

教材习题解答

第一章

静电场

第一节 电荷及其守恒定律

【问题与练习】(教材 P₄)

1. 在天气干燥的时候,脱掉外衣时,由于摩擦,外衣和身体都带了电。用手去摸金属门把手,身体放电,于是产生电击的现象。
2. 由于 A、B 是金属导体,可移动的电荷是自由电子。由于 A 带上的是负电荷,所以是电子由 B 转移到 A。A 得到的电子数为 $n = \frac{10^{-8}}{1.6 \times 10^{-19}} = 6.25 \times 10^{10}$ (个),与 B 失去的电子数相等。
3. A 球带正电, B 为不带电的导体。当 B 放在 A 球附近时,由于静电感应,靠近 A 球的那端带负电,远离 A 球的那端带等量的正电,即 A 球与负电荷的吸引力大于 A 球与正电荷的排斥力,故 A、B 之间是吸引力。
4. 此现象并不是说明制造出了永动机,也没有违背能量守恒定律,因为在把 A、B 分开的过程,要克服 A、B 之间的库仑力做功,是把机械能转化为电能的过程。

第二节 库仑定律

【问题与练习】(教材 P₉)

1. A 球与 B 球接触,此时各带电荷量为 $\frac{1}{2}q$ 。然后 B 球与 C 球接触,于是各带电荷量为 $\frac{1}{4}q$ 。再使 A 球与 B 球接触,各自带电荷量为 $\frac{\frac{1}{2}q + \frac{1}{4}q}{2} = \frac{3}{8}q$ 。
2. $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9.0 \times 10^9 \times \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(10^{-15})^2} \text{ N} = 230.4 \text{ N}$ 。
3. 设 A、B 的电荷量为 q 、 $-q$, 距离为 r , 则 $F = -k \frac{q^2}{r^2}$ 。

当用 C 接触 A 时, A 的电荷量 $q_A = \frac{1}{2}q$,

C 再接触 B 后, B 的电荷量 $q_B = \frac{-q + \frac{q}{2}}{2} = -\frac{q}{4}$,

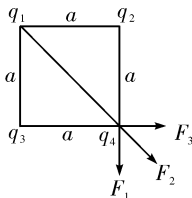
故此时 A、B 球间的静电力

$$F' = k \frac{q_A q_B}{r^2} = -k \frac{\frac{1}{2}q \times \frac{1}{4}q}{r^2} = -\frac{1}{8} \times k \frac{q^2}{r^2} = \frac{1}{8} F,$$

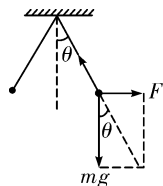
在此情况下再使 A、B 间距离增大为原来的 2 倍, 它们的静电力 $F'' = \frac{1}{2^2} F' = \frac{1}{32} F$ 。

4. 第四个点电荷所受其余三个点电荷的排斥力如答图 1 所示, q_4 共受三个力的作用, $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q$, 所以 $F_1 = F_3 = k \frac{q^2}{a^2}$, $F_2 = k \frac{q^2}{2a^2}$, 根据平行四边形定则, 合力沿对角线向外, 且大小是 $F = 2F_1 \cos 45^\circ + F_2 = \frac{2\sqrt{2}+1}{2} k \frac{q^2}{a^2}$ 。

由于对称性, 每个电荷受到其他三个电荷的静电力的合力的大小都相等, 且沿对角线向外。



答图 1



答图 2

5. 带电体处于平衡状态, 受力如答图 2 所示。由勾股定理知, 球距悬点的竖直高度为 $s = \sqrt{13^2 - 5^2} \text{ cm} = 12 \text{ cm}$ 。

设库仑力为 F , 由相似三角形关系知: $\frac{F}{5} = \frac{mg}{s}$ 。

解得库仑力 $F = \frac{5mg}{s} = \frac{5}{12} \times 0.6 \times 10^{-3} \times 10 \text{ N} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ N}$ 。

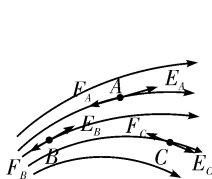
由 $F = \frac{kq^2}{L^2}$ 得:

$$\text{所求电荷量 } q = \sqrt{\frac{FL^2}{k}} = \sqrt{\frac{2.5 \times 10^{-3} \times 0.1^2}{9 \times 10^9}} \text{ C} = 5.3 \times 10^{-8} \text{ C}。$$

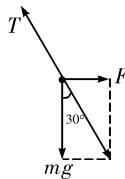
第三节 电场强度

【问题与练习】(教材 P₁₄)

1. $\frac{E_A}{E_B} = \frac{F/q}{nF/q} = \frac{1}{n}$, $\frac{E_A}{E_C} = \frac{F/q}{F/(nq)} = n$ 。
2. $E = k \frac{e}{r^2} = \frac{9.0 \times 10^9 \times 1.6 \times 10^{-19}}{(5.3 \times 10^{-11})^2} \text{ N/C} \approx 5.1 \times 10^{11} \text{ N/C}$, 方向沿半径指向电子。 $F = eE = 1.6 \times 10^{-19} \times 5.1 \times 10^{11} \text{ N} \approx 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}$, 方向沿半径指向质子。
3. 重力场的强度等于单位质量的物体所受到的重力, 即 $\frac{mg}{m} = g$, 单位为牛顿每千克, 方向指向地心。
4. 这种说法是错误的。例如, 当带电粒子的初速度 v 与匀强电场方向不在一条直线上时, 带电粒子在电场力作用下做曲线运动, 其轨迹就不是电场线。
5. (1) B 点电场最强, C 点电场最弱。
(2) A、B、C 三点电场强度的方向如答图 3 所示。
(3) 负点电荷在 A、B、C 三点所受静电力的方向如答图 3 所示。



答图 3



答图 4

6. 小球受重力 mg 、电场力 F 、轻绳的拉力 T 的作用而处于平衡状态, 如答图 4 所示。

$$F = mg \tan 30^\circ = qE。$$

$$\text{所以 } E = \frac{mg}{q} \tan 30^\circ = \frac{1.0 \times 10^{-2} \times 10 \times \frac{\sqrt{3}}{3}}{2.0 \times 10^{-8}} \text{ N/C}$$

$$= 2.89 \times 10^6 \text{ N/C}。$$

7. 因 $|Q_1| > |Q_2|$, 故在 Q_1 点的左侧, Q_1 的电场强度总大于 Q_2 的电场强度, 且方向总指向 x 轴负半轴, 在 $x = 0$ 和 $x = 6 \text{ cm}$ 之间, 电场强度总沿 x 轴正方向, 故只有在 Q_2 右侧电场强度才有可能为零。

(1) 设该位置距 $x = 0$ 点的距离为 x , 则

$$k \frac{Q_1}{x^2} - k \frac{Q_2}{(x-6)^2} = 0。$$

解得: $x_1 = 4 \text{ cm}$ (不合题意, 舍去), $x_2 = 12 \text{ cm}$ 。

(2) 在坐标轴上 $0 < x < 6 \text{ cm}$ 和 $x > 12 \text{ cm}$ 的地方, 电场强度的方向是沿 x 轴正方向的。

说明: 在距离坐标原点 $+\infty$ 和 $-\infty$ 的位置, 电场强度也为零。

第四节 电势能和电势

【问题与练习】(教材 P₁₉)

- $\varphi_A = \frac{E_{pA}}{q_1} = \frac{6 \times 10^{-8}}{4 \times 10^{-9}} \text{ V} = 15 \text{ V}$, $E_{p2} = q_2 \varphi_A = 2 \times 10^{-10} \times 15 \text{ J} = 3 \times 10^{-9} \text{ J}$.
- (1) $\varphi_A = \frac{E_{pA}}{q}$, $\varphi_B = \frac{E_{pB}}{q}$, 因为 $E_{pA} > E_{pB}$, 所以 $\varphi_A > \varphi_B$, 故 A 点电势比 B 点高.
(2) $\varphi_C = \frac{E_{pC}}{-q} = -\frac{E_{pC}}{q}$, $\varphi_D = \frac{E_{pD}}{-q} = -\frac{E_{pD}}{q}$,
因为 $E_{pC} > E_{pD}$, 所以 $\varphi_C < \varphi_D$, 故 D 点电势比 C 点高.
(3) $\varphi_E = \frac{E_{pE}}{q}$, $\varphi_F = \frac{E_{pF}}{-q} = -\frac{E_{pF}}{q}$,
因为 $E_{pE} < 0$, $E_{pF} < 0$, 即 $\varphi_E < 0$, $\varphi_F > 0$.
所以 $\varphi_E < \varphi_F$, 故 F 点电势比 E 点高.
- (1) 使正的试探电荷沿着电场线由 M 移向 N 点, 电场力做正功, 它的电势能逐渐减小, 电势逐渐降低, 所以 M 点电势比 N 点高.
(2) 使正的试探电荷由 M 点移向 P 点, 电场力做正功, 它的电势能减少, 电势降低, 所以 M 点电势比 P 点高.
小结: 电场线指向电势降低的方向.

$$4. E_p = mgh, \varphi = \frac{E_p}{m} = \frac{mgh}{m} = gh.$$

5. 略。

- 不能。假若两个电势不同的等势面相交, 相交处的电势就相等, 这两个等势面的值就不能不同, 所以电场中两个电势不同的等势面不能相交。

7. 电场线如图 5 所示,

$$\text{因 } \varphi_A = \varphi_B = 10 \text{ V}, \varphi_C = 6 \text{ V},$$

$$W_{AB} = q\varphi_A - q\varphi_B = q(\varphi_A - \varphi_B) = q(10 - 10) = 0.$$

同一等势面上, 任何两点间的电势差为零, 所以在同一等势面上移动电荷, 静电力不做功。

$$W_{AC} = q\varphi_A - q\varphi_C = q(\varphi_A - \varphi_C) = q(10 \text{ V} - 6 \text{ V}) = 4q.$$

$$W_{BC} = q\varphi_B - q\varphi_C = q(\varphi_B - \varphi_C) = q(10 \text{ V} - 6 \text{ V}) = 4q.$$

所以 $W_{AC} = W_{BC}$.

两个等势面的电势之差相等, 所以在两个等势面间移动同一电荷, 电场力做功相同。

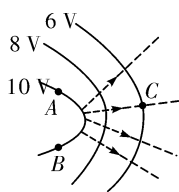


图 5

第五节 电势差

【问题与练习】(教材 P₂₂)

- $W_{AB} = qU_{AB} = -2 \times 10^{-9} \times 20 \text{ J} = -4 \times 10^{-8} \text{ J}$, 静电力做负功 $4 \times 10^{-8} \text{ J}$, 电势能增加 $4 \times 10^{-8} \text{ J}$.
- $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1 \text{ V} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$.
- (1) B 点的电势比 A 点的电势高, 负电荷在 A 点的电势能较大.
(2) 负电荷由 B 移到 A 时, 静电力做负功.
(3) $U_{AB} < 0$, $U_{BA} > 0$.

第六节 电势差与电场强度的关系

【问题与练习】(教材 P₂₃)

- 两板间的电场强度 $E = \frac{U}{d} = \frac{9.0 \times 10^3}{10 \times 10^{-2}} \text{ V/m} = 9.0 \times 10^4 \text{ V/m}$.
尘埃受到的静电力 $F = qE = 1.6 \times 10^{-7} \times 9.0 \times 10^4 \text{ N} = 1.44 \times 10^{-2} \text{ N}$, 静电力所做的功 $W = Fd' = 1.44 \times 10^{-2} \times \frac{1}{2} \times 10 \times 10^{-2} \text{ J} = 7.2 \times 10^{-4} \text{ J}$.
- (1) D 点的电势较 C 点的电势高.
 $U_{CD} = Ed_{CD} = 2 \times 10^4 \times (-5) \times 10^{-2} \text{ V} = -10^3 \text{ V}$.

$$(2) B \text{ 板接地: } \varphi_C = Ed_{CB} = 2 \times 10^4 \times 3 \times 10^{-2} \text{ V} = 600 \text{ V}.$$

$$\varphi_D = Ed_{BD} = 2 \times 10^4 \times 8 \times 10^{-2} \text{ V} = 1.6 \times 10^3 \text{ V}.$$

$$U_{CD} = \varphi_C - \varphi_D = (600 - 1.6 \times 10^3) \text{ V} = -1000 \text{ V}.$$

$$A \text{ 板接地: } \varphi_C = 0 - Ed_{CA} = -2 \times 10^4 \times 7 \times 10^{-2} \text{ V} = -1.4 \times 10^3 \text{ V}.$$

$$\varphi_D = 0 - Ed_{DA} = -2 \times 10^4 \times 2 \times 10^{-2} \text{ V} = -4 \times 10^2 \text{ V}.$$

$$U_{CD} = \varphi_C - \varphi_D = -1.4 \times 10^3 - (-4 \times 10^2) \text{ V} = -1000 \text{ V}, \text{ 在这两种情况下, } U_{CD} \text{ 都是 } -1000 \text{ V}.$$

$$(3) W_{CD} = eU_{CD} = -1.6 \times 10^{-19} \times (-1000) \text{ J} = 1.6 \times 10^{-16} \text{ J}.$$

如果使电子先移到 P 点, 再移到 D 点, 静电力所做的功不会发生变化, 因为电场力做功与路径无关, 只与初、末位置有关。

$$3. E = \frac{U}{d} = \frac{4 \times 10^4}{1.3 \times 10^{-2}} \text{ V/m} = 3.1 \times 10^6 \text{ V/m}.$$

- 小山坡 b 边比 a 边地势更陡些, 小球沿 b 坡滚下加速度更大些, b 边电势降落比 a 边电势降落得快, b 边的电场强度比 a 边大。

第七节 静电现象的应用

【问题与练习】(教材 P₂₈)

- (1) 金属球内的自由电子受到点电荷 +Q 的吸引, 所以在靠近 +Q 的一侧带负电, 在离 +Q 远的一侧带正电.
(2) 在静电平衡状态下, 金属球的内部电场强度处处为 0, 就是说感应电荷在球心产生的电场强度与 +Q 产生的电场强度等大反向. 在球心处 +Q 产生的电场强度为 $E_A = k \frac{Q}{9r^2}$, 所以金属球上感应电荷在球心产生的电场强度大小为 $E_{\text{感}} = k \frac{Q}{9r^2}$, 方向指向 +Q.
- (3) 如果用导线的一端接触球的左侧, 另一端接触球的右侧, 导线不可能把球两侧的电荷中和, 因为金属球是个等势体, 导线连接的是电势相等的两个点, 电荷在两点间不会移动, 就像用水管连接高度相等的两个装水容器, 水不会在水管内流动一样.
- $U = Ed = 3.0 \times 10^6 \times 300 \text{ V} = 9.0 \times 10^8 \text{ V}$.
- 点火器的放电电极做成针尖形是利用尖端放电现象, 使在电压不高的情况下也容易点火. 验电器的金属杆上固定一个金属球是防止出现尖端放电现象, 使验电器在电压较高时也不会放电 (漏电).
- 因为超高压输电线周围存在很强的电场, 带电作业的工人直接进入这样的强电场就会有生命危险, 如果工人穿上包含金属丝的织物制成的工作服, 这身工作服就像一个金属网罩, 可以起到静电屏蔽的作用, 使输电线周围的电场被工作服屏蔽起来, 工人就可以安全作业了。

第八节 电容器的电容

【问题与练习】(教材 P₃₂)

- (1) 把两板间的距离减小, 指针偏角减小.
(2) 把两板间的正对面积减小, 指针偏角增大.
(3) 在两板间插入相对介电常数较大的电介质, 指针偏角减小.
- 由 $C = \frac{\varepsilon_{\text{空}} S}{4\pi kd}$, $\varepsilon_{\text{空}} = 1$, 得 $S = \frac{4\pi kdc}{\varepsilon_{\text{空}}} = 4\pi kdc = 4 \times 3.14 \times 9 \times 10^9 \times 0.1 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-6} \text{ m}^2 = 22.6 \text{ m}^2$, 大约为一扇窗户的 10 倍.
- (1) $Q = UC = 9 \times 3 \times 10^{-12} \text{ C} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ C}$, $Q' = UC' = U \times 2C = 5.4 \times 10^{-11} \text{ C}$.
极板上的电荷增加, 增加了 $\Delta Q = Q' - Q = 2.7 \times 10^{-11} \text{ C}$.
(2) $U' = \frac{Q}{C'} = \frac{Q}{2C} = \frac{2.7 \times 10^{-11}}{2 \times 3 \times 10^{-12}} \text{ V} = 4.5 \text{ V}$.
两极板上的电势差减小了 $\Delta U = U - U' = 4.5 \text{ V}$.
- 因为 $C = \frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$, $U = Ed$, $C = \frac{Q}{U}$, 而在空气中 $\varepsilon = 1$, 即 $\frac{Q}{U} = \frac{S}{4\pi kd}$, 得 $U = \frac{4\pi kdQ}{S}$, 所以 $E = \frac{U}{d} = \frac{4\pi kdQ}{Sd} = 4\pi k \frac{Q}{S}$, 故 E 只与 Q 和 S 有关, 与

d 无关。

第九节 带电粒子在电场中的运动

【问题与练习】(教材 P₃₉)

1. 解法一: $\Delta E_k = E_k = qU = 2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 90 \text{ J} = 2.88 \times 10^{-17} \text{ J}$ 。

$$\text{解法二: } E = \frac{U}{d} = \frac{90}{6.2 \times 10^{-2}} \text{ V/m,}$$

$$\Delta E_k = E_k = qEd = 2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times \frac{90}{6.2 \times 10^{-2}} \times 6.2 \times 10^{-2} \text{ J} = 2.88 \times 10^{-17} \text{ J}。$$

$$\text{解法三: } E = \frac{U}{d}, a = \frac{qE}{m}, v = \sqrt{2ad}, E_k = \frac{1}{2}mv^2 = qU = 2.88 \times 10^{-17} \text{ J}。$$

比较以上三种解法,解法一比较简便。

2. $-eU = 0 - E_{km}, E_{km} = eU = 1.6 \times 10^{-19} \times 12.5 \text{ J} = 2.0 \times 10^{-18} \text{ J}。$

$$\text{所以 } v = \sqrt{\frac{2E_{km}}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \times 2.0 \times 10^{-18}}{0.91 \times 10^{-30}}} \text{ m/s} = 2.1 \times 10^6 \text{ m/s}。$$

3. 设加速电压为 U_0 , 偏转电压为 U , 带电粒子电荷量为 q , 质量为 m , 进入偏转电场的速度为 v_0 , 偏转电场两极板间的距离为 d , 极板长度为 L , 对带电粒子有:

$$\text{在加速电场中获得的动能 } \frac{1}{2}mv_0^2 = qU_0, \text{ 在偏转电场中的加速度 } a =$$

$$\frac{qU}{md}, \text{ 在偏转电场中的运动时间 } t = \frac{L}{v_0}, \text{ 离开偏转电场时沿电场力方向}$$

$$\text{的速度 } v_{\perp} = at = \frac{qU}{md} \cdot \frac{L}{v_0}, \text{ 离开偏转电场时的偏转角度 } \theta \text{ 的正切值}$$

$$\tan \theta = \frac{v_{\perp}}{v_0} = \frac{qUL}{mdv_0^2}。$$

$$(1) \text{ 电子与氢核的初速度相同, 有 } \frac{\tan \theta_e}{\tan \theta_H} = \frac{m_H}{m_e}。$$

$$(2) \text{ 电子与氢核的初动能相同, 有 } \frac{\tan \theta_e}{\tan \theta_H} = 1。$$

4. 设加速电压为 U_0 , 偏转电压为 U , 带电粒子的电荷量为 q , 质量为 m , 垂直进入偏转电场时的速度为 v_0 , 偏转电场极板间的距离为 d , 极板长度为 L , 对带电粒子有:

$$\text{在加速电场中获得的动能 } \frac{1}{2}mv_0^2 = qU_0, \text{ 在偏转电场中的加速度和}$$

$$\text{运动时间为 } a = \frac{qU}{md}, t = \frac{L}{v_0}, \text{ 偏转距离 } y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{qUL^2}{2mdv_0^2} = \frac{UL^2}{4U_0d}, \text{ 即}$$

不同的带电粒子(同号电荷)由静止经过同一加速电场后垂直进入同一偏转电场, 其偏转距离与带电粒子的电荷量和质量无关, 所以不会分离为三股。

5. 电子在加速电场中获得的动能为 $\frac{1}{2}mv_0^2 = qU_0$ ①,

$$\text{在偏转电场中的加速度 } a = \frac{qE}{m} \text{ ②,}$$

$$\text{在偏转电场中运动的时间 } t = \frac{L}{v_0} \text{ ③,}$$

$$\text{由①式得 } v_0 = \sqrt{\frac{2qU_0}{m}} \text{ ④,}$$

$$\text{由②③式得 } v_y = at = \frac{qEL}{mv_0} \text{ ⑤,}$$

$$\text{由④⑤式得 } v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = 1.89 \times 10^7 \text{ m/s,}$$

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{EL}{2U_0} = \frac{5000 \times 6 \times 10^{-2}}{2 \times 1000} = 0.15,$$

$$\theta = 8.53^\circ。$$

第二章

恒定电流

第一节 电源和电流

【问题与练习】(教材 P₄₃)

1. 如果用导线把两个带异号电荷的导体相连, 导线中的自由电子会在

静电力的作用下定向移动, 使带负电荷的导体失去电子, 带正电荷的导体得到电子, 这样会使得两导体周围的电场迅速减弱, 它们之间的电势差很快消失, 两导体成为一个等势体, 达到静电平衡, 因此导线中的电流是瞬时的。如果用导线把电池的正负极相连, 由于电池能源源不断地把经过导线流到正极的电子取走, 补充给负极, 使电池两极之间始终保持一定数量的正、负电荷, 两极周围的空间(包括导线之中)始终存在一定的电场, 导线中的自由电子就能不断地在静电力的作用下定向移动, 形成持续的电流。

$$2. n = \frac{It}{e} = \frac{1.6 \times 1}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.0 \times 10^{19} \text{ (个)}。$$

$$3. \text{ 电子的运动周期 } T = \frac{2\pi r}{v}, \text{ 由 } I = \frac{q}{t} \text{ 得等效电流 } I = \frac{ev}{2\pi r}。$$

第二节 电动势

【问题与练习】(教材 P₄₅)

1. 电动势相同, 内阻不同。

$$2. W = EIt = 1.5 \times 0.3 \times 10 \text{ J} = 4.5 \text{ J}。$$

3. 电动势为 E , 电流为 I , 则乘积 EI 的单位为功率的单位, 即为瓦。它表示非静电力移送电荷时做功的功率。

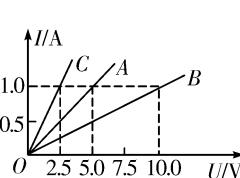
第三节 欧姆定律

【问题与练习】(教材 P₄₈)

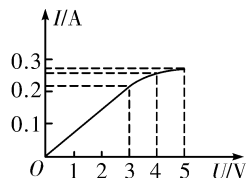
1. 因 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_1}{U_2}$, 故 $I_2 = \frac{U_2}{U_1} \times I_1 = \frac{50 \times 2}{8} \text{ mA} = 12.5 \text{ mA} > 10 \text{ mA}$, 不能用该电流表来测量通过这个电阻的电流。

2. $R_a > R_b = R_c > R_d$ 。

3. 如答图 6 所示。



答图 6

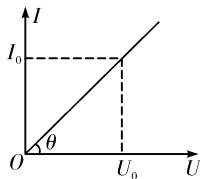


答图 7

4. 由题意知, 灯丝电阻随温度的升高而增大。当温度较低时电阻不变。用横轴表示电压、用纵轴表示电流, 将题中的数据列表, 然后作出图线(如答图 7)。

电压 (V)	0 ~ 3	4	5
电阻 (Ω)	14	16	19
电流 (A)	0 ~ 0.21	0.25	0.26

5. 证明: $k = \tan \theta = \frac{I_0}{U_0} = \frac{1}{R}。$



答图 8

第四节 串联电路和并联电路

【问题与练习】(教材 P₅₂)

1. (1) 因为 R_1 与 R_2 串联, 设通过它们的电流为 I , 可知 $U_1 = IR_1$, $U = I(R_1 + R_2)$, 所以电压之比 $\frac{U_1}{U}$ 与电阻之比 $\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ 相等。

- (2) 设负载电阻为 R_0 , 滑动变阻器下部分电阻为 R_x , 电路结构为负载 R_0 与 R_x 并联后再与 $(R - R_x)$ 串联, 可得:

$$U_{cd} = \frac{R_{并}}{R_{并} + (R - R_x)} \times U = \frac{\frac{R_0 R_x}{R_0 + R_x}}{\frac{R_0 R_x}{R_0 + R_x} + (R - R_x)} \times U$$

$$= \frac{R_0}{- \left(R_x - \frac{RR_0}{R_x} \right) + R} \times U,$$

故当 $R_x = 0$ 时, $U_{cd} = 0$, 当 $R_x = U$ 时, $U_{cd} = U$, 故 U_{cd} 可取从 0 至 U 的任意值。

2. 在甲电路中, 电阻 R 两端的电压测量值是准确的, 但电流表 \textcircled{A} 的读数是通过电阻 R 和电压表 \textcircled{V} 的电流之和。即电流的测量值大于真实值, 电阻的测量值为 R 与 R_V 的并联值, 且 $R_{测} = \frac{RR_V}{R + R_V} = \frac{87.4 \times 10^3}{87.4 + 10^3} \Omega = 80.4 \Omega$ 。在乙电路中, 流过电阻 R 的电流是准确的, 但电压表的读数大于 R 两端的电压, 电阻测量值实际上是 R 与 R_A 的和, $R_{测} = R + R_A = 87.4 \Omega + 0.1 \Omega = 87.5 \Omega$ 。
- 结论: 由于电压表和电流表内阻的影响, 使两种接法中均存在系统误差, 甲图中测量值小于真实值, 乙图中测量值大于真实值, 但相比较而言, 乙图接法的测量误差较小。
3. 可能发生, 产生这种现象的原因是由于电压表的内阻与 R_1 、 R_2 相比不是足够大, 故当电压表并联在 R_1 两端时, 并联电阻小于 R_1 , 故并联后分得的电压小于 R_1 、 R_2 直接串联应分得的电压; 同理, 当电压表并联在 R_2 两端时分得的电压也小于 R_1 、 R_2 直接串联应分得的电压, 故两次读数之和小于总电压。
4. 当使用 a 、 b 两个端点时, $I_g(R_g + R_1) = 10 \text{ V}$, 故 $R_1 = 9.5 \times 10^3 \Omega$, 当使用 a 、 c 两个端点时, $I_g(R_g + R_1 + R_2) = 100 \text{ V}$, 故 $R_2 = 9.0 \times 10^4 \Omega$ 。
5. 当使用 a 、 b 两个端点时, R_2 与 G 串联后与 R_1 并联, 可得 $(R_g + R_2)I_g = (I_1 - I_g)R_1$; 当使用 a 、 c 两个端点时, R_1 与 R_2 串联后与 G 并联, 可得 $R_g I_g = (I_2 - I_g)(R_1 + R_2)$ 。联立解得 $R_1 = 0.41 \Omega$, $R_2 = 3.67 \Omega$ 。

第五节 焦耳定律

【问题与练习】(教材 P₅₅)

1. (1) 串联电路中各处电流相等, 故有 $P_1 : P_2 : P_3 = I_1^2 R_1 : I_2^2 R_2 : I_3^2 R_3 = R_1 : R_2 : R_3$ 。
- (2) 并联电路中各部分电压相等, 故有 $P_1 R_1 = U^2$, $P_2 R_2 = U^2$, $P_3 R_3 = U^2$, 即 $P_1 R_1 = P_2 R_2 = P_3 R_3$, $P_1 : P_2 : P_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$ 。
- (3) 因为 $U = U_1 + U_2 + U_3$, 故 $P = UI = (U_1 + U_2 + U_3)I = P_1 + P_2 + P_3$ 。
- (4) 因为 $I = I_1 + I_2 + I_3$, 故 $P = UI = U(I_1 + I_2 + I_3) = P_1 + P_2 + P_3$ 。
2. (1) 在纯电阻电路中, 由电功率 $P = \frac{U^2}{R}$ 可以知道, S 接通时, R_1 被短路, 电阻丝 R_2 的功率最大, 电饭锅处于加热状态, S 断开时, 线路电阻变大, 电阻丝 R_2 上的电压减小, 电功率变小, 电饭锅处于保温状态。
- (2) 加热状态时的功率: $P_{加热} = \frac{U^2}{R_2}$,
- 保温状态时的功率: $P_{保温} = \left(\frac{U}{R_1 + R_2} \right)^2 R_2$,
- 由于 $P_{加热} = 2P_{保温}$, 则 $\frac{U^2}{R_2} = 2 \frac{U^2 R_2}{(R_1 + R_2)^2}$,
- 解得 $R_1 : R_2 = (\sqrt{2} - 1) : 1$ 。
3. 由 $P = \frac{U^2}{R}$ 知, $R = \frac{U^2}{P}$, 则四个灯泡的电阻大小分别是:
- $$R_a = R_c = \frac{220^2}{40} \Omega = 1210 \Omega.$$

$$R_b = R_d = \frac{220^2}{100} \Omega = 484 \Omega.$$

首先, 将灯泡 b 、 c 合并为一个, 则相当于“三个灯泡”串联, 据串联电路中功率与阻值成正比知, 灯泡 a 的功率最大, 灯泡 d 的功率次之, 然后再分析灯泡 b 、 c , 由于两者并联, 则阻值小的功率大, 即灯泡 c 的功率最小, 即 $P_a > P_d > P_b > P_c$ 。

4. 当只有电炉 A 时, $I = \frac{U}{R_A + 2r} = \frac{220}{100 + 2 \times 5} \text{ A} = 2 \text{ A}$,

$$\text{故 } U_A = IR_A = 200 \text{ V}, P_A = I^2 R_A = 400 \text{ W}.$$

当再并联电炉 B 时, 因 $R_B = R_A$,

$$\text{总电流为 } I' = \frac{U}{\frac{R_A}{2} + 2r} = \frac{220}{\frac{100}{2} + 2 \times 5} \text{ A} = \frac{11}{3} \text{ A}.$$

$$A、B \text{ 电炉上的电压为 } U'_A = U_B = I' \frac{R_A}{2} = \frac{11}{3} \times 50 \text{ V} = \frac{550}{3} \text{ V},$$

$$\text{每个电炉消耗的功率为 } P'_A = P_B = \frac{U'^2_A}{R_A} = \frac{\left(\frac{550}{3} \right)^2}{100} \text{ W} = 336 \text{ W}.$$

5. 电热为 $Q = Pt = 2 \times 10^3 \times 10 \times 60 \text{ J} = 1.2 \times 10^6 \text{ J}$, 水升温吸收的热量

$$\text{为 } Q' = cm\Delta t = 4.2 \times 10^3 \times 2 \times (100 - 20) \text{ J} = 6.72 \times 10^5 \text{ J}, \text{效率为 } \eta = \frac{Q'}{Q} \times 100\% = 56\%.$$

第六节 导体的电阻

【问题与练习】(教材 P₅₉)

1. 小灯泡的电阻为 $R = \frac{U}{I} = \frac{3}{0.25} \Omega = 12 \Omega$ 。

若铜丝长为 10 cm , 横截面直径为 1 mm , 则铜丝的电阻为 $R' = \rho \frac{l}{S} =$

$$1.7 \times 10^{-8} \times \frac{0.1}{\pi(0.5 \times 10^{-3})^2} \Omega = 2.17 \times 10^{-3} \Omega.$$

即 R' 比 R 小得多, 故可不计导线的电阻。

2. 空调的额定电压为 220 V , 已知功率, 可以求线路中的电流。

若再求出导线电阻, 则导线上的电压降就知道了。

$$\text{导线电阻 } R = \rho \frac{l}{S} = 1.7 \times 10^{-8} \times \frac{50}{2.5 \times 10^{-6}} \Omega = 0.34 \Omega, \text{空调工作}$$

$$\text{电流 } I = \frac{P}{U} = \frac{1500}{220} \text{ A} = 6.82 \text{ A}.$$

故导线上损失的电压为 $\Delta U = IR = 6.82 \times 0.34 \text{ V} = 2.32 \text{ V}$ 。

3. 盐水柱的体积不变, 故横截面积变为原来的 $\frac{3}{4}$,

$$\text{因此 } \frac{R'}{R} = \frac{\rho \frac{l'}{S'}}{\rho \frac{l}{S}} = \frac{l'}{l} \cdot \frac{S}{S'} = \frac{4}{3} \times \frac{4}{3} = \frac{16}{9}, \text{所以 } R' = \frac{16}{9} R.$$

$$4. \frac{R_{甲}}{R_{乙}} = \frac{\frac{\rho_{甲} l_{甲}}{S_{甲}}}{\frac{\rho_{乙} l_{乙}}{S_{乙}}} = \frac{\rho_{甲} S_{乙}}{\rho_{乙} S_{甲}} = \frac{\rho_{甲} \pi r_{乙}^2}{\rho_{乙} \pi r_{甲}^2} = \frac{\rho_{甲} r_{乙}^2}{\rho_{乙} r_{甲}^2} = \frac{2}{1} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{2}.$$

(1) 并联时: $P_{甲} : P_{乙} = R_{乙} : R_{甲} = 2 : 1$ 。

(2) 串联时: $P_{甲} : P_{乙} = R_{甲} : R_{乙} = 1 : 2$ 。

第七节 闭合电路的欧姆定律

【问题与练习】(教材 P₆₃)

1. $E = I_1(R_1 + r) = 0.15 \times (8 + r)$, $E = I_2(R_2 + r) = 0.10 \times (13 + r)$. 解得: $E = 1.5 \text{ V}$, $r = 2 \Omega$ 。

2. 每节干电池的电动势为 1.5 V , 两节干电池的电动势为 3.0 V , 设每节干电池的内阻为 r , 两节的总内阻为 $2r$. 由题意得:

$$U_{内} = E - U_{外} = 3.0 \text{ V} - 2.2 \text{ V} = 0.8 \text{ V}.$$

$$\text{又因为 } U_{内} = 2rI, \text{故 } r = \frac{U_{内}}{2I} = \frac{0.8}{2 \times 0.25} \Omega = 1.6 \Omega.$$

3. 不接负载时的电压即为电动势,故 $E = 600 \mu\text{V}$,短路时外电阻 $R = 0$,

$$\text{由闭合电路的欧姆定律得: } r = \frac{E}{I} = \frac{600}{30} \Omega = 20 \Omega.$$

4. 当电源接 4.0Ω 的电阻时,设电源内阻为 r ,

$$\text{由欧姆定律得:电流 } I = \frac{E}{R_1 + r} \text{ ①,}$$

$$\text{路端电压 } U_1 = IR_1 \text{ ②,}$$

$$\text{由①②两式得: } U_1 = \frac{R_1}{R_1 + r} E,$$

$$\text{整理得:内阻 } r = \frac{ER_1}{U_1} - R_1 = \frac{4.5 \times 4.0}{4.0} \Omega - 4.0 \Omega = 0.5 \Omega,$$

若在以上电路并联一个 $R_2 = 6.0 \Omega$ 的电阻时,

$$\text{外电阻 } R_{\text{外}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{4.0 \times 6.0}{4.0 + 6.0} \Omega = 2.4 \Omega,$$

$$\text{路端电压 } U_2 = \frac{E}{R_{\text{外}} + r} \cdot R_{\text{外}} = \frac{4.5}{2.4 + 0.5} \times 2.4 \text{ V} = 3.72 \text{ V}.$$

若在电路中串联 $R_2 = 6.0 \Omega$ 的电阻,

$$\text{则 } R_{\text{外}}' = R_1 + R_2 = 4.0 \Omega + 6.0 \Omega = 10.0 \Omega,$$

$$\text{则路端电压 } U_3 = \frac{E}{R_{\text{外}}' + r} \cdot R_{\text{外}}' = \frac{4.5}{10.0 + 0.5} \times 10.0 \text{ V} = 4.3 \text{ V}.$$

5. 设至少需要 n 节电池,且串联的分压电阻阻值为 R 。

$$\text{由题意知(以用电器分析),线路电流 } I = \frac{P}{U} = \frac{0.6}{6.0} \text{ A} = 0.1 \text{ A},$$

$$\text{由闭合电路的欧姆定律知: } I = \frac{nE}{R + nr + R_0},$$

$$\text{其中 } R_0 \text{ 为用电器的阻值, } R_0 = \frac{U^2}{P} = \frac{6.0^2}{0.6} \Omega = 60 \Omega,$$

$$\text{由前面的式子知: } n = \frac{IR + IR_0}{E - Ir} = \frac{0.1R + 6}{1.4},$$

由于 n 只能取正整数,且 $n > 4$,

当 $n = 5$ 时, $R = 10 \Omega$ 。

故本题中,最少需要五节电池串联,对应的分压电阻的阻值为 10Ω 。

第八节 多用电表的原理

【问题与练习】(教材 P₆₆)

1. 电压表实际上是由表头串联一个定值电阻改装而成,设表头的满偏电流为 I_g ,电压表的内阻为 R_0 ,由题意可知 $3 \text{ V} = I_g R_0$,当电压表串联另一阻值为 R_0 的电阻时,则当指针满偏时,总电压 $U = I_g (R_0 + R_0) = 6 \text{ V}$,为原量程的 2 倍,故刻度盘上的数字对应改为原来的 2 倍,即“0.2、4、6”。

电流表实际上是由表头并联一定值电阻改装而成,设表头的满偏电压为 U_g ,电流表内阻为 R_0 ,由题意知 $3 \text{ A} = \frac{U_g}{R_0}$,当电流表并联阻值为

$$R_0 \text{ 的电阻时,则当指针满偏时,总电流 } I = \frac{U_g}{\frac{R_0}{2}} = 6 \text{ A, 为原量程的 2}$$

倍,故刻度盘上的数字对应改为原来的 2 倍,即“0.2、4、6”。

2. 电压表与大电阻串联,设 $U_0 = 5 \text{ V}$, $U = 110 \text{ V}$,串联电路电流处处相等,即 $\frac{U_0}{R_V} = \frac{U - U_0}{R}$,代入数据得 $R = 420 \text{ k}\Omega$ 。

3. 设电流表、干电池和一个定值电阻串联后的总电阻为 $R_{\text{内}}$,干电池的电动势为 E ,两表笔直接接触时有: $I_0 = \frac{E}{R_{\text{内}}}$;两支表笔与 $R_1 = 200 \Omega$ 的

$$\text{电阻连接时有: } I_1 = \frac{E}{R_{\text{内}} + R_1}; \text{两支表笔与未知电阻 } R \text{ 连接时有: } I =$$

$$\frac{E}{R_{\text{内}} + R}; \text{联立以上方程解得 } R = 300 \Omega.$$

第九节 实验:练习使用多用电表

【问题与练习】(教材 P₆₈)

1.

所选择的挡位	指针读数	
	a	b
直流电压 2.5 V	0.58 mV	2.0 V
直流电流 50 mA	11.5 mA	40.0 mA
电阻 $\times 10$	500 Ω	32 Ω

2. D、B、E

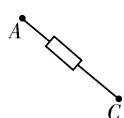
3. (1)红表笔 (2)红表笔 (3)黑表笔

4. 在第(1)步中,电压表测 A、B、C 间无电压,说明 A、B、C 间无电源。

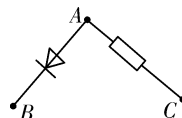
第(2)步 A、C 间正、反向电阻相同,说明 A、C 间接有一个纯电阻,如答图 9 所示。

第(3)步中 A、B 间正、反向电阻差别很大,说明 A、B 间接有一个二极管,且 A 端接二极管的正极。如答图 10 所示。

第(4)步更加明确了(2)(3)步的判断,故电阻、二极管接法如答图 10 所示。



答图 9



答图 10

第十节 实验:测定电池的电动势和内阻

【问题与练习】(教材 P₇₁)

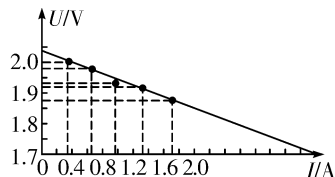
1. 该实验方案的缺点有二。其一,路端电压和电流分两次测量,因受电表内阻的影响,两次测量时电路并不在同一状态之中,即第二次测得的电流值,已不是第一次测电压时的电流值;其二,在测量中需要不断改变电路,实验操作不方便。

2. (1)(2)先由电源的电动势 $E = 2.0 \text{ V}$ (一节蓄电池的电动势)分析,电压表的量程应选 $0 \sim 3 \text{ V}$ 挡,若选 $0 \sim 15 \text{ V}$ 挡,则读数不准确。

定值电阻只有两个,若选用 $R_0 = 10 \Omega$ 的电阻,则线路上的电流最大为 0.2 A ,但电流表的最小量程为 $0 \sim 0.6 \text{ A}$,读数也不准确,故应选 $R_0 = 1 \Omega$ 的定值电阻。

由于测电动势和内阻时要求电流比较小,则可知选量程为 $0 \sim 0.6 \text{ A}$ 的电流表。

3. $U-I$ 图像如答图 11 所示,由图可得: $E = 2.03 \text{ V}$, $r = 0.56 \Omega$ 。



答图 11

第十一节 简单的逻辑电路

略。

第三章

磁场

第一节 磁现象和磁场

【问题与练习】(教材 P₈₂)

1. 扬声器是通过给磁体附近的线圈通电,磁体产生的磁场对线圈产生力的作用,从而使线圈振动,同时带动扬声器的纸盒振动,发出声音,耳机和电话的听筒也是这个道理。

2. 如果有铁质的物体(如小刀等)落入深水中无法取回时,可以用一根足够长的细绳拴一磁体,放入水中将物体吸住,然后拉上来;如果有许多大头针(或小铁屑等)撒落在地上,可以用一块磁铁迅速地将它们拾起来。(图略)

3. 磁的应用分类:(1)利用磁体对铁、钴、镍有吸引力,如门吸、带磁性

的螺丝刀、皮带扣、女式的手提包扣等等。

(2) 利用磁体对通电导线的作用力,如扬声器、耳机、电话、电动机等等。

(3) 利用磁化现象记录信息,如磁卡、磁带、磁盘等等。

第二节 磁感应强度

【问题与练习】(教材 P₈₅)

1. 这种说法不对,磁场中某点的磁感应强度由磁场本身决定,与外界因素,即与检验电流的大小和方向、通电导线的长度、受到的安培力大小无关。定义式 $B = \frac{F}{IL}$ 是一个比值定义式。

2. 由 $B = \frac{F}{IL}$, 可知 $B = \frac{0.015}{20 \times 0.4} \text{ T} \approx 0.0019 \text{ T}$ 。

3. 同一导线通入不同的电流先后放在磁场中的同一位置,并且电流方向都与磁场方向垂直。由于磁场方向是不变的,故导线所在处的磁感应强度是确定的。

由于 $B = \frac{F}{IL}$ 可知,当 L 确定时, $F \propto I$, 则 $F-I$ 图像应是一条过原点的直线,故乙、丙对。

第三节 几种常见的磁场

【问题与练习】(教材 P₉₀)

1. 电流方向由上往下。

2. 小磁针 N 极的指向是垂直纸面向外,指向读者。

3. 通电螺线管内部的磁感应强度比管口外的大,可根据磁感线越密处,磁感应强度越大来判断。

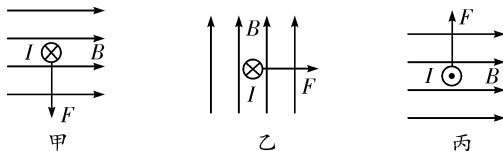
4. 磁场方向沿 x 轴正方向,求磁通量时,应将各面投影到与磁场垂直的方向上。则 S_1 、 S_2 、 S_3 三个面的有效面积为: $S_1' = ab \times bc = 0.4 \times 0.3 \text{ m}^2 = 0.12 \text{ m}^2$, $S_2' = 0$, $S_3' = S_1' = 0.12 \text{ m}^2$ 。

故通过各面的磁通量分别为: $\Phi_1 = S_1' \cdot B = 0.12 \text{ m}^2 \times 0.2 \text{ T} = 0.024 \text{ Wb}$, $\Phi_2 = S_2' \cdot B = 0$, $\Phi_3 = \Phi_1 = 0.024 \text{ Wb}$ 。

第四节 通电导线在磁场中受到的力

【问题与练习】(教材 P₉₄)

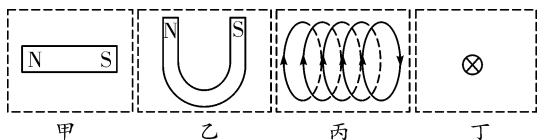
1. 如答图 12 所示。



答图 12

2. (1) 通电导线的 a 端和 b 端受到的安培力分别垂直纸面向外和垂直纸面向内,所以导线会按俯视逆时针方向转动。当转过一个很小的角度后,在向右的磁场分量的作用下,通电导线还会受到向下的安培力,所以导线先转动,后边转动边下移。

(2) 答图 13 所示的甲、乙、丙、丁四个图分别表示虚线框内的磁场源是条形磁体、蹄形磁体、通电螺线管和直线电流及其大致位置。



答图 13

3. (1) 设电流方向未改变时,等臂天平的左盘内砝码质量为 m_1 ,右盘内砝码的质量为 m_2 ,则由等臂天平的平衡条件,有

$$m_1 g = m_2 g - nBIL,$$

电流方向改变后,同理可得 $(m + m_1)g = m_2 g + nBIL$,

$$\text{两式相减,得 } B = \frac{mg}{2nIL}.$$

$$(2) \text{ 将 } n=9, l=10.0 \text{ cm}, I=0.10 \text{ A}, m=8.78 \text{ g} \text{ 代入 } B = \frac{mg}{2nIl},$$

$$\text{得 } B \approx 0.49 \text{ T}.$$

4. 弹簧上下振动,电流交替通断。产生这种现象的原因是:通入电流时,弹簧各相邻线圈中电流方向相同,线圈之间相互吸引,使得弹簧收缩,电路断开;电路断开后,因电流消失,线圈之间的相互作用力消失,因而弹簧恢复原来的状态,电路又被接通,这个过程反复出现,使得弹簧上下振动,电路交替通断。

第五节 运动电荷在磁场中受到的力

【问题与练习】(教材 P₉₈)

1. 第一至第四幅图,带电粒子的受力方向依次为在纸面向上、在纸面向下、垂直于纸面向外(指向读者)和垂直于纸面向里(背离读者)。

2. 由 $F = qvB$ 得 $F = 4.8 \times 10^{-14} \text{ N}$ 。

3. 由二力平衡,有 $qE = qvB$, 所以 $v = E/B$ 。

4. (1) B 板是电源的正极。

(2) 当外电路断开时,在洛伦兹力的作用下,带正、负电的粒子分别向 B 板和 A 板运动,在 A 、 B 之间形成竖直向上的电场,电荷堆积越多,两板电压越大,场强也越大,直到 $qE = qvB$ 时,即 $E = vB$ 时,等离子体做匀速直线运动,此时两极板间的电压为 $U = Ed = Bdv$,这就是该发电机的电动势的大小。

5. 略。

第六节 带电粒子在匀强磁场中的运动

【问题与练习】(教材 P₁₀₂)

1. 由 $qvB = m \frac{v^2}{r}$, 得 $r = \frac{mv}{qB} = 4.6 \times 10^{-2} \text{ m}$, $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB} = 1.8 \times 10^{-7} \text{ s}$ 。

2. (1) 由 $r = \frac{mv}{qB} \propto \frac{m}{q}$ 可知 $r_{\text{质子}} : r_{\text{氦核}} : r_{\alpha\text{粒子}} = \frac{1}{1} : \frac{3}{1} : \frac{4}{2} = 1 : 3 : 2$ 。

$$(2) \text{ 由 } qU = \frac{1}{2}mv^2 \text{ 和 } r = \frac{mv}{qB} \text{ 得 } r = \frac{\sqrt{2mqU}}{qB} \propto \sqrt{\frac{m}{q}},$$

$$\text{所以 } r_{\text{质子}} : r_{\text{氦核}} : r_{\alpha\text{粒子}} = \sqrt{\frac{1}{1}} : \sqrt{\frac{3}{1}} : \sqrt{\frac{4}{2}} = 1 : \sqrt{3} : \sqrt{2}.$$

3. 由 $qU = \frac{1}{2}mv^2$ 和 $r = \frac{mv}{qB}$ 得 $r = \frac{\sqrt{2mqU}}{qB} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}} \propto \sqrt{m}$,

$$\text{所以 } m_A : m_B = r_A^2 : r_B^2 = d_A^2 : d_B^2 = 1.08^2 : 1^2 \approx 1.17.$$

4. 带电粒子离开回旋加速器时,做匀速圆周运动的半径等于 D 形盒的半径,由 $qvB = m \frac{v^2}{r}$ 得 $v = \frac{qBr}{m}$ 。所以,粒子离开 D 形盒时的动能为

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{q^2 B^2 r^2}{2m}.$$