

将两根用毛皮摩擦过的硬橡胶棒分别放在悬挂着的框架上,并让它们靠近,就会发现它们相互排斥(图 1-7)。如果将

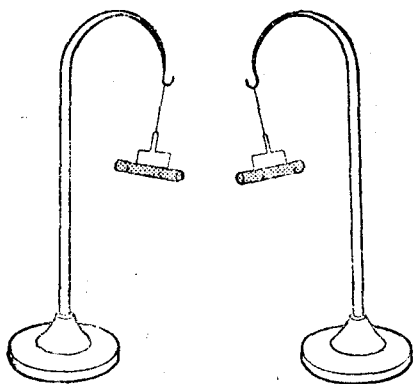


图 1-7

两根用丝绸摩擦过的玻璃棒分别代替硬橡胶棒做上述实验，同样会发现它们相互排斥。这表明同种电荷相互排斥。

如果将带电的硬橡胶棒和带电的玻璃棒靠近，它们就相互吸引(图 1-8)。这表明异种电荷相互吸引。

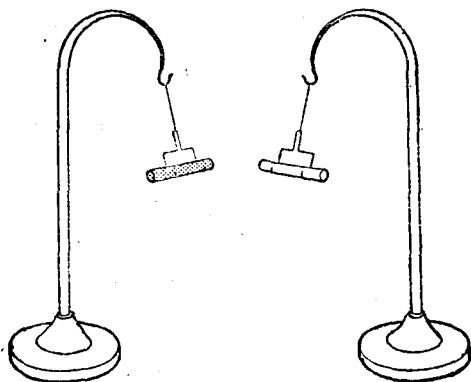


图 1-8

将毛皮摩擦过的塑料棒先靠近带电的硬橡胶棒，发现它们相互排斥；再靠近带电的玻璃棒，它们相互吸引。这表明塑料棒上所带的电荷与硬橡胶棒上的电荷性质相同，而与玻璃棒上的电荷性质相异。因而可以判断用毛皮摩擦过的塑料棒上的电荷是负的。

必须指出：我们不能简单地把摩擦过的玻璃棒上的电荷统称为正电荷。有时用呢绒摩擦玻璃棒会使玻璃棒带负电荷。可见物体所带电荷的性质不仅决定于它本身，还要看是用什么物体去摩擦。

演示三 可以用来检验物体是否带电、带何种电以及比较带电多少的金箔验电器。

图 1-9 (a) 是一个最简单的金箔验电器。它是由一个玻璃瓶和瓶内悬挂在金属杆上的两片金箔构成的。当我们用带电体接触验电器上端的金属小球时，验电器下端的两片金箔就张开了 [图 1-9 (b)]。这是因为带电体上的电荷经金属棒的传递，已分布到两片金箔上。由于同种电荷相互排斥，因此两片金箔就张开。如果这时再用手接触一下验电器的金属小球，两片金箔立即下落。这是因为在这一瞬间验电器已通过手与大地相连接，电荷经过重新分配，验电器已不再带电。

如果我们先让用毛皮擦过的硬橡胶棒接触一下验电器，使它带上少量的负电荷，再让带电体靠近验电器金属小球。这时我们就可以根据验电器金箔的张角是增大还是减小来检验这个带电体的带电性质。假设金箔张角增大，这就表明在静电感应的作用下，

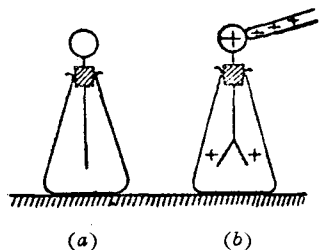


图 1-9



验电器远离带电体的一端(金箔)所带的负电增多了,从而可以推测验电器靠近带电体的一端(金属小球)带正电,即带电体带负电〔图 1-10(a)〕。假设金箔张角减小,这就表明在静电感应的作用下,验电器远离带电体的一端(金箔)所带的负电减少了,从而可以推测验电器靠近带电体的一端(金属小球)所带的负电增多,即带电体带正电〔图 1-10(b)〕。但是,如果带电体带有大量正电荷,在靠近带负电的验电器时,在静电感应的作用下,验电器远离带电体的一端(金箔)就可能出现大量正电荷,不仅使金箔上原有的负电荷中和,还会使金箔带上大量的净正电荷。因此,这时我们就会看到金箔的张角先减小然后金箔又张开〔图 1-10(c)〕。

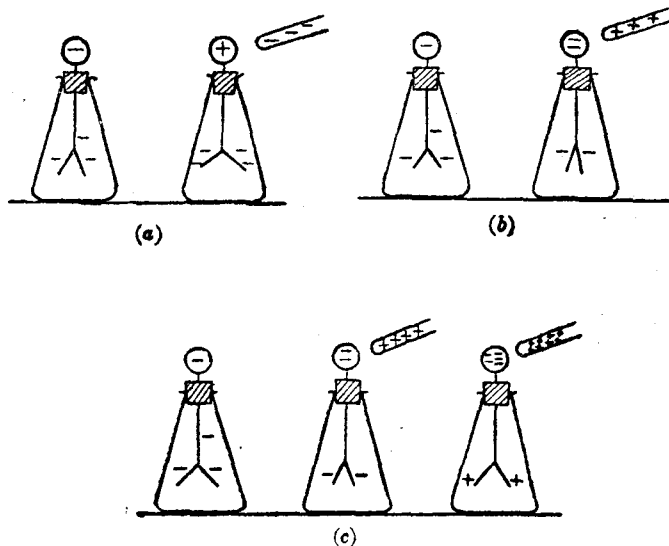


图 1-10