

高中物理教学参考读物

电 场

中国物理学会上海分会
中学物理教学研究委员会编



上海教育出版社

前 言

为了适应当前中学物理教学的需要，帮助教师更好地掌握教材，本会决定根据“中学物理教学大纲”（修订草案）和高中物理新教材，编写一套高中物理教学参考读物。共计十四册，从1956年9月开始，陆续出版。

本书内容相当于高三物理教材的第一章“电场”，分“电荷”、“电场”、“电势”、“电容”和“感应起电机”等五章处理。在第一章里，简单地介绍了电子理论大意，并着重分析了电荷间的相互作用。在第二章里，着重地讨论了电场的存在、场强的量度和电力线概念，并简要地对比了导体和电介质的特性。第三章的主要目的是搞清电势概念，并希望能归结到电场属性来认识它。为了照顾到可接受性，编者先介绍了物体在重力场里运动的做功情况和重力势能变化情况，通过对比引入了电荷在静电场里运动的做功情况和静电势能变化情况，最后才提出电势这一抽象概念。在这一章里，对静电计和验电器的区别和作用也作了比较详细的说明。在第四章里，着重阐明了电容概念和电容器的特点。介绍孤立导体的目的不仅是为了阐明电容概念，也是为了更清楚地比较出电容器的特点。第五章的内容是现用高中物理教材所未列入的，但在进行有关静电现象的演示实验时，免不了要用静电感应起电机，所以在本章中作了必要的补充。

按照本会原订的计划，“电场”和“电流”合为一册，列为全套参考读物的第九册，现在由于这两部分教材内容丰富，不宜合成一册，本会决定把十二册改为十四册，把“电场”和“稳恒电流”分

AAZ 75/16

成兩册出版。本書是“高中物理教學參考讀物”的第九本。

為了適當減少教師們在提問、考查和作業命題方面可能感到的困難和麻煩，仍擬了一些參考題，備供選用。

本書根據編委會擬就的提綱，由楊逢挺同志提供若干意見，最後由俞大年和徐昌叔兩位同志負責編寫。限于編者的業務水平和教學經驗，難免有許多缺點和錯誤，要求讀者不吝指教，以便在再版時改進。

中國物理學會上海分會
中學物理教學研究委員會

1957年7月

目 录

引言	1
第一章 电荷	2
1. 摩擦起电	2
2. 两种电荷	2
3. 导体和绝缘体	3
4. 验电器	3
5. 电荷间的相互作用	4
6. 电量的单位	6
7. 导体上电荷的分布	9
8. 电子论简述	11
9. 静电感应	13
第二章 电场	14
1. 电场概念	14
2. 电场强度	13
3. 真空中点电荷的电场	17
4. 电力线	19
5. 静电场里的导体	23
6. 静电场里的电介质	25
第三章 电势	29
1. 电荷在电场中移动的功	29
2. 电荷在电场里的势能	30
3. 电势	33
4. 电势差	37
5. 点电荷电场里的电势和电势差	39

6. 等电势面.....	44
7. 导体的电势.....	48
8. 静电计.....	51
第四章 电容	55
1. 导体的电容.....	55
2. 电容器.....	57
3. 电容器的电容.....	59
4. 电容器的组合.....	62
5. 电场的能量.....	66
第五章 感应起电机	69
1. 吐普勒—郝尔兹感应起电机.....	69
2. 韋姆修斯特感应起电机.....	72
附录一 复习提问参考题	76
附录二 计算题和论证推导题	80

引 言

远在紀元前七世紀，希臘哲学家泰利士·密列茨基曾提出用毛織物摩擦过的琥珀能吸引某些輕小物体，象紙屑、头发等。这种現象是当时的紡織工人发现的。經過 2000 多年后，在 1600 年左右，英国医生兼物理学家吉柏发现了除琥珀外，其他許多物質，象玻璃、火漆、硬橡膠等和毛皮或絲絨等摩擦后也可吸引輕小物体。人們把这种現象叫做帶电現象，認為这样摩擦过的物体帶了电，或說有了电荷，并把这样摩擦过的物体叫做帶电体。

从这时直到十八世紀末叶，200 年当中，电学知識发展是比较慢的，主要研究出：任何两种不同物質的物体經過摩擦后都帶电，有些可以把所帶电荷保留在摩擦的地方，另一些可以把电荷傳到別处去，前者叫絕緣体，后者叫导体；电荷有正負两种，同种电相斥，异种电相吸；电荷之間相斥相吸的力服从庫侖定律。

淺显地說，凡是有关帶电物体不在运动而所帶电荷也不作定向运动时的电現象都叫做靜电現象。这一部分电学的知識叫做靜电学，它是一切电学知識的基础。

一切靜电現象都离不开电場的作用。靜电学的主要研究对象就是电場，因此把这本小册子定名为电場，并把全部內容分成四部分来討論：(1) 电荷：主要研究帶电現象的形成和电荷間的相互作用；(2) 电場：初步介紹有关中介作用和电場存在的学說，并着重研究电場强度概念和它的量度方法；(3) 电势：根据电場对运动电荷作功引出电势和电势差概念，并研究其量度方法；(4) 电容：主要闡明电容的意义和电容器的作用。

第一章 电 荷

1. 摩擦起电 把两个物体,如毛皮和火漆棒或絲綢和玻璃棒相互摩擦,火漆棒和玻璃棒就具有了能够吸引輕微物体的帶电现象。这一种使物体帶电的方法叫做摩擦起电。摩擦起电并不是由于摩擦的机械作用使物体帶电,实际上只要把两种不同物質的物体密切接触后重新分开,就可以使物体帶电。摩擦不过是使物体的接触面增加,从而得到更显著的帶电现象而已。

2. 两种电荷 实验証明,上述玻璃棒和火漆棒上所帶电荷的性質是不同的。美国科学家富蘭克林把和綢子摩擦过的玻璃所帶的电荷叫做正电荷,和毛皮摩擦过的火漆棒所帶的电荷叫做負电荷。所有其他的物体,相互摩擦所帶的电荷都不外正負两种,因此我們可以說自然界中只有正負两种电荷存在。

用毛皮摩擦两根火漆棒。把其中的一根用鈎子悬挂起来如

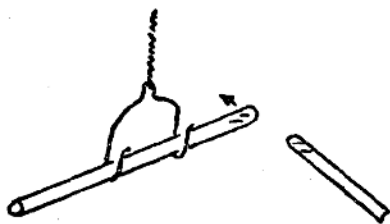


图 1

图 1 所示,拿另一根靠近它,可以看到它們互相推斥。如果改用綢子摩擦过的玻璃棒来靠近它,它就会被吸引过来。这說明了帶同种电荷的物体相互推斥,帶不同电荷的物体互相吸引。

拿兩块装着玻璃柄的相同的玻璃圓板,在一块板面上貼上呢絨如图 2 里的 B。把兩块板相互摩擦,然后分別把它們接近輕

微物体，可以証明兩块板都已帶了电荷。如果把这两块帶电板紧密接触，然后靠近輕小物体就不显帶电现象，原有的吸引作用好象是抵消了一样。这說明了两个相互摩擦的物体同时帶上了种类不同而数量相等的电荷。用它来与火漆棒或玻璃棒所帶电荷相比，可以檢驗出玻璃板A帶正电荷，呢絨帶負电荷。

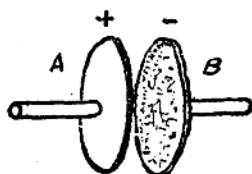


图 2

3. 导体和絕緣体 把帶电体和不帶电体接触，就有一部分电荷从帶电体分到不帶电体上来，使它也变成了帶电体。这种使物体帶电的方法叫做接触起电。

用接触的方法使物体帶电，如果电荷停留在接触点上，不显著地向其他部分傳布，这种物体叫做絕緣体。絕緣体又叫做电介質。玻璃、石臘、硬橡膠、松香、絲綢、瓷器等都是很好的絕緣体。能把所得到的电荷迅速向其他部分傳布的物体叫做导体。导体又簡称为导体。各种金屬、碱、酸或鹽的溶液，地，人体等都是很好的导体。

还有一种导电能力介乎它們二者之間的，如树木、紙張、大理石等叫做半导体。

在导体、半导体和絕緣体間并没有严格的界限，只是在导电的程度上有着大小的差別。

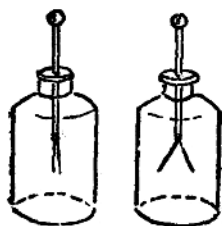


图 3

要使物体能保存所帶的电荷，必須用絕緣体把它和地球隔开，否則电荷就会傳入地下。

4. 驗电器 驗电器是根据帶电体的相互作用的原理制成的。普通常用的一种驗电器叫做金箔驗电器，它的構造

如图3所示。在一个金属棒的上端装着一个金属球，下端贴着两条很薄的金属箔，金属棒插在用绝缘体制成的瓶塞中，瓶塞盖在玻璃瓶或有玻璃窗的金属盒上。

要检验物体是否带电，只要把物体和验电器的金属球接触一下，金属球因接触而带电，部分电荷通过金属棒传到金属箔，两条金属箔因为带了同种电荷，就相斥而张开。如果原来的物体并不带电，金属箔就不会张开。

如果让金箔验电器先带已知电荷(正的或负的)，然后把要检验的物体移近验电器的金属球(不接触)，当物体所带电荷和验电器原带电荷相同的时候，因同种电荷相斥，球上原有的电荷就有一部分要被斥到离物体较远的金箔上去，因此金箔上带电比原来多，张开的角度就变大。反之，当物体的电荷和验电器所带的电荷不同时，由于异种电荷相吸的作用，使金箔上一部分电荷被吸到球上来，于是金箔张开的角度就减小。如果物体不带电，金箔的张角就不起显著变化。

金箔验电器不但可以检查物体是否带电，还可以查出它所带的是正电还是负电。

5. 电荷间的相互作用 我们已经知道了电荷之间有着相互作用，但是这个作用和哪些因素有关呢？首先让我们来看：用毛皮轻轻地或重重地摩擦过的橡胶棒吸引微小物体的能力并不相同，前一个能力弱，后一个能力强。为什么会产生这种现象呢？从摩擦的轻重不同上，我们就可以推测到，这可能是由于所带电荷的多少不同所致。我们再从前节里所讲的验电器来看：当金箔上所集中的电荷有了多少的时候，金箔的张角就有了大小，因而我们也可以推测到，金箔间的斥力可能跟着金箔上所带电荷的多少在变化。根据这些，我们就有可能作出这样的判断：电荷之间相互作用的力是和电荷的多少有关的。反过来讲，电荷的多少

一定也可以用它們之間的作用力的大小來量度。電荷的多少，既然可以用物理方法來量度，那末它就應該是一個物理量。物體所帶電荷的多少叫做電量。

其次，讓我們重復圖 1 的實驗，並讓兩個火漆棒之間的距離改變，就可發現斥力和它們之間的距離也有關係。當距離加大時，斥力減少。

在 1785 年法國的物理學家庫倫利用扭秤來進行研究，尋找出電荷間作用力的定律（關於庫倫扭秤實驗，課本里談得很清楚）。這個定律是靜電學中的基礎定律，它的內容是：在真空中，兩個點電荷之間的相互作用，沿着它們之間的連線，大小相等，方向相反；作用力的大小跟它們的電量的乘積成正比，跟它們之間的距離的平方成反比。

如圖 4，以 q_1, q_2 表示兩個點電荷的電量， r 表示它們之間的距離，那末作用力

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

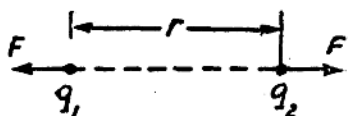


圖 4

如果 q_1 和 q_2 同是正電荷或同是負電荷， F 是正號，

表示相斥。如果 q_1 和 q_2 是一正一負， F 是負號，表示相吸。

K 是比例常數，它的數值決定於式中 F 、 r 、 q_1 和 q_2 的單位的選定。在厘米·克·秒單位制中，我們知道 F 的單位是達因， r 的單位是厘米。電量的單位決定了以後，通過實驗測得數據，代入上面的庫倫定律公式，就能定出 K 的大小。正因為 q_1 和 q_2 的單位還未決定，為了簡單和便利起見，我們可以先將上項公式中的 K 定為 1（無單位的比值），然後再決定電量的單位。這樣，

真空中的庫倫定律公式就可以簡化成 $F = \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 。

在自然界里，符合于几何意义的点物体（即質点）是不存在的；在物理学里，所謂点物体，是指相对小的物体而言，也就是物体的大小和它們之間的距离比起来是十分小的意思。例如，当我们討論星体間的相互引力时，虽然它們的体积很大，可是和它們之間的距离比起来还是很小，我們就可以把它們看成是点物体。

在庫侖定律中，所謂点电荷，是指帶电体小到这样的程度，比起它們之間的距离来，即虽它們的形狀任意改变，在一定精确度的范围以內，已經不影响到相互作用力的大小。同样两个帶电体，如果它們之間的距离十分大，就可以看作点电荷，如果它們之間的距离不够大，就不能看成是点电荷。在帶电体不很小的情况下，必須先把每个帶电体分成許多点电荷，然后分別求出作用在各个点电荷上的庫侖力（用庫侖定律計算出的相互作用力），最后再求出作用在整个帶电体上的总合力。这个合力的大小是不直接遵从庫侖定律的，而是依从于物体的大小、形狀和电荷的分布的。

对电荷分布均匀的球狀帶电体來說，理論証明，在計算它和其他电荷的相互作用时，可以認為全部电荷集中在球心。因此，在計算两个均匀帶电球体之間的相互作用时，我們可以把它看成两个位置在球心的点电荷，并直接应用庫侖定律公式

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

来計算。当然，在这种情况下，式子里的 r 应是两个球心間的距离。

我們必須注意，这种关系只限于均匀帶电的球体才成立，对任何其他形狀的帶电体都不适用。

6. 电量的單位 在前一节里已經討論过，为了簡化庫侖定律公式，我們要求把比例常数 K 的数值定为 1。为了符合这个要

求,規定電量的單位: 當兩個等量的點電荷,在真空中相距 1 厘米時,如果它們之間的作用力正好是 1 達因,它們的電量就各稱為一個單位。這個單位叫做電量的厘米·克·秒制靜電系單位,可以簡稱為靜電系單位電量或靜庫。

從庫侖定律公式

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

來看,當 $q_1 = q_2 = q$, $K = 1$, $F = 1$ 達因, $r = 1$ 厘米時,

$$q = \sqrt{\frac{Fr^2}{K}} = 1 \text{ 靜電系單位電量。}$$

電量的實用單位叫做庫侖。1 庫侖 = 3×10^9 靜電系單位電量。

【例 1】 兩個帶有等量同種電荷的小球,各為 0.1 克重,各用 50 厘米長的細綫掛在同一點上。兩球因彼此相斥而張開,在平衡狀態下相距 20 厘米。求每個小球所帶的電量。($g = 980$)

解: 如圖 5 所示,兩球各在三個力作用下平衡。球重 mg 和它所受電斥力 F 的合力 R 應和綫的拉力 T 大小相等,方向相反;即 R 和 OB 在同一直線上。

從 O 作垂直綫 $OC \perp AB$, OC 平行於 mg ,因此 $\triangle OCB$ 與力三角形相似,

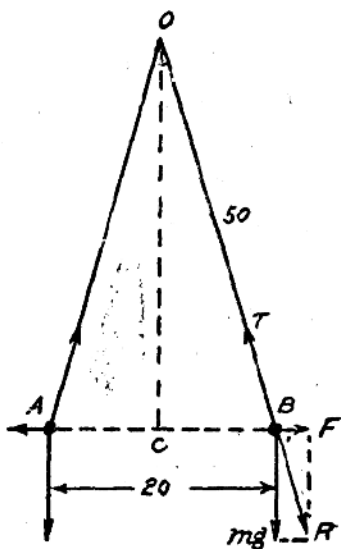


圖 5

$$\frac{F}{mg} = \frac{CB}{OC}。$$

設兩球各帶電荷 q 單位，則電斥力

$$F = \frac{q^2}{r^2} = \frac{q^2}{20^2}。$$

已知： $BC = \frac{20}{2} = 10,$

$$OC = \sqrt{OB^2 - BC^2} = \sqrt{50^2 - 10^2} = 20\sqrt{6},$$

$$mg = 980 \times 0.1 = 98,$$

代入上面的比例式，得

$$\frac{q^2}{20^2 \times 98} = \frac{10}{20\sqrt{6}};$$

解比例式，得

$$q = \sqrt{\frac{20^2 \times 980}{20\sqrt{6}}} = 89.5 \text{ 靜電系單位電量。}$$

【例 2】 小球 A 和 B 各帶正電荷 q ，放在相距 10 厘米處；第三小球 C 帶電荷 $2q$ 。當 (a) C 帶正電荷和 (b) C 帶負電荷時，C 球應放在何處才能使 B 球所受電力平衡？

解： A、B 間的斥力

$$F_1 = \frac{q^2}{10^2},$$

B、C 間的斥力或引力

$$F_2 = \frac{2q^2}{x^2}$$

(a) 當 C 球帶正電時，

$$\frac{q^2}{10^2} = \frac{2q^2}{x^2},$$

$$x = 10\sqrt{2} \text{ 厘米。}$$

C 球應放在距 B 球 $10\sqrt{2}$ 厘米處，在 A 球的對側。

(b) 當 C 球帶負電時，

$$\frac{q^2}{10^2} = \frac{2q^2}{x^2},$$

$$x = 10\sqrt{2} \text{ 厘米。}$$

C球应放在距B球 $10\sqrt{2}$ 厘米处,在A球的同侧。

7. 导体上电荷的分布 前面讲过,在导体里电荷能够迅速地传播到它的各部分。达到平衡以后,它所带的电荷就应该不作任何定向的移动,这时电荷的分布情况怎样呢?

让我们来介绍一下法拉第圆筒实验。如图6所示,A和B是两个金箔验电器。A和普通验电器一样,它的上端是一个金属球。B的上端不是金属球,而是一个几乎完全封闭的金属空心圆筒C。当圆筒带有定量电荷时,金箔就张开到一定的角度。用一个绝缘的金属小球和圆筒外表面接触一下,再去和验电器A接触,则A器金箔微微张开,B器金箔的张角略有缩小。重复若干次后,则A器和B器的金箔张角都有了更显著的增减。这说明金属圆筒C的外表面是带电的。如果先令金属小球和圆筒内部接触,再去和验电器接触,则A器金箔始终不张开,B器金箔的张

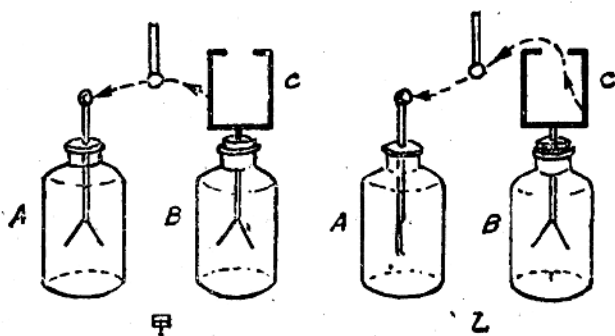


图 6

角始終不減少。這說明圓筒C的內表面是不帶電的。

據此，我們得出結論：電荷完全分布在導體的外表面上。空腔導體的內表面既不帶電，實心導體的內部當然也沒有電荷的存在。所以我們可以从實心導體的內部挖去任何一塊使成空腔，也不會影響表面上電荷的分布。

在1836年法拉第做過這樣的實驗：在絕緣板上放一個金屬

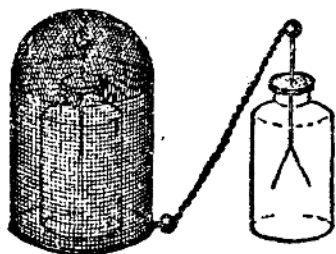


圖 7

絲做的籠子，在籠子的內部和外部各放一個金箔驗電器，把它們都和籠子連起來，如圖 7 所示。在籠子上盡量加電荷，籠外驗電器金箔張角很大，籠內驗電器絲毫不受影響。法拉第稱這種作用為金屬籠子對內部物體的電屏蔽作用。

我們還可以證明，當用接觸起電法使空心導體帶電時，無論電荷是從體外或是從體內傳給的，達到平衡後電荷都是停留在外表面上。

這許多現象都可以用同種電荷相斥，電荷要停留在彼此之間有着最大距離的外表面上來作最粗淺的解釋。

電荷在導體表面上的分布是不是均勻的呢？也就是說每單位表面面積里所帶有的電荷數量（電荷的布面密度）是不是相同呢？我們可以

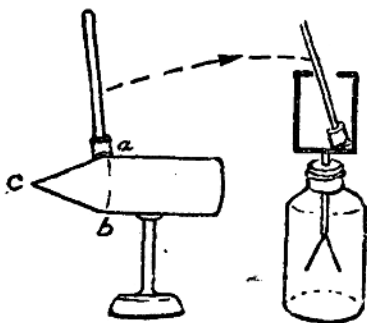


圖 8

做如图 8 所示的实验来说明。

取一个由圆锥和圆筒组成的导体，支在绝缘支柱上；并使它带电。另外在一个绝缘柄上装一个软橡皮塞，并在塞头上贴一片很薄的金属片。把橡皮上金属片贴在带电体上，它就和带电体密切接触而形成了接触部分的外表面，这样金属片从带电体分得的电荷应和接触部分原带的电荷完全相等。然后取下金属片便与验电器上的法拉第圆筒的内表面接触，则取得的电荷全部传给法拉第圆筒的外表面和验电器的金箔。由于金箔和法拉第圆筒上的电荷分布是有一定比例的，根据金箔张角的大小，就可以估计出金属片从带电体上取得电荷的多少。

实验证明，金属片从导体凸出部分 a 和 b 取得的电荷比从扁平部分取得的多，从尖端 c 取得的电荷更多。一般地说，在带电导体表面曲率越大的地方，电荷的布面密度也越大。

关于布面密度大小和曲率的关系还可以用电场和电势的理论来说明，但都比较复杂、抽象，不易被高中学生理解，在本书中不作详细介绍。

8. 电子论简述 在 20 世纪初叶，人们已经认识原子并不是组成物质的最基本质粒；它是由带着正电的原子核和离开原子核很远而循着一定大小的轨道绕核旋转着的带负电的电子所组成。

不同元素原子的电子数并不相同，最简单的氢原子只有一个电子，铀原子就有 92 个电子。但原子核所带正电荷的电量总等于它的全部核外电子所带负电荷电量的总和。

原子的质量差不多完全集中在原子核里，电子的质量是很小的，差不多等于氢原子质量的 $\frac{1}{1840}$ ，只有 9.11×10^{-31} 克。

每个电子所带的电量，是已知的最小电量，等于 4.8×10^{-10}

靜電系單位電量，也就是 1.6×10^{-19} 庫侖。

倘把原子和原子核都想象成球體，原子直徑要比原子核直徑大一萬倍；雖如此，原子直徑仍不過是 2×10^{-8} — 3×10^{-8} 厘米。原子的直徑就是原子的最外層電子軌道的直徑。

原子裏的電子和行星繞太陽一樣，分層地按着各自的軌道繞原子核旋轉。電子繞核的運動可近似地看做勻速圓周運動；核與電子間的庫侖力就等於維持這種運動的向心力。

根據電子運動及原子核和電子間的電作用等微觀理論來解釋帶電現象，就叫做電子論。

現在我們就可以用電子論來說明帶電現象：物體都是由原子組成的，每個原子裏的正負電荷又都相等，因此物體在通常情況下是不顯示帶電現象的。當兩個物體相互摩擦時，一個物體因部分原子失去電子而帶正電，另一個物體因得到多余電子而帶負電。在摩擦起電時，兩個物體總同時帶異種等量電荷。把帶電體和不帶電體接觸，電子從帶負電的物體移入帶正電的物體。倘使原來兩個物體所帶電荷的電量相等，結果它們就變成都不帶電，這叫做中和現象。若兩物體原帶電荷的電量不等，中和後如有多余電子則兩物體都帶負電，中和後如缺少電子則兩物體都帶正電。

因此，我們可以說：物體的帶電過程就是物體之間的電子重新分配過程。電荷是不能脫離物質而存在的，根據物質不滅定律來看，一個物體失去電子，必定有另一物體得到電子，所以說電荷也是不能消滅和不能創生的，這叫做電荷不滅定律。

金屬原子和碳原子的最外層電子很容易脫離原子核的吸力範圍，在原子之間作不規則的運動（和封閉容器裏的气体分子一樣），這些電子叫做自由電子。當金屬體的某一部分得到多余的電子時，這些電子就以自由電子的狀態傳到其他部分去；當它失