

电学中若干容易混淆的问题

上海教育出版社



AN XUE ZHONG RUOGAN RONG YI HUN XIAO DE WEN TI



中学生文库

电学中若干容易混淆的问题

陈立明

上海教育出版社

中学生文库 电学中若干容易混淆的问题

陈立明

上海教育出版社出版

(上海永福路123号)

江苏宜兴印刷厂印刷

新华书店上海发行所发行

开本787×1092 1/32 印张3.25 字数65,000

1983年8月第1版 1986年8月第3次印刷

印数60,001—100,000本

统一书号: 7150·2826 定价: 0.41元

前 言

电学是高中物理的主要内容之一，也是工农业生产和日常生活中经常要用到的知识。譬如，灌溉和碾米用的电动机，炼钢用的电炉，开会用的扩音机，日常使用的收音机、电视机，都是根据电学原理制成的。要使用和维修这些电气设备，就应该懂得一定的电学知识。随着我国四化建设事业的发展，电在工农业生产和日常生活中的应用越来越广泛，因此，同学们在中学阶段应该把电学学好。

要学好电学，必须把电学中的基本概念和基础知识搞清楚。本书是根据同学们在学习电学中所提出的问题加以分析讨论，帮助大家巩固和加深对电学基础知识的理解。所涉及的内容跟现行部编高中电学教材比较，略有扩大和加深，以利于把问题分析得清楚些。叙述力求通俗，使同学们容易看懂。限于作者的水平，错误和不妥之处恐难避免，恳请大家指正。

本书经上海物理学会普及工作委员会张梦心同志审稿，特此表示感谢。



目录

ZHONG XUE SHIENG WENKU

一、电场强度和电场力	1
二、 $E = \frac{F}{q}$ 、 $E = K \frac{Q}{\epsilon r^2}$ 和 $E = \frac{U}{d}$	5
三、电势能、电势和电势差	9
四、验电器、静电计和伏特表	20
五、电荷的定向移动速度和电场的 传播速度	27
六、电池的总功率、最大输出功率和 效率	31
七、电动势和路端电压	36
八、反电动势和外加电压	40
九、 $N = IU$ 、 $N = I^2 R$ 和 $N = \frac{U^2}{R}$	47
十、左手定则和右手定则	54
十一、 $B = \frac{F}{IL}$ 和 $B = K \frac{I}{r}$	61
十二、库仑力、洛伦兹力和安培力	67
十三、 $\mathcal{E} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 和 $\mathcal{E} = BLv \sin \theta$	75
十四、磁通量、磁通量变化和变化率 ...	84
十五、磁通量变化和感生电动势 的方向	91

一、电场强度和电场力

电场强度是表征电场的力的性质的一个物理量，但不能由此得出结论说电场强度就是电场力。电场强度和电场力有什么区别和联系呢？大家知道，电场中某点的场强 E ，等于放在该点的点电荷所受的电场力 F 跟它的电量 q 的比，即 $E = \frac{F}{q}$ 。场强的单位是 N/C ，而电场力的单位是 N 。然而，即使记熟定义、公式和单位，并不说明你已经明确两者之间的区别和联系。譬如有的同学说：根据公式 $E = \frac{F}{q}$ ，可知电场强度跟电场力成正比，跟电量成反比。有的同学认为电场强度的方向总是跟电场力的方向一致的。还有一些同学说在电场中如果不放上一个检验电荷，就没有电场强度，理由是：没有检验电荷 q ，哪里来的电场力 F 呢？没有电场力 F ，电场强度 E 当然也就不存在了。

首先，我们要强调指出，电场强度的定义式 $E = \frac{F}{q}$ 是根据实验事实得出的，不是数学上的抽象，不能离开实验事实，单纯从数学形式来理解这个公式。实验事实是怎样的呢？那就是，对给定电场中某一点来说， E 是一个恒量，就是说，检验电荷 q 的电量大些，它所受的电场力 F 也就大些，可是它们的比值总是不变的。对电场中不同的点来说，这个恒量的大小是不一定相同的，或者说，在检验电荷的电量一定的条件下，它

在电场中不同的点所受的电场力不一定都相等。这表明了有些地方的电场强些，有些地方的电场弱些。正因为电场有强有弱，所以我们有必要引入一个物理量来表示电场的这种物理性质。不难了解，检验电荷在某电场中某点所受的电场力跟检验电荷所带的电量的比，正是反映电场的这种物理性质的。因此，我们称这个物理量为电场强度，并用 $E = \frac{F}{q}$ 作为电场强度的量度公式，同时它也是电场强度的定义式。如果撇开具体的物理内容，单纯根据数学上的抽象关系，把场强的定义式说成 E 跟 F 成正比，跟 q 成反比，这正如把密度的定义式 $\rho = \frac{m}{V}$ 说成物质的密度跟它的质量 m 成正比，跟它的体积 V 成反比，是同样错误的。

电场强度是一个矢量，习惯上规定：正电荷在某点所受的电场力方向就是该点的场强方向。这样，负电荷所受的电场力方向跟场强方向刚好相反。所以，只有当检验电荷是正电荷的时候， E 的方向和 F 的方向才是一致的。

明确了电场强度的概念后，我们再讨论一下在电场中没有引入检验电荷时，或把检验电荷从电场中拿走后，电场和电场强度是否还存在。

我们知道，检验电荷是用来检验某点有无电场，并可根据它所带的电量和所受的电场力来量度某点的电场强度。譬如说，你把检验电荷放在 A 点，假使它并没有受到力的作用的话，那表明 A 点场强为零。如果你把检验电荷先后放在 B 点和 C 点，并测得它在 B 点所受的电场力比在 C 点时大，这说明 B 点的场强比 C 点的大。 B 点和 C 点的电场并非检验电荷产生，而是另外的带电体产生的。检验电荷仅仅起检验和量度的作用，而且检验电荷的电量很小，它对原来电场的影

响也很小，可以略去不计，所以它的存在与否是不会改变原来电场的性质的。这正如我们用安培表来检验和量度电路中有无电流和电流强度大小一样，电路中的电流并不是由于连上安培表以后才发生的，是原来就有的。所以，那种认为没有检验电荷就不存在电场强度的想法是不对的，它跟“没有秤，物体就没有重量”一样可笑。

为了更好地搞清楚上述一些问题，我们通过一个例题来说明。

例：一平行板电容器(放在真空中)，两板相距 1cm，接上电源后，一个电子从负极释放出来，经过 10^{-9} s 的时间到达正极(图1)。质量为 0.91×10^{-30} kg 的电子所受的电场力是

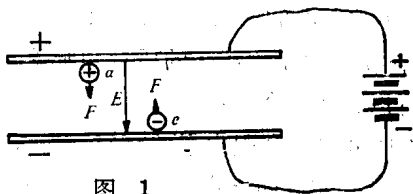


图 1

多少？板间的电场强度是多少？方向呢？

解：大家知道，两板间的距离比板的尺寸小得多的时候，板间的电场可以看成匀强电场。电子在匀强电场中所受的电场力为恒力，它在这个恒力作用下沿着场强相反的方向作初速度为零的匀加速运动。根据运动学公式 $s = \frac{1}{2}at^2$ ，不难求得电

子在电场中运动的加速度 $a = \frac{2s}{t^2} = \frac{2 \times 10^{-2}}{(10^{-9})^2} = 2 \times 10^{16} (\text{m/s}^2)$ 。

这个加速度就是电场力产生的，所以电子所受的电场力

$$F = ma = 0.91 \times 10^{-30} \times 2 \times 10^{16} = 1.82 \times 10^{-14} (\text{N}).$$

在本题的情况下，电子可看作是一个检验电荷，因此求得电场强度

$$E = \frac{F}{q} = \frac{1.82 \times 10^{-14}}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.1 \times 10^5 (\text{N/C}).$$

注意，电场强度的方向跟电子所受的电场力方向刚好相反。本题的电场强度是靠已知的检验电荷(电子)所受的电场力量度出来的。这个电场是由两个平板所带的正、负电荷共同产生的，只要两板上所分布的电荷保持不变，这个电场也就永远不变地存在着，而跟检验电荷(电子)的存在与否没有关系。显然，如果通过这一电场的不是电子而是 α 粒子，板间的电场强度仍旧还是 $E = 1.138 \times 10^5 \text{ N/C}$ ，不过 α 粒子是带两个基本正电荷的物质微粒，它在这个电场中所受的电场力已不是 $F = 1.82 \times 10^{-14} \text{ N}$ ，而是 $F = qE = (2 \times 1.6 \times 10^{-19}) \times (1.138 \times 10^5) = 3.64 \times 10^{-14} \text{ (N)}$ ，且电场力的方向跟场强方向相同(图1)。由于 α 粒子的质量和所受的电场力跟电子都不一样，所以它在这个电场中运动的加速度以及从正板到负板所需的时间也不会跟电子的相等，那么，这个时间到底等于多少呢？建议同学们自己计算一遍(α 粒子的质量 $m = 6.64 \times 10^{-27} \text{ kg}$)。

$$\text{二、 } E = \frac{F}{q}, E = K \frac{Q}{\epsilon r^2} \text{ 和 } E = \frac{U}{d}$$

计算场强有三个公式 $E = \frac{F}{q}$ 、 $E = K \frac{Q}{\epsilon r^2}$ 和 $E = \frac{U}{d}$ ，你了解它们之间的相互关系和它们的适用范围吗？有的同学这样计算图 2 所示的两个平行板间的场强。

因为 $+Q$ 在 A 点所产生的场强

$$E_1 = K \frac{Q}{\epsilon r_1^2}, \text{ 方向向下,}$$

$-Q$ 在 A 点所产生的场强

$$E_2 = K \frac{Q}{\epsilon r_2^2}, \text{ 方向也向下,}$$

所以 A 点处的合场强

$$E_A = E_1 + E_2 = K \frac{Q}{\epsilon r_1^2} + K \frac{Q}{\epsilon r_2^2}。$$

这个结果是错误的。公式 $E = K \frac{Q}{\epsilon r^2}$ 中的 Q 是指点电荷，只有在点电荷产生电场的条件下，才能应用这个公式来计算场强。本题两块平行板的尺寸比两板间的距离大（或者可以相比拟），两板所带的电荷当然不能看作点电荷。如果把这两块平行板分得很远，使它们的距离跟板的尺寸比较起来大

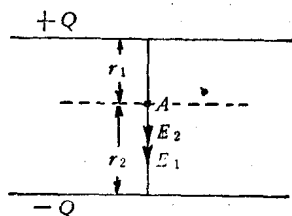


图 2

得多,因而板的尺寸可以忽略不计时,才可以把两块平板所带的电荷看作点电荷;这时,上述计算方法才是正确的。

必须强调指出,当应用一个公式来解决问题时,应该首先分析一下题给的条件是否符合这个公式的适用范围,不要不问具体情况而乱套公式。

那么,这三个计算场强的公式到底有何区别和联系呢?它们各适用于什么条件?下面简单地谈谈这些问题。

上节已经讨论过,公式 $E = \frac{F}{q}$ 是电场强度的定义式或量度公式。对于任何电场(匀强或非匀强)中任何一点,只要知道放在该点的检验电荷的电量 q 和它所受的电场力 F , 都可应用这个公式来计算该点的场强;所以 $E = \frac{F}{q}$ 是一个适用于任何情况的普遍公式。不过,在没有给定检验电荷及其所受的电场力的情况下,这个普遍式是无法直接应用的,因为它是利用检验电荷间接地测定场强的量度公式。

$E = K \frac{Q}{er^2}$ 这个公式只适用于点电荷产生电场的这一特殊情况。如果产生电场的电荷不是点电荷,这个公式就不适用了。在点电荷 Q 的电场中任一点 A , 量得 A 到 Q 的距离为 r_A , 不管 A 点有没有放上检验电荷, A 点的场强都是 $E = K \frac{Q}{er_A^2}$ 。设在 A 点放上一检验电荷 q , 根据库仑定律容易求得 q 所受的电场力

$$F = K \frac{Qq}{er_A^2};$$

再应用场强的定义式 $E = \frac{F}{q}$, 同样推得 A 点的场强

$$E = \frac{F}{q} = \frac{K \frac{Qq}{\epsilon r_A^2}}{q} = K \frac{Q}{\epsilon r_A^2}。$$

上式还表明了电场强度 E 跟检验电荷 q 是无关的。

至于 $E = \frac{U}{d}$, 这是适用于匀强电场这一特殊情况公式。

设检验电荷 q 在匀强电场中所受的电场力为 F (图 3), 它在电场中沿着电力线由 A 点移到 B 点(两点的距离为 d)时, 电场力对它所做的功

$$W = Fd = q(U_A - U_B) = qU_{AB},$$

由此求得电场力

$$F = \frac{qU_{AB}}{d},$$

电场强度

$$E = \frac{F}{q} = \frac{\frac{qU_{AB}}{d}}{q} = \frac{U_{AB}}{d}。$$

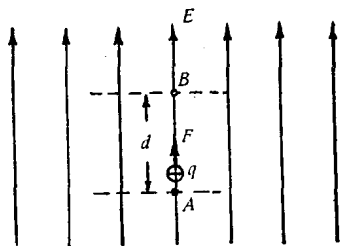


图 3

强时, 还注意到式中的 d 是沿着场强方向计算的。譬如图 4 中, 当已知 A 、 C 两点的电势差, 要求这个匀强电场的场强时, 有的同学这样计算: $E = \frac{U}{d} = \frac{U_{AC}}{AC}$, 这显然是错误的。

假如过 C 点作一平面 (图上用虚线表示) 跟这个电场方向垂直, 不难看出, 这个平面上任何一点的电势都跟 C 点相同, 也就是说这个平面是一个等势面。同样, 过 A 点也可作

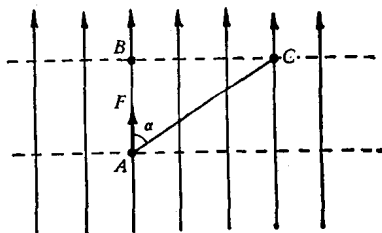


图 4

一跟电场方向垂直的等势面。这两个等势面之间的垂直距离就是公式 $E = \frac{U}{d}$ 中的 d 。在图 4 的情况里, 设想有一正电荷 q 沿 AC 路径从 A 点移到 C 点, 因它所受的电场力 F 的方向跟场强方向一致, 而 F 和位移 AC 成 α 角, 所以电场力对它所做的功

$$W = Fs \cdot \cos\alpha = Eq \cdot AC \cdot \cos\alpha = Eq \cdot AB。$$

这个功也可根据公式 $W = qU_{AC}$ 求得, 所以有

$$Eq \cdot AB = qU_{AC}, \text{ 即 } E = \frac{U_{AC}}{AB}。$$

注意, AB 就是两个等势面间的距离 d 。

有些同学问: 两块带等量异号电荷的平行板间的场强方向各处都相同, 但大小不一定处处相等吧。中间部分的场强 E_1 会不会大于两边的场强 E_2 ? 譬如说板间的电力线是否有可能象图 5 所示那样, 是一些互相平行、间隔不相等的直线?

请同学们想一想, 假如这个看法成立的话, 那么

$$E_1 > E_2, \text{ 即 } \frac{U_1}{d_1} > \frac{U_2}{d_2},$$

而
得

$$d_1 = d_2,$$

$$U_1 > U_2。$$

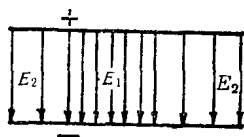


图 5

这不是说明中间部分两板的电势差比两边部分两板的电势差大吗? 这跟平板是一等势面的实际情况发生矛盾了。可见, 在同一个平行板电容器中间的电力线一定是互相平行、间隔相等的直线, 决不可能存在方向处处相同而大小不等的非匀强电场。当然, 在平行板两端是有边缘效应的, 不过那是另外一回事了。

三、电势能、电势和电势差

电势能、电势和电势差这三个物理概念是很容易混淆的。例如，在静电平衡时，导体上任何两点的电势差等于零，整个导体是一等势体，往往有同学把它说成是电势等于零。又如，有的书上说：“一般说来，在电场力使电荷移动时，正电荷总是由电势较高的位置移到电势较低的位置，而负电荷总是由电势较低的位置移到电势较高的位置，但无论正电荷或负电荷，都是从电势能较大的位置移到电势能较小的位置。”如果你对电势能、电势和电势差三者的区别和联系还没有弄清楚，对上述的这句话也就会感到难以理解了。

电势和电势能有什么区别和联系呢？大家知道，电场中某点的电势 U 等于放在该点的正电荷所具有的电势能 $\mathcal{E}$ 跟它的电量 q 的比，即 $U = \frac{\mathcal{E}}{q}$ 。注意，这是一条定义式，也是电势的量度公式；式中的电势能 $\mathcal{E}$ 是电荷 q 和所在处的电场所共有的，它的大小既跟电荷 q 有关，又跟所在处的电场的能的性质有关；同一个电荷在电场中不同位置所具有的电势能 ($\mathcal{E} = qU$) 因所在位置 U 的不同而不同。这正如放在重力场中的物体一样，它具有的重力势能是物体和重力场所共有的，同一物体在重力场中不同位置所具有的重力势能因高度不同而异。在零电势已选定的条件下，对电场中某一固定点来说，放的电荷 q 大些，电势能 $\mathcal{E}$ 也大。这跟处于同一高度的物体，质

量大，重力势能也大，道理是一样的。如将式子 $\mathcal{E}=qU$ 和 $E_P=mgh$ 互相对照一下，我们也可把 gh 叫做“重力势”。重力势的定义式应是 $\frac{E_P}{m}=gh$ ，它跟物体质量大小或存在与否无关。同样，电场中各点的电势跟电荷 q 存在与否也没有关系，如果没有电荷，电势仍是客观存在的。不过，电场中有了电荷，就会有电势能。电场中电势和电势能的关系跟重力场中“重力势”和重力势能的关系是相类似的。

然而，跟重力场不同的地方是，计算电荷在电场中不同位置所具有的电势能时，必须同时考虑电势的正负和电荷的正负。对此同学们常常感到困难，下面我们把它分为四种情形：

(1) 设有一正电荷 q 放在电场中 A 点， A 点的电势是正电势，则电荷所具有的电势能也是正的， $\mathcal{E}_A=qU_A$ 。

(2) 如果把正电荷放在电场中 B 点， B 点的电势是负电势，则电荷所具有的电势能 $\mathcal{E}_B=q(-U_B)=-qU_B$ 是负值。

(3) 设有一负电荷放在电场中 A 点，因为 A 点的电势是正的，所以负电荷所具有的电势能 $\mathcal{E}_A=-qU_A$ 是负值。

(4) 如果把负电荷放在电场中 B 点，因为 B 点的电势是负的，所以负电荷的电势能变成正的了，即

$$\mathcal{E}_B=(-q)(-U_B)=qU_B。$$

可见，电势能的正负跟电荷、电势的正负之间的关系，完全可以按照代数上正负数相乘的法则来处理。然而，如果你不理解它们的物理意义，而只是机械地运用数学法则，那对理解电势能和电势的区别和联系仍是没有什么帮助的。为了弄清楚它们的物理意义，让我们再来讨论几个例子。

例 1：如图 6 所示，在正的点电荷所产生的电场中，电场力把一个电量 $q_1=0.8 \times 10^{-15}\text{C}$ 的正电荷从 A 点移到无限远

处所做的功 $W = 3.2 \times 10^{-16} \text{J}$ ，另有一个 $q_2 = 3.2 \times 10^{-16} \text{C}$ 的带负电，电场力把它从 B 点移到无限远处所做的功 $W_2 = 6.4 \times 10^{-16} \text{J}$ 。求：

(1) A 、 B 两点的电势各是多少？ A 、 B 两点的电势差 $U_{AB} = ?$

(2) 一个 α 粒子在 A 点和在 B 点时所具有的电势能各是多少？它从 A 点移到 B 点时电场力对它作多少功？

(3) 一个 β 粒子在 A 点和在 B 点时所具有的电势能各是多少？从 B 点移到 A 点时电场力对它作多少功？

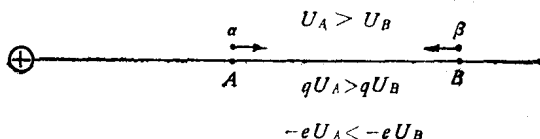


图 6

解：带电体 q_1 从 A 点移到无限远时，电场力对它所做的功的大小等于它所减少的电势能。因为带电体 q_1 在无限远处的电势能可看作零 ($\mathcal{E}_\infty = q_1 U_\infty = q_1 \times 0 = 0$)，所以 q_1 在 A 点的电势能的大小等于电场力把它从 A 点移到无限远时所做的功，即 $\mathcal{E}_A = W_1 = 3.2 \times 10^{-16} \text{J}$ 。因此 A 点的电势

$$U_A = \frac{\mathcal{E}_A}{q_1} = \frac{3.2 \times 10^{-16} \text{J}}{0.8 \times 10^{-16} \text{C}} = 4 \text{V}.$$

同理可求得 B 点的电势

$$U_B = \frac{\mathcal{E}_B}{q_2} = \frac{6.4 \times 10^{-16} \text{J}}{3.2 \times 10^{-16} \text{C}} = 2 \text{V}.$$

A 点和 B 点的电势差 $U_{AB} = 4 \text{V} - 2 \text{V} = 2 \text{V}$ 。

再看 α 粒子在 A 点和 B 点时的电势能：

$$\mathcal{E}_A = qU_A = (2 \times 1.6 \times 10^{-19}) \times 4 = 12.8 \times 10^{-19} \text{J},$$

$$\mathcal{E}_B = qU_B = (2 \times 1.6 \times 10^{-19}) \times 2 = 6.4 \times 10^{-19} (\text{J}).$$

α 粒子从 A 点移到 B 点电场力所做的功，在数值上就等于它所减少的电势能

$$W = \mathcal{E}_A - \mathcal{E}_B = (12.8 - 6.4) \times 10^{-19} = 6.4 \times 10^{-19} (\text{J}).$$

如果已知电势差 $U_{AB} = 2\text{V}$ ，电场力对 α 粒子所做的功也可以这样计算：

$$W = qU_{AB} = (2 \times 1.6 \times 10^{-19}) \times 2 = 6.4 \times 10^{-19} (\text{J}).$$

注意，带正电的 α 粒子在电场力作用下移动时，总是从电势较高的 A 点移向电势较低的 B 点（图 6）；从电势能来看，它也是从电势能较大的地方（ A 点）移向电势能较小的地方（ B 点）。

β 粒子在 A 点和 B 点时所具有的电势能：

$$\mathcal{E}_A = -eU_A = (-1.6 \times 10^{-19}) \times 4 = -6.4 \times 10^{-19} (\text{J}),$$

$$\mathcal{E}_B = -eU_B = (-1.6 \times 10^{-19}) \times 2 = -3.2 \times 10^{-19} (\text{J}).$$

注意，负号后面的数值越大，电势能越小，即 $\mathcal{E}_A < \mathcal{E}_B$ 。因此知道，负电荷（ β 粒子）在电势较高的地方（ A 点）电势能较小，在电势较低的地方（ B 点）电势能较大。在电场力使负电荷移动时，负电荷总是从电势较低的地方（ B 点）移向电势较高的地方（ A 点）。但从电势能来看，负电荷也总是从电势能较大的位置（ B 点）移向电势能较小的位置（ A 点）。

例 2：在负的点电荷所产生的电场中，电场力把正电荷 $q_1 = 0.5 \times 10^{-8}\text{C}$ 从无限远处移到 C 点，做功 $W_1 = 5 \times 10^{-8}\text{J}$ ，而把另一个正电荷 $q_2 = 0.2 \times 10^{-8}\text{C}$ 从无限远处移到 D 点，做功 $W_2 = 0.8 \times 10^{-8}\text{J}$ （图 7）。问：

(1) C 点和 D 点的电势各是多少？哪一点电势较高？它们的电势差是多少？

(2) 一个 α 粒子在 C 点和 D 点所具有的电势能各是多