

物理答案详解(下册)

第八章 静电场

第1节 电场力的性质

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

一、1. (1)整数倍 2. (1)相互作用 (2)力 3. (1)转移 转移不变 (2)感应 (3)得失电子

二、1. 真空 电荷量的乘积 距离的二次方 2. $k \frac{q_1 q_2}{r^2}$
 9.0×10^9 3. 真空 点电荷

三、1. 比值 3. $k \frac{Q}{r^2}$ 4. 正电荷 电场力 5. 矢量 平行四边形

四、1. 大小 方向 切线方向 疏密 2. (1)正电荷 (2)不相交 (3)电场强度 (4)电场强度方向 (5)降低 (6)垂直

易错易误辨析

(1)× (2)× (3)× (4)× (5)√ (6)√

细研考点·突破题型

考点1

题组突破

1. D [由于各球之间距离远大于小球的直径,小球带电时可视为点电荷。由库仑定律 $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 知两点电荷间距离不变时,相互间静电力大小与两球所带电荷量的乘积成正比。又由于三小球相同,则接触时平分总电荷量,故有 $q \cdot nq = \frac{nq}{2}$

$\cdot \frac{q + \frac{nq}{2}}{2}$,解得 $n=6$,D 正确。]

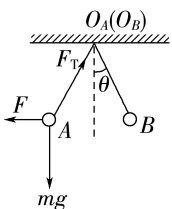
2. D [a 和 b 电荷量为 $+q$, c 和 d 电荷量为 $-q$,则 c 、 d 电荷对 a 电荷的库仑力为引力, b 电荷对 a 电荷的库仑力为斥力。根据库仑定律, $|F_{ca}| = \frac{kq^2}{(\sqrt{2}l)^2}$; $|F_{ba}| = |F_{da}| = k \frac{q^2}{l^2}$;根据力的合成法则, a 电荷所受的电场力大小为: $F = \frac{3kq^2}{2l^2}$,故 A、B、C 错误, D 正确。]

3. ACD [两相同的小球接触后电荷量均分,故两球所带电荷量相等,选项 A 正确;如图所示,由几何关系可知,两球分开后,悬线与竖直方向的夹角为 $\theta = 37^\circ$, A 球所受的静电力 $F = mg \tan 37^\circ = 8.0 \times 10^{-4} \times 10 \times 0.75 \text{ N} = 6.0 \times$

10^{-3} N ,选项 B 错误;根据库仑定律得, $F = k \frac{q_A q_B}{l^2} = k \frac{q_B^2}{l^2}$,解得

$q_B = \sqrt{\frac{Fl^2}{k}} = \sqrt{\frac{6 \times 10^{-3} \times 0.12^2}{9 \times 10^9}} \text{ C} = 4\sqrt{6} \times 10^{-8} \text{ C}$,选项 C

正确; A、B 两球带等量的同种电荷,故在 A、B 两球连线中点处的电场强度为 0,选项 D 正确。]



4. BC [根据对称性可知, A 球的电荷量和 B 球的电荷量相同,故 A 错误;设 C 球的电荷量大小为 q_C ,以 A 球为研究对象, B 球对 A 球的库仑斥力为 $F_{BA} = \frac{kq^2}{l^2}$, C 球对 A 球的库仑引力为 $F_{CA} = \frac{kqq_C}{l^2}$,由题意可知小球运动的加速度方向与 F 的作用线平行,则有: $F_{CA} \sin 30^\circ = F_{BA}$, $F_{CA} \cos 30^\circ = ma$,解得: $q_C = 2q$, $a = \frac{\sqrt{3}kq^2}{ml^2}$, C 球带负电,故 C 球的电荷量为 $-2q$,故 B、C 正确;以三个小球整体为研究对象,根据牛顿第二定律可得: $F = 3ma = \frac{3\sqrt{3}kq^2}{l^2}$,故 D 错误。]

考点2

典例 1 C [由 A 处试探电荷的 $F-q$ 图线可得,该处的电场强度为 $E_1 = \frac{F_1}{q_1} = 4 \times 10^5 \text{ N/C}$,方向水平向右,同理可得, B 处的电场强度为 $E_2 = \frac{F_2}{q_2} = 0.25 \times 10^5 \text{ N/C}$,方向水平向左, A、B 错误;由 A、B 的分析可知,点电荷 Q 应为负电荷,且在 A、B 之间,设 Q 到 A 点的距离为 l ,由点电荷电场强度公式可得 $E_1 = k \frac{Q}{l^2} = 4 \times 10^5 \text{ N/C}$, $E_2 = k \frac{Q}{(0.5-l)^2} = \frac{1}{4} \times 10^5 \text{ N/C}$,联立解得 $l = 0.1 \text{ m}$,故点电荷 Q 的位置坐标为 0.3 m, C 正确, D 错误。]

典例 2 B [根据点电荷的电场强度公式 $E = \frac{kq}{r^2}$ 可得各 $\frac{1}{4}$ 圆环上的电荷在 O 点的电场强度大小相等,再根据矢量合成,求出合场强,最后比较它们的大小即可。由于电荷均匀分布,则相当于各 $\frac{1}{4}$ 圆环上的电荷等效集中于 $\frac{1}{4}$ 圆环的中心,设圆的半径为 r ,则 A 选项中 O 点处的电场强度大小为 $E_A = \frac{kq}{r^2}$;将 B 选项中正、负电荷产生的电场强度进行叠加,两等效电荷场强方向间的夹角为 90° ,则在 O 点的电场强度 $E_B = \frac{\sqrt{2}kq}{r^2}$,方向沿 x 轴负方向; C 选项中两正电荷在 O 点的电场强度为零,则 C 中的电场强度大小为 $E_C = \frac{kq}{r^2}$, D 选项中由于完全对称,易得合电场强度 $E_D = 0$ 。故 O 处电场强度最大的是 B。]

典例 3 D [若三个点电荷都带正电或负电,则三个点电荷在 P 点产生的电场强度叠加后一定不为 0, A、B 错误;几何关系如图 1 所示,若 $Q_1 = Q_3 = -q$,则根据 $E = k \frac{Q}{r^2}$ 分析可知 $E_1 = 4E_3$, Q_1 和 Q_3 在 P 点产生的电场强度叠加后为 E_{13} ,如图 2 所示,与 Q_2 在 P 点产生的电场强度不可能在一条直线上,即 P 点处的电场强度不可能叠加为 0, C 错误;若 $4Q_1 = Q_3 = 4q$, $Q_2 = -\frac{4\sqrt{3}}{3}q$,则根据 $E = k \frac{Q}{r^2}$ 分析可知 $E_1 = E_3 =$

$k \frac{q}{r^2}$, 叠加后 $E_{13} = k \frac{\sqrt{3}q}{r^2}$, 如图 3 所示, 与 Q_2 在 P 点产生的电场强度等大反向, 叠加为 0, D 正确。

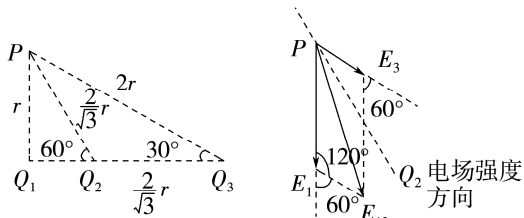


图1

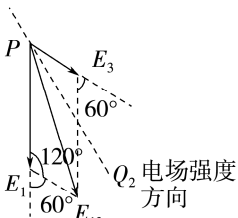


图2

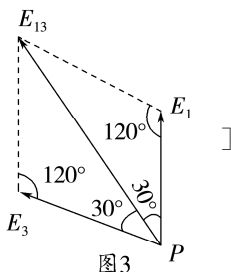


图3

考点 3

典例 4 AC [等量异号点电荷连线的中垂线是一条等势线, 电场强度方向与等势线垂直, 因此 E 、 F 两点电场强度方向相同, 由于 E 、 F 是连线中垂线上相对 O 对称的两点, 则其电场强度大小也相等, 故 A 正确; 根据对称性可知, A 、 D 两点处电场线疏密程度相同, 则 A 、 D 两点电场强度大小相同, 由题图看出, A 、 D 两点电场强度方向相同, 故 B 错误; 由题图看出, B 、 O 、 C 三点比较, O 点的电场线最稀疏, 电场强度最小, 故 C 正确; 从点 E 到 O , 电场线分布由稀疏到密集, 电场强度逐渐增大, 所以电子加速度逐渐增大, 故 D 错误。]

第 2 节 电场能的性质

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

一、1. (1) 路径 (2) 电场方向 任何 2. (1) 势能 3. (1) 减少量 (2) 减少 增加

二、1. (1) 电势能 (3) 标 (4) 相对性 2. (1) 电势相同 (2) 不做功 高 低 越大 小

三、1. 电荷量 q 3. 电场本身的性质 无关 无关 4. $\varphi_A - \varphi_B$ 5. (1) 沿电场方向 (2) 电势降低 电场强度

易错易误辨析

(1) × (2) × (3) × (4) × (5) √ (6) ×

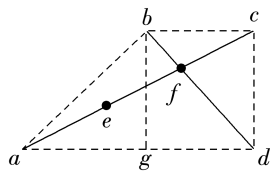
细研考点·突破题型

考点 1

典例 1 D [将一电荷量为 $-q$ 的 Q_1 从无穷远处移到 C 点并固定, 此过程中电场力对点电荷 Q_1 做功为 W , 则点电荷 Q_1 克服电场力做功为 $-W$, 则 $\varphi_P = \frac{-W}{-q} = \frac{W}{q}$, 故 A 错误; 移入 Q_2 的过程中, 原来固定于 B 点的 $+q$ 对 Q_2 做负功为 $-W$, 在 C 点的 $-q$ 对 Q_2 做正功为 W , 则移入 Q_2 的过程中, 电场力对 Q_2 做功为 0, 故 C 错误; 根据等量异种电荷的电势分布可知, AP 为等势线, 若再将 Q_2 沿 AP 连线从 A 点移到 P 点, 此过程中, Q_2 的电势能一直保持不变, 故 D 正确, B 错误。]

考点 2

典例 2 AD [根据题述 a 、 b 、 c 三点电势分别为 4 V、8 V、10 V, 如图所示, g 为 ad 中点, 根据在匀强电场中, 平行线上相等长度的线段电势差相等可知, ad 中



点的电势为 6 V, d 点电势为 8 V, A 正确; 由几何关系可知, $ab \perp bd$, 根据电场线与等势线垂直可知, 电场强度方向沿 ab 方向, 由 $E = \frac{U}{d}$ 可得该匀强电场的电场强度 $E = \frac{U_{ab}}{ab} = 10\sqrt{2}$ V/m, B 错误; 根据电势能公式可知, 电荷量 $q = -2 \times 10^{-5}$ C 的点电荷在 c 点的电势能 $E_p = q\varphi_c = -2 \times 10^{-5} \times 10$ J = -2×10^{-4} J, C 错误; 电荷量 $q = -2 \times 10^{-5}$ C 的点电荷从 a 点移动到 d 点的过程中, 电场力对它做的功为 $W = qU_{ad} = q(\varphi_a - \varphi_d) = -2 \times 10^{-5} \times (4 - 8)$ J = $+8 \times 10^{-5}$ J, D 正确。]

考点 3

典例 3 D [由题图可知, a 粒子的轨迹方向向右弯曲, a 粒子所受静电力方向向右, b 粒子的轨迹向左弯曲, b 粒子所受静电力方向向左, 由于电场线方向未知, 无法判断粒子的电性, 故 A 错误; 由题可知, a 所受静电力逐渐减小, 加速度减小, b 所受静电力逐渐增大, 加速度增大, 故 C 错误; 已知 $MN = NQ$, 由于 MN 段电场强度大于 NQ 段电场强度, 所以 M 、 N 两点电势差大小 $|U_{MN}|$ 大于 NQ 两点电势差大小 $|U_{NQ}|$, 故 B 错误; 根据静电力做功公式 $W = Uq$, $|U_{MN}| > |U_{NQ}|$, a 粒子从等势线 2 到 3 静电力做的功小于 b 粒子从等势线 2 到 1 静电力做的功, 所以 a 粒子到达等势线 3 的动能变化量比 b 粒子到达等势线 1 的动能变化量小, 故 D 正确。]

专题突破七 电场性质的综合应用

细研考点·突破题型

突破一

典例 1 B [设木杆倾角为 θ , M 、 N 之间的高度差为 h , 小环从 M 到 N 、从 N 到 M 电场力做功为 0, 上滑和下滑过程摩擦力做功相等, 设为 W_f , 上滑过程电场力做负功, 下滑过程电场力做正功, 则在上滑和下滑过程对小环应用动能定理分别有 $-mgh + W_f - qEh = 0 - \frac{1}{2}mv_1^2$, $mgh + W_f + qEh = \frac{1}{2}mv_2^2$, 联立解得 $h = \frac{m(v_1^2 + v_2^2)}{4(mg + qE)}$, 故 A 错误; 上滑和下滑过程克服摩擦力做功为 $W_{\text{克}f} = \frac{1}{4}m(v_1^2 - v_2^2)$, 故 B 正确; 从 M 到 N 的过程中, 电场力做负功, 小环的电势能增加量为 $\Delta E_p = qEh = \frac{qEm(v_1^2 + v_2^2)}{4(mg + qE)}$, 故 C 错误; 所以 N 、 M 间的电势差为 $U_{NM} = Eh = \frac{mE(v_1^2 + v_2^2)}{4(mg + qE)}$, 故 D 错误。]

突破二

典例 2 BCD [从 C 到 A 小球的动能一直增大, 说明静电力一直做正功, 故电势能一直减小, 电势一直减小, 故 A 错误, B 正确; 根据动能定理知 $qU_{CB} = \frac{1}{2}mv_B^2 - 0$, 解得 $U_{CB} = 0.9$ V, 故 C 正确; 根据对称性知 O 点电场强度为 0, 由题图乙可知, 小球在 B 点的加速度最大, 故所受的静电力最大,

加速度由静电力产生,故B点的电场强度最大,小球的加速度 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0.3}{5} \text{ m/s}^2 = 0.06 \text{ m/s}^2$,根据牛顿第二定律得 $qE = ma$,联立解得 $E = 1.2 \text{ V/m}$,故D正确。]

典例3 BC [$\varphi-x$ 图像的斜率表示电场强度,由题图可知图像在O点的切线斜率不等于零,故O点的电场强度不为零, $-x_1$ 与 x_1 点的切线斜率相同,故 $-x_1$ 与 x_1 点沿x轴方向的电场强度相同,故A错误,B正确;电势的定义式为 $\varphi = \frac{E_p}{q}$,故电势能 $E_p = q\varphi$,将负电荷从 $-x_1$ 移到 x_1 ,电荷的电势能由负值变为正值,电荷的电势能增大,故C正确; $-x_1$ 和 x_1 两点电势不相等,故一定不在同一等势面上,故D错误。]

典例4 B [由题图可知从O到P电势能一直减小,试探电荷带正电,则电势一直降低,两个点电荷必定是异种电荷,故A错误;从B到C,电势能增加,试探电荷带正电,则电势升高,根据沿电场线方向电势降低可知,B、C间电场强度方向沿x轴负方向,故B正确;根据 E_p-x 图像的切线斜率表示电场力,可知C点电场强度为零,A点的电场强度不等于零,则A点的电场强度大于C点的电场强度,故C错误;将一个负点电荷从B点移到D点,电势先升高后降低,电势能先减小后增大,电场力先做正功后做负功,故D错误。]

典例5 CD [粒子从a点向b点运动, E_k-x 图像的切线斜率减小,根据动能定理,则有 $qEx = E_k$,电场强度减小,因此a点更靠近场源电荷,则a点电场强度比b点电场强度大,若场源电荷是正电荷,则粒子带正电,若场源电荷是负电荷,则粒子带负电,它们带同种电荷,故A错误,C正确;由于不能确定场源电荷的性质,所以也不能确定电场线的方向,不能确定a点电势与b点电势的高低,故B错误;带电粒子仅在静电力作用下从a点运动到b点,静电力做正功,电势能减小,所以带电粒子在a点的电势能大于在b点的电势能,故D正确。]

典例6 CD [由O点到C点,沿电场方向,电势一直降低,A错误;电场强度大小一直在变化,静电力也就在不断变化,带正电的粒子的加速度在不断变化,做变加速运动,B错误;根据E随x的变化规律可知,由A到C电场强度平均值大于OA段电场强度平均值,A到C静电力做功大于 $2E_k$,则粒子运动到C点时动能大于 $3E_k$,C正确;粒子在AB段平均静电力大于BC段平均静电力,则AB段静电力做的功大于BC段静电力做的功,所以在AB段电势能减少量大于BC段电势能减少量,D正确。]

第3节 电容器 带电粒子在电场中的运动

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

一、1. (1)绝缘 (2)绝对值 (3)等量 电场能 2. (1)电荷量

$$(4)10^6 \quad 3. (2)\frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$$

二、2. (2)匀速直线 匀加速直线 运动的合成与分解

$$(3)\frac{qU_1^2}{2mdv_0^2} \quad \frac{qU}{mdv_0^2}$$

三、1. 偏转电极 2. (1)信号电压 扫描电压 (2)中心 信号电压

易错易误辨析

(1)× (2)× (3)× (4)√ (5)× (6)√ (7)×

细研考点·突破题型

考点1

典例1 AB [根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$ 可知,将A板向右平移一小段位移,则两极板正对面积S减小,电容器的电容C减小,故A正确;由题图可知带电液滴受到竖直向上的电场力,电场方向竖直向下,带电液滴带负电荷,若断开S,则电容器所带的电荷量不变,根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$, $C = \frac{Q}{U}$, $E = \frac{U}{d}$,可得 $E = \frac{4\pi k Q}{\epsilon_r S}$ 可知,电场强度不变,B板电势为零,根据 $U_{PB} = Ed_{PB}$ 可得 $\varphi_P - 0 = Ed_{PB}$,可知将B板向下平移一小段位移, d_{PB} 增大,则P点的电势升高,根据 $E_p = q\varphi$ 可知,P点电势升高,带负电荷的液滴电势能减小,故B正确;在S仍闭合的情况下,根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$ 可知,增大两极板距离的过程中,电容器的电容C减小,电容器放电,电阻R中有从a到b的电流,故C错误;根据选项B分析可知,若断开S,减小两极板距离,电场强度不变,液滴受到的电场力不变,则带电液滴不动,故D错误。]

考点2

典例2 B [设电场强度大小为E,两粒子的运动时间相同,对正电荷A有 $a_1 = \frac{q_1 E}{m}$, $\frac{3}{7}l = \frac{1}{2} \cdot \frac{q_1 E}{m} \cdot t^2$,对负电荷B有 $a_2 = \frac{q_2 E}{m}$, $\frac{4}{7}l = \frac{1}{2} \cdot \frac{q_2 E}{m} \cdot t^2$,联立解得 $\frac{q_1}{q_2} = \frac{3}{4}$,A错误,B正确;由动能定理得 $qEx = \frac{1}{2}mv^2 - 0$,求得 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{3}{4}$,选项C、D错误。]

考点3

典例3 解析:(1)根据动能定理有 $eU_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$,

$$\text{得 } v_0 = \sqrt{\frac{2eU_0}{m}},$$

代入数据得 $v_0 \approx 3.0 \times 10^7 \text{ m/s}$ 。

(2)设电子在偏转电场中运动的时间为t,电子射出偏转电场时在竖直方向上的侧移量为y,电子在水平方向做匀速直线运动, $L_1 = v_0 t$,

电子在竖直方向上做匀加速直线运动, $y = \frac{1}{2}at^2$,

根据牛顿第二定律有 $\frac{eU}{d} = ma$,

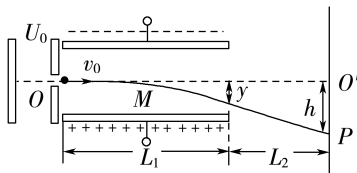
$$\text{联立得 } y = \frac{UL_1^2}{4dU_0},$$

代入数据得 $y = 0.36 \text{ cm}$ 。

电子离开偏转电场时速度的反向延长线过偏转电场的中点

$$M, \text{由图知 } \frac{y}{h} = \frac{\frac{L_1}{2}}{\frac{L_1}{2} + L_2} = \frac{L_1}{L_1 + 2L_2},$$

解得 $h = 0.72 \text{ cm}$ 。



(3) 电子经过偏转电场过程中, 电场力对它做的功 $W = e \frac{U}{d} y \approx 5.8 \times 10^{-18} \text{ J}$.

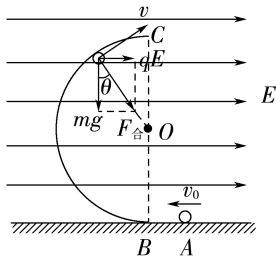
答案: (1) $3.0 \times 10^7 \text{ m/s}$ (2) 0.72 cm (3) $5.8 \times 10^{-18} \text{ J}$

专题突破八 带电粒子(带电体) 在电场中的综合问题

细研考点·突破题型

突破一

典例 1 解析: (1) 小球在半圆环轨道上运动时, 当小球所受重力、电场力的合力方向与速度垂直时, 速度最小。如图所示, 设 $F_{\text{合}}$ 与竖直方向夹角为 θ , 则 $\tan \theta = \frac{qE}{mg} = \frac{3}{4}$, 则 $\theta = 37^\circ$, 故 $F_{\text{合}} = \frac{qE}{\sin 37^\circ} = \frac{5}{4} mg$ 。设此时的速度大小为 v , 由于合力恰好提供小球做圆周运动的向心力, 由牛顿第二定律得 $\frac{5mg}{4} = m \frac{v^2}{R}$



解得 $v = \sqrt{\frac{5gR}{4}}$

从 A 点到该点由动能定理

$$-mgR(1 + \cos 37^\circ) - \frac{3mgR}{4} \left(\frac{1}{3} + \sin 37^\circ \right) = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

解得 $v_0 = \frac{5}{2}\sqrt{gR}$ 。

(2) 设小球运动到 C 点的速度为 v_C , 小球从 A 点到 C 点由动能定理得

$$-2mgR - \frac{3mg}{4} \times \frac{R}{3} = \frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

解得 $v_C = \frac{\sqrt{7gR}}{2}$

当小球离开 C 点后, 在竖直方向做自由落体运动, 水平方向做匀加速直线运动, 设从 C 点到 D 点的运动时间为 t , 水平方向的加速度为 a , B 点到 D 点的水平距离为 x

水平方向上有 $Eq = \frac{3mg}{4} = ma$

$$x = v_C t + \frac{1}{2}at^2$$

竖直方向上有 $2R = \frac{1}{2}gt^2$

联立解得 $x = \left(\sqrt{7} + \frac{3}{2} \right) R$ 。

答案: (1) $\frac{5}{2}\sqrt{gR}$ (2) $\left(\sqrt{7} + \frac{3}{2} \right) R$

突破二

典例 2 D [电压是题图甲时, $0 \sim T$ 时间内, 电场力先向左后向右, 则电子先向左做匀加速直线运动, 后做匀减速直线运动, 即电场力先做正功后做负功, 电势能先减少后增加, 故 A 错误; 电压是题图乙时, 在 $0 \sim \frac{T}{2}$ 时间内, 电子向右先加速后减速, 即电场力先做正功后做负功, 电势能先减少后增加, 故 B 错误; 电压是题图丙时, 电子先向左做加速度先增大后减小的加速运动, 过了 $\frac{T}{2}$ 后做加速度先增大后减小的减速运动, 到 T 时速度减为 0, 之后重复前面的运动, 故电子一直朝同一方向运动, 故 C 错误; 电压是题图丁时, 电子先向左加速, 到 $\frac{T}{4}$ 后向左减速, $\frac{T}{2}$ 后向右加速, $\frac{3}{4}T$ 后向右减速, T 时速度减为零, 之后重复前面的运动, 故电子做往复运动, 故 D 正确。]

典例 3 解析: (1) 电子经电场加速满足 $qU_0 = \frac{1}{2}mv^2$

经电场偏转后侧移量

$$y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qU_{\text{偏}}}{mL} \left(\frac{L}{v} \right)^2$$

所以 $y = \frac{U_{\text{偏}} L}{4U_0}$, 由图知 $t = 0.06 \text{ s}$ 时刻 $U_{\text{偏}} = 1.8U_0$,

所以 $y = 4.5 \text{ cm}$

设打在屏上的点距 O 点的距离为 Y , 满足 $\frac{Y}{y} = \frac{L + \frac{L}{2}}{\frac{L}{2}}$

所以 $Y = 13.5 \text{ cm}$ 。

(2) 由题知电子侧移量 y 的最大值为 $\frac{L}{2}$, 所以当偏转电压超过 $2U_0$, 电子就打不到荧光屏上了, 所以荧光屏上电子能打到的区间长为 $3L = 30 \text{ cm}$ 。

答案: (1) 打在屏上的点位于 O 点上方, 距 O 点 13.5 cm
(2) 30 cm

突破三

典例 4 解析: (1) 设小球到达 B 点的速度大小为 v_B , 从 A 到 B 的过程只有重力和静电力做功,

根据动能定理有: $mgR + qER = \frac{1}{2}mv_B^2 - 0$

得 $v_B = 4 \text{ m/s}$

B 点是圆周运动最低点, 合力提供向心力即 $F_{\text{NB}}' - (mg + qE) = m \frac{v_B^2}{R}$, 得 $F_{\text{NB}}' = 1.2 \text{ N}$

根据牛顿第三定律, 小球对轨道压力大小等于轨道对其弹力大小

即 $F_{\text{NB}} = 1.2 \text{ N}$, 方向竖直向下。

(2) 设小球由 B 点到 D 点的运动时间为 t , 受到竖直向下的重力和静电力, 竖直方向做初速度 0 的匀加速直线运动, 加速度为 a , 水平方向做匀速直线运动。下落高度为 h 的过程

根据速度合成有 $\frac{v_B}{at} = \tan \theta$

竖直方向由牛顿第二定律有 $Eq + mg = ma$

$$h = \frac{1}{2}at^2$$

$$U_{\text{BD}} = Eh$$

联立解得 $U_{BD}=120\text{ V}$ 。

(3) 设 C 、 D 间的距离为 x ，由几何关系有：

$$x = \frac{H-h}{\sin \theta}$$

设物块上滑加速度为 a' ，由牛顿运动定律有：

$$mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta = ma'$$

根据题意，要使物块与小球相遇， v_0 的最小值满足： $v_0^2 = 2a'x$

$$\text{联立解得：} v_0 = \frac{4\sqrt{15}}{5} \text{ m/s} \approx 3.10 \text{ m/s}。$$

答案：(1) 1.2 N，竖直向下 (2) 120 V (3) 3.10 m/s

典例 5 解析：(1) 设乙到达最高点 D 时的速度为 v_D ，乙离开 D 点首次到达水平轨道的时间为 t ，加速度为 a ，乙在水平轨道上的首次落点到 B 点的距离为 x ，乙离开 D 点后做类平抛运动，则

$$2R = \frac{1}{2}at^2, x = v_D t$$

根据牛顿第二定律有 $a = \frac{mg + qE}{m}$

乙过 D 点时有 $mg + qE + F_N = m \frac{v_D^2}{R}$ (式中 F_N 为乙在 D 点时轨道对乙的作用力)

根据牛顿第三定律有 $F_N = F'_N = 2.5mg$

解得 $x = 0.6 \text{ m}$ 。

(2) 设碰撞后瞬间甲、乙两球的速度分别为 v_1 、 v_2 ，根据动量守恒定律和机械能守恒定律有

$$\frac{1}{3}mv_0 = \frac{1}{3}mv_1 + mv_2$$

$$\frac{1}{2} \times \frac{1}{3}mv_0^2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{3}mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2$$

$$\text{联立解得 } v_2 = \frac{1}{2}v_0$$

乙球从 B 到 D 的过程中，根据动能定理有

$$-mg \cdot 2R - qE \cdot 2R = \frac{1}{2}mv_D^2 - \frac{1}{2}mv_2^2$$

由(1)可得 $v_D = 3 \text{ m/s}$

联立解得 $v_0 = 10 \text{ m/s}$ 。

答案：(1) 0.6 m (2) 10 m/s

教考衔接 4 电荷量的测量

拓展高考链接

1. D [初始状态下，液滴处于静止状态时，满足 $Eq = mg$ ，即 $\frac{U}{d}$

$q = \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot \rho g$ ，当电势差调整为 $2U$ 时，若液滴的半径不变，

则满足 $\frac{2U}{d}q' = \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot \rho g$ ，可得 $q' = \frac{q}{2}$ ，A、B 错误；当电势差

调整为 $2U$ 时，若液滴的半径变为 $2r$ 时，则满足 $\frac{2U}{d}q' =$

$\frac{4}{3}\pi (2r)^3 \cdot \rho g$ ，可得 $q' = 4q$ ，C 错误，D 正确。]

2. 解析：(1) 未加电压时，油滴匀速时的速度大小

$$v_1 = \frac{h_1}{t}$$

匀速时 $m_0 g = f$

$$\text{又 } f = km_0^{\frac{1}{3}} v_1$$

$$\text{联立可得 } k = \frac{m_0^{\frac{2}{3}} g t}{h_1}。$$

(2) 加电压后，油滴 A 的速度不变，可知油滴 A 不带电，油滴 B 最后速度方向向上，可知油滴 B 所受电场力向上，极板间电场强度向下，可知油滴 B 带负电

油滴 B 向上匀速运动时，速度大小为 $v_2 = \frac{h_2}{t}$

$$\text{根据平衡条件可得 } m_0 g + km_0^{\frac{1}{3}} v_2 = \frac{U}{d} q$$

$$\text{解得 } q = \frac{m_0 g d (h_1 + h_2)}{h_1 U}$$

$$\text{根据 } \Delta E_p = -W_{\text{电}}$$

$$\text{又 } W_{\text{电}} = \frac{U}{d} \cdot q h_2$$

$$\text{联立解得 } \Delta E_p = -\frac{m_0 g h_2 (h_1 + h_2)}{h_1}。$$

(3) 假设新油滴最终向下匀速运动，速度大小为 v ，则新油滴所受空气阻力向上，由平衡条件得： $2m_0 g = q \frac{U}{d} + k \cdot$

$$(2m_0)^{\frac{1}{3}} v$$

$$\text{解得 } v = \frac{h_1 - h_2}{2^{\frac{1}{3}} t}$$

若 $h_1 > h_2$ ，则 $v > 0$ ，新油滴向下运动

若 $h_1 < h_2$ ，则 $v < 0$ ，新油滴向上运动。

答案：(1) $\frac{m_0^{\frac{2}{3}} g t}{h_1}$ (2) 油滴 A 不带电，油滴 B 带负电，电荷量

$$\text{为 } \frac{m_0 g d (h_1 + h_2)}{h_1 U} - \frac{m_0 g h_2 (h_1 + h_2)}{h_1} \quad (3) \text{ 见解析}$$

3. 解析：(1) 电键 S_1 闭合、 S_2 断开时，电路断路

$$U_{AB} = E_0 = 300 \text{ V}$$

该油滴处于静止状态，两极板间电场强度为 E ，受力平衡 Eq

$$= mg, E = \frac{U_{AB}}{d}$$

$$\text{解得 } q = 3.2 \times 10^{-15} \text{ C}$$

由于电场方向竖直向下，电场力竖直向上，故该油滴带负电。

(2) 闭合电键 S_2 电容器与 R 并联，因此 $U'_{AB} = U_R$

根据闭合电路欧姆定律 $E_0 = I(R + R_0 + r)$

$$U_R = IR$$

$$\text{电场强度 } E' = \frac{U'_{AB}}{d}$$

根据牛顿第二定律 $mg - E'q = ma$

$$\text{油滴下落到 } B \text{ 板由运动学公式 } \frac{d}{2} = \frac{1}{2}at^2$$

$$\text{联立解得 } t = \frac{\sqrt{6}}{10} \text{ s}。$$

$$\text{答案：(1) 负电 } 3.2 \times 10^{-15} \text{ C} \quad (2) t = \frac{\sqrt{6}}{10} \text{ s}$$

第九章 电路及其应用

第 1 节 电路的基本概念和规律

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

一、1. (2) 定向 (3) 正电荷 正 负 负 正 (4) $\frac{q}{t}$

2. (1) 正比 反比 (3) 金属 (4) >

二、1. (1) 导体对电流阻碍作用 越大 (2) 欧姆 Ω

2. (1) 正比 反比 3. (1) 导电性能 (3) 增大 减小

三、 $U_1 + U_2 + U_3$ $I_1 + I_2 + I_3$ $R_1 + R_2 + R_3$

易错易辨析

(1)√ (2)× (3)× (4)× (5)×

细研考点·突破题型

考点 1

题组突破

1. A [由于自由电子落在 B 板上,阳离子落在 A 板上,因此 R 中的电流方向为自上而下,电流大小 $I = \frac{q}{t} = \frac{ne}{t}$,A 正确。]
2. C [由电流定义式可知: $I = \frac{q}{t} = \frac{nvtSe}{t} = neSv$ 。由欧姆定律可得: $U = IR = neSv \cdot \rho \frac{L}{S} = \rho neLv$,又 $E = \frac{U}{L}$,故 $E = \rho nev$,选项 C 正确。]
3. B [在加速电场中有 $eU = \frac{1}{2}mv^2$,得 $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$ 。在刚射出加速电场时,一小段长为 Δl 的电子束内电荷量为 $q = I\Delta t = I \frac{\Delta l}{v}$,则电子个数 $n = \frac{q}{e} = \frac{I\Delta l}{e} \sqrt{\frac{m}{2eU}}$,B 正确。]

考点 2

题组突破

1. BC [该大气层的平均漏电电流约为 $I = \frac{q}{t} = \frac{1.8 \times 10^3}{1} \text{ A} = 1.8 \times 10^3 \text{ A}$,该大气层的等效电阻为 $R = \frac{U}{I} = \frac{3 \times 10^5}{1.8 \times 10^3} \Omega \approx 167 \Omega$,故 A 错误,B 正确;根据 $R = \rho \frac{L}{S}$ 可得,该大气层的平均电阻率约为 $\rho = \frac{RS}{L} = \frac{167 \times 5.0 \times 10^{14}}{5.0 \times 10^4} \Omega \cdot \text{m} \approx 1.7 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{m}$,故 C 正确,D 错误。]
2. B [电流沿 AB 方向时测得导体的电阻为 $R_1 = \rho \frac{a}{bc}$,电流沿 EF 方向时测得导体的电阻为 $R_2 = \rho \frac{c}{ab}$,电流沿 CD 方向时测得导体的电阻为 $R_3 = \rho \frac{b}{ac}$,联立解得 $R_1 : R_2 : R_3 = a^2 : c^2 : b^2$,所以 B 正确,A、C、D 错误。]

考点 3

典例 1 C [由并联电路特点可知电阻丝 MP 段与 PN 段两端电压之比等于 R_0 和 R_x 两端的电压比,即: $\frac{U_{MP}}{U_{PN}} = \frac{U_{R_0}}{U_{R_x}}$;通过电流表的电流为零,说明通过电阻丝两侧的电流相等,通过 R_0 、 R_x 的电流相等,则 $\frac{U_{MP}}{U_{PN}} = \frac{R_{MP}}{R_{PN}}, \frac{U_{R_0}}{U_{R_x}} = \frac{R_0}{R_x}$,故有: $\frac{R_{MP}}{R_{PN}} = \frac{R_0}{R_x}$;根据 $R = \rho \frac{l}{S}$ 有: $\frac{R_{MP}}{R_{PN}} = \frac{l_{MP}}{l_{PN}} = \frac{R_0}{R_x}$,解得: $R_x = \frac{l_{PN}}{l_{MP}} R_0 = \frac{12}{8} \times 100 \Omega = 150 \Omega$,故 C 正确。]

典例 2 A [由题图图像可知,斜率表示电阻的倒数,半导体的伏安特性曲线斜率变大,则阻值随电压的升高而变小,故 A 正确,B 错误;当该电阻两端的电压 $U = U_0$ 时,电阻 $R = \frac{U_0}{I_0}$,由于纵坐标与横坐标的标度不确定,所以不能用 $R = \tan \alpha$,更不能用 $\tan \beta$ 计算,故 C、D 错误。]

典例 3 解析:使用 OA 接线柱时电流表量程 $I_1 = 3 \text{ A}$,则有: $(I_1 - I_g)R_1 = I_g(R_g + R_2)$ ①
使用 OB 接线柱时电流表量程 $I_2 = 0.6 \text{ A}$,则有:

$$(I_2 - I_g)(R_1 + R_2) = I_g R_g \quad ②$$

使用 OC 接线柱时电压表量程 $U = 60 \text{ V}$,则有:

$$U = I_g R_g + \left(I_g + \frac{R_g I_g}{R_1 + R_2} \right) R_3 \quad ③$$

联立①②③解得: $R_1 = 20 \Omega, R_2 = 80 \Omega, R_3 = 50 \Omega$ 。

答案:20 80 50

第 2 节 电能 电路中的能量转化

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

一、1. (1)电场力 (2) $W = Uq = UI t$ 2. (1)快慢 (2)UI

3. (1)热量 (2) $Q = I^2 R t$

二、1. (1)负极 正极 (2) $\frac{W}{q}$ (3)其他形式 2. 导体

三、1. 正比 反比 2. (1) $\frac{E}{R+r}$ 3. (1) $E - Ir$ (3)电源电动势 短路电流 内阻

易错易辨析

(1)× (2)× (3)× (4)√ (5)× (6)×

细研考点·突破题型

考点 1

典例 1 C [由 $P = \frac{U^2}{R}$ 和已知条件可知 $R_A < R_B$ 。对于 A 电路,由于 $R_A < R_B$,所以 $U_B > 110 \text{ V}$,B 灯烧毁两灯不能正常发光;对于 B 电路,由于 $R_A < R_B$,A 灯并联变阻器,并联电阻更小于 R_B ,所以 $U_B > 110 \text{ V}$,B 灯烧毁;对于 C 电路,B 灯与变阻器并联,其总阻值减小,并联电阻可能等于 R_A ,所以可能有 $U_A = U_B = 110 \text{ V}$,两灯可以正常发光;对于 D 电路,若变阻器的有效电阻等于 A、B 的并联电阻,则 $U_A = U_B = 110 \text{ V}$,两灯可以正常发光;比较 C、D 两个电路,由于 C 电路中滑动变阻器功率为 $(I_A - I_B) \times 110 \text{ V}$,而 D 电路中滑动变阻器功率为 $(I_A + I_B) \times 110 \text{ V}$,所以 C 电路消耗电功率最小。]

典例 2 解析:(1)由电路中的电压关系可得电阻 R 的分压

$$U_R = U - U_V = (160 - 110) \text{ V} = 50 \text{ V}$$

$$\text{流过电阻的电流 } I_R = \frac{U_R}{R} = \frac{50}{10} \text{ A} = 5 \text{ A}$$

即通过电动机的电流 $I_M = I_R = 5 \text{ A}$ 。

(2)电动机的分压 $U_M = U_V = 110 \text{ V}$

输入电动机的功率 $P_{\text{电}} = I_M U_M = 550 \text{ W}$ 。

(3)电动机的发热功率 $P_{\text{热}} = I_M^2 r = 20 \text{ W}$

电动机输出的机械功率 $P_{\text{出}} = P_{\text{电}} - P_{\text{热}} = 530 \text{ W}$

又因 $P_{\text{出}} = mgv$,所以 $m = \frac{P_{\text{出}}}{gv} = 53 \text{ kg}$ 。

答案:(1)5 A (2)550 W (3)53 kg

变式 1 解析:转子突然被卡死,电路变为纯电阻电路,根据欧

$$\text{姆定律 } I = \frac{U}{R+r}, U_V = Ir$$

可得: $U_V \approx 11.9 \text{ V}$ 。

答案:11.9 V

变式 2 解析:重物匀速运动时, $mg = F, P_{\text{出}} = Fv'$

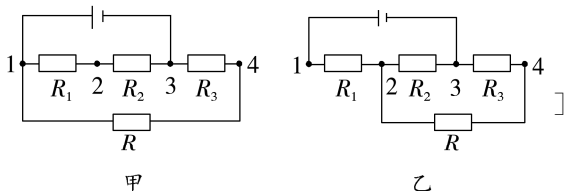
$$\text{又根据动能定理 } P_{\text{出}} t - mgh = \frac{1}{2}mv'^2$$

可得: $h = 29.8 \text{ m}$ 。

答案:29.8 m

考点 2

典例 3 CD [由题意可知, $U_{12}=3.0\text{ V}$, $U_{23}=2.5\text{ V}$, $U_{34}=-1.5\text{ V}$, 可知接线柱 1 的电势最高, 接线柱 3 的电势最低, 则接线柱 1 接电源正极, 接线柱 3 接电源负极, 故 A、B 错误; 当电阻 R 接在接线柱 1、4 之间时, 电路图如图甲所示, $U_R=U_{14}=4\text{ V}$, 故 C 正确; 当电阻 R 接在接线柱 2、4 之间时, 电路图如图乙所示, $U_R=U_{24}=1\text{ V}$, 故 D 正确。



典例 4 BD [当滑动变阻器的滑动触头 P 向下滑动时, 滑动变阻器接入电路的阻值 R_2 变大, 则 $\frac{U_2}{I}=R_2$ 变大, 将定值电阻 R_1 与电源看成一等效电源, 则 U_2 为路端电压, 根据闭合电路欧姆定律有 $U_2=E-I(R_1+r)$, 则有 $\frac{\Delta U_2}{\Delta I}=R_1+r$ 不变, 又 $R_1=\frac{U_1}{I}=\frac{\Delta U_1}{\Delta I}$ 不变, 所以 $\Delta U_1<\Delta U_2$, 选项 A、C 错误, B 正确; $\frac{U_3}{I}=R_1+R_2$ 变大, 根据闭合电路欧姆定律有 $U_3=E-Ir$, 则有 $\frac{\Delta U_3}{\Delta I}=r$ 不变, 选项 D 正确。]

典例 5 BD [法一 程序法 滑片 P 由 a 端向 b 端滑动, 滑动变阻器接入电路的阻值减小, 则电路总电阻减小, 总电流增大, 电阻 R_1 两端电压增大, 电压表 V 示数变大, A 错误; 电阻 R_2 两端的电压 $U_2=E-I_{\text{总}}(R_1+r)$, $I_{\text{总}}$ 增大, 则 U_2 减小, $I_2=\frac{U_2}{R_2}$, 故 I_2 减小, 电流表 A 的示数 $I_A=I_{\text{总}}-I_2$ 增大, B 正确; 由于电容器两端的电压 $U_C=U_2$ 减小, 由 $Q=CU_C$ 知电容器所带电荷量 Q 减少, C 错误; $U_{ab}=\varphi_a-\varphi_b=\varphi_a=U_2$, 故 φ_a 降低, D 正确。

法二 极限法 若将滑片 P 滑至 b 点, 则 $R_3=0$, $\varphi_a=\varphi_b=0$, D 正确; R_2 两端电压为零, 则电容器 C 两端电压也为零, 电容器所带电荷量 $Q=0$, C 错误; 当 $R_3=0$ 时, 电路总电阻最小, 总电流最大, R_1 两端电压最大, 故 A 错误; 由于 $I_A=I_1-I_2$, 此时 I_1 最大, $I_2=0$ 最小, 故 I_A 最大, B 正确。]

典例 6 AB [若电阻 R_1 短路, 电路中总电阻减小, 总电流增大, 灯泡与 R_2 并联的电压增大, 则灯泡变亮, A 正确; 若电阻 R_2 断路, 则总电阻增大, 总电流减小, R_1 及电源内阻分压减小, 灯泡两端的电压增大, 故灯泡变亮, B 正确; 若电阻 R_2 短路, 则灯泡被短路, 灯泡不亮, C 错误; 电容器不通直流电, 所以电容器 C 断路, 对灯泡亮度没有影响, D 错误。]

考点 3

典例 7 解析: 保护电阻消耗的电功率为

$$P_0=\frac{E^2 R_0}{(r+R+R_0)^2},$$

因 R_0 和 r 是常量, 而 R 是变量, 所以 R 最小时, P_0 最大, 即

$$R=0 \text{ 时, } P_{0\text{max}}=\frac{E^2 R_0}{(r+R_0)^2}=\frac{6^2 \times 0.5}{1.5^2} \text{ W}=8 \text{ W}.$$

答案: 0 8 W

拓展延伸 (1)解析: 这时要把保护电阻 R_0 与电源内阻 r 算在一起, 根据以上结论, 当 $R=R_0+r$, 即 $R=0.5\ \Omega+1\ \Omega=1.5\ \Omega$ 时, 电阻箱 R 消耗的功率最大, $P_{R\text{max}}=\frac{E^2}{4(r+R_0)}=\frac{6^2}{4 \times 1.5} \text{ W}=6 \text{ W}.$

答案: 1.5 Ω 6 W

(2)解析: 把 $R_0=5\ \Omega$ 当作电源内阻的一部分, 则等效电源内阻 $r_{\text{等}}$ 为 $6\ \Omega$, 而电阻箱 R 的最大值为 $3\ \Omega$, 小于 $6\ \Omega$,

$$\text{由 } P=\left(\frac{E}{R+r_{\text{等}}}\right)^2 R=\frac{E^2}{\frac{(R-r_{\text{等}})^2}{R}+4r_{\text{等}}}$$

可知不能满足 $R=r_{\text{等}}$, 所以当电阻箱 R 的电阻取 $3\ \Omega$ 时, R 消耗功率最大, 最大值为 $P=\left(\frac{E}{R+r_{\text{等}}}\right)^2 R=\frac{4}{3} \text{ W}.$

答案: 3 Ω $\frac{4}{3} \text{ W}$

(3)解析: 由电功率公式 $P_{\text{出}}=\left(\frac{E}{R_{\text{外}}+r}\right)^2 R_{\text{外}}=\frac{E^2}{\frac{(R_{\text{外}}-r)^2}{R_{\text{外}}}+4r}$,

当 $R_{\text{外}}=r$ 时, $P_{\text{出}}$ 最大, $P_{\text{出max}}=\frac{E^2}{4r}=\frac{6^2}{4 \times 1} \text{ W}=9 \text{ W}.$

答案: 9 W

考点 4

题组突破

1. **BD** [开关闭合后, 电压表测量路端电压, 电流表测量总电流, 当滑动变阻器的滑片 P 由 a 端向 b 端滑动过程中, 其接入电路的电阻减小, 总电流增大, 电源的内电压增大, 路端电压减小, 故电压表的示数变小, 电流表的示数变大, 选项 A 错误, B 正确; 将定值电阻看成电源的内阻, 则等效电源的内阻为 $4\ \Omega$, 滑动变阻器的最大阻值是 $10\ \Omega$, 因为电源的内、外电路电阻相等时电源的输出功率最大, 所以滑片 P 由 a 端向 b 端滑动过程中, 滑动变阻器消耗的功率先变大后变小, 选项 C 错误; 电源的输出功率 $P=I^2 r_{\text{外}}=\frac{E^2}{(r_{\text{外}}+r)^2} r_{\text{外}}=$

$$\frac{E^2}{r_{\text{外}}+2r+\frac{r^2}{r_{\text{外}}}}, \text{ 由数学知识可知, 当 } r=r_{\text{外}} \text{ 时, 电源输出功率最大, 将滑动变阻器的滑片 } P \text{ 由 } a \text{ 端向 } b \text{ 端滑动的过程中, 外电路的电阻的大小向内阻接近, 故输出功率变大, 选项 D 正确。}]$$

2. **BC** [电源电动势 $E=1.5\text{ V}$, 内阻 $r=1\ \Omega$, 在交点位置有 $R+R_0=\frac{U_1}{I}=2\ \Omega$, $R_0=\frac{U_2}{I}=2\ \Omega$, 则 $R=0$, 滑动变阻器的滑动触头 P 滑到了最左端, A 错误; 当电路中外电阻等于电源内阻时, 电源的输出功率最大, 但 $R_0>r$, 故改变滑动变阻器的阻值时无法使电路中外电阻等于电源内阻, 此时外电阻越接近电源内阻, 电源的输出功率越大, B 正确; $P_0=U_2 I=0.5\text{ W}$, C 正确; 电源的效率 $\eta=\frac{EI-I^2 r}{EI}$, 电流越小, 电源的效率越大, 可见滑动变阻器的滑动触头 P 滑到最右端时电源的效率最大, D 错误。]

专题突破九 电学实验基础 (含长度的测量及测量工具的选用)

细研考点·突破题型

突破一

题组突破

1. 解析: (1) 用游标卡尺测量其直径是

$$25 \text{ mm} + 0.05 \text{ mm} \times 0 = 25.00 \text{ mm}.$$

(2) 用螺旋测微器测量其厚度是

$$1.5 \text{ mm} + 0.01 \text{ mm} \times 35.0 = 1.850 \text{ mm}.$$

答案: (1) 25.00 (2) 1.850

2. 解析: (1) 该电阻丝的直径为 $d = 1 \text{ mm} + 41.4 \times 0.01 \text{ mm} = 1.414 \text{ mm}$.

(3) 使用多用电表欧姆挡测电阻时, 为了减小误差, 应尽可能使指针偏转至刻度盘中央附近, 由于该电阻丝的阻值约为 $100 \sim 200 \Omega$, 而表盘中央刻度是“15”, 所以应选择 $\times 10$ 倍率的电阻挡。

(5) 该电阻丝的电阻值为 $R = 16 \times 10 \Omega = 160 \Omega$.

(7) 根据电阻定律有 $R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{4l}{\pi d^2}$, 解得该电阻丝的电阻

$$\text{率为 } \rho = \frac{\pi d^2 R}{4l} \approx 3.14 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{m}.$$

答案: (1) 1.414 (3) $\times 10$ (5) 160

(7) 3.14×10^{-4}

突破二

典例 1 解析: (1) 由题图可判断滑动变阻器为限流接法, 故滑片应滑到 b 端, 使全部阻值接入电路。

(2) 开关 S_2 拨到 c 或 d 分别代表电流表外接和内接, 由题干 $R_x < 10 \Omega$, $R_A \approx 1 \Omega$, $R_V \approx 3 \text{ k}\Omega$ 可知 $R_x < \sqrt{R_A R_V}$, 故电流表应外接, S_2 应拨到 c 。此时电流表所测电流为通过电压表和待测电阻总电流, 所以引起误差的主要原因为电压表分流, 故选 B。

(3) 电流表内阻已知, 则电流表内接, S_2 应拨向 d 。

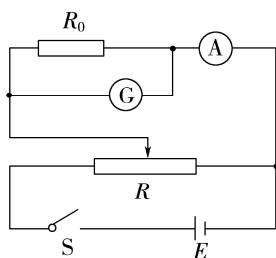
由欧姆定律得: $I = \frac{U}{R_A + R_x}$, $R_x = \frac{U}{I} - R_A$, 代入数据解得 $R_x \approx 6.0 \Omega$ 。

答案: (1) b (2) c B (3) d 6.0

突破三

典例 2 解析: (1) 题中给出的滑动变阻器的最大阻值只有 10Ω , 滑动变阻器采用分压接法, 为了精确得到微安表两端的电压, 可将微安表与定值电阻并联, 通过电流关系得到电压。(2) 由并联电路规律可得 $I_G R_g = (I - I_G) R_0$, 解得 $R_g = 990 \Omega$ 。

答案: (1) 如图所示 (2) 990



实验十 测量金属丝的电阻率

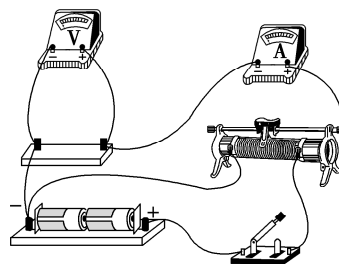
实验类型全突破

类型 1

典例 1 解析: (1) 金属丝直径的测量值为 $d = 0 \text{ mm} + 36.0 \times 0.01 \text{ mm} = 0.360 \text{ mm}$ 。

(2) 将选择开关拨到“ $\times 1 \Omega$ ”挡; 将红、黑表笔短接, 调节欧姆调零旋钮, 使表针指到 0Ω 处; 将红、黑表笔接在金属丝两端, 金属丝电阻值为 $R_x = 6.0 \times 1 \Omega = 6.0 \Omega$ 。

(3) 要求“电表示数从零开始且尽可能地多测几组数据”, 则滑动变阻器应采用分压式接法, 待测金属丝的阻值较小, 电流表应采用外接法, 连线如图所示。电源电动势为 3 V , 电压表选用 V_2 , 待测金属丝的电阻约为 6Ω , 流过电流表的最大电流约为 0.5 A , 电流表选用 A_1 。



(4) 由 $U-I$ 图像的斜率可得, 金属丝的电阻 $R_x = \frac{\Delta U}{\Delta I} =$

$$\frac{2.50 - 0.50}{0.51 - 0.10} \Omega \approx 4.9 \Omega.$$

(5) 由 $R_x = \rho \frac{l}{S}$, 又 $S = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2$, 联立可得 $\rho = \frac{\pi d^2 R_x}{4l}$, 代入

数据可得 $\rho = 1.0 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ 。实验过程中, 如果长时间保持电路闭合, 会使金属丝温度升高, 电阻增大, 这样的操作会使电阻率的测量结果偏大。

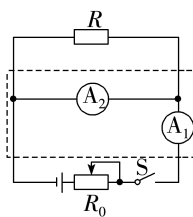
答案: (1) 0.360 (或 0.361) (2) 表针指到 0Ω 处 6.0

(3) 电路图见解析图 A_1 V_2 (4) 4.9 (5) 1.0×10^{-6} 偏大

类型 2

典例 2 解析: 多用电表读数为 $6 \times 1 \Omega = 6 \Omega$ 。

(1) 给出的器材中只有电流表, 没有电压表, 但其中一个电流表给出了其内阻, 可将此电流表当电压表使用, 利用伏安法测电阻, 测量电路如图所示。



(2) 由欧姆定律可知 $I_2 r_2 = (I_1 - I_2) R$, 解得 $R = \frac{I_2 r_2}{I_1 - I_2}$ 。

(3) 螺旋测微器读数 $a = 5.5 \text{ mm} + 0.01 \text{ mm} \times 16.5 = 5.665 \text{ mm}$; 由几何关系可得导体的横截面积为 $S = \frac{\sqrt{3}}{4} a^2 -$

$\frac{\sqrt{3}}{4} \left(\frac{a_0}{2} \right)^2 = \frac{3\sqrt{3}}{16} a^2$, 则根据电阻定律 $R = \rho \frac{L}{S}$, 解得

$$\rho = \frac{3\sqrt{3} a^2 I_2 r_2}{16L(I_1 - I_2)}.$$

答案: 6 (1) 见解析图 (2) $\frac{I_2 r_2}{I_1 - I_2}$

(3) 5.665 (5.663 ~ 5.667 均可) $\frac{3\sqrt{3} a^2 I_2 r_2}{16L(I_1 - I_2)}$

典例 3 解析: (1)由题图乙可知读数为 $R_x = 16.0 \times 100 \Omega = 1\ 600 \Omega$ 。

(2)因为待测电阻的阻值远大于滑动变阻器的阻值,滑动变阻器采用限流式接法起不到调节作用,故应选用分压电路;因为没有电压表,所以用内阻已知的 A_1 与电阻箱改装电压表;回路中的最大电流为 $\frac{4.5}{1\ 600} A \approx 2.8\text{ mA}$,故电流表可以选 A_2 ,电流表内阻已知,由于流过电压表的电流可以直接读出,故采用外接法,故电路图选 C。

(3)根据图示电路图,由欧姆定律可知,废水的电阻:

$$R = \frac{I_1(r_1 + R_1)}{I - I_1}$$

$$\text{废水电阻 } R = \rho \frac{L}{S} = \rho \frac{a}{bh}$$

$$\text{整理得: } I = \frac{I_1(r_1 + R_1)b}{\rho a} h + I_1$$

由图示 $I-h$ 图像可知,纵轴截距 $I_0 = I_1$

$$\text{图像的斜率 } k = \frac{I_1(r_1 + R_1)b}{\rho a}$$

$$\text{解得废水的电阻率 } \rho = \frac{I_0(r_1 + R_1)b}{ka}$$

答案: (1)1 600 (2)C (3) $\frac{I_0(r_1 + R_1)b}{ka}$

典例 4 解析: (1)螺旋测微器固定刻度上的半毫米刻线没有露出,可动刻度上的格数要估读一位,读数应为 $0.01\text{ mm} \times 40.0 = 0.400\text{ mm}$ 。

(2)由闭合电路欧姆定律有 $I = \frac{E}{r + R_0 + R_x}$,变形得 $\frac{1}{I} =$

$\frac{r + R_0}{E} + \frac{R_x}{E}$,由电阻定律 $R_x = \rho \frac{x}{S}$, $S = \frac{\pi d^2}{4}$,代入上式得 $\frac{1}{I} =$

$\frac{r + R_0}{E} + \frac{4\rho}{\pi E d^2} x$,可看出 $\frac{1}{I}$ 与 x 是一次函数关系,函数图像的斜

率 $k = \frac{4\rho}{\pi E d^2}$;由题图丙中的数据算出图像的斜率 $k = \frac{3.57 - 1.77}{0.60}$

$A^{-1} \cdot m^{-1} = 3 A^{-1} \cdot m^{-1}$,则 $\rho = \frac{k\pi E d^2}{4} =$

$\frac{3 \times \pi \times 3.0 \times (4 \times 10^{-4})^2}{4} \Omega \cdot m \approx 1.1 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$;题图丙中

$\frac{1}{I}-x$ 关系图线的纵截距为 $1.77 A^{-1}$,此时待测电阻丝电阻

为零,由闭合电路欧姆定律得: $E = I(r + R_0)$,解得 $r \approx 1.3 \Omega$ 。

答案: (1)0.400 (2) $\frac{4\rho}{\pi E d^2}$ 1.1×10^{-6} 1.3

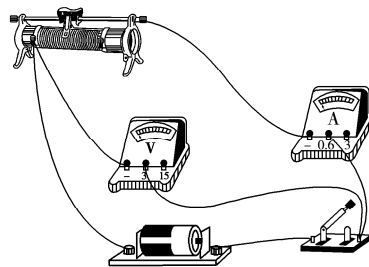
实验十一 测量电池的电动势和内阻

实验类型全突破

类型 1

典例 1 解析: (1)本实验测量干电池的内阻,由于干电池的内阻较小,为了调节滑动变阻器使电流表、电压表示数变化明显,所以滑动变阻器的阻值与电池内阻相差不大,选 20Ω 阻值的滑动变阻器。故选 A。

(2)由于电池内阻较小,故电流表相对于电源采用外接法,一节干电池电动势约为 1.5 V ,故电压表采用 3 V 量程,正确实物图接法如图。



(3)①由闭合电路欧姆定律 $E = U + Ir$

化简可得 $U = -r \cdot I + E$

由题图可知,纵截距为 $b = E = 1.28\text{ V}$

斜率为 $|k| = r = \frac{1.28 - 0.68}{0.40 - 0} \Omega = 1.5 \Omega$

故该电池的电动势为 1.28 V ,内阻为 1.5Ω 。

②对比图(b)中的甲、乙图线可知,电池在使用后,纵截距变小,斜率变大,在 $U-I$ 图像中,纵截距表示电池的电动势,斜率的绝对值表示内阻,故该电池在使用后电动势变小,内阻变大。

答案: (1)A (2)见解析图 (3)①1.28 1.5 ②变小

变大

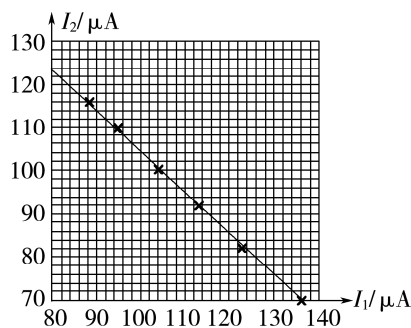
类型 2

典例 2 解析: (1)为了保护电路,调节电阻箱的阻值为 $8\ 888.8 \Omega$ 。

(2)此时流过 R_1 的电流为 $I_{R1} = (123.0 - 82.0) \mu A = 41.0 \mu A$,由并联电路可知,电流之比等于电阻的反比,则

$\frac{6\ 000.0 \Omega}{2\ 545.0 \Omega + r_G} = \frac{82.0 \mu A}{41.0 \mu A}$,解得 $r_G = 455.0 \Omega$ 。

(3)描点作图,如图所示



(4) G_2 和 R_2 的总电阻为 $2\ 545.0 \Omega + 455.0 \Omega = 3\ 000.0 \Omega$,由

图像可得电源的内阻 $r + r_G = \frac{\Delta U}{\Delta I_1} =$

$\frac{(124 - 70) \times 10^{-6} A \times 3\ 000.0 \Omega}{(136 - 80) \times 10^{-6} A} \approx 2\ 892.86 \Omega$,则 $r =$

$2\ 892.86 \Omega - 455.0 \Omega = 2\ 437.86 \Omega \approx 2.4 \times 10^3 \Omega$,又电源电

动势 $E = I_2 \times 3\ 000 + I_1(r + r_G)$,取 $I_1 = 136.0 \mu A$ 以及 $I_2 = 70 \mu A$,代入可得 $E \approx 0.60\text{ V}$ 。

答案: (1)8 888.8 (2)455.0 (3)图见解析 (4) 2.4×10^3 ($2.3 \times 10^3, 2.5 \times 10^3$ 均可) $0.60(0.57 \sim 0.62$ 均可)

典例 3 解析: (2)为了保护电流表,闭合开关前应使电路中的电阻最大,故金属夹应夹在电阻丝的 b 端。(4)由闭合电路的欧姆定律得 $E = I(r + R_A + R_0 + \theta r_0)$,整理得 $\frac{1}{I} = \frac{1}{E}(r +$

$R_A + R_0) + \frac{r_0}{E}\theta$, 结合题图(b)可得 $k = \frac{r_0}{E}$, $d = \frac{1}{E}(r + R_A +$

$R_0)$, 解得 $E = \frac{r_0}{k}$, $r = \frac{dr_0}{k} - R_A -$

R_0 。(5)实验电路图如图所示, 先

将单刀双掷开关 S 接 1, 记下电流

表的示数 I_0 , 然后将单刀双掷开

关 S 接 2, 移动金属夹的位置, 直

到电流表的示数为 I_0 , 记下此时接入电路的电阻丝对应的

圆心角 θ_0 , 则 $r_0 = \frac{R_0}{\theta_0}$ 。

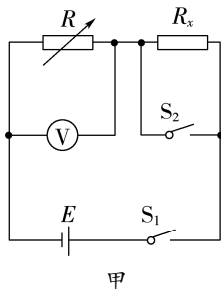
(6)由(4)、(5)得 $E = \frac{r_0}{k} = \frac{R_0}{k\theta_0}$, $r = \frac{dr_0}{k} - R_A - R_0 = \left(\frac{d}{k\theta_0} - 1\right)$

$R_0 - R_A$

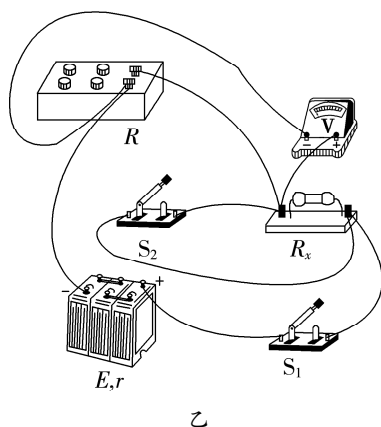
答案:(2)b (4) $\frac{r_0}{k}$ $\frac{dr_0}{k} - R_A - R_0$ (5)见解析图

(6) $\frac{R_0}{k\theta_0}$ $\left(\frac{d}{k\theta_0} - 1\right)R_0 - R_A$

典例 4 解析:(1)通过开关 S_2 控制电路中的电阻 R_x 是否接入电路, 电路原理图如图甲所示:



故实物连线图如图乙所示:



(2)③闭合 S_1 、 S_2 , 有 $E = U + \frac{U}{R}r$, 故有

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{E} + \frac{r}{E} \cdot \frac{1}{R};$$

保持 S_1 闭合, 断开 S_2 , 有 $E = U + \frac{U}{R}(r + R_x)$

$$\text{故有 } \frac{1}{U} = \frac{1}{E} + \frac{r + R_x}{E} \cdot \frac{1}{R}$$

结合 $\frac{1}{U} - \frac{1}{R}$ 图像可知, $\frac{1}{E} = c$, $\frac{r + R_x}{E} = \frac{c}{b}$, $\frac{r}{E} = \frac{c}{a}$

解得: $E = \frac{1}{c}$, $r = \frac{1}{a}$, $R_x = \frac{1}{b} - \frac{1}{a}$ 。

答案:(1)见解析 (2) $\frac{1}{c}$ $\frac{1}{a}$ $\frac{1}{b} - \frac{1}{a}$

实验十二 用多用电表测量 电学中的物理量

实验类型全突破

类型 1

典例 1 解析:(1)指针式多用电表使用前应该调整指针定位螺丝, 使指针指向“0”;

(2)用指针式多用电表测几百欧姆电阻时, 应先将开关旋转到“ $\times 10$ ”位置, 再将红表笔和黑表笔直接接触, 最后调节欧姆调零旋钮使指针指向欧姆零点, 所以正确的顺序是 BAC。

该电阻的阻值为

$$19.3 \times 10 \Omega = 193 \Omega.$$

(3)电池的负极应接多用电表的负极, 则应接多用电表的红表笔;

触点在 a 端时 G 满偏, 则 R_T 与 G 串联, 串联部分的电压为

$$U_1 = I_g(R_T + R_g) = 0.30 \text{ V}$$

根据串并联电路的特点可知 R_2 两端的电压为

$$U_2 = E - U_1 = 1.20 \text{ V}$$

所以通过 R_2 的电流为

$$I = \frac{U_2}{R_2} = 250 \mu\text{A}$$

则通过 R_1 的电流为

$$I_1 = I - I_g = 150 \mu\text{A}$$

根据部分电路欧姆定律得

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = 2000 \Omega = 2 \text{ k}\Omega.$$

答案:(1)指针定位螺丝 (2)BAC 193 (3)红 2

类型 2

典例 2 解析:(1)根据闭合电路欧姆定律得 $R_2 = \frac{U - I_g R_g}{I_g} =$

$$\frac{250 - 0.01 \times 10}{0.01} \Omega = 24990 \Omega.$$

(2)由题图甲所示电路可知, 选择开关接“1”时为电流表, 量程为 10 mA, 图示表盘的分度值为 0.2 mA, 示数为 7.0 mA。

(3)②电阻箱的示数为 $(0 \times 1000 + 1 \times 100 + 5 \times 10 + 0 \times 1) \Omega = 150 \Omega$, 即 C 处刻度线的标注值应为 150 Ω 。由题意知, 电阻箱阻值等于中值电阻, 又中值电阻等于欧姆表内阻 R_Ω , 则 $R_\Omega = 150 \Omega$ 。

③根据闭合电路欧姆定律, 满偏时 $I_g = \frac{E}{R_\Omega}$, 当电流表示数为

$$8 \text{ mA 时}, I = \frac{E}{R_\Omega + R_x}, \text{解得 } R_x = 37.5 \Omega.$$

④使用欧姆挡时, 多用电表内部电池的正极接黑表笔, 负极接红表笔, 从电源外部看, 电流从红表笔流入, 从黑表笔流出, 故黑表笔接电压表正接线柱。由闭合电路欧姆定律知电

压表的示数 $U = \frac{E}{R_\Omega + R_V} R_V$, 解得电压表内阻 $R_V = \frac{U R_\Omega}{E - U} =$

$$\frac{1.45 \times 150}{1.5 - 1.45} \Omega = 4350 \Omega.$$

答案:(1)24 990 (2)7.0 (3)②150 ③37.5 ④黑 4 350

典例 3 解析:(1)根据题意, 由串联电路电压的关系有: $E =$

$$U_m + \frac{U_m}{R_V} \times R_1$$

$$E = U + \frac{U}{R_V} \times R_2$$

将 $U_m = 3 \text{ V}$, $U = 2 \text{ V}$, $R_1 = 3 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 6 \text{ k}\Omega$ 代入

可得: $R_V = 3 \text{ k}\Omega$, $E = 6 \text{ V}$ 。

(2)①电压表的示数指在 3 V 的位置,则电阻箱

$$R = \frac{E-U}{\frac{U}{R_V}} = \frac{6-3}{\frac{3}{3 \times 10^3}} \Omega = 3\,000 \Omega = 3 \text{ k}\Omega$$

由于此时两表笔是断开的,所以应刻“ ∞ ”。

②当电压表指在中央 $U' = 1.5 \text{ V}$,那么

$$R_x = \frac{U'}{\frac{E-U'}{R} - \frac{U'}{R_V}} = \frac{1.5}{\frac{6-1.5}{3 \times 10^3} - \frac{1.5}{3 \times 10^3}} \Omega = 1\,500 \Omega = 1.5 \text{ k}\Omega$$

答案:(1)3 6 (2)①3 ∞ ②1.5

典例 4 解析:(1)机械调零后,应当进行欧姆调零,操作方法为:将欧姆表的红、黑表笔短接,调节欧姆调零旋钮,使欧姆表的指针指到表盘的右侧零刻度线。

(2)根据题图甲可知欧姆表的 b 表笔与毫安表的正接线柱相连,对于毫安表电流是从正接线柱流入,负接线柱流出,则可知对于欧姆表电流是从 b 表笔流出, a 表笔流入,依据“红入黑出”原则,可知 a 表笔为红表笔。

(3)设欧姆表内的电源电动势为 E ,欧姆表内阻为 r ,根据闭合电路欧姆定律得: $U = E - Ir$

可知 $U-I$ 图像的斜率的绝对值等于欧姆表内阻为 r ,则有:

$$r = \frac{1.5 - 1.35}{0.5 \times 10^{-3}} \Omega = 300 \Omega$$

若考虑毫安表内阻影响,设毫安表内阻为 R_A ,则有: $U = E - I(r_{\text{真}} + R_A)$

则测量值 $r_{\text{测}} = r_{\text{真}} + R_A$,故测量值比真实值偏大。

(4)设欧姆表满偏电流为 I_g ,则有: $I_g = \frac{E}{r}$

当指针指在正中央刻度时,电流为满偏电流的一半,设此时被测电阻为 R ,则有: $\frac{I_g}{2} = \frac{E}{r+R}$

两式对比可得: $R = r$,说明此时被测电阻等于欧姆表内阻 300Ω ,故正中央刻度值乘以此时倍率(已知倍率为“ $\times 10$ ”)等于 300Ω ,则正中央刻度应标记的数值为 30;

电流为满偏电流的 $\frac{3}{4}$ 时,设此时被测电阻为 R' ,则有: $\frac{3}{4} I_g = \frac{E}{r+R'}$

可得: $R' = \frac{r}{3} = \frac{300}{3} \Omega = 100 \Omega$,同理可知此处的刻度应标记的数值为 10。

答案:(1)短接 右侧零刻度线 (2)红 (3)300 偏大 (4)30 10

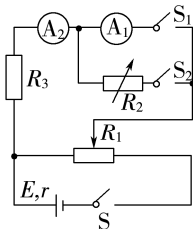
专题突破十 测量电阻常用的四种方法

细研考点·突破题型 突破一

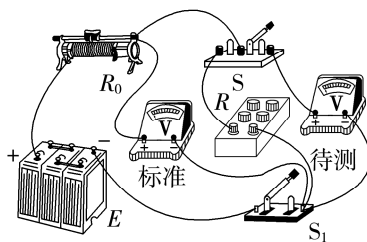
典例 1 解析:(1)滑动变阻器的最大阻值远小于待测电流表内阻,因此必须采用分压式接法,电路图如图所示。

(2)a. 实验前电阻箱 R_2 应该调节到最大,以保证两电表安全;c. 让电流表 A_2 示数不变,可直接从电阻箱 R_2 的读数得到电流表 A_1 的内阻 r_1 。

答案:(1)见解析图 (2)a. 最大 c. 再次为 I (或仍为 I) R_0



典例 2 解析:(1)实物图连线如图所示。



(2)①将 S 拨向接点 1,闭合 S_1 ,调节 R_0 ,使标准电压表 V_0 指针偏转到适当位置,记下此时标准电压表 V_0 的读数 U ;

②然后将 S 拨向接点 2,保持 R_0 不变,调节 R ,使标准电压表 V_0 读数仍为 U ,记下此时 R 的读数;

③多次重复上述过程,计算 R 读数的平均值,即为待测电压表内阻的测量值。

(3)原因:电阻箱阻值不连续;电流通过电阻时电阻发热导致电阻阻值发生变化;电源连续使用较长时间,电动势降低,内阻增大等。

答案:(1)见解析图 (2)① R_0 V_0 ② R 标准电压表 V_0 读数仍为 U ③平均值 (3)见解析

突破二

典例 3 解析:(1) K_2 闭合前后的两次电路,如果干路电流变化不大,那么就可以认为 K_2 闭合后,电流表半偏时,电流表和电阻箱 R_2 所分的电流各占一半,又因为二者并联,两端的电压相等,自然就可以推出电流表的内阻和电阻箱 R_2 的阻值相等。要保证两次实验干路的电流变化不大,就需要保证两次实验电路的总电阻变化不大,也就是说,在给电流表并联上一个电阻箱后导致的电阻变化,对整个电路影响不大。要达到这个效果, R_1 就需要选一个尽可能大的电阻,可以是电阻箱,也可以是滑动变阻器,也可以是电位器,但阻值要尽可能地大,经此分析, R_1 应选用 D。该实验要通过可变电阻 R_2 阻值来间接反映出电流表的内阻值,因此可变电阻 R_2 的选取原则是:能读数且尽量和电流表的内阻在同一数量级上。经此分析,可变电阻 R_2 应选用 C。在 R_1 是一个尽可能大的电阻、电流表满偏的前提下,那么电源电动势相对地就要大一些,但不是越大越好,过大会损坏电表,故选用 F。

(2)半偏法测电流表内阻的步骤为:实验前,将 R_1 的阻值调到最大;合上开关 K_1 ;调节 R_1 的阻值,使电流表指针偏转到满刻度;保持 R_1 的阻值不变,合上开关 K_2 ;调节 R_2 的阻值,使电流表指针偏转到满刻度的一半;记下 R_2 的阻值。我们就认为电流表的内阻值就是 R_2 的阻值。因此答案为:c、a、d、b、e、f。

(3)根据(1)中的分析可知,电流表的内阻 R_g 的测量值,就等于电阻箱 R_2 的阻值,即 600Ω 。

(4)该同学的判断可行。只需保证步骤 abcd 不变。例如在步骤 e 中,可以调节 R_2 的阻值,使电流表指针偏转到满刻度的三分之二,记下此时 R_2 的阻值,根据并联电路反比分流原则,计算出电流表内阻的测量值 $R_g' = \frac{R_2}{2}$,同样可以测得电流表的内阻。

答案:(1)D C F (2)cadbef (3)600 (4)可行

典例 4 解析:(1)从实验原理分析可知,当再断开开关 S_2 ,调整电阻箱 R_0 的阻值,从而使得滑动变阻器两端电压变大,即使电压表示数为一半,而电阻箱 R_0 的电压偏大,导致所测电阻也偏大,所以测量电阻大于真实电阻。

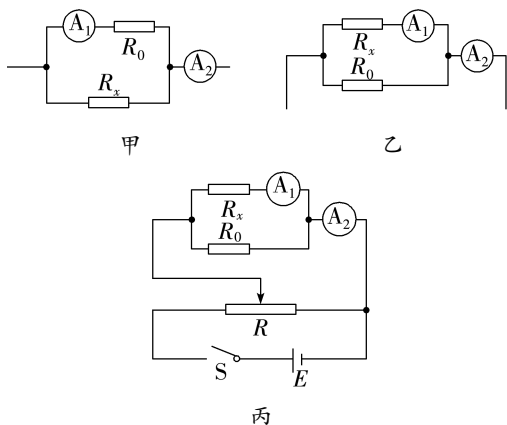
(2)该实验中,滑动变阻器采用了分压接法,因此要选择最大阻值较小的滑动变阻器,故选 B;定值电阻 R' 的阻值不能过大,否则 R' 分得的电压偏大,影响实验的准确性,所以应选阻值较小的定值电阻,故选 C。

(3)为使测量更准确,可换用一电动势更大的电源。

答案:(1)大于 (2)B C (3)大

突破三

典例 5 解析:(1)在尝试设计电路中,很容易设计出图甲所示的测量电路,通过代入已知数据估算可得,此时电流表 A_2 的最大电流值只能是 70 mA,小于其量程的三分之一,所以不满足实验要求。



另一种测量电路如图乙所示,电流表 A_1 和待测电阻的串联阻值约是 120 Ω ,和定值电阻 R_0 的比是 6:1,通过电流表 A_2 的最大电流值接近量程最大值,所以这个电路符合要求,然后连接滑动变阻器来进行调节测量多组数据即可。最终的电路图如图丙所示。滑动变阻器用分压式、限流式接法都可以。

(2)用字母表示待测电阻阻值可得 $R_x = \frac{I_2 - I_1}{I_1} R_0 - R_1$ 。

答案:(1)见解析图丙(R 作为限流电阻也可) (2) $\frac{I_2 - I_1}{I_1} R_0 - R_1$

典例 6 解析:(1)闭合开关前,将滑动变阻器滑片置于左端,电压表读数为零。

(2)当电压表 V_1 示数为 3 V 时,通过电阻 R_x 的电流大小为 $I = \frac{U_1}{r_1} = 1.00 \times 10^{-3}$ A

据实验电路图,则有 $R_x = \frac{U_2 - U_1}{\frac{U_1}{r_1}}$

变形得 $U_2 = \frac{R_x + r_1}{r_1} U_1$

根据 $U_2 - U_1$ 图像可得斜率 $k = \frac{4.82 - 1.61}{3.00 - 1.00} = 1.605$

则有 $1.605 = \frac{R_x + r_1}{r_1}$

代入 $r_1 = 3.0$ k Ω

解得 $R_x \approx 1.82 \times 10^3 \Omega$ 。

(3)若电压表 V_1 实际电阻小于 3.0 k Ω ,则通过电阻的电流比真实值小,故电阻 R_x 的测量值与真实值相比偏大。

答案:(1)左端 (2) 1.00×10^{-3} 1.82×10^3 ($1.79 \times 10^3 \sim 1.86 \times 10^3$ 均对) (3)偏大

突破四

典例 7 解析:(1)机械调零不需要红、黑表笔短接,直接用螺丝刀旋转机械调零旋钮,使指针指向表盘左侧电流(电压)零刻度线即可,A 错误;将红、黑表笔短接后,旋转图乙所示旋钮,进行欧姆调零,B 正确;指针偏角过大,意味着待测电阻阻值较小,若要准确测量,要换用更小的挡位,C 错误;实验完成后,应该旋至交流电压最高挡或 OFF 挡,D 错误。

(2)多用表的测量原理为闭合电路欧姆定律,当电池电动势减小,内阻增大时,欧姆表重新调零,即满偏电流不变,则 $I_g = \frac{E}{R_{内}}$,可知, E 减小, I_g 不变,欧姆表的内阻 $R_{内}$ 变小。

当测电阻时,有 $I = \frac{E}{R_{内} + R_x} = \frac{I_g R_{内}}{R_{内} + R_x} = \frac{I_g}{1 + \frac{R_x}{R_{内}}}$

由于 $R_{内}$ 变小,则同一被测电阻的电流要变小,对应的电阻刻度值要变大,即测量结果会偏大。

(3)①由电桥平衡条件结合电阻定律得 $\frac{R_x}{x} = \frac{R_0}{L-x}$,则 $R_x = \frac{x}{L-x} R_0$,代入数据得 $R_x = 20 \Omega$ 。②由电桥平衡条件得 $\frac{R_x}{R_{左}} = \frac{R_1}{R_{右}}$, $\frac{R_2}{R_{左}} = \frac{R_x}{R_{右}}$,由以上两式得 $R_x = \sqrt{R_1 R_2}$ 。

答案:(1)B (2)偏大 (3)① $\frac{x}{L-x} R_0$ 20 ② $\sqrt{R_1 R_2}$

第十章 磁场

第 1 节 磁场的描述 磁场对通电导线的作用力

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

一、1.(1)磁场力 (2)N 极 2.(1)强弱 方向 (2) $\frac{F}{IL}$
(3)N 极 (4)特斯拉(T) 3.(2)处处相等 处处相同
(3)相同 4.(1)南极 北极 (2)相等 向北

二、1.(1)磁感应强度 (2)切线 疏密 闭合 不存在

三、1.(1) ILB (2)0 2.(1)垂直 (2)电流 (3)拇指

易错易误辨析

(1)√ (2)× (3)× (4)× (5)√ (6)√

细研考点·突破题型

考点 1

题组突破

1. BD [设磁场与电流成 θ 角,则 $F = BIL \sin \theta$,即 $B = \frac{F}{IL \sin \theta}$,所以 $B \geq \frac{F}{IL}$,A 项错误,B 项正确;在磁场同一位置,导线的放置方向不同,导线受力不一样,但磁感应强度一样,C 项错误;当 $\theta = 0^\circ$ 时, $F = 0$,D 项正确。]

2. C [根据安培定则可判断出电流的磁场方向,再根据小磁针静止时 N 极的指向为磁场的方向可知 C 正确。]
3. BC [地磁北极在地理南极附近,地磁南极在地理北极附近,根据测量数据可知, B_z 为负值,测量地点位于北半球,A 错误;利用第 1 次测量的数据可得当地的地磁场大小为 $B = \sqrt{B_y^2 + B_z^2} \approx 50 \mu\text{T}$,B 正确;第 2 次测量时 B_y 为负值,y 轴正向指向南方,选项 C 正确;第 3 次测量时 B_x 为正值,x 轴正向指向北方,y 轴正向指向西方,选项 D 错误。]

考点 2

题组突破

1. D [设导体棒 ab 的长度为 L ,通过导体棒 ab 的电流为 I ,磁感应强度为 B ,导体棒受到的安培力 $F = ILB$ 。若仅将导体棒 ab 从中点处折成相互垂直的两段,导体棒 ab 的有效长度 $L' = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{2}}{2}L$,导体棒 ab 所受的安培力 $F' = \frac{\sqrt{2}}{2}ILB = \frac{\sqrt{2}}{2}F$,故 D 正确,A、B、C 错误。]
2. B [已知电流由 A 流向 O,由左手定则可知,若磁场沿 x 轴正向,安培力沿 z 轴正向,故 A 错误;若磁场沿 y 轴正向,则安培力沿 z 轴负向,故 B 正确;若磁场沿 z 轴正向,则安培力在 xOy 平面内,垂直于 AO 斜向左上方,故 C 错误;若磁场沿 z 轴负向,则安培力在 xOy 平面内,垂直于 AO 斜向右下方,故 D 错误。]

考点 3

典例 1 B [方法一(电流元法)把线圈 L_1 沿水平转动轴分成上、下两部分,每一部分又可以看成无数段直线电流元,电流元处在 L_2 产生的磁场中,根据安培定则可知各电流元所在处的磁场方向向上,由左手定则可得,上半部分电流元所受安培力方向均指向纸外,下半部分电流元所受安培力方向均指向纸内,因此从左向右看线圈 L_1 将顺时针转动。

方法二(等效法)把线圈 L_1 等效为小磁针,该小磁针刚好处于环形电流 I_2 的中心,小磁针的 N 极应指向该点环形电流 I_2 的磁场方向,由安培定则知 I_2 产生的磁场方向在其中心处竖直向上,而 L_1 等效成小磁针后,转动前,N 极指向纸内,因此小磁针的 N 极应由指向纸内转为向上,所以从左向右看,线圈 L_1 将顺时针转动。

方法三(结论法)环形电流 I_1 、 I_2 不平行,则一定有相对转动,直到两环形电流同向平行为止。据此可得,从左向右看,线圈 L_1 将顺时针转动。]

考点 4

典例 2 解析:对导体棒 ab 受力分析,如图所示。由平衡条件得 $mg \sin \theta - ILB_1 = 0$

$$\text{解得 } B_1 = \frac{mg \sin \theta}{IL}.$$

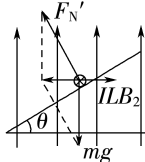
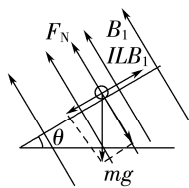
$$\text{答案: } \frac{mg \sin \theta}{IL}$$

变式 1 解析:对导体棒 ab 受力分析,如图所示。

$$\text{由平衡条件得 } mg \tan \theta - ILB_2 = 0$$

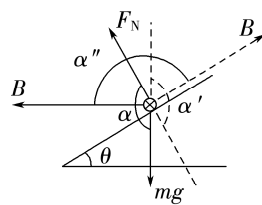
$$\text{解得 } B_2 = \frac{mg \tan \theta}{IL}.$$

$$\text{答案: } \frac{mg \tan \theta}{IL}$$



变式 2 解析:使导体棒保持静止状态,需 $F_{\text{合}} = 0$,即三力平衡,安培力与另外两个力的合力等大反向;如图所示,因为重力与斜面支持力的合力方向在 α 角范围内(垂直于斜面方向取不到),故安培力方向在 α' 角范围内(垂直于斜面方向取不到),根据左手定则,磁场方向可以在 α'' 角范围内变动,其中沿斜面向上方向取不到。

答案:见解析



典例 3 解析:(1)分析飞机在 30 m 处水平方向的受力有

$$\text{发动机的推力 } F_1 = \frac{P}{v_1} \quad ①$$

$$\text{磁场的安培力 } F_2 = BIL_{\text{间距}} \quad ②$$

$$\text{阻力 } F_f = 0.1mg \quad ③$$

$$F_1 + F_2 - F_f = ma \quad ④$$

$$\text{联立①②③④式得 } a = 10 \text{ m/s}^2.$$

(2)飞机在导轨末端刚好达到起飞条件:

$$F = kv = mg \quad ⑤$$

由全过程的功能关系得

$$Pt + F_2 x - F_f x = \frac{1}{2}mv^2 \quad ⑥$$

$$\text{联立②③⑤⑥式得 } t = 3.25 \text{ s}.$$

$$\text{答案: (1) } 10 \text{ m/s}^2 \quad (2) 3.25 \text{ s}$$

第 2 节 磁场对运动电荷的作用

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

- 一、1. 运动电荷 2. (1)0 (2) qvB
(3) $qvB \sin \theta$ 3. (1)垂直 反方向
洛伦兹力 (2) B 、 v 4. 不做功

- 二、1. 匀速直线 2. 匀速圆周 3. 螺旋状运动 4. (1) $m \frac{v^2}{r}$

$$(2) \frac{mv}{qB} \quad (3) \frac{2\pi m}{qB} \quad \text{无关}$$

易错易误辨析

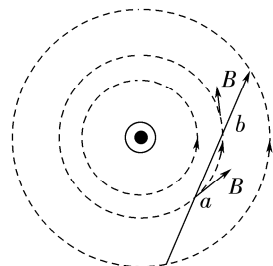
$$(1) \times \quad (2) \times \quad (3) \times \quad (4) \checkmark$$

细研考点·突破题型

考点 1

题组突破

1. C [由于洛伦兹力不做功,所以小球的速率不变,故 A 错误;根据安培定则可知,磁感线是以导线上的点为圆心沿逆时针方向的同心圆,如图所示。根据左手定则知磁感线穿过手心,四指指向正电荷的运动方向,可知在 a 点,小球受到的洛伦兹力方向竖直向下;在 b 点,小球受到的洛伦兹力方向竖直向上;当小球运动到 ab 中点时,速度方向与磁场方向平行,不受洛伦兹力,故 B、D 错误,C 正确;故选 C。]



2. A [由安培定则可知直导线右侧磁场的方向垂直纸面向里,再根据左手定则可知电子所受洛伦兹力方向水平向右,即电子将向右偏转,由于洛伦兹力不做功,电子动能不变,即速率不变,A项正确。]

3. BC [由题可知电子所受电场力水平向左,电子从N到P的过程中电场力做负功,故A错误;根据沿着电场线方向电势逐渐降低可知N点的电势高于P点,故B正确;由于洛伦兹力一直都和速度方向垂直,故电子从M到N洛伦兹力一直都不做功,故C正确;由于M点和P点在同一等势面上,故从M到P电场力做功为0,而洛伦兹力不做功,M点速度为0,根据动能定理可知电子在P点速度也为0,则电子在M点和P点都只受电场力作用,在匀强电场中电子在这两点电场力相等,即合力相等,故D错误;故选B、C。]

考点 2

典例 1 BC [两个粒子

在磁场中的轨迹如图所示,均从O点射出磁场,根据左手定则可知,Q带正电,P带负电,故A错误;根据几何关系可知,Q偏转圆心角为 120° ,则 $R_Q \sin 60^\circ =$

$\frac{1}{2}ON$,P偏转圆心角

为 60° ,则 $R_P = OM$,则P和Q在磁场中运动的半径之比为 $2\sqrt{3}:1$,两粒子在磁场中做匀速圆周运动的时间相同, $\frac{1}{3}T_Q$

$= \frac{1}{6}T_P$, $T = \frac{2\pi R}{v}$,解得P和Q的速度大小之比为 $\sqrt{3}:1$,根

据 $R = \frac{mv}{Bq}$,得 $\frac{q}{m} = \frac{v}{BR}$,所以P和Q的比荷之比为 $1:2$,故B、C正确,D错误。]

典例 2 BD [假设粒子带负电,作出粒子在圆筒中的几种可能的运动情况。如图1所示,由几何关系可知 $\triangle O_1PO \cong \triangle O_1QO$,所以 $\angle O_1PO = \angle O_1QO$,又粒子沿直径射入, $\angle O_1PO = 90^\circ$,则 $\angle O_1QO = 90^\circ$, $O_1Q \perp OQ$,则每次碰撞后瞬间,粒子速度方向一定平行于碰撞点与圆心O的连线,D正确;粒子在圆筒中先做圆周运动,与圆筒碰后速度反向,继续做圆周运动,粒子第一次与筒壁碰撞的运动过程中轨迹不过圆心,之后轨迹也不可能过圆心,A错误;粒子最少与圆筒碰撞2次,就可能从小孔射出,如图2所示,B正确;根据 $qvB = m\frac{v^2}{r}$ 可知, $r = \frac{mv}{qB}$,则射入小孔时粒子的速度越大,粒子的轨迹半径越大,与圆筒碰撞次数可能会增多,在圆内运动的时间不一定越短,如图3所示,C错误。

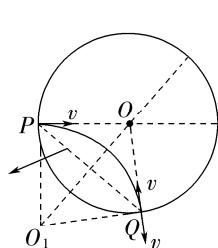


图1

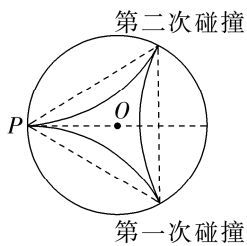


图2

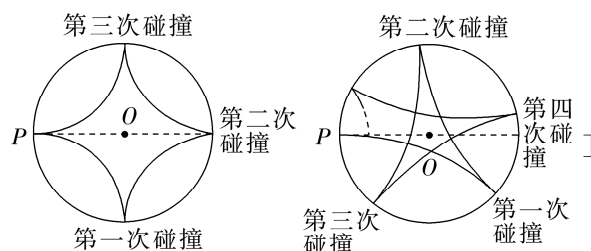


图3

典例 3 AC [根据题述情境,可画出两个 α 粒子在矩形区域匀强磁场中的运动轨迹,如图所示,设 $ME = a$,则 $r_2 = a$;对从P点射出的粒子,由几何关系, $r_1^2 = (2a)^2 + (r_1 - a)^2$,解得 $r_1 = 2.5a$;带电粒子在匀强磁场中运动,洛伦兹力提供向心力,

则 $qvB = \frac{mv^2}{r}$,可得 $v = \frac{qrB}{m}$,两粒子的速率之比为 $v_1:v_2 =$

$r_1:r_2 = 2.5:1 = 5:2$,选项A正确,B错误;从P点射出的粒子在磁场中运动轨迹所对的圆心角正弦值 $\sin \theta_1 = \frac{2a}{2.5a}$

$= 0.8$, $\theta_1 = 53^\circ$,在匀强磁场中运动时间 $t_1 = \frac{r_1 \theta_1}{v_1} = \frac{\theta_1 m}{qB}$;从Q

点射出的粒子在磁场中运动轨迹所对的圆心角 $\theta_2 = 90^\circ$,在匀强磁场中运动时间 $t_2 = \frac{r_2 \theta_2}{v_2} = \frac{\theta_2 m}{qB}$;在磁场中运动时间之

比为 $t_1:t_2 = \frac{\theta_1 m}{qB}:\frac{\theta_2 m}{qB} = 53:90$,选项C正确,D错误。]

考点 3

典例 4 解析: α 粒子带正电,故在磁场中沿逆时针方向做匀速圆周运动,用 r 表示轨道半径,由洛伦兹力提供向心力有 $qvB = m\frac{v^2}{r}$,代入数据解得 $r =$

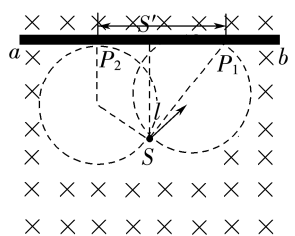
$0.1\text{ m} = 10\text{ cm}$,则 $2r > l > r$ 。由于 α 粒子轨道半径

确定,放射源与 ab 板的距离确定,朝不同方向发射的打到 ab 板上的 α 粒子的圆轨迹都过S,如图甲所示,可知 α 粒子只能打在感光板 ab 上 P_1 、 P_2 两点之间,其中左边轨迹圆恰与 ab 相切于 P_2 点,右边 SP_1 恰为直径,根据几何关系可得 $S'P_1 = \sqrt{(2r)^2 - l^2} = 12\text{ cm}$, $S'P_2 = \sqrt{r^2 - (l-r)^2} = 8\text{ cm}$,故 ab 上被打中的区域的长度为 $P_1P_2 = S'P_1 + S'P_2 = 20\text{ cm}$ 。

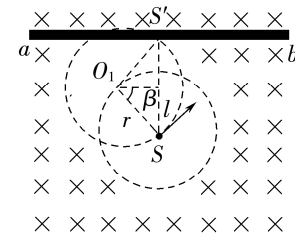
(2)当 α 粒子打到感光板 ab 上的 S' 点时,粒子在磁场中做圆周运动的弧长最短,弦最短, α 粒子在磁场中运动的时间最短,如图乙所示,根据几何关系可知 $\sin \beta = \frac{l}{2r} = 0.8$,此时圆弧所对的

圆心角为 $2\beta = 106^\circ$,则最短

时间 $t = \frac{106^\circ}{360^\circ} \cdot \frac{2\pi m}{qB}$,代入数据解得 $t \approx 6.2 \times 10^{-8}\text{ s}$ 。所以当



甲



乙

α 粒子的速度方向与 SS' 方向成 53° 射入磁场时,能够打中感光板 ab 的 α 粒子在磁场中运动的时间最短。

答案:(1)20 cm (2) 6.2×10^{-8} s 速度方向与 SS' 方向成 53° 角

典例 5 解析:(1)①离子在磁场中运动

$$qv_0 B = \frac{mv_0^2}{R}$$

$$B = \frac{mv_0}{qR}。$$

$$\textcircled{2} \text{ 离子在磁场中的运动时间 } t = \frac{\pi R}{2v_0}$$

$$\text{转筒的转动角度 } \omega t = 2k\pi + \frac{\pi}{2}$$

$$\omega = (4k+1) \frac{v_0}{R}, k=0,1,2,\dots。$$

(2)设速度大小为 v 的离子在磁场中圆周运动半径为 R'

$$R' = R \tan \frac{\theta}{2}, v = v_0 \tan \frac{\theta}{2}$$

$$\text{离子在磁场中的运动时间 } t' = (\pi - \theta) \frac{R}{v_0}$$

$$\text{转筒的转动角度 } \omega' t' = 2n\pi + \theta$$

转筒的转动角速度为

$$\omega' = \frac{(2n\pi + \theta)}{(\pi - \theta)} \cdot \frac{v_0}{R}, n=0,1,2,\dots$$

$$\text{动量定理 } F \frac{2\pi}{\omega'} = Nm v$$

$$F = \frac{(2n\pi + \theta)N}{2(\pi - \theta)\pi} \cdot \frac{mv_0^2}{R} \tan \frac{\theta}{2}, n=0,1,2,\dots。$$

$$\text{(3) 转筒的转动角速度 } \frac{(4k+1)v_0}{R} = \frac{(2n\pi + \theta')v_0}{(\pi - \theta')R} < \frac{6v_0}{R}$$

$$k=1, \theta' = \frac{5-2n}{6}\pi, n=0,2$$

$$\text{可得 } \theta' = \frac{5}{6}\pi, \frac{1}{6}\pi。$$

$$\text{答案: (1) } \textcircled{1} \frac{mv_0}{qR} \quad \textcircled{2} (4k+1) \frac{v_0}{R}, k=0,1,2,\dots$$

$$\text{(2) } \frac{(2n\pi + \theta)N}{2(\pi - \theta)\pi} \cdot \frac{mv_0^2}{R} \tan \frac{\theta}{2}, n=0,1,2,\dots$$

$$\text{(3) } \frac{5}{6}\pi, \frac{1}{6}\pi$$

考点 4

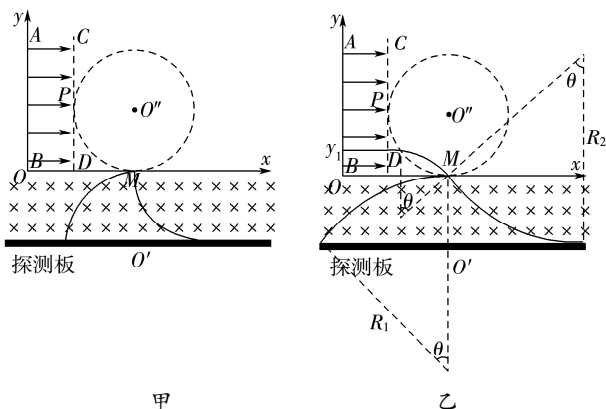
典例 6 解析:(1)粒子在电场中加速有 $qU = \frac{1}{2}mv^2$,由题意可知,粒子做圆周运动的轨道半径恰好等于圆形磁场区域的半径,又洛伦兹力提供向心力,则有 $B_0 qv = \frac{mv^2}{R}, r=R$,联立解得 $r=0.1$ m。

(2)若 $B_1=0.1$ T= B_0 ,则粒子进入 x 轴下方磁场后的轨迹半径 $R'=R=a=0.1$ m,如图甲所示,沿 x 轴负方向射入下方磁场的粒子垂直打在探测板上,沿 y 轴负方向射入下方磁场的粒子恰好与探测板相切,因此粒子打到探测板区域的长度 $l=2R'=0.2$ m $<L$ 。

(3)当沿 x 轴负方向射入下方磁场的粒子刚好打在探测板的最左端时,如图乙所示,由几何关系可得 $R_1^2 = (R_1 - a)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2$,解得 $R_1=0.25$ m,刚好与探测板最右端相切的粒子的运动轨迹如图乙所示,由几何关系可得 $R_2^2 = (R_2 - a)^2 +$

$$\left(\frac{L}{2}\right)^2, \text{解得 } R_2=0.25 \text{ m, 由几何关系可得 } \cos \theta = \frac{R_2 - a}{R_2} =$$

0.6;根据 $B_1 qv = \frac{mv^2}{R_1}$,可解得 $B_1=0.04$ T,设 y_1 以上部分射出的粒子都能打到探测板上,由几何关系可得 $y_1 = R - R \cos \theta = 0.04$ m,所以 $\eta = \frac{2r - y_1}{2r} \times 100\% = 80\%$ 。



答案:(1)0.1 m (2)0.2 m (3)0.04 T 80%

第 3 节 带电粒子在复合场中的运动

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

一、1. (1)磁场 2. (1)静止 匀速直线运动 (2)相等 相反 匀速圆周 (3)一条直线上

$$\text{二、1. (2) } \frac{1}{2}mv^2 \quad m \frac{v^2}{r} \quad \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}} \quad \frac{qr^2 B^2}{2U} \quad \frac{2U}{B^2 r^2}$$

2. (2) $\frac{mv^2}{R} \quad \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$ 磁感应强度 B D形盒半径 R 加速电压无关

易错易误辨析

(1)√ (2)× (3)√ (4)× (5)√

细研考点·突破题型

考点 1

典例 1 解析:(1)离子甲从 A 点射入电场,由 O 点沿 $+z$ 方向射出,只受沿 $-y$ 方向电场力的作用,所以在 $+z$ 方向上,离子甲做匀速直线运动,在从 A 到 O 的运动过程中,在 $+z$ 方向上有 $L = v_0 t \cos \beta$

$$\text{在 } +y \text{ 方向上有 } 0 = v_0 \sin \beta - at$$

$$\text{由牛顿第二定律有 } Eq = ma$$

$$\text{解得 } E = \frac{mv_0^2 \sin \beta \cos \beta}{qL}。$$

(2)离子甲进入磁场 I 中,当离子甲运动轨迹与磁场 I 上边界相切时,由洛伦兹力充当向心力有

$$qv_1 B = m \frac{v_1^2}{R_1}, \text{其轨迹半径 } R_1 = d$$

经半个圆周由 $(0, 2d, 0)$ 进入磁场 II,然后在垂直匀强磁场 II 的平面内运动,由洛伦兹力充当向心力有 $qv_1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} B =$

$$m \frac{v_1^2}{R_2}, \text{解得 } R_2 = \sqrt{2}d$$

轨迹恰与 xOz 平面相切,则此时离子甲速度最大,即 $v_m = v_1 = \frac{Bqd}{m}。$

(3) 离子甲以 $v_2 = \frac{Bqd}{2m}$ 射入磁场 I, 则离子甲在磁场 I 中的轨迹半径 $R_1' = \frac{d}{2}$, 离子甲在磁场 I 中转半个圆周, 由 y 轴上 $(0, d, 0)$ 处第二次穿过 xOy 面进入磁场 II, 在磁场 II 中的轨迹半径为 $R_2' = \frac{\sqrt{2}}{2}d$, 离子甲在磁场 II 中偏转半个圆周, 由 x 轴上 $(d, 0, 0)$ 处第三次穿过 xOy 面进入磁场 I, 速度方向平行于 z 轴正方向, 再在磁场 I 中偏转半个圆周第四次穿过 xOy 面, 轨迹如图 1 所示, 所以离子第四次穿越 xOy 平面的位置坐标为 $(d, d, 0)$ 。

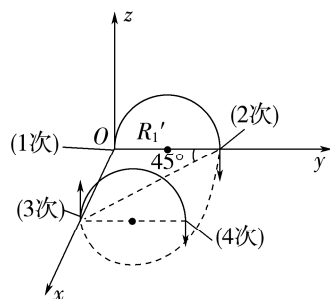


图 1

(4) 设离子乙的速度为 v_2' , 根据离子甲、乙动能相同可得

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 4mv_2'^2$$

$$\text{解得 } v_2' = \frac{1}{2}v_2$$

由(3)问可知离子甲在磁场 I、II 中运动的轨迹半径分别为

$$R_1' = \frac{d}{2}, R_2' = \frac{\sqrt{2}}{2}d$$

则离子乙在磁场 I、II 中的轨迹半径分别为 $R_1'' = d, R_2'' = \sqrt{2}d$

根据几何关系可知离子甲、乙运动轨迹第一个交点如图 2 所示

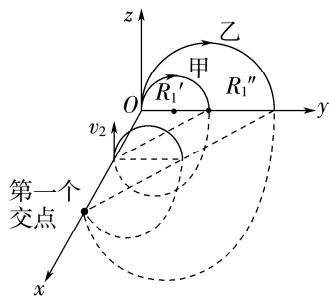


图 2

从 O 点进入磁场到第一个交点过程, 有

$$t_{\text{甲}} = T_{\text{甲}1} + T_{\text{甲}2} = \frac{2\pi m}{qB} + \frac{2\pi m}{q \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}B}$$

$$= \frac{2(\sqrt{2}+1)\pi m}{qB}$$

$$t_{\text{乙}} = \frac{T_{\text{乙}1}}{2} + \frac{T_{\text{乙}2}}{2} = \frac{2\pi \cdot 4m}{2qB} + \frac{2\pi \cdot 4m}{2q \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}B}$$

$$= \frac{4(\sqrt{2}+1)\pi m}{qB}$$

可得离子甲、乙到达它们运动轨迹第一个交点时间差为 Δt

$$= t_{\text{乙}} - t_{\text{甲}} = \frac{2(\sqrt{2}+1)\pi m}{qB}$$

$$\text{答案: (1) } \frac{mv_0^2 \sin \beta \cos \beta}{qL} \quad (2) \frac{Bqd}{m}$$

$$(3) (d, d, 0) \quad (4) \frac{2(\sqrt{2}+1)\pi m}{qB}$$

典例 2 解析: (1) 离子在匀强磁场中做匀速圆周运动, 洛伦兹力提供向心力, 即

$$qv_0 B = m \frac{v_0^2}{r}$$

由几何关系得 $r = R$

$$\text{解得 } B = \frac{mv_0}{qR}$$

由左手定则知磁场方向垂直纸面向外。

(2) 对沿 y 轴负方向射入的离子, 其刚好到达 N 点, 可知该离子在电场中沿 y 轴方向有

$$2R = v_0 t$$

$$\text{沿 } x \text{ 轴方向有 } 2R = \frac{1}{2} \cdot \frac{qE}{m} t^2$$

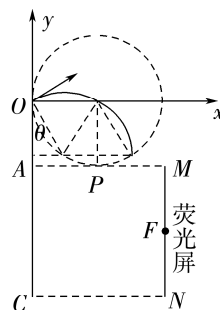
$$\text{联立可得 } E = \frac{mv_0^2}{qR}$$

(3) 对恰好打中荧光屏中间位置的离子, 在电场中沿 y 轴方向有 $R = v_0 t'$

$$\text{沿 } x \text{ 轴方向有 } x_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qE}{m} t'^2$$

$$\text{联立可得 } x_0 = \frac{R}{2}$$

该离子在磁场中的运动轨迹如图所示



$$\text{可知 } \sin \theta = \frac{2R - R - \frac{1}{2}R}{R} = \frac{1}{2}$$

$$\text{可得 } \theta = 30^\circ$$

可知荧光屏 M、F 间与 F、N 间收集到的离子对应发射角度分别为 60° 与 120° , 故荧光屏上半部分与下半部分收集到的

$$\text{离子数目之比为 } \frac{60^\circ}{120^\circ} = \frac{1}{2}.$$

$$\text{答案: (1) } \frac{mv_0}{qR} \quad \text{垂直纸面向外} \quad (2) \frac{mv_0^2}{qR} \quad (3) 1:2$$

考点 2

典例 3 D [由题意可知, 粒子在叠加场中沿直线 AC 运动,

则粒子在叠加场中受力平衡, 有 $qv_0 B_1 = qE$, 得 $v_0 = \frac{E}{B_1}$, 粒

子在磁场中运动的轨迹半径 $R_0 = \frac{mv_0}{qB_2} = \frac{mE}{qB_1 B_2}$, 又因为粒子

专题突破十一 带电粒子在交变电磁场中的运动

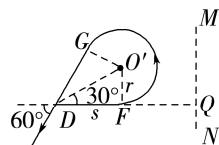
细研考点·突破题型

突破一

典例1 解析:(1)小球沿PQ向右做直线运动,受力平衡,则

$$mg = Eq, \text{ 解得 } E = \frac{mg}{q}.$$

(2)小球能再次通过D点,其运动轨迹应如图(a)所示。



图(a)

设小球做匀速圆周运动的轨迹半径为 r , 则由几何关系有 $s =$

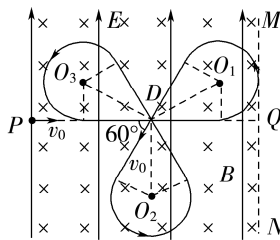
$$\frac{r}{\tan 30^\circ}$$

$$\text{又知 } s = v_0 t_1$$

$$\text{圆弧轨迹所对的圆心角 } \theta = 2\pi - \left(\pi - \frac{\pi}{3}\right) = \frac{4}{3}\pi, \text{ 则 } t_0 = \frac{\theta r}{v_0},$$

$$\text{联立解得 } \frac{t_0}{t_1} = \frac{4\sqrt{3}}{9}\pi.$$

(3)当小球运动的周期最大时,其运动轨迹应与MN相切,小球运动一个周期的轨迹如图(b)所示,



图(b)

$$\text{由几何关系得 } R + \frac{R}{\tan 30^\circ} = (\sqrt{3} + 1)L$$

$$\text{解得 } R = L$$

由洛伦兹力公式和牛顿第二定律有

$$qv_0 B_0 = m \frac{v_0^2}{R}, \text{ 解得 } B_0 = \frac{mv_0}{qL}$$

小球在一个周期内运动的路程

$$s_1 = 3 \times \frac{2}{3} \times 2\pi R + 6 \times \frac{R}{\tan 30^\circ} = (4\pi + 6\sqrt{3})L$$

$$\text{故 } T_m = \frac{s_1}{v_0} = \frac{(4\pi + 6\sqrt{3})L}{v_0}.$$

$$\text{答案: (1) } \frac{mg}{q} \quad (2) \frac{4\sqrt{3}}{9}\pi$$

$$(3) \frac{mv_0}{qL} \quad \frac{(4\pi + 6\sqrt{3})L}{v_0}$$

突破二

典例2 解析:(1)在 $0 \sim \frac{\pi m}{qB_0}$ 时间内,电场强度为 E_0 ,带电粒子

$$\text{在电场中加速,根据动量定理可知 } qE_0 \cdot \frac{\pi m}{qB_0} = mv_1 \quad \text{①}$$

从CF中点射出,设 $CO = d$, 则 $R_0 = \frac{d}{2}$, 设粒子在磁场中转过
过的角度为 θ , 则 $t_0 = \frac{\theta m}{qB_2} = \frac{\pi m}{2qB_2}$. 若仅将 B_1 变为 $2B_1$, 则
 $R_1 = \frac{R_0}{2}$, 粒子仍从CF边射出, 粒子在磁场中转过
不变, 周期不变, 所以 $t_1 = t_0$, A 错误; 若仅将 E 变为 $2E$, 则 $v_2 = 2v_0$, $R_2 = 2R_0$, 则粒子恰好从F点射出, 同上可知 $t_2 = t_0$, B
错误; 若仅将 B_2 变为 $\frac{\sqrt{3}}{4}B_2$, 则 $R_3 = \frac{4}{\sqrt{3}}R_0 = \frac{2}{\sqrt{3}}d$, 则粒子从
OF边射出, 设粒子在磁场中转过
的角度为 α , 则 $\sin \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2}$,
所以 $\alpha = \frac{\pi}{3}$, 则 $t_3 = \frac{8\sqrt{3}}{9}t_0$, C 错误; 若仅将 B_2 变为 $\frac{\sqrt{2}}{4}B_2$, 则
 $R_4 = \frac{4}{\sqrt{2}}R_0 = \sqrt{2}d$, 则粒子从OF边射出, 设粒子在磁场中转过
过的角度为 β , 则 $\sin \beta = \frac{\sqrt{2}}{2}$, 所以 $\beta = \frac{\pi}{4}$, 则 $t_4 = \sqrt{2}t_0$, D
正确。]

考点3

题组突破

1. B [均匀辐射电场方向均指向圆心O, 离子进入静电分析器后受指向圆心的电场力, 该力提供离子做圆周运动所需的向心力, 故离子只能为正离子, A 错误; 因R为定值, 且 $Eq = \frac{mv^2}{R}$, 又 $qU = \frac{1}{2}mv^2$, 得到 $U = \frac{1}{2}ER$, 故加速电场的电压U是一个与离子比荷无关的定值, B 正确, C 错误; 离子进入磁分析器的磁场后, $Bqv = \frac{mv^2}{r}$, 得 $r = \frac{mv}{Bq} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{EmR}{q}}$, 同位素的质子数相同, 中子数不同, 则q一定相同, m一定不同, 故一定不能打在乳胶片上的同一位置, D 错误。]
2. C [根据右手螺旋定则可知, 霍尔元件处的磁场方向向下, 再由左手定则可知, 导电物质电子聚集在2接线端, 所以P点的电势高于Q点的电势, A 错误; 只将电源 E_1 反向接入电路, 磁场方向改变, P、Q之间的电势差正负将改变, B 错误; 只将 R_2 变小并稳定后, 通过 A_2 的电流增大, 单位时间内通过霍尔元件的电荷量增大, 即导电物质电子的移动速度增大, 由 $\frac{eU}{d} = evB$ 可知, P、Q之间的电势差的绝对值增大, C 正确; 同理可知只将 R_1 变大并稳定后, B 减小, U 应减小, D 错误。]
3. AC [根据左手定则可知正离子向上偏转, 负离子向下偏转, 测量电压的仪表a端的电势低于b端的电势, A 正确; 当导电液体在管道中以流速v流动时, 正、负离子在磁场的作
用下偏转, 电极两端形成了电势差, 当 $q \frac{U}{D} = qvB$ 即 $U = BvD$ 时, 电势差恒定, 保持稳定输出, 所以信号电极采集到的电势差与流速大小成正比, B 错误; 流量 $Q = \frac{V}{t} = \frac{\pi D^2 v}{4}$, 流量的测量值与流速v成正比, 与电磁流速/流量仪管道的长度无关, 在仪表内部参数确定后, 测量流速和流量的仪表盘刻度都是均匀的, C 正确, D 错误。]

$$\text{解得粒子在 } \frac{\pi m}{qB_0} \text{ 时刻的速度大小为 } v_1 = \frac{\pi E_0}{B_0} \quad (2)$$

方向竖直向上, 粒子竖直向上运动的距离

$$y_1 = \frac{1}{2} v_1 \cdot \frac{\pi m}{qB_0} = \frac{\pi^2 E_0 m}{2qB_0^2} \quad (3)$$

在 $\frac{\pi m}{qB_0} \sim \frac{2\pi m}{qB_0}$ 时间内, 根据粒子在磁场运动的周期

$$T = \frac{2\pi m}{qB} \quad (4)$$

$$\text{可知粒子偏转 } 180^\circ, \text{ 速度反向, 根据 } qvB = m \frac{v^2}{r} \quad (5)$$

可知粒子水平向右运动的距离为

$$x_2 = 2r_2 = 2 \frac{mv_1}{qB_0} = \frac{2\pi E_0 m}{qB_0^2} \quad (6)$$

粒子运动轨迹如图, 所以粒子在 $t =$

$$\frac{2\pi m}{qB_0} \text{ 时刻粒子的位置坐标为 } (x_2,$$

$$y_1), \text{ 即 } \left(\frac{2\pi E_0 m}{qB_0^2}, \frac{\pi^2 E_0 m}{2qB_0^2} \right).$$

(2) 在 $\frac{2\pi m}{qB_0} \sim \frac{3\pi m}{qB_0}$ 时间内, 电场强度

$$\text{为 } 2E_0, \text{ 粒子受到的电场力竖直向上, 在竖直方向 } q \cdot 2E_0 \cdot \frac{\pi m}{qB_0} = mv_2 - mv_1 \quad (7)$$

$$\text{解得 } \frac{3\pi m}{qB_0} \text{ 时刻粒子的速度 } v_2 = \frac{\pi E_0}{B_0}$$

方向竖直向上, 粒子在竖直方向上运动的距离为

$$y_3 = \frac{-v_1 + v_2}{2} \cdot \frac{\pi m}{qB_0} = 0 \quad (9)$$

在 $\frac{3\pi m}{qB_0} \sim \frac{4\pi m}{qB_0}$ 时间内, 粒子在水平方向运动的距离为

$$x_4 = 2r_4 = 2 \frac{mv_2}{qB_0} = \frac{2\pi E_0 m}{qB_0^2} \quad (10)$$

此时粒子速度方向向下, 大小为 v_2 , 在 $\frac{4\pi m}{qB_0} \sim \frac{5\pi m}{qB_0}$ 时间内, 电

$$\text{场强度为 } 3E_0, \text{ 竖直方向 } q \cdot 3E_0 \cdot \frac{\pi m}{qB_0} = mv_3 - mv_2 \quad (11)$$

$$\text{解得粒子在 } \frac{5\pi m}{qB_0} \text{ 时刻的速度 } v_3 = \frac{2\pi E_0}{B_0} \quad (12)$$

粒子在竖直方向运动的距离

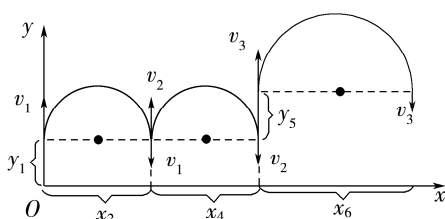
$$y_5 = \frac{-v_2 + v_3}{2} \cdot \frac{\pi m}{qB_0} = \frac{\pi^2 E_0 m}{2qB_0^2} \quad (13)$$

在 $\frac{5\pi m}{qB_0} \sim \frac{6\pi m}{qB_0}$ 时间内, 粒子在水平方向运动的距离为 $x_6 =$

$$2r_6 = 2 \frac{mv_3}{qB_0} = \frac{4\pi E_0 m}{qB_0^2}$$

粒子运动的轨迹如图, 在 $0 \sim \frac{6\pi m}{qB_0}$ 时间内, 静电力对粒子的做功大小为

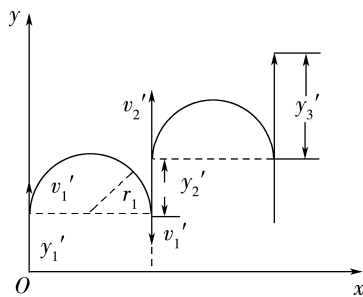
$$\begin{aligned} W &= qE_0 \cdot y_1 + q \cdot 2E_0 \cdot y_3 + q \cdot 3E_0 \cdot y_5 \\ &= 4qE_0 \cdot y_1 = \frac{2\pi^2 E_0^2 m}{B_0^2} \end{aligned} \quad (14)$$



电场力做正功。

$$(3) \text{ 结合(1)中分析有 } M_x = 4r_2, M_y = \frac{1}{2} y_1.$$

①若在 $0 \sim \frac{\pi m}{qB_0}$ 之间的 t 时间释放粒子, 粒子运动轨迹如图所示, 有



$$v'_1 = a_1(t_0 - t) \quad y'_1 = \frac{1}{2} a_1(t_0 - t)^2$$

$$r'_1 = \frac{mv'_1}{qB_0} = \frac{E_0}{B_0} \left(\frac{\pi m}{qB_0} - t \right)$$

$$v'_2 = -v'_1 + a_2 t_0$$

$$= -\frac{E_0 q}{m}(t_0 - t) + \frac{2E_0 q}{m} t_0 = \frac{E_0 q}{m}(t_0 + t) = \frac{E_0 q}{m} \left(\frac{\pi m}{qB_0} + t \right)$$

$$r'_2 = \frac{mv'_2}{qB_0} = \frac{E_0}{B_0} \left(\frac{\pi m}{qB_0} + t \right)$$

$$y'_2 = -v'_1 t_0 + \frac{1}{2} a_2 t_0^2$$

$$\text{结合上述分析有 } 2(r'_1 + r'_2) = \frac{4\pi m E_0}{qB_0^2} = M_x$$

$$\text{整理得 } y'_1 + y'_2 = \frac{1}{2} a_1(t_0^2 + t^2) = \frac{\pi^2 E_0 m}{2B_0^2 q} + \frac{E_0 q t^2}{2m} > \frac{1}{2} y_1$$

$$\text{要使粒子能被捕获需满足 } y'_1 + y'_2 - \frac{1}{2} y_1 \leq \frac{v_2'^2}{2a_3} = \frac{v_2'^2}{6E_0 q / m}, \text{ 代}$$

入数据, 当 $t = \frac{\pi m}{2qB_0}$ 时不等式成立。

则粒子释放的时刻为 $t = \frac{\pi m}{2qB_0}$ 。

②若在 $\frac{\pi m}{qB_0} \sim \frac{3\pi m}{qB_0}$ 之间某时刻释放, 先考虑加速两次的情

况, 同理可得 $2(r''_1 + r''_2) = \frac{6mE_0 \pi}{qB_0^2} \neq M_x$, 所以无解。仅加速

一次的情况, 分析可知, $\frac{2\pi m}{qB_0} \sim \frac{3\pi m}{qB_0}$ 时间内粒子一直加速时,

加速后在磁场中的运动半径恰好等于 $\frac{M_x}{2}$, 则运动半个周期

后, 横坐标恰好为 M_x , 则有 $y'_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{2E_0 q}{m} \cdot t_0^2$

$$v'_2 = \frac{2E_0 q}{m} \cdot t_0$$

$$\text{分析可知 } y'_1 - \frac{1}{2} y_1 > \frac{v_2''^2}{6E_0 q / m}$$

则仅加速一次时无解。

③若在 $\frac{4\pi m}{qB_0} \sim \frac{5\pi m}{qB_0}$ 之间某时刻释放, 且粒子能在电场存在期

间被捕获, 分析可知粒子只能经过一次加速, 粒子在磁场存

在时做圆周运动的轨迹半径为 $R'_1 = \frac{1}{2} M_x$

由圆周运动规律可得粒子的速度大小为

$$v' = \frac{2\pi E_0}{B_0}$$

粒子在电场中加速过程的位移为

$$y' = \frac{v'^2}{2a_3} = \frac{2\pi^2 E_0 m}{3qB_0^2} > M_y$$

粒子要能被捕获需满足 $y' - M_y \leq \frac{v'^2}{2a_4}$

分析可知 $v' = \frac{2\pi E_0}{B_0}$ 满足需求

则粒子释放的时刻为

$$t' = \frac{5\pi m}{qB_0} - \frac{v'}{a_3} = \frac{13\pi m}{3qB_0}$$

答案: (1) $\left(\frac{2\pi E_0 m}{qB_0^2}, \frac{\pi^2 E_0 m}{2qB_0^2}\right)$ (2) $\frac{2\pi^2 E_0^2 m}{B_0^2}$

(3) $\frac{\pi m}{2qB_0}$ 或 $\frac{13\pi m}{3qB_0}$

第十一章 电磁感应

第1节 电磁感应现象 楞次定律

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

一、1. (1)垂直 (2)Wb (4)标量

2. (1)发生变化 (2)变化

二、1. (1)阻碍 2. (2)导体切割磁感线

易错易误辨析

(1)× (2)√ (3)× (4)× (5)√ (6)×

细研考点·突破题型

考点1

题组突破

1. A [由题图可知,穿过 a 、 b 两个线圈的磁通量均为 $\Phi = B \cdot \pi r^2$, 因此磁通量之比为 $1:1$, A 项正确。]
2. A [设此时回路面积为 S , 据题意,磁通量 $\Phi = BS \cos \theta$, ab 向右运动, S 增大, θ 减小, $\cos \theta$ 增大, 则 Φ 增大, 轨道回路里一定产生感应电流, A 正确; 使 B 减小, θ 减小, $\cos \theta$ 增大, Φ 可能不变; ab 向左运动, S 减小, B 增大, Φ 可能不变; ab 向右运动, S 增大, B 增大, θ 增大, $\cos \theta$ 减小, Φ 可能不变, 故 B、C、D 过程不一定能在轨道回路里产生感应电流, B、C、D 错误。]
3. B [题图甲中,使导体棒 AB 顺着磁感线方向运动, AB 不切割磁感线, 穿过 $ABCD$ 的磁通量也没变化, 故不能产生感应电流, A 错误; 题图乙中,使条形磁体匀速穿过线圈, 在磁体从上向下穿过时, 穿过线圈的磁通量会变化, 故产生感应电流, B 正确; 题图丙中, 开关 S 保持闭合, A 、 B 螺线管相对静止一起竖直向上运动, 两线圈没有相对运动, 穿过 B 的磁通量没有发生变化, 故不产生感应电流, C 错误; 题图丙中, 开关 S 保持闭合, 使小螺线管 A 在大螺线管 B 中保持不动时, 也不会使穿过 B 的磁通量发生变化, 故也不能产生感应电流, D 错误。]

考点2

题组突破

1. A [该题图 A、B 中当磁铁向线圈靠近时, 穿过线圈的磁通量向下增加, 根据楞次定律可知, 线圈中产生的感应电流从“+”接线柱流入电流计, 则电流计指针向右偏转, A 正确, B 错误; 当磁铁按如图 C、D 所示的方式靠近线圈时, 由对称性可知, 穿过线圈的磁通量总是零, 线圈中不会有感应电流, C、D 错误。]
2. A [ab 棒顺时针转动, 运用右手定则, 磁感线穿过手心, 拇指指向顺时针方向, 则导体 ab 上的感应电流方向为 $a \rightarrow b$, 故 A 项正确; ab 向纸外运动, 运用右手定则时, 磁感线穿过手心, 拇指指向纸外, 则知导体 ab 上的感应电流方向为 $b \rightarrow a$, 故 B 项错误; 线框向右运动穿过回路的磁通量减小, 由楞次定律知, 回路中感应电流方向为 $b \rightarrow a \rightarrow d \rightarrow c$, 则导体 ab 上的感应电流方向为 $b \rightarrow a$, 故 C 项错误; ab 棒沿导轨向下运动, 由右手定则判断知导体 ab 上的感应电流方向为 $b \rightarrow a$, 故 D 项错误。]

考点3

典例1 C [由题知, 埋在地下的线圈 1、2 通顺时针(俯视)方向的电流, 则根据右手定则, 可知线圈 1、2 产生的磁场方向竖直向下, A 错误; 汽车进入线圈 1 过程中, 磁通量增大, 根据楞次定律可知产生感应电流方向为 $adcb$ (逆时针), B 错误; 汽车离开线圈 1 过程中, 磁通量减小, 根据楞次定律可知产生感应电流方向为 $abcd$ (顺时针), C 正确; 汽车进入线圈 2 过程中, 磁通量增大, 根据楞次定律的“来拒去留”的规律, 可知汽车受到的安培力方向与速度方向相反, D 错误。]

考点4

典例2 D [由于金属杆 PQ 突然向右运动, 导致金属导轨与金属杆 PQ 所围的面积增大, 磁通量增大, 由楞次定律知, 感应电流产生的磁场阻碍原磁通量的变化, 故感应电流产生的磁场方向应垂直于纸面向外, $PQRS$ 中的感应电流沿逆时针方向。对于圆环形金属线框 T , 金属杆由于运动产生的感应电流所产生的磁场使得 T 内垂直纸面向里的磁场的磁感应强度变小, 磁通量减小, 故线框 T 中感应电流产生的磁场方向应垂直于纸面向里, 感应电流沿顺时针方向, 故选项 D 正确。]

第2节 法拉第电磁感应定律 涡流 自感

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

- 一、1. (2)无关 (3)右手定则 2. (1)磁通量的变化率 (3)欧姆 $\frac{E}{R+r}$ 3. BLv $\frac{1}{2}BL^2\omega$
- 二、1. (2)法拉第电磁感应 大 小 2. (1)阻碍 (2)运动起来
- 三、1. (1)电流 (2) $L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ 2. (1)变化率 (2)长短 匝数 (3) 10^3 10^6

易错易辨析

(1)× (2)× (3)√ (4)× (5)× (6)√

细研考点·突破题型

考点 1

典例 1 D [由法拉第电磁感应定律可得大圆线圈产生的感

应电动势 $E_1 = \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t} = \frac{\Delta B \cdot S_1}{\Delta t} = kS_1$, 每个小圆线圈产生的

感应电动势 $E_2 = \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t} = \frac{\Delta B \cdot S_2}{\Delta t} = kS_2$ 。由线圈的绕线方式

和楞次定律可得大、小圆线圈产生的感应电动势方向相同, 故线圈中总的感应电动势大小为 $E = E_1 + 5E_2 = k(S_1 + 5S_2)$, 故 D 正确, ABC 错误。]

考点 2

典例 2 A [经过时间 t , 金属棒切割磁感线的有效长度 $L = 2vt \tan \theta$, 金属棒切割磁感线产生的感应电动势 $E = BLv = 2Bv^2 t \tan \theta$, 则电容器极板上的电荷量 $Q = CE = 2BCv^2 t \tan \theta$,

则通过金属棒中的电流 $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = 2BCv^2 \tan \theta$, A 正确; 当金属

棒到达 $x = x_0$ 时, 即 $vt = x_0$ 时, 电容器极板上的电荷量 $Q_0 = 2BCx_0 \tan \theta$, B 错误; 根据楞次定律可知, 感应电流沿逆时针方向(从上往下看), 则电容器的上极板带正电, C 错误; 因为金属棒做匀速运动, 所以外力 $F = F_{安} = BIL$, 外力做功的功率 $P = Fv = 4B^2 C v^4 t \tan^2 \theta$, 功率随时间增加, 是变化的, D 错误。]

典例 3 BC [如图所示, 设金属

框切割磁感线的有效长度为 d , 根据转动切割磁感线产生的感

应电动势公式有 $E = \frac{1}{2} B d^2 \omega$,

从图中可以看出在 $t = 0$ 到 $t =$

$\frac{\pi}{2\omega}$ 的过程中, d 是先增大到

$\sqrt{2}L$, 再减小到 L , 所以电动势 E 先增大后减小, A 项错误,

B 项正确。在 $t = 0$ 到 $t = \frac{\pi}{4\omega}$ 的过程中, $d = \frac{L}{\cos \omega t}$, 感应电动

势的表达式可写为 $E = \frac{1}{2} B d^2 \omega = \frac{BL^2 \omega}{2 \cos^2 \omega t}$, 对表达式进行求

导, 可得 $\frac{\Delta E}{\Delta t} = BL^2 \frac{\tan \omega t}{\cos^2 \omega t}$, 由表达式可以看出在 $t = 0$ 到 $t =$

$\frac{\pi}{4\omega}$ 的过程中, E 的变化率一直增大, C 项正确, D 项错误。]

考点 3

题组突破

1. C [题图 1 中, S_1 断开的瞬间, 灯 A_1 闪亮, 故稳定时 $I_{L1} > I_{A1}$, 又由于 R_{L1} 和 R_{A1} 两端电压相等, 故电阻 $R_{L1} < R_{A1}$, 所以 A、B 均错误。题图 2 中, 稳定时 A_2 与 A_3 亮度相同, 故电流相等, 所以变阻器 R 与 L_2 的阻值相同, C 项正确, D 项错误。]

2. C [激励线圈输入功率大于检测线圈消耗功率, 管道壁中产生涡流, 有一定的热功率, 故 A 错误; 增大频率, 检测线圈的磁通量变化率变大, 产生的感应电动势变大, 则电流强度变大, 故 B 错误; 增大频率, 检测线圈的功率和管道产生的热功率变大, 则检测仪消耗功率将变大, 故 C 正确; 当检测仪从金属管完好处进入破损处检测时, 厚度减小, 则管道壁

中产生的涡流变小, 故 D 错误。]

3. C [当条形磁铁靠近和远离铝板时, 通过铝板的磁通量发生变化, 会产生感应电动势, A 错误; 铝板内产生感应电动势, 且铝板相当于闭合回路, 由此能产生感应电流, B 错误; 铝板产生感应电流后, 可在安培力的作用下摆动起来, C 正确, D 错误。]

专题突破十二 电磁感应中的电路、图像问题

细研考点·突破题型

突破一

典例 1 解析: (1) 棒 ab 运动到 $x_1 = 0.2 \text{ m}$ 时, 磁感应强度 $B_1 = 2 \text{ T}$, 有效切割长度为 $l_1 = 2x_1 \tan \alpha = 0.3 \text{ m}$

则感应电动势 $E_1 = B_1 l_1 v = 0.3 \text{ V}$

流过电阻 R 的电流大小 $I = \frac{E_1}{R} = 3 \times 10^{-3} \text{ A}$ 。

(2) ① 在 $0.2 \text{ m} \leq x \leq 0.4 \text{ m}$ 区域, 由 $B = \frac{2}{5x} \text{ T}$, 金属棒有效

切割长度 $l = 1.5x$, 可知产生的感应电动势 $E = Blv$ 恒为 0.3 V , 则电流 I 恒为 $3 \times 10^{-3} \text{ A}$, 棒做匀速运动, 则棒受力平衡, 故外力 F 大小等于棒所受到的安培力大小, 即 $F = BIl = 1.8 \times 10^{-3} \text{ N}$

② 在 $0.4 \text{ m} < x \leq 0.8 \text{ m}$ 区域, 感应电动势 $E = Blv = \frac{3}{4} x v$

通过电阻的电流 $I_1 = \frac{E}{R} = \frac{3}{400} x \text{ A}$

电容器的充电电流 $I_2 = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{C \Delta E}{\Delta t} = \frac{C \times \frac{3}{4} \times \Delta x}{\Delta t} \text{ A} = \frac{3}{4} C v \text{ A} = 1.5 \times 10^{-3} \text{ A}$

则外力 $F = Bl(I_1 + I_2) = \frac{3x}{2} \left(\frac{3x}{400} + \frac{3}{2} \times 10^{-3} \right) \text{ N} = \frac{9}{4000} x(5x + 1) \text{ N}$ 。

(3) 在 $0.2 \text{ m} \leq x \leq 0.4 \text{ m}$ 区域, 棒运动的时间为 $t_1 = \frac{0.4 - 0.2}{0.5} \text{ s} = 0.4 \text{ s}$, 通过棒的电荷量 $q_1 = It_1 = 1.2 \times 10^{-3} \text{ C}$

在 $0.4 \text{ m} < x \leq 0.8 \text{ m}$ 区域, 通过电阻的电流 I_1 随时间均匀

变化, 则 $\bar{I}_1 = \frac{\frac{3}{400} \times (0.4 + 0.8)}{2} \text{ A} = 4.5 \times 10^{-3} \text{ A}$, 又电容器

的充电电流 I_2 保持不变, 在该区域内, 棒运动的时间为 $t_2 = \frac{0.8 - 0.4}{0.5} \text{ s} = 0.8 \text{ s}$, 则通过棒的电荷量 $q_2 = \bar{I}_1 t_2 + I_2 t_2 = 4.8 \times 10^{-3} \text{ C}$ 。

答案: (1) $3 \times 10^{-3} \text{ A}$ (2) 见解析

(3) 见解析

突破二

典例 2 AC [当导体棒从 O 点向右运动 L 时, 即在 $0 \sim \frac{L}{v_0}$ 时

间内, 在某时刻导体棒切割磁感线的长度 $L = l_0 + v_0 t \tan \theta$ (θ

为 ab 与 ad 的夹角), 则根据 $E = BLv_0$ 得 $I = \frac{BLv_0}{R} = \frac{Bv_0}{R} (l_0$

$+ v_0 t \tan \theta)$ 可知回路电流均匀增加; 安培力 $F = \frac{B^2 L^2 v_0}{R} = \frac{B^2 v_0}{R}$

第十二章 交变电流 传感器

第1节 交变电流的产生及描述

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

一、1. 方向 2. (1) 匀速 (2) 垂直 最大 0 0 (3) 正弦

二、1. (1) $\frac{2\pi}{\omega}$ (2) 1 秒内完成周期性变化 赫兹 (3) $\frac{1}{f}$ 2.

(1) 时刻 (2) 最大值 (3) 热量 有效值 (4) 所围面积

易错易误辨析

(1) × (2) √ (3) √ (4) × (5) ×

细研考点·突破题型

考点1

题组突破

1. B [根据 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, 两线圈中磁通量的变化率相等, 但是匝数不等, 则产生的感应电动势最大值不相等, 有效值也不相等, 根据 $P = \frac{U^2}{R}$, 可知, 两电阻消耗的电功率也不相等, 选项 A、D 错误; 因两线圈放在同一个旋转磁铁的旁边, 则两线圈产生的交流电的频率相等, 选项 B 正确; 当磁铁的磁极到达线圈附近时, 磁通量变化率最大, 感应电动势最大, 可知两线圈产生的感应电动势不可能同时达到最大值, 选项 C 错误; 故选 B。]

2. A [由题图 2 知, 周期 $T = 4$ s, 感应电动势最大值 $E_m = 1$ V, 而感应电动势最大值的表达式 $E_m = NBS\omega = NBS \cdot \frac{2\pi}{T}$ 。若仅把线圈的转速变为原来的 2 倍, 则周期 T' 变为原来的 $\frac{1}{2}$, 即 $T' = 2$ s, 而感应电动势的最大值 E_m' 变为原来的 2 倍, 即 $E_m' = 2$ V, 所以 B、C 两项错误; 从图 1 位置转过 90° 开始计时, 也就是 $t = 0$ 时线圈中产生的感应电动势应为 0, 所以 A 项正确, D 项错误。]

考点2

题组突破

1. B [设该电流的有效值为 I , 由 $I^2 RT = \left(\frac{I_0}{\sqrt{2}}\right)^2 R \cdot \frac{T}{2} + (2I_0)^2 R \cdot \frac{T}{4}$, 解得 $I = \frac{\sqrt{5}}{2} I_0$, 故选 B。]

2. C [由有效值的定义有: $\frac{\left(\frac{156}{\sqrt{2}}\right)^2}{R} \times \frac{T}{2} + \frac{\left(\frac{311}{\sqrt{2}}\right)^2}{R} \times \frac{T}{2} = \frac{U^2}{R} T$, 解得: $U \approx 174$ V。]

3. B [结合题图乙, 根据有效值的定义可得 $\frac{\left(\frac{U_m}{\sqrt{2}}\right)^2}{R} \times \frac{T}{2} + 0 = \frac{U^2}{R} \times T$, 解得 $U = \frac{U_m}{2} = 110\sqrt{2}$ V ≈ 156 V, 电热毯在保温状态下消耗的电功率为 $P = \frac{U^2}{R} = \frac{(110\sqrt{2})^2}{484}$ W = 50 W, B 正确。]

$(l_0 + v_0 t \tan \theta)^2$ 则 $F-t$ 关系为抛物线, 但是不过原点;

安培力做功的功率 $P = Fv_0 = \frac{B^2 L^2 v_0^2}{R} = \frac{B^2 v_0^2}{R} (l_0 + v_0 t \tan \theta)^2$

则 $P-t$ 关系为抛物线, 但是不过原点; 电阻两端的电压等于导体棒产生的感应电动势, 即 $U = E = BLv_0 = Bv_0 (l_0 + v_0 t \tan \theta)$ 即图像是不过原点的直线; 根据以上分析, 可大致排除 B、D 选项;

当在 $\frac{L}{v_0} \sim \frac{2L}{v_0}$ 时间内, 导体棒切割磁感线的

长度不变, 感应电动势 E 不变, 感应电流 I 不变, 安培力 F

大小不变, 安培力的功率 P 不变, 电阻两端电压 U 保持不

变; 同理可判断, 在 $\frac{2L}{v_0} \sim \frac{3L}{v_0}$ 时间内, 导体棒切割磁感线长度

逐渐减小, 导体棒切割磁感线的感应电动势 E 均匀减小, 感

应电流 I 均匀减小, 安培力 F 大小按照二次函数关系减小,

但是不能减小到零, 与 $0 \sim \frac{L}{v_0}$ 内是对称的关系, 安培力的功

率 P 按照二次函数关系减小, 但是不能减小到零, 与 $0 \sim \frac{L}{v_0}$

内是对称的关系, 电阻两端电压 U 按线性均匀减小; 综上所述

所述选项 AC 正确, BD 错误。]

典例 3 解析: (1) 根据题意, 撤去外力后, 线框匀速离开磁场, 则线框所受安培力为零, 电流为 0, 磁通量不变, 则有 $\Phi_1 = \Phi$, $t_1 = 1.0$ s 时, $B_1 = 0.5$ T, 磁通量 $\Phi_1 = B_1 L^2$, t 时刻, 磁通量 $\Phi = BL[L - v(t - t_1)]$

得 $B = \frac{1}{6 - 4t}$ 。

(2) 根据 $q = \frac{\Delta\Phi}{R}$

可得 $0 \leq t \leq 0.5$ s 时, 电荷量 $q_1 = \frac{B_0 L^2}{R} = 0.125$ C

$0.5 \leq t \leq 1.0$ s 时, 电荷量 $q_2 = \frac{B_1 L^2 - B_0 L^2}{R} = 0.125$ C

$1.0 \leq t \leq 1.3$ s 内流过导线横截面的电荷量为零

故 $0 \leq t \leq 1.3$ s 电荷量 $q = q_1 + q_2 = 0.25$ C。

答案: (1) $B = \frac{1}{6 - 4t}$ (2) 0.25 C

典例 4 AB [根据题图乙所示的 $I-t$ 图像可知 $I = kt$, 其中 k

为比例系数, 由闭合电路欧姆定律可得 $I = \frac{E}{R+r} = kt$, 可推出

$E = kt(R+r)$, 而 $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, 所以有 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = kt(R+r)$, $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}-t$ 图像

是一条过原点且斜率大于零的直线, 故 B 正确; 因 $E = Blv$,

所以 $v = \frac{k(R+r)}{Bl} t$, $v-t$ 图像是一条过原点且斜率大于零的

直线, 说明金属棒做的是初速度为零的匀加速直线运动, 即

$v = at$, 故 A 正确; 对金属棒沿导轨方向上有 $F - BIl -$

$mg \sin \theta = ma$, 而 $I = \frac{Blv}{R+r}$, $v = at$, 得到 $F = \frac{B^2 l^2 at}{R+r} + ma +$

$mg \sin \theta$, 可见 $F-t$ 图像是一条斜率大于零且与纵轴正半轴

有交点的直线, 故 C 错误; $q = I \Delta t = \frac{\Delta\Phi}{R+r} = \frac{Bl \frac{1}{2} at^2}{R+r} =$

$\frac{Bla}{2(R+r)} t^2$, $q-t$ 图像是一条开口向上的抛物线, 故 D 错误。]

考点 3

典例 BD [图中位置的线圈处于中性面,此时线圈电动势最小为零,A 错误;根据感应电动势 e 的公式,可知 $e = \frac{1}{2}BL^2\omega\sin\omega t$, B 正确;线圈从图中位置转 180° 过程中,流过 R 的电荷量 $q = \bar{I}\Delta t = \frac{\Delta\Phi}{R+r} = \frac{BL^2}{R+r}$, C 错误;线圈转动一周过程中 R 上产生的热量 $Q = \left(\frac{E_m}{\sqrt{2}}\right)^2 \cdot R \cdot \frac{2\pi}{\omega} = \frac{\pi B^2 \omega L^4 R}{4(R+r)^2}$, D 正确。]

第 2 节 变压器 电能的输送

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

一、1. 两个线圈 (1)初级 (2)次级 3. $P_{\text{出}}$ 4. (2)低电压小电流

二、1. (1)横截面积 小 2. (1) $U_2 - U_3$ $\left(\frac{P_2}{U_2}\right)^2 R_{\text{线}}$ (2) $n_2 I_2$

$$\frac{U_2}{n_2} = \frac{U_1}{n_1}$$

易错易误辨析

(1)✓ (2)× (3)× (4)× (5)✓ (6)✓

细研考点·突破题型

考点 1

题组突破

1. **D** [根据理想变压器的变压规律有 $\frac{U}{n_1} = \frac{0.1 \text{ V}}{1}$, 代入 $U = 220 \text{ V}$ 得 $n_1 = 2\,200$, $U_m = \sqrt{2}U = 220\sqrt{2} \text{ V}$, A 错误;由功率与电压的关系得 $U_{BC} = \sqrt{PR} = 12 \text{ V}$, 根据理想变压器的变压规律有 $\frac{U}{n_1} = \frac{U_{BC}}{n_{BC}}$, 代入数据解得 $n_{BC} = 120$, 由欧姆定律得 $I = \frac{U_{BC}}{R} = 1 \text{ A}$, B 错误;由以上分析结合题意可知 $U_{AB} = 18 \text{ V}$, $U_{AC} = 30 \text{ V}$, 变压器不改变交流电的频率, 故 $f = \frac{\omega}{2\pi} = 50 \text{ Hz}$, C 错误;由欧姆定律得 $I' = \frac{U_{AC}}{R} = 2.5 \text{ A}$, 周期 $T = \frac{1}{f} = 0.02 \text{ s}$, D 正确。]

2. **AD** [变压器不会使交流电的周期改变, 由图(b)可知所用交流电的周期为 $2 \times 10^{-2} \text{ s}$, 可求得所用交流电的频率为 50 Hz , 选项 A 正确;由图(b)可知通过 R_2 的电流的有效值为 1 A , 由串并联电路特点可知通过 R_3 的电流(即通过电流表的电流)为 0.5 A , 故副线圈的总电流为 $I_2 = 1.5 \text{ A}$, 由欧姆定律可得副线圈两端的电压 $U_2 = 1 \times 10 \text{ V} = 10 \text{ V}$, 由变压器原、副线圈两端电压比与匝数比的关系可得, 原线圈两端的电压 $U_1 = \frac{U_2}{n_2} n_1 = 100 \text{ V}$, 再根据原线圈电路的串联关系可得 R_1 两端的电压为 $U_V = 220 \text{ V} - 100 \text{ V} = 120 \text{ V}$, 选项 B、C 均错误;根据变压器原理可得变压器传输的电功率为 $P = U_2 I_2 = 10 \times 1.5 \text{ W} = 15.0 \text{ W}$, 选项 D 正确。]

3. **BD** [电流表、电压表的读数为有效值, 根据题图乙知, 原线圈的电压的最大值 $U_m = 220\sqrt{2} \text{ V}$, 有效值 $U_1 = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 220 \text{ V}$,

由 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$, 代入数据解得 $U_2 = 10 \text{ V}$, 二极管具有单向导电性, 交流电压一个周期内副线圈只有半个周期内有电流, 设电压表的读数为 U'_2 , $\frac{U_2'^2}{R} T = \frac{U_2^2}{R} \cdot \frac{T}{2}$, 代入数据解得 $U'_2 \approx 7.07 \text{ V}$, 故 A 错误;副线圈的电流 $I_2 = \frac{U'_2}{R} = \frac{7.07}{10} \text{ A} = 0.707 \text{ A}$, $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$, 代入数据解得原线圈电流的有效值 $I_1 \approx 0.032 \text{ A}$, 故 B 正确;由 $U_m = n_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 220\sqrt{2} \text{ V}$, 解得磁通量变化率的最大值 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{U_m}{n_1} = \frac{220\sqrt{2}}{2\,200} \text{ Wb/s} \approx 0.14 \text{ Wb/s}$, 故 C 错误;根据题图乙知, $T = 0.02 \text{ s}$, $\omega = \frac{2\pi}{T} = 100\pi \text{ rad/s}$, 而 $U_m = n_1 \Phi_m \omega$, 代入数据解得穿过变压器铁芯的磁通量的最大值 $\Phi_m = \frac{U_m}{n_1 \omega} = \frac{220\sqrt{2}}{2\,200 \times 100\pi} \text{ Wb} \approx 4.5 \times 10^{-4} \text{ Wb}$, 故 D 正确。]

考点 2

典例 1 C [理想变压器不能改变交流电的频率, 即原、副线圈中电流的频率之比为 $1:1$, 选项 A 错误;由理想变压器原、副线圈匝数与电流的关系可知, 原、副线圈中电流之比为 $I_1:I_2 = n_2:n_1$, 选项 B 错误;由串、并联电路的特点可知, 当滑动变阻器的滑片处于中间位置时, 即并联的两支路电阻阻值相等时, 并联的总电阻最大, 此时副线圈的总电阻最大, 当滑片从 a 端滑动到 b 端的过程中, 副线圈所在电路的电阻先增大后减小, 所以副线圈所在电路的总电流先减小后增大, 故灯泡 L_1 先变暗再变亮, 选项 C 正确;当滑动变阻器 R 的滑片从 a 端滑动到 b 端的过程中, 副线圈电路中的总电流先减小后增大, 因为副线圈的电压保持恒定, 所以副线圈的功率先减小后增大, 而理想变压器中输入功率等于输出功率, 故原线圈输入功率先减小后增大, 选项 D 错误。]

典例 2 BD [因为变压器不能改变交流电的频率, 所以通过电阻 R_2 的交变电流的频率为 $f = \frac{100\pi}{2\pi} \text{ Hz} = 50 \text{ Hz}$, 选项 A 错误;保持滑片 P 不动, 使 P' 向下移动时, R_2 阻值变大, 则副线圈中的电流减小, 因原、副线圈的匝数不变, 可知原线圈中的电流减小, R_1 两端的电压减小, 变压器原线圈两端电压变大, 则副线圈两端电压变大, 电压表的示数变大, 选项 B 正确;当滑片 P 向下移动时原线圈的匝数减少, 设 $\frac{n_1}{n_2} = k$, $R_1 = R_2 = R$, 则此时原线圈两端电压为 $U_1 = U - I_1 R$, 则根据匝数比可知, 副线圈两端电压为 $U_2 = \frac{U - I_1 R}{k} = I_2 R$, $\frac{I_2}{I_1} = k$ 解得 $U_2 = \frac{U}{k + \frac{1}{k}}$, 因 $k \cdot \frac{1}{k} = 1$, 则当 $k = 1$ 时, $k + \frac{1}{k}$ 最小, 由题意 $k \leq 1$ 知, 当 P 向下移动时, k 减小, $k + \frac{1}{k}$ 变大, 则 U_2 减小, 选项 C 错误, D 正确。]

典例 3 B [设原线圈两端电压为 U_1 , 副线圈两端电压为 U_2 , 通过原线圈的电流为 I_1 , 通过副线圈的电流为 I_2 , 由理想变压器变压规律和变流规律可得, 原、副线圈及定值电阻 R_1

的等效电阻为 $R' = \frac{U_1}{I_1} = \frac{n_1 U_2}{n_2 I_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \frac{U_2}{I_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 R_1$ 。保

持 P_1 位置不变,将原、副线圈及电阻 R_1 等效为一定值电阻, P_2 向左缓慢滑动过程中, R_2 接入电路的电阻减小,则整个电路的总电阻减小,由欧姆定律可知,回路中电流 I 增大,原线圈两端电压增大,又电源电压不变,故电压表示数 U 减小, A 项错误;由于原线圈两端电压增大,由理想变压器变压规律可知,副线圈两端电压增大,故 R_1 消耗的功率增大, B 项正确。当 P_2 位置不变, P_1 向下滑动时, n_2 减小,等效电阻 R' 增大,由欧姆定律可知,回路中电流减小, R_2 两端电压减小, C 项错误;由于 R_2 两端电压减小,则原线圈两端电压增大,由变压规律可知,副线圈两端电压增大, R_1 的功率增大, D 项错误。]

考点 3

典例 4 C [由 $P=UI$ 得发电机的输出电流 $I = \frac{P}{U_1} = \frac{500 \times 10^3}{250} \text{ A} = 2 \times 10^3 \text{ A}$, A 错误;用户端电流 $I_4 = \frac{P_4}{U_4} = \frac{88 \times 10^3}{220} \text{ A} = 400 \text{ A}$,由理想变压器原、副线圈的电流之比与原、副线圈的匝数之比的关系得 $\frac{I_3}{I_4} = \frac{n_4}{n_3}$,则 $I_3 = \frac{n_4}{n_3} I_4 = \frac{1}{50} \times 400 \text{ A} = 8 \text{ A}$,则输电线上损失的功率 $\Delta P = I_3^2 R = 4 \text{ kW}$, B 错误;输送功率 $P_2 = P_4 + \Delta P = 88 \text{ kW} + 4 \text{ kW} = 92 \text{ kW}$,则输送给储能站的功率 $P' = P - P_2 = 500 \text{ kW} - 92 \text{ kW} = 408 \text{ kW}$, C 正确;输送电压 $U_2 = \frac{P_2}{I_3} = \frac{92 \times 10^3}{8} \text{ V} = 1.15 \times 10^4 \text{ V}$,由理想变压器原、副线圈的电压之比与原、副线圈的匝数之比的关系得 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{250 \text{ V}}{1.15 \times 10^4 \text{ V}} = \frac{1}{46}$,则升压变压器的匝数比 $n_1 : n_2 = 1 : 46$, D 错误。]

教考衔接 5 电磁感应在生产、生活中的应用

拓展高考链接

- AC [根据 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{80\% U_1}{U_2}$ 可得接收线圈的输出电压约为 $U_2 = 8 \text{ V}$,故 A 正确;由于存在磁漏现象,电流比不再与匝数成反比,故 B 错误;变压器是不改变其交变电流的频率的,故 C 正确;由于穿过发射线圈的磁通量与穿过接收线圈的磁通量大小不相同,所以穿过发射线圈的磁通量变化率与穿过接收线圈的不相同,故 D 错误,故选 AC。]
- AC [由于送电线圈中通入正弦式交变电流,根据麦克斯韦理论可知送电线圈中电流产生的磁场呈周期性变化,故 A 正确;周期性变化的磁场产生周期性变化的电场,所以受电线圈中感应电流仍是正弦交流电,产生的磁场也是周期性变化的,故 B 错误;无线充电利用的是电磁感应原理,所以送电线圈和受电线圈通过互感现象实现能量传递,故 C 正确;无线充电器的优点之一是不用传统的充电线连接到需要充电的终端设备上的充电器,但充电过程中仍有电能量损失,故 D 错误。]

- AD [由题图乙知 $t = \pi \times 10^{-3} \text{ s}$ 时受电线圈中产生的电动势最大,为 $E_m = 20 \text{ V}$,线圈中产生感应电流的大小为 $I_1 = I_m = \frac{E_m}{R+r} = 2.0 \text{ A}$,由楞次定律可以得到此时 c 端电势高于 d 端,故 A 正确, B 错误;通过电阻的电流的有效值为 $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \text{ A}$,电阻在一个周期内产生的热量 $Q = I^2 R T = 5.7 \times 10^{-2} \text{ J}$,故 C 错误;线圈中感应电动势的平均值 $\bar{E} = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$,通过电阻 R 的电流的平均值为 $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{R+r}$,通过电阻 R 的电荷量 $q = \bar{I} \cdot \Delta t$,由题图乙知,在 $\frac{T}{4} \sim \frac{3T}{4}$ 的时间内, $\Delta \Phi = 4 \times 10^{-4} \text{ Wb}$,解得 $q = n \frac{\Delta \Phi}{R+r} = 2 \times 10^{-3} \text{ C}$,故 D 正确。]

第十三章 光 电磁波 相对论

第 1 节 光的折射 全反射

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

1. (1)同一平面 正弦 正弦 (3)可逆 2. (1)光学特性 (3) $\frac{c}{v}$ 1
2. 1. 光密 光疏 2. (1)光密 光疏 消失 (2)大于或等于 (3)小 3. 全反射
3. 1. 由红到紫 2. 不同 小 小 大 大

易错易误辨析

- (1)× (2)√ (3)√ (4)× (5)√

细研考点·突破题型

考点 1

典例 1 解析:(1)由平抛运动的规律可知 $d = v_0 t$,

$$\frac{2}{3}d = \frac{1}{2}gt^2$$

$$\tan \theta = \frac{gt}{v_0}$$

$$\text{解得 } \tan \theta = \frac{4}{3}.$$

(2)因 $\tan \theta = \frac{4}{3}$ 可知 $\theta = 53^\circ$,从 A 点射到水面的光线的入射角为 α ,折射角为 $90^\circ - \theta = 37^\circ$,

$$\text{则由折射定律可知 } n = \frac{\sin \alpha}{\sin 37^\circ}$$

$$\text{解得 } \alpha = 53^\circ$$

$$\text{由几何关系可知 } H \tan 37^\circ + \frac{2}{3}d \tan 53^\circ = d$$

$$\text{解得 } H = \frac{4}{27}d.$$

$$\text{答案: (1) } \frac{4}{3} \quad (2) \frac{4}{27}d$$

考点 2

典例 2 解析:当入射角达到 45° 时,恰好到达临界角 C

$$\text{根据 } \sin C = \frac{1}{n}$$

可得液体的折射率

$$n = \frac{1}{\sin C} = \frac{1}{\sin 45^\circ} = \sqrt{2}$$

$$\text{由于 } n = \frac{c}{v}$$

可知激光在液体中的传播速度

$$v = \frac{c}{n} = \frac{\sqrt{2}}{2}c$$

$$\text{答案: } \sqrt{2} \quad \frac{\sqrt{2}}{2}c$$

典例 3 BC [由题意知,当 $\alpha = 41^\circ$ 时,激光在水中射出水面时恰好发生全反射,即激光在水中发生全反射的临界角 $C = 90^\circ - 41^\circ = 49^\circ$,根据 $\sin C = \frac{1}{n}$,可得水的折射率 $n = \frac{1}{\sin 49^\circ}$,A 错误,B 正确;当 $\alpha = 60^\circ$ 时,激光在水中的入射角为 30° ,根据光的折射定律可知,光从水中折射进入空气中时折射角大于 30° ,故当以 $\alpha = 60^\circ$ 向水面发射激光时,岸上救援人员接收到激光光束的方向与水面夹角小于 60° ,C 正确,D 错误。]

考点 3

题组突破

1. A [蓝光的折射率比红光的折射率大,在第一个三棱镜里光已经发生色散。而射出第一个三棱镜后红蓝光为两束平行光,且红光在上,在第二个三棱镜里不会改变上下顺序,所以 A 项正确。]
2. B [光线从 O 点垂直 AB 边射入棱镜后经 AC 边和 CB 边反射,平行于入射光线从 O' 点射出,故 B 正确。]
3. A
4. 解析:(1)由题意可知,光线在半圆柱体内发生全反射的临界角 $C = 60^\circ$,根据全反射规律有 $n = \frac{1}{\sin C}$,解得半圆柱体对该单色光的折射率 $n = \frac{\sqrt{3}}{3}$ 。

(2)当 $\theta = 30^\circ$ 时,由于光线沿 B 的半径射出,故射出半圆柱体 A 的光线经过 B 的圆心,光路图如图所示。

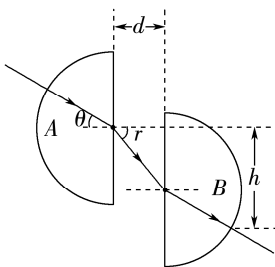
设光线在射出半圆柱体 A 时的折射角为 r ,则根据光的折射定律有 $\frac{\sin r}{\sin \theta} = n$,解得 $\sin r$

$$= \frac{\sqrt{3}}{3},$$

$$\text{根据几何知识有 } d = \frac{h - R \sin \theta}{\tan r}$$

$$\text{解得 } d = \sqrt{2}h - \frac{\sqrt{2}}{2}R$$

$$\text{答案: (1) } \frac{\sqrt{3}}{3} \quad (2) \sqrt{2}h - \frac{\sqrt{2}}{2}R$$



第 2 节 光的波动性

电磁波 相对论

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

- 一、1. (1)亮 暗 相互 (2)相同 (3)白色亮 彩色 2. 相差 不多 还小 3. (1)相同 (2)特定 (3)偏振片 (4)横
- 二、1. 电场 磁场 2. (1)传播 (2)介质 (3)小 3. (1)开放 高频振荡 (2)振幅 频率 4. (1)相等 (2)调谐 (3)调制 解调 5. 频率 波长 可见光
- 三、1. (1)相同 (2)相同 没有 2. (1)增大 $m =$

$$\frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad (2) \text{大于} \quad 3. mc^2$$

易错易误辨析

- (1)× (2)× (3)√ (4)√ (5)× (6)√

细研考点·突破题型

考点 1

典例 1 C [第三条亮条纹对应路程差 $s = 3\lambda$,但光在介质中的传播速度小于 c ,故 A 错误;由 $x = \frac{L}{d}\lambda$, $n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda}{\lambda_0}$ 可知 (λ_0 为光在矿泉水中的波长),光在矿泉水中的波长小于真空中的波长,所以 $x_2 < x_1$,故 B 错误;由 $n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda}{\lambda_0}$, $x_1 = \frac{L}{d}\lambda$, $x_2 = \frac{L}{d}\lambda_0$,得 $n = \frac{x_1}{x_2}$,故 C 正确;由 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$ 可知,向左移动 S_0 对观察结果没有影响,故 D 错误。]

典例 2 AD [空气膜的上下两个表面反射的两列光波发生干涉,依据光程差是光的半个波长的偶数倍即为明条纹,而若是光的半个波长的奇数倍即为暗条纹,因圆锥形玻璃体压在平面标准板上,以顶点为圆心的各点空气薄膜间距相等且随半径的方向均匀变化,因此可以看到条纹是以顶点为圆心的同心圆,且疏密均匀,故 A 正确,B 错误;产生干涉的两束光是来自玻璃体的下表面和平面标准板上表面的反射光,C 错误;空气薄膜干涉是等膜干涉,即明条纹处空气膜的厚度相同,若出现乙图所示条纹,说明该处光的路程差和内侧的路程差相等,即该处出现凸起,D 正确。故选 AD。]

考点 2

题组突破

1. A [用单色平行光照射狭缝,当缝调到很窄时,尽管亮条纹的亮度有所降低,但是宽度反而增大了,故 B 错误,A 正确;C、D 照片为双缝干涉图样,故 C、D 错误。故选 A。]
2. ACD [因为 A、B 的透振方向一致,故 A、B 间不放糖溶液时,自然光通过偏振片 A 后变成偏振光,通过 B 后到 O 处。当在 A、B 间加上糖溶液时,由于糖溶液的旋光作用,使通过 A 的偏振光的振动方向转动了一定角度,使通过 B 到达 O 处的光的强度不是最大,但当 B 转过一个角度,恰好使透振方向与经过糖溶液后的偏振光的振动方向一致时,O 处光强又为最强,故 B 的旋转角度即糖溶液的旋光度。若偏振片 B 不动而将 A 旋转一个角度,再经糖溶液旋光后光的振动方向恰与 B 的透振方向一致,则 A 转过的角度也为 α ,故 A、C、D 三项正确。]

考点 3

题组突破

1. C [LC 电路的电容器在充电时, 电流减小, 故 A 错误; 根据 $T=2\pi\sqrt{LC}$ 可知, 因为两极板间距离 d 增大时 C 减小, 所以 T 减小, 故 B 错误; 电容器充电时, 电流减小得越来越快, 线圈中自感电动势增大, 故 C 正确; 电磁波发射时, 使电磁波随各种信号而改变的技术叫调制, 故 D 错误。故选 C。]
2. B [紫外线可用于杀菌消毒, 红外线具有热效应, 故 A 错误; 红外线的波长比红光的波长要长, 而紫外线的波长比紫光的波长还要短, 所以红外线是波长比紫外线长的电磁波, 故 B 正确; 人们利用红外线来测温, 是利用红外线的热效应, 因为红外线波长长, 更容易发生衍射, 红外线的穿透能力较弱, 接受红外线照射是不会伤害身体的, 故 C 错误; 红外线的频率小于 X 光的频率, X 光的频率很高, 在医学上用来透视, 故 D 错误。]
3. 解析: 从地面上测量时两飞船都是运动的, 由相对论的“尺缩效应”知运动长度要缩短, 故从地面测得的飞船间距小, 而从飞船 A 测量时飞船 B 是静止的, 则 A 测得的长度为以静止参考系长度, 大于 L ; 由光速不变原理知光信号的传播速度与参考系是无关的, 故 A 测得该信号的速度仍为光速 c 。

答案: 大于 c (或光速)

实验十三 测定玻璃的折射率

实验类型全突破

类型 1

典例 1 解析: (1) 为了提高实验准确程度, 在实验过程中应选用两光学表面间距大的玻璃砖, 选用细的大头针且插在玻璃砖同侧的大头针的间距尽量大些, 所以 A、D 正确。

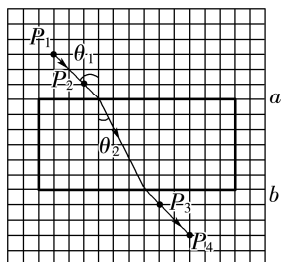
(2) 入射光线和出射光线应平行且不在一条直线上, D 正确。

(3) 根据折射率公式得 $n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\frac{AC}{R}}{\frac{BD}{R}} = \frac{AC}{BD}$ 。

答案: (1) AD (2) D (3) $\frac{AC}{BD}$

典例 2 解析: (1) 实验时入射角应适当大些, 可以减小误差, A 项正确; 为了减小误差, 插大头针时应使 P_1 和 P_2 、 P_3 和 P_4 的间距大一些, B 项错误; 光在同一均匀介质中沿直线传播, 所以插大头针 P_4 时, 应使 P_4 同时挡住 P_3 和 P_1 、 P_2 的像, C 项正确; 该实验原理不仅能测量两面平行的玻璃砖的折射率, 也可以测两面不平行的玻璃砖的折射率, 故 D 错误。

(2) 光路图如图所示。



在光路图中利用方格构造三角形, 由图得 $\sin \theta_1 = \frac{\sqrt{2}}{2}$, $\sin \theta_2$

$= \frac{\sqrt{5}}{5}$, 根据折射定律, 有 $n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\sqrt{10}}{2}$ 。

(3) 若某同学在插大头针时将 P_1 插到了入射光线的左侧一点的位置 (偏差很小), 其他操作均没有错误, 则折射角变大, 故玻璃砖折射率偏小。

答案: (1) AC (2) $\frac{\sqrt{10}}{2}$ (3) 偏小

类型 2

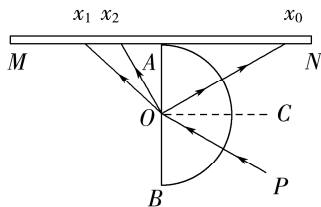
典例 3 解析: (2) 玻璃砖 1 的折射率可表示为

$$n_1 = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\frac{\frac{1}{2}D}{\sqrt{x_1^2 + (\frac{1}{2}D)^2}}}{\frac{\frac{1}{2}D}{\sqrt{x_0^2 + (\frac{1}{2}D)^2}}} = \sqrt{\frac{D^2 + 4x_0^2}{D^2 + 4x_1^2}}$$

(3) 根据 $n_1 = \sqrt{\frac{D^2 + 4x_0^2}{D^2 + 4x_1^2}}$ 可知, 因两次实验中 x_0 相同, x_1 越大, 折射率越小, 因为 $x_1 > x_2$, 可知厚镜片材质的折射率比薄镜片材质的折射率小, 该实验主要采用的实验方法是替代法。

答案: (1) 如图所示 (2) $\sqrt{\frac{D^2 + 4x_0^2}{D^2 + 4x_1^2}}$

(3) 小 替代法



典例 4 解析: (1) 由折射定律 $n = \frac{\sin i}{\sin \gamma}$ (i 为光线在空气中的入射角), 由题中的图知在 N 位置时 i 比在 M 位置时的大,

所以大头针 P_3 插在 M 位置时液体的折射率值小于插在 N 位置时液体的折射率值, 故 A 错误, B 正确; 所有液体的折射率都比空气中的大, 即在 EK 部分不能观察到大头针 P_1 、 P_2 的像, 故 C 错误; 当入射角大于液体的临界角时, 发生全反射现象, 就观察不到大头针 P_1 、 P_2 的像, 故 D 正确。

(2) 若 $\angle AOF = 30^\circ$, 则折射角 $\gamma = 30^\circ$, OM 与 OC 的夹角与入射角互余, $i = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$

由折射定律可得 $n = \frac{\sin i}{\sin \gamma} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{3}$ 。

答案: (1) BD (2) $\sqrt{3}$

典例 5 解析: 玻璃砖转动时, 射在其直径所在平面内的光线的入射角增大, 当增大到等于临界角 C 时, 发生全反射现象。因 $\sin C = \frac{1}{n}$, 可见只要测出临界角即可求得折射率 n , 而 C 和玻璃砖直径绕 O 点转过的角度 θ 相等, 因此只要测出玻璃砖直径边绕 O 点转过的角度 θ 即可。

答案: 玻璃砖直径边绕 O 点转过的角度 θ $\frac{1}{\sin \theta}$

第十四章 热学

第1节 分子动理论 内能

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

- 一、1. (1) 10^{-10} (2) 10^{-26} (3)相同 6. 02×10^{23} 2. (1)高 (2)液体分子 小 高 (3)分子 3. (1)引力 斥力 合力 (2)减小 快
二、1. (1)平均动能 (2)温度 2. (2) $t+273.15\text{ K}$ 3. 温度 大 4. 体积 5. 动能 分子势能 温度 体积

易错易误辨析

- (1)√ (2)√ (3)× (4)× (5)×

细研考点·突破题型

考点1

题组突破

1. **AB** [阿伏加德罗常数 $N_A = \frac{M_{\text{mol}}}{m_0} = \frac{\rho V_{\text{mol}}}{m_0} = \frac{V_{\text{mol}}}{V}$, 其中 V 为每个气体分子所占有空间的体积, 而 V_0 是气体分子的体积, 故 A、B 正确, C 错误; ρV_0 不是气体分子的质量, 故 D 错误。]
2. **解析**: (1)根据 $m = \rho V$
代入数据可得该液化水的质量 $m = 1\text{ kg}$ 。
(2)该液化水的物质的量为 $n = \frac{m}{M}$
水分子数 $N = nN_A$
联立并代入数据解得 $N \approx 3 \times 10^{25}$ (个)。
(3)建立水分子的球体模型, 设其直径为 d , 则可得每个水分子的体积为 $V_0 = \frac{V}{N}$
又 $V_0 = \frac{1}{6} \pi d^3$
联立并代入数据得水分子直径 $d \approx 4 \times 10^{-10}\text{ m}$ 。
答案: (1)1 kg (2) 3×10^{25} (个) (3) $4 \times 10^{-10}\text{ m}$

考点2

题组突破

1. **AC** [由于分子永不停息地做无规则运动, 在腌制过程中, 有的盐分子进入蔬菜内, 也有盐分子从蔬菜里面出来, A 正确; 盐分子的运动属于扩散现象, 温度越高现象越明显, B 错误; 如果让腌制蔬菜的盐水温度升高, 盐分子进入蔬菜的速度就会加快, C 正确; 盐水温度升高, 绝大多数的盐分子运动的速率会增大, 但也有个别分子的运动速率减小, D 错误。]
2. **D** [布朗运动是指悬浮在液体中花粉颗粒所做的无规则运动, 是液体分子对花粉颗粒碰撞时冲力不平衡导致的, 布朗运动不是液体分子的无规则运动, 而是液体分子做无规则热运动的间接反映。当温度一定时, 颗粒越小, 布朗运动越明显; 当颗粒大小一定时, 温度越高, 布朗运动越明显, D 正确。]
3. **BC** [水流的速度是机械运动的速度, 与水分子无规则热运动无关, A 错误; 分子永不停息地做无规则运动, 水凝结成冰后, 水分子的热运动不会停止, B 正确; 温度是分子平均动能的标志, 温度越高, 分子的热运动越剧烈, C 正确; 水的温度升高, 水分子的平均动能增大, 即水分子的平均运动速率增大, 但不是每一个水分子的运动速率都增大, D 错误。]

考点3

题组突破

1. **C** [分子间距离大于 r_0 时, 分子间表现为引力, A 错误; 分子从无限远靠近到距离 r_0 处的过程中, 引力做正功, 分子势能减小, B 错误; 距离继续减小, 分子间表现为斥力, 分子力做负功, 分子势能增大, 则在 r_0 处分子势能最小, C 正确, D 错误。]
2. **CD** [物体的内能包括所有分子的动能和分子势能, 故 A 错误; 物体被举得越高, 其重力势能越大, 与分子势能无关, 故 B 错误; 一定质量的 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 的冰熔化为 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 的水时需要吸热, 而此时温度不变, 分子平均动能不变, 故分子势能增加, 故 C 正确; 一定质量的理想气体放出热量, 如果同时有外界对它做功, 且做功的量大于它放出的热量, 它的内能就会增加, 故 D 正确。]

第2节 固体 液体 气体

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

- 一、1. 晶体 非晶体 规则 异性 同性 规则 2. (1)收缩 最小 垂直 越小 变小 越大 (2)异性 流动性 液体 晶体 杂乱无章
二、1. (1)大 忽略 (3)减少 增多 增大 不变 2. (1)单位面积上 (2)体积 密集程度 3. (1)气体实验定律 (2)分子势能

易错易误辨析

- (1)× (2)√ (3)× (4)× (5)√

细研考点·突破题型

考点1

题组突破

1. **AB** [晶体具有固定的熔点, 非晶体没有固定的熔点, 所以固体甲一定是晶体, 固体乙一定是非晶体, 故 A 正确; 固体甲若是多晶体, 则没有确定的几何外形, 固体乙是非晶体, 一定没有确定的几何外形, 故 B 正确; 在热传导方面, 固体甲若是多晶体, 则表现出各向同性, 固体乙一定表现出各向同性, 故 C 错误; 晶体在熔化时具有一定的熔点, 温度不变, 但晶体一直在吸收热量, 内能在增大, 故 D 错误。]
2. **B** [因为液体表面张力的存在, 有些小昆虫才能无拘无束地在水面上行走自如, 故 A 错误; 将棉线圈中肥皂膜刺破后, 扩成一个圆孔, 是表面张力作用的结果, 故 B 正确; 浸润情况下, 容器壁对液体的吸引力较强, 附着层内分子密度较大, 分子间距较小, 故液体分子间作用力表现为斥力, 附着层内液面升高, 故浸润液体呈凹液面, 不浸润液体呈凸液面, 都属于毛细现象, 故 C 错误; 玻璃管的裂口在火焰上烧熔后, 它的尖端会变钝, 是表面张力的原因, 不是浸润现象, 故 D 错误。]
3. **A** [晶体和非晶体的最大区别体现在是否有固定的熔点, 因此可以通过是否存在固定的熔点来判断固体是晶体或非晶体, A 正确; 液晶显示器是利用液晶光学性质具有各向异性的特点制成的, B 错误; 水黾可以在水面自由活动, 是液体的表面张力造成的, 与浮力无关, C 错误; 酱油与左边材料浸润, 与右边材料不浸润, D 错误。]

考点 2

题组突破

1. 解析: 题图甲中选活塞为研究对象, 受力分析如图(a)所示, 由平衡条件

$$p_A S = p_0 S + mg, \text{ 得 } p_A = p_0 + \frac{mg}{S};$$

题图乙中选汽缸为研究对象, 受力分析如图(b)所示, 由平衡条件知 $p_0 S =$

$$p_B S + Mg, \text{ 得 } p_B = p_0 - \frac{Mg}{S}.$$

$$\text{答案: } p_0 + \frac{mg}{S} \quad p_0 - \frac{Mg}{S}$$

2. 解析: 题图甲中, 以高为 h 的液柱为研究对象, 由平衡条件有 $p_{\text{甲}} S + \rho g h S = p_0 S$

$$\text{所以 } p_{\text{甲}} = p_0 - \rho g h;$$

题图乙中, 以 B 液面为研究对象, 由平衡条件有

$$p_A S + \rho g h S = p_0 S$$

$$p_B = p_A = p_0 - \rho g h;$$

题图丙中, 以 B 液面为研究对象, 由平衡条件有

$$p'_A S + \rho g h \sin 60^\circ \cdot S = p_0 S$$

$$\text{所以 } p_{\text{丙}} = p'_A = p_0 - \frac{\sqrt{3}}{2} \rho g h;$$

题图丁中, 以 A 液面为研究对象, 由平衡条件有

$$p_{\text{丁}} S = p_0 S + \rho g h_1 S$$

$$\text{所以 } p_{\text{丁}} = p_0 + \rho g h_1;$$

题图戊中, 从开口端开始计算, 右端大气压强为 p_0 , 同种液体同一水平面上的压强相同,

$$\text{所以 } b \text{ 气柱的压强为 } p_b = p_0 + \rho g (h_2 - h_1),$$

$$\text{故 } a \text{ 气柱的压强为 } p_a = p_b - \rho g h_3 = p_0 + \rho g (h_2 - h_1 - h_3).$$

$$\text{答案: 甲: } p_0 - \rho g h \quad \text{乙: } p_0 - \rho g h \quad \text{丙: } p_0 - \frac{\sqrt{3}}{2} \rho g h \quad \text{丁: } p_0 + \rho g h_1 \quad \text{戊: } p_a = p_0 + \rho g (h_2 - h_1 - h_3) \quad p_b = p_0 + \rho g (h_2 - h_1)$$

考点 3

典例 1 解析: (1) 选活塞与金属丝整体为研究对象, 根据平衡条件有

$$p_0 S = p_1 S + (m_1 + m_2) g$$

$$\text{代入数据解得 } p_1 = 10^5 \text{ Pa}.$$

(2) 当活塞在 B 位置时, 设汽缸内的压强为 p_2 , 根据玻意耳定律有 $p_1 V_0 = p_2 (V_0 + Sh)$

$$\text{代入数据解得 } p_2 = 9.9 \times 10^4 \text{ Pa}$$

选活塞与金属丝整体为研究对象, 根据平衡条件有 $p_0 S = p_2 S + (m_1 + m_2) g + F$

$$\text{联立解得 } F = 1 \text{ N}.$$

$$\text{答案: (1)} 10^5 \text{ Pa} \quad \text{(2)} 1 \text{ N}$$

典例 2 解析: (1) 对汽缸中的气体

$$\text{初状态 } p_1 = p_0, V_1 = HS + 2HS = 3HS$$

设最终状态气体压强为 p_2

$$\text{体积 } V_2 = \left(H + \frac{H}{2}\right) S + 2S \left(H - \frac{H}{3}\right) = \frac{17}{6} HS$$

由玻意耳定律有 $p_1 V_1 = p_2 V_2$

$$\text{解得 } p_2 = \frac{18}{17} p_0.$$

(2) 对左侧活塞受力分析有 $p_0 S + k \cdot \frac{1}{2} H = p_2 S$

$$\text{解得弹簧的劲度系数 } k = \frac{2 p_0 S}{17 H}$$

对右侧活塞受力分析有 $p_0 \cdot 2S + mg = p_2 \cdot 2S$

$$\text{解得添加的沙子质量 } m = \frac{2 p_0 S}{17 g}.$$

$$\text{答案: (1)} \frac{18}{17} p_0 \quad \text{(2)} \frac{2 p_0 S}{17 H} \quad \frac{2 p_0 S}{17 g}$$

典例 3 解析: (1) 设密封气体初始体积为 V_1 , 压强为 p_1 , 左、右管的截面积均为 S , 密封气体先经等温压缩过程体积变为 V_2 , 压强变为 p_2 . 由玻意耳定律有

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad \text{①}$$

设注入水银后水银柱高度为 h , 水银的密度为 ρ , 按题设条件有

$$p_1 = p_0 + \rho g h_0 \quad \text{②}$$

$$p_2 = p_0 + \rho g h \quad \text{③}$$

$$V_1 = (2H - l - h_0) S, V_2 = HS \quad \text{④}$$

联立①②③④式并代入题给数据得

$$h \approx 12.9 \text{ cm}. \quad \text{⑤}$$

(2) 密封气体再经等压膨胀过程体积变为 V_3 , 温度变为 T_2 , 由盖-吕萨克定律有

$$\frac{V_2}{T_1} = \frac{V_3}{T_2} \quad \text{⑥}$$

按题设条件有

$$V_3 = (2H - h) S \quad \text{⑦}$$

联立④⑤⑥⑦式并代入题给数据得

$$T_2 \approx 363 \text{ K}.$$

$$\text{答案: (1)} 12.9 \text{ cm} \quad \text{(2)} 363 \text{ K}$$

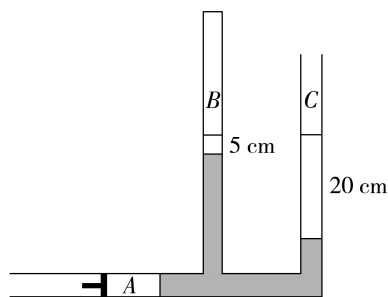
典例 4 解析: (1) 设玻璃管横截面积为 S , 活塞缓慢向右压的过程中, 气体 B 做等温变化, 根据玻意耳定律有 $p_{B1} V_{B1} = p_{B2} V_{B2}$

$$\text{其中 } p_{B1} = p_0 - \rho_{\text{水银}} g \cdot \Delta h = 60 \text{ cmHg}, V_{B1} = l_{B1} S$$

$$p_{B2} = p_0 = 75 \text{ cmHg}, V_{B2} = L S$$

解得气体 B 的长度 $L = 20 \text{ cm}$.

(2) 活塞缓慢向右压的过程中, 各部分液柱移动情况示意图



U 形管左管中水银柱长度变化等于气柱 B 长度的变化 $\Delta L_{\text{左}} = 25 \text{ cm} - 20 \text{ cm} = 5 \text{ cm}$

U 形管右管中水银柱长度变化

$$\Delta L_{\text{右}} = 15 \text{ cm} + 5 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$$

气体 A 做等温变化, 推之前 $p_{A1} = p_0 + \rho_{\text{水银}} g h_2 = 75 \text{ cmHg} + 5 \text{ cmHg} = 80 \text{ cmHg}$

缓慢推后末状态 $p_{A2} = p_0 + \rho_{\text{水银}} g (h_2 + \Delta L_{\text{右}}) = 75 \text{ cmHg} + 25 \text{ cmHg} = 100 \text{ cmHg}$

$$V_{A1} = L_{A1} S, V_{A2} = L'_{A1} S$$

根据玻意耳定律有 $p_{A1} V_{A1} = p_{A2} V_{A2}$

解得气体A的长度 $L'_A=10\text{ cm}$,活塞移动的距离等于A部分气体长度的变化加上U形管左右两侧水银柱长度的变化,所以 $d=L_A-L'_A+\Delta L_{\text{左}}+\Delta L_{\text{右}}=27.5\text{ cm}$ 。

答案:(1)20 cm (2)27.5 cm

典例5 D [根据玻意耳定律可知 $p_0V+5p_0V_0=p_1\times 5V$,已知 $p_0=750\text{ mmHg}$, $V_0=60\text{ cm}^3$, $p_1=750\text{ mmHg}+150\text{ mmHg}=900\text{ mmHg}$,代入数据整理得 $V=60\text{ cm}^3$,故D正确。]

典例6 解析:(1)舱内气体的体积不变,设初始时负压隔离舱内的压强为 p_1 ,温度为 T_1 ,运送到某地区后负压隔离舱内的压强为 p_2 ,温度为 T_2

由查理定律可得 $\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$

其中 $p_1=1.0\times 10^5\text{ Pa}$, $T_1=300\text{ K}$

$T_2=288\text{ K}$

解得 $p_2=9.6\times 10^4\text{ Pa}$ 。

(2)设当地的大气压强为 p_3 ,首先让舱内气体进行等温膨胀,设膨胀前的气体体积为 V_0 ,膨胀后的气体体积为 V

则由玻意耳定律可得 $p_2V_0=p_3V$

解得 $V=\frac{16}{15}V_0$

故需要抽出的气体的体积为 $\Delta V=V-V_0=\frac{1}{15}V_0$

因抽出的气体与舱内气体的密度相同,故抽出气体的质量

与舱内剩余气体的质量之比为 $\frac{\Delta m}{m_{\text{舱}}}=\frac{\frac{1}{15}V_0}{V_0}=\frac{1}{15}$ 。

答案:(1) $9.6\times 10^4\text{ Pa}$ (2) $\frac{1}{15}$

典例7 解析:(1)钢瓶的容积一定,对钢瓶内气体,由查理定

律有 $\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$

代入数据解得 $T_2=294\text{ K}$,则 $t=21\text{ }^\circ\text{C}$ 。

(2)大瓶内气体初状态压强 $p_2=1.26\times 10^7\text{ Pa}$

体积 $V_2=40\text{ L}=0.04\text{ m}^3$

气体末状态压强 $p_3=2\times 10^5\text{ Pa}$,体积 V_3 ,温度不变,由玻意耳定律得

$p_2V_2=p_3V_3$,得 $V_3=2.52\text{ m}^3$

可用于分装小瓶的氧气 $p_4=2\times 10^5\text{ Pa}$

$V_4=(2.52-0.04)\text{ m}^3=2.48\text{ m}^3$

分装成小钢瓶的氧气 $p_5=p_3=4\times 10^5\text{ Pa}$

设分装的瓶数为 n ,体积 $V_5=nV$

其中小钢瓶体积为 $V=10\text{ L}=0.01\text{ m}^3$

根据 $p_4V_4=p_5V_5$

得 $n=124$,即一大钢瓶氧气可分装124小瓶。

答案:(1) $21\text{ }^\circ\text{C}$ (2)124

典例8 解析:(1)设需要充气 n 次,每次充入的气体体积为 V_0 ,因每次充入的气体相同,故可视 n 次打入的气体为一次性打入。

以橡皮艇内原来的气体和充入橡皮艇的气体为研究对象,

温度不变,由玻意耳定律知 $p_1V_0+n p_0V=p_2V_0$

其中 $p_1=2\times 10^5\text{ Pa}$, $V_0=2\text{ m}^3$

$p_0=1\times 10^5\text{ Pa}$, $V=2\times 10^4\text{ cm}^3=0.02\text{ m}^3$

$p_2=5\times 10^5\text{ Pa}$,代入数据解得 $n=300$ 次。

(2)橡皮艇内的气体泄漏后,设橡皮艇内气体全部变为 $p_3=4\times 10^5\text{ Pa}$ 时的总体积为 V_4

则由玻意耳定律有 $p_2V_0=p_3V_4$

代入数据解得 $V_4=2.5\text{ m}^3$

则泄漏的气体体积为

$\Delta V=V_4-V_0=0.5\text{ m}^3$

所以泄漏的气体的质量占原来气体质量的百分比为

$\eta=\frac{\Delta V}{V_4}\times 100\%=20\%$ 。

答案:(1)300次 (2)20%

考点4

典例9 BD [在 p - V 图像中,由 $A\rightarrow B$,气体经历的是等温变化过程,根据玻意耳定律 $p_AV_A=p_BV_B$, $V_B>V_A$,则 $p_B<p_A$,气体的体积增大,压强减小;由 $B\rightarrow C$,气体经历的是等容变化过程,根据查理定律 $\frac{p_B}{T_B}=\frac{p_C}{T_C}$, $p_C>p_B$,则 $T_C>T_B$,气体的压强增大,温度升高;由 $C\rightarrow A$,气体经历的是等压变化过程,根据盖-吕萨克定律 $\frac{V_C}{T_C}=\frac{V_A}{T_A}$, $V_C>V_A$,则 $T_C>T_A$,气体的体积减小,温度降低。A中, $B\rightarrow C$ 连线不过原点,不是等容变化过程,A错误;C中, $B\rightarrow C$ 体积减小,C错误;B、D两项符合全过程,故B、D正确。]

第3节 热力学定律与能量守恒定律

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

一、1.热传递 2.(2) $\Delta U=Q+W$ 3.(1)从一种形式转化为另一种形式 从一个物体转移到别的物体

二、1.(1)自发地 (2)不产生其他影响

2.能量守恒定律 热力学第二定律

易错易误辨析

(1)✓ (2)× (3)✓ (4)× (5)× (6)✓

细研考点·突破题型

考点1

题组突破

1. **C** [初始时气体的压强 $p_1=p_0+\frac{mg}{S}$,体积为 V_1 ,温度为 T_1 ;将汽缸缓慢转过 90° 后,气体的压强为 $p_2=p_0$,体积为 V_2 ,温度为 T_2 ,易知 $V_2>V_1$,故气体对外界做功,因汽缸和活塞都是绝热的,根据热力学第一定律可得 $\Delta U<0$,由于理想气体内能只与气体温度有关,所以 $T_1>T_2$,A、D错误;内能减小,不是所有气体分子热运动速率都减小,但速率大的分子数占总分子数的比例减小,B错误,C正确。]

2. **B** [由符号法则可知,外界对气体做功, W 为正值,气体内能减少, ΔU 为负值,代入热力学第一定律表达式得 $Q=-2\times 10^5\text{ J}$,故B正确。]

3. **C** [取密闭气体为研究对象,活塞上升过程为等压变化,由

盖-吕萨克定律有 $\frac{V_0}{T_0}=\frac{V}{T}$

其中 $V_0=h_0S$, $V=(h_0+d)S$

解得外界温度 $T=\frac{h_0+d}{h_0}T_0$

移至室外,活塞上升的过程,密闭气体克服大气压力和活塞的重力做功,所以外界对系统做的功

$W=-(mg+p_0S)d$

根据热力学第一定律得密闭气体增加的内能 $\Delta U=Q+W=Q-(mg+p_0S)d$,故C正确,A、B、D错误。]

考点 2

题组突破

1. 解析:空调将热量从温度低的室内传递到温度较高的室外,这个过程要消耗电能,不是自发的过程;由于空调的压缩机做功,使得空调排放到室外环境的热量大于从室内吸收的热量。

答案:不是 大于

2. BD [根据热力学第二定律,热量不能自发地从低温物体传到高温物体,必须借助于其他系统做功,A 错误,B 正确;热力学第一定律是热现象中内能与其他形式能的转化规律,是能量守恒定律的具体表现,适用于所有的热学过程,故 C 错误;压缩机工作时会发热,将一部分电能转化为内能消耗掉,这种影响没法消除,D 正确。]

考点 3

典例 1 解析:(1)对封闭的气体,经历等温过程

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$\text{其中 } V_1 = 1 \text{ L}, V_2 = 5 \text{ L}, p_2 = p_0 + \rho gh = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\text{代入数据,得 } p_1 = 1.0 \times 10^6 \text{ Pa} = 10 p_0。$$

$$(2) \text{根据 } \Delta U = W + Q$$

$$\text{由于等温变化, } \Delta U = 0, Q = -W$$

$$\text{气体对外做功, } W = -p_2 \Delta V = -2 \times 10^5 \times 4 \times 10^{-3} \text{ J} = -800 \text{ J}$$

$$\text{所以 } Q = 800 \text{ J, 即吸收 } 800 \text{ J 的热量。}$$

答案:(1)10 倍 (2)800 J

典例 2 B [c→b 过程,气体体积不变,即等容变化过程,气体压强变小,温度降低,故内能减小,该过程气体对外不做功,故气体向外界放热,A 错误;由微元法可得 p-V 图像与横坐标围成的面积表示为气体做功的多少,由题图可知,a→c→b 过程比 a→b 过程气体对外界所做的功多,B 正确;a→b 过程为绝热过程,气体体积变大对外做功,由热力学第一定律可知,气体内能减小,温度降低,温度是分子平均动能的标志,故气体在状态 a 时比在状态 b 时的分子平均动能大,C 错误;a→c 过程,气体的压强相等,体积变大温度升高,分子的平均动能变大,分子撞击容器壁的动量变化量变大,由气体压强的微观解释可知,在状态 a 时比在状态 c 时单位时间内撞击在单位面积上的分子数多,D 错误。故选 B。]

实验十四 用油膜法估算油酸分子的大小

实验类型全突破

类型

典例 1 解析:(1)本实验利用了油酸分子易在水面上形成单分子油膜的特性;若将一滴油酸酒精溶液滴到水面上,这滴溶液中含有纯油酸体积为 V,形成面积为 S 的油酸薄膜,则由此可估测油酸分子直径为 $d = \frac{V}{S}$ 。

(2)实验步骤:准备带水的浅盘,将痱子粉均匀撒在水面上,将配制好的油酸酒精溶液,通过量筒测出 1 滴此溶液的体积,然后将 1 滴此溶液滴在有痱子粉的浅盘里的水面上,等待形状稳定后,将玻璃板放在浅盘上,用彩笔描绘出油酸膜的形状,将画有油酸薄膜轮廓的玻璃板放在坐标纸上,按不足半个舍去,多于半个的算一个,统计出油酸薄膜的面积,故答案为:DACB。

(3)错误地将油酸酒精溶液的体积直接作为油酸的体积进行计算,V 偏大,造成分子直径的测量值偏大,故 A 正确;油酸酒精溶液长时间放置,酒精挥发使溶液的浓度变大,则纯油

酸的体积减小,则计算的分子直径将偏小,故 B 错误;水面上痱子粉撒得多,油膜没有充分展开,则油膜的面积偏小,造成分子直径的测量值偏大,故 C 正确;计算油膜面积时,错将不完整的方格作为完整方格处理,则油膜的面积偏大,造成分子直径的测量值偏小,故 D 错误。

$$(4) 1 \text{ 滴油酸酒精溶液的体积为: } V_1 = \frac{1}{200} \times \frac{1}{50} \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 1 \times 10^{-10} \text{ m}^3$$

$$\text{所以油酸分子直径为: } d = \frac{V_1}{S} = \frac{1 \times 10^{-10}}{0.16} \text{ m} \approx 6 \times 10^{-10} \text{ m}。$$

答案:(1)单层 $\frac{V}{S}$ (2)DACB (3)AC (4) 6×10^{-10}

典例 2 解析:(1)“用油膜法估测油酸分子的大小”实验步骤为:准备油酸酒精溶液(④)→准备带水的浅盘并撒上痱子粉(②)→形成油膜(①)→描绘油膜轮廓(⑤)→计算分子直径(③),故正确的顺序为④②①⑤③。

(2)1 滴油酸酒精溶液中纯油酸的体积

$$V = \frac{1}{1\,000} \times \frac{1}{200} \text{ mL} = 5 \times 10^{-6} \text{ mL}$$

面积超过正方形一半的正方形的个数为 40 个,故油膜的面积

$$S = 40 \times 1 \times 1 \text{ cm}^2 = 40 \text{ cm}^2$$

$$\text{油酸分子直径 } d = \frac{V}{S} = 1.25 \times 10^{-9} \text{ m}。$$

(3)油酸未完全散开,则 S 测量值偏小,直径测量值偏大,A 正确;计算油膜面积时,将所有不足 1 格的方格记作 1 格,则 S 测量值偏大,直径测量值偏小,B 错误;计算油膜面积时,舍去了所有不足 1 格的方格,则 S 测量值偏小,直径测量值偏大,C 正确。

$$\text{答案:(1)④②①⑤③ (2)} 5 \times 10^{-6} \quad 40 \quad 1.25 \times 10^{-9}$$

(3)AC

第十五章 原子结构 波粒二象性 原子核

第 1 节 原子结构 波粒二象性

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

一、1. (1)电子 光电子 (2)反向 最小 最大值 2. (1)低于 (2)最大初动能 增大 (3)瞬时的 无 (4)正

二、1. 光子 $h\nu$ 2. 最小值 3. (1) $h\nu - W_0$ (2)最大初动能

三、1. (1)波动 (2)粒子 (3)波粒二象 2. (1)大 小

$$(2) \frac{h}{p}$$

四、1. 汤姆孙 2. (1)卢瑟福 原来 (2)正电荷 质量

五、2. 连续 特征 吸收

六、1. (1)不连续 稳定 (3)不连续 不连续

易错易误辨析

$$(1) \checkmark (2) \times (3) \times (4) \checkmark (5) \checkmark (6) \times$$

细研考点·突破题型

考点 1

典例 1 A [波长越短,频率越大,波长为 491.6 nm 的光的光子频率超过阴极材料的极限频率,波长为 365.0 nm 的光的光子频率一定也超过阴极材料的极限频率,能发生光电效应现象,由爱因斯坦光电效应方程有 $E_k = h \frac{c}{\lambda} - W_0$,可知

波长越短,逸出的光电子的最大初动能越大,选项 A 正确。饱和光电流和入射光的强度有关,选项 B 错误。若真空中的光速及电子电荷量已知,由题中所给数据,可以算出普朗克常量,即由 $eU_c = h \frac{c}{\lambda} - W_0$,可得 $h = \frac{(eU_c + W_0)\lambda}{c}$,选项 C 错误。设恰能使阴极发生光电效应现象的入射光的最大波长为 $\lambda_{\max}$,则有 $0 = h \frac{c}{\lambda_{\max}} - W_0$,再结合 C 项分析可得 $\lambda_{\max} = \frac{eU_c + W_0}{W_0} \lambda = 647.5 \text{ nm}$,故用波长为 577.0 nm 的光入射时,会发生光电效应,选项 D 错误。]

典例 2 A [由图乙知, a 、 c 的遏止电压相同,根据爱因斯坦光电效应方程有 $E_k = h\nu - W_0$,由动能定理得 $eU_c = E_k$,则 $eU_c = h\nu - W_0$,可知单色光 a 和 c 的频率相同,但 a 产生的饱和光电流更大,说明 a 光的强度大,选项 A 正确, B 错误;由图乙可知, b 的遏止电压大于 a 、 c 的遏止电压,结合 $eU_c = h\nu - W_0$ 分析可知单色光 b 的频率大于 a 的频率,选项 C 错误;只要光的频率不变,改变电源的极性,仍可能有光电流产生,选项 D 错误。]

考点 2

题组突破

- 1. D** [光具有波粒二象性,图 1 说明少量光子粒子性表现明显,大量光子波动性表现明显,故 A、B 错误;图 2 是电子束的衍射实验,证明实物粒子具有波动性,而不是光子,故 C 错误, D 正确。]
- 2. D** [电子衍射图样说明了电子具有波动性,故 A 错误;根据 $eU = \frac{1}{2}mv^2$, $\lambda = \frac{h}{mv}$,解得 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}}$,加速电压越大,电子的物质波波长越短,故 B 错误;电子是实物粒子,其动量更大,根据 $\lambda = \frac{h}{p}$ 可知电子物质波波长比可见光波长更短,故 C 错误;根据 $\lambda = \frac{h}{p}$,动量相等的质子和电子,对应的物质波波长也相等,故 D 正确。]

考点 3

典例 3 D [根据原子跃迁理论和题图所示能级图可知, $E_{\parallel} - E_{\perp} = h\nu_0$, $E_1 - E_{\perp} = h\nu_3$, $E_2 - E_{\perp} = h\nu_2$, $E_{\parallel} - E_2 = h\nu_1$,联立解得 $h\nu_0 = h\nu_1 + h\nu_2 + h\nu_3$,则 $\nu_2 = \nu_0 - \nu_1 - \nu_3$, D 正确, A、B、C 错误。]

第 2 节 原子核

链接教材·夯基固本

梳理·必备知识

- 一、1. 自发 贝可勒耳 复杂 2. 质子 质子数 3. (1) 天然人工 (2) 示踪原子
- 二、(1) 原子核 原子核 (2) ${}_2^4\text{He}$ ${}_{-1}^0\text{e}$ (3) 半数 物理化学
- 三、1. 核子间 2. (1) Δmc^2 (2) Δmc^2 3. (1) 中子 最小 镅棒 (2) 高温

易错易误辨析

- (1) $\checkmark$ (2) $\checkmark$ (3) $\times$ (4) $\times$ (5) $\times$ (6) $\times$

细研考点·突破题型

考点 1

题组突破

- 1. C** [镅 ${}_{95}^{241}\text{Am}$ 会释放出射线将空气分子电离,从而产生电流,而三种射线中 α 射线能使空气电离,故镅 ${}_{95}^{241}\text{Am}$ 放出的

是 α 射线,故 A、B 错误;镅的半衰期为 432 年,则经 864 年发生两次衰变,1 mg 的镅将衰变掉四分之三,即 0.75 mg,还剩下 0.25 mg 没有衰变,故 C 正确;半衰期由原子核本身的性质决定,与物理条件和化学状态均无关,则温度升高,半衰期不变,故 D 错误。]

- 2. A** [根据质量数守恒和电荷数守恒有, X 的质量数为 7,电荷数为 3,可知原子核 X 是 ${}_3^7\text{Li}$, A 正确、C 错误;由选项 A 可知,原子核 X 是 ${}_3^7\text{Li}$,则核反应方程为 ${}_4^7\text{Be} + {}_{-1}^0\text{e} \rightarrow {}_3^7\text{Li} + {}_0^0\nu_e$,则反应前的总质子数为 4,反应后的总质子数为 3, B 错误;中微子不带电,则中微子 ν_e 的电荷量与电子的不相同, D 错误。故选 A。]

- 3. B** [设碘 125 刚植入时的质量为 m_0 ,则经过 $n = \frac{180}{60} = 3$ 个半衰期以后剩余的质量为 $m = \left(\frac{1}{2}\right)^n m_0$,解得 $\frac{m}{m_0} = \frac{1}{8}$, B 项正确。]

考点 2

题组突破

- 1. CD** [(1) 式是 α 衰变, (2) 式是 β 衰变,均有能量放出,故 A 错误; (3) 式是人工核转变,故 B 错误; (3) 式是人类第一次实现原子核转变的方程,故 C 正确;利用激光引发可控的 (4) 式核聚变是正在尝试的技术之一,故 D 正确。]
- 2. AB** [由质量数和电荷数守恒可知, X 粒子的质量数为 1,电荷数为 0,则 X 粒子为中子,选项 A 正确;根据爱因斯坦质能方程可知 $m_X c^2 = 1\,876.1 \text{ MeV} + 2\,809.5 \text{ MeV} - 3\,728.4 \text{ MeV} - 17.6 \text{ MeV}$,解得 $m_X = 939.6 \text{ MeV}/c^2$,选项 B 正确;太阳每秒放出的能量 $E = Pt = 4 \times 10^{26} \text{ J}$,损失的质量 $\Delta m = \frac{E}{c^2} = \frac{4 \times 10^{26}}{9 \times 10^{16}} \text{ kg} \approx 4.4 \times 10^9 \text{ kg}$,选项 C 错误;太阳每秒放出的能量 $E = Pt = 4 \times 10^{26} \text{ J}$,地球每秒接收到太阳辐射的能量小于 $4 \times 10^{26} \text{ J}$,选项 D 错误。]
- 3. D** [核反应中生成物比反应物稳定,又比结合能越大,原子核越稳定,故生成物 ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ 的比结合能大于反应物 ${}_{84}^{210}\text{Po}$ 的比结合能,故 A 错误;由结合能的定义可得该反应过程中放出的能量 $Q = E_2 + E_3 - E_1$,故 B 错误;根据爱因斯坦质能方程可得该核反应过程中的质量亏损 $m = \frac{Q}{c^2}$,故 C 错误;放射性原子核发生衰变时,产生的新核处于高能级,这时它要向低能级跃迁,并放出光子,故 D 正确。]

考点 3

典例 BC [根据牛顿第二定律得 $qvB = m \frac{v^2}{r}$,解得 $r = \frac{mv}{qB}$,衰变时动量守恒,而 α 粒子电荷量较小,所以运动轨迹半径较大, A 错误;根据动量守恒定律得 $4m_0 v = (238 - 4)m_0 v'$,衰变过程中释放的核能为 $E = \frac{1}{2} \times 4m_0 v^2 + \frac{1}{2} (238 - 4)m_0 v'^2$,结合半径公式得 $R_1 = \frac{234m_0 v'}{90eB} = \frac{4m_0 v}{90eB}$, $R_2 = \frac{4m_0 v}{2eB}$,联立解得 $R_2 = 45R_1$, $E = \frac{119e^2 B^2 R_2^2}{234m_0}$, B、C 正确;根据周期公式 $T =$

$$\frac{2\pi m}{qB} \text{ 得 } \frac{T_a}{T} = \frac{q_a}{q} = \frac{4}{234} \cdot \frac{90}{2} = \frac{90}{117}, \text{ D 错误。}]$$