

答案

专题 1 库仑定律

1. (1) 放大法;控制变量法。(2) B

解析:(1) 当小球 B 靠近小球 A 时,旋转角度较小,因此通过微小放大法能够比较准确地测出转动角度;同时该实验过程体现了控制变量法,即控制了电荷量,研究库仑力与距离之间的关系。

(2) A、B 两球之间的库仑力公式为 $F=k\frac{q_1q_2}{r^2}$ 。若仅将 B 的电荷量减为原来的一半,则 F 为原来的一半,转动的角度 φ 与力 F 的大小成正比,所以 φ 为原来的一半,故选项 A 错误,选项 B 正确;若仅将 A、B 间的距离增为原来的两倍,则 F 为原来的 $\frac{1}{4}$,转动的角度 φ 与力 F 的大小成正比,所以 φ 为原来的 $\frac{1}{4}$,故选项 C 错误;若仅将 A、B 间的距离减为原来的一半,则 F 为原来的 4 倍,转动的角度 φ 与力 F 的大小成正比,所以 φ 为原来的 4 倍,故选项 D 错误。

2. **解:**在距星球表面 h 高度处,粉尘处于悬浮状态,说明粉尘所受库仑力和万有引力平衡,即

$$k\frac{q_1q_2}{(R+h)^2}=G\frac{m_1m_2}{(R+h)^2}$$

得

$$kq_1q_2=Gm_1m_2$$

当带电粉尘在距星球表面 $2h$ 高度处时,所受合力

$$F=k\frac{q_1q_2}{(R+2h)^2}-G\frac{m_1m_2}{(R+2h)^2}$$

结合以上两式可知

$$F=0$$

即粉尘仍受力平衡。由于库仑力和万有引力都与距离的平方成反比,因此该粉尘无论距星球表面多高,都处于悬浮状态。

3. (1) 0.08 (2) 负 (3) 0.04

解析:(1) 由库仑定律可知

$$F_1=k\frac{q^2}{r^2}=0.02\text{ N}$$

现将 B 移到距离 A 为 $\frac{r}{2}$ 处后固定,由库仑定律可知

$$F_2 = k \frac{q^2}{\left(\frac{r}{2}\right)^2}$$

联立可知

$$F_2 = 4F_1 = 0.08 \text{ N}$$

(2) 由于 B 球带正电,不带电的相同小球 C 从 B 球右侧区域向左移动,则 C 球左侧会感应出负电荷。

(3) 将小球 C 与 B 轻触后,此时 B 球的电量为原来的一半,由库仑力可知此时

$$F_3 = k \frac{q \frac{q}{2}}{\left(\frac{r}{2}\right)^2} = 0.04 \text{ N}$$

专题 2 电场和磁场

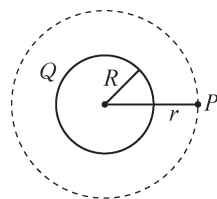
1. 解:这三个物理量都是用比值法定义的。比值法是用两个基本物理量的比值来定义一个新的物理量的方法。比值法适用于物质属性或特征、物体运动特征的定义。例如,用质量 m 与体积 V 之比定义密度 ρ 、用位移 s 与时间 t 之比定义速度 v 、用静电力 F 与电荷量 q 之比定义电场强度 E ,等等。由于物质在与外界接触作用时会显示出一些特征,这就给我们提供了利用外界因素来表示其特征的间接方式。借助实验寻找只与物质的某种属性或特征有关的两个或多个可以测量的物理量,利用这两个或多个可以测量的物理量的比值就能确定一个表征此种属性或特征的新物理量。这样在定义一个新物理量的同时,也就确定了这个新物理量与原有物理量之间的关系。比值法定义物理量包含“比较”的思想。例如,在建立电场强度概念的过程中,比较的是相同电荷量的试探电荷受静电力的大小。一般应用比值法定义物理量,往往需要满足一定的条件:一是客观上需要,二是间接反映特征或属性的两个物理量可测。

2. A

解析:由等势面的疏密程度可知 $E_M < E_N$,根据 $F = qE$,可知 $F_M < F_N$ 。电场线由金属板指向负电荷。若将一个带正电的试探电荷从 M 点移到 N 点,可知电场力做正功,电势能减小,即 $E_{pM} > E_{pN}$,故选 A。

3. 解:以半径为 r 的球面为高斯面,由高斯定理 $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$,可得

$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q}{\epsilon_0}$$



第 3 题解图

即

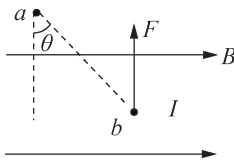
$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

因此球壳在该点的电场强度与一个位于球心,电荷量相等的点电荷在同一点产生的电场相等。

专题 3 磁场力

1. A

解析:从前向后观察,作出正视图,如图所示。线框的 ab 、 cd 两边所受的力互相平衡, bc 边所受的安培力为 $F = BI|bc|$,它对 OO' 产生的力矩大小为 $F|ab|\sin\theta = BI|bc||ab|\sin\theta = BIS\sin\theta$ 。可见选项 A 正确。



第 1 题解图

2. **解:**(1) 电子在磁场中做圆周运动的向心力由洛伦兹力提供,即

$$Ne v B = Nm \frac{v^2}{r}$$

其中 $r = \frac{D}{2}$, 电子做圆周运动的速率为

$$v = \frac{eBD}{2m}$$

又

$$v = \omega r = 2\pi f r = \pi f D$$

联立可得

$$f = \frac{eB}{2\pi m}$$

(2) 当电子束离 P 最远时,电场强度 E 最小,最小值为

$$E_{\min} = \frac{kQ}{(r+D)^2} = \frac{kNe}{(r+D)^2}$$

3. **解:**(1) 液体在匀强磁场中流动的过程,可视为电流 I 受到安培力作用,安培力方向指向左侧,根据左手定则,泵体中电流方向竖直向下,泵体下表面应接电源负极;电磁泵对液体的推力是安培力,为 BIL_2 。

(2) 泵体内液体电阻 $R = \rho \frac{L_1}{L_1 L_2} = \frac{\rho}{L_2}$, 电源提供的电功率 $P = UI = \frac{U^2}{R} = \frac{U^2 L_2}{\rho}$ 。

(3) 在 t 时间内电流做功 $W_{\text{电}} = UIt$, 泵体内液体电阻产生的焦耳热 $Q = I^2 R t = I^2 \frac{\rho}{L_2} t$,

根据能量守恒定律, 质量为 m 的液体离开泵体时的动能

$$E_k = UIt - mgh - I^2 R t = UIt - mgh - I^2 \frac{\rho}{L_2} t$$

专题 4 电动势

1. 略。

2. D

解析: 根据左手定则, 等离子体进入磁场后, 正离子所受洛伦兹力向上, 向上极板聚集; 负离子所受洛伦兹力向下, 向下极板聚集。两极板间产生电势差, 则金属极板变为电源, 且上极板为正极, 下极板为负极, 所以通过用电器的电流由 A 到 B, 故选项 A、B、C 错误。此后带电量为 q 的正离子除了受到向上的洛伦兹力外, 还受到向下的电场力, 最终两力达到平衡, 设磁场强度为 B , 两极板间距离为 d , 此时电场强度为 E , 正离子速度为 v , 则有 $qvB = q \frac{E}{d}$, 解得 $E = Bdv$ 。因此若只增大喷入离子的速度, 则发电机电动势增大, 故选项 D 正确。

3. **解:** 在时间 t 内, 导体棒转过的角度为

$$\theta = \omega t$$

扫过的面积为

$$S = \frac{1}{2} \theta L^2$$

切割磁感应线所引起的磁通量变化为

$$\Phi = BS = \frac{1}{2} B \theta L^2$$

根据电磁感应定律可得

$$\epsilon = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{1}{2} B \omega L^2$$

即铜棒两端的电动势大小为 $\frac{1}{2} B \omega L^2$, 盘中心 O 为电源正极。

若将铜棒改成铜盘, 铜盘可当作无数根导体棒并联, 所以盘中心与边缘的电势差大小仍然为 $\frac{1}{2} B \omega L^2$, 盘中心 O 为电源正极, 盘边缘任意两点间的电势差为 0。

专题 5 交变电流与电磁波

1. 解:(1) bc 、 ad 边的运动速度 $v = \omega \frac{l}{2}$, 感应电动势为

$$E_m = 4NBlv$$

解得

$$E_m = 2NBl^2\omega$$

(2) 安培力 $F = 2NBI_m l$, 代入电流 $I_m = \frac{E_m}{r+R}$, 解得

$$F = \frac{4N^2 B^2 l^3 \omega}{r+R}$$

(3) 一个周期内, 通电时间 $t = \frac{4}{9}T$, R 上消耗的电能为

$$W = I_m^2 R t$$

且 $W = I^2 R T$, 联立解得

$$I = \frac{4NBl^2\omega}{3(r+R)}$$

2. 解:(1) 有效值 $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$, 又电动势的最大值 $E_m = NBS\omega$, 解得

$$E = \frac{NBS\omega}{\sqrt{2}}$$

代入数据得

$$E = 6.4 \times 10^2 \text{ V}$$

(2) 根据输出电压 $U = E - Ir$, 输出功率 $P = UI$

解得

$$P = (E - Ir)I$$

代入数据得

$$P = 3.1 \times 10^4 \text{ W}$$

3. 解:(1) 电感 L_1 的作用是通低频, 电容 C_2 的作用是通高频。

(2) 扬声器甲用于输出低频成分, 扬声器乙用于输出高频成分。

专题 6 电能的输送

1. A

解析:交流电压表指示的是副线圈中输出电压的有效值,该电压值与原线圈中输入电压的有效值有关,又已知原线圈中输入电压的瞬时值,即可知其最大值,且最大值等于有效值的 $\sqrt{2}$ 倍。根据 $u=51\sin 314t$ V 可知输入电压的最大值为

$$U=51 \text{ V}$$

则其有效值

$$U_1=\frac{51}{\sqrt{2}} \text{ V}=\frac{51}{2}\sqrt{2} \text{ V}$$

由图可知线圈 n_1 是原线圈,线圈 n_2 是副线圈,若变压器是理想变压器,那么输入电压和输出电压的关系为

$$U_1:U_2=n_1:n_2$$

可得

$$U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1=\frac{200}{800}\times\frac{51}{\sqrt{2}} \text{ V}\approx 9 \text{ V}$$

故如果变压器是理想变压器,则选项 B 正确。但实际上变压器存在漏磁现象,通过原线圈的磁通量大于通过副线圈的磁通量,故实际副线圈的输出电压有效值应小于 9 V,故选项 A 正确。

2. 解:在高压输电中,设输送电功率为 P' ,输电电压为 U ,输电线电阻为 R ,则输电线上损耗的电功率为

$$P=\left(\frac{P'}{U}\right)^2 R$$

当输电电压变为原来的 2 倍时,输电线损耗的电功率变为原来的 $\frac{1}{4}$ 。

3. (1) 减小。(2) 增大。(3) 增大。

解析:由 $P=UI$ 知,升压变压器的输入电压 U 不变,输入电功率 P 增大,故 I 增大,使得输电线上的电压损耗 $\Delta U=IR_{\text{线}}$ 增大,功率损耗 $\Delta P=I^2 R_{\text{线}}$ 增大,所以降压变压器上的输入电压减小,输出电压减小。

输电线上损耗的功率占总功率的比例为

$$\frac{\Delta P}{P_1} = \frac{I^2 R_{\text{线}}}{P_1} = \frac{\left(\frac{P_1}{U_1} \cdot \frac{n_1}{n_2}\right)^2 R_{\text{线}}}{P_1} = \frac{P_1 n_1^2 R_{\text{线}}}{U_1^2 n_2^2} \propto P_1$$

所以随发电厂输出功率变大,该值增大。

专题 7 电荷量的测定

1. (1) ABC (2) $\frac{mgd}{U}$ (3) 油滴所带电荷量是元电荷电量的整数倍 (4) AC

解析: (1) 平行极板间存在匀强电场,油滴恰好处于静止状态,电场力与重力平衡,则有 $mg = qE = \frac{qU}{d}$ 。所以需要测出的物理量有油滴的质量 m ,两极板间的电压 U ,两极板间的距离 d ,故选项 A、B、C 正确,选项 D 错误。

- (2) 根据 $mg = qE = \frac{qU}{d}$,可得

$$q = \frac{mgd}{U}$$

(3) 由表格中数据可得,油滴所带电荷量不同,但是都是某个最小电荷量的整数倍,这个最小电荷量被认为是元电荷,其值为 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。

(4) 若要使原本静止的油滴落到下极板,则减小静电力即可,即减小电场强度。A 选项,保持两极板电压不变,把下极板向下移,则极板间的距离增大,根据 $E = \frac{U}{d}$,可知电场强度减小,那么电场力减小,即可落到下极板,故 A 正确;B 选项,断开电源,极板电荷量不变,当把下极板向右移,根据 $C = \frac{\epsilon S}{4\pi kd}$ 可知电容 C 变小,根据 $C = \frac{Q}{U}$ 可知电压 U 增大,根据 $E = \frac{U}{d}$ 可知电场强度增大,静电力增大,油滴将向上移动,故 B 错误;C 选项,断开电源,极板电荷量不变,在两极板间插入电介质,根据 $C = \frac{\epsilon S}{4\pi kd}$ 可知电容 C 变大,根据 $C = \frac{Q}{U}$ 可知电压 U 变小,根据 $E = \frac{U}{d}$ 可知电场强度变小,静电力变小,油滴将向下移动,能落到下极板,故 C 正确;D 选项,断开电源,极板电荷量不变,把下极板向上移,根据 $C = \frac{\epsilon S}{4\pi kd}$ 及 $C = \frac{Q}{U}$,再根据 $E = \frac{U}{d}$,得 $E = \frac{4\pi kQ}{\epsilon S}$,可知电场强度与极板间距离无关,电场强度不变,静电力不变,则不能落到下极板,故 D 错误。

2. **解:** (1) 由题意可知,两种情况下油滴最终运动都是匀速直线运动,所以油滴最后都受力平衡。没有加电压时,速度达到 v_1 ,有

$$mg = F_{\text{阻}1} = 6\pi r \eta v_1$$

加上电压后,受到向上的阻力和电场力,有

$$mg = F_{\text{阻}2} + qE = 6\pi r \eta v_2 + qE$$

联立两式得到油滴电荷量

$$q = \frac{6\pi r \eta (v_1 - v_2)}{E}$$

(2) 在误差范围内,可以认为油滴的带电量总是 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 的整数倍,故电荷的最小电荷量即元电荷为 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。

3. 解:小油滴受到的重力和静电力大小相等时,处于悬浮状态,即

$$qE = mg$$

则

$$q \frac{U}{d} = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho g$$

解得

$$U = \frac{4\pi R^3 d \rho g}{3q}$$

专题 8 带电粒子比荷的测定

1. 解: C_1 和 C_2 之间加有频率为 f 的同步正弦交变电压,由动能定理 $eU = \frac{1}{2}mv^2$ 可知,电子经过加速电场时可能产生竖直方向的速度,只有电子在交变电压等于 0 的时刻进入电容器 C_1 中,电子在竖直方向的速度才能为 0,即电子在电容器 C_1 中才会不发生偏转,能够通过屏障 D_2 。同理,电子进入电容器 C_2 时刻的交变电压也必须等于 0,因此电子在两电容器间的运动时间必须满足:

$$\frac{l}{v} = \frac{n}{2f} (n=1, 2, 3, \dots)$$

联立两式,解得

$$\frac{e}{m} = \frac{2f^2 l^2}{n^2 U} (n=1, 2, 3, \dots)$$

2. 解:当电压表的示数为 U 时,光电流恰好为 0,由此可知光电子的最大初动能为

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = eU$$

断开开关,在 M 、 N 之间加一垂直纸面的磁场,逐渐增大磁感应强度,也能使光电流为 0,可知初动能最大的光电子做直径为板间距 d 的圆周运动,则

$$ev_0B = m \frac{v_0^2}{\frac{d}{2}}$$

解得电子比荷为

$$\frac{e}{m} = \frac{8U}{B^2 d^2}$$

3. 解:(1) 实验思路:真空玻璃管内,阴极 K 发出的电子经过阳极 A 与阴极 K 之间的高压加速后形成一束电子流,以平行于平板电容器极板的速度进入两极板间的区域。若两极板间无电压,电子将打在荧光屏上的 O 点;若在两极板间施加电压 U ,则电子将发生偏转,最终打在光屏上的 O' 点;若再在极板间施加一个方向垂直于纸面向里、磁感应强度为 B 的匀强磁场,则电子在荧光屏上产生的光点又回到 O' 点。

(2) 需要测量的物理量:两极板的长度 L_1 ,两极板间的距离 b , O 、 O' 之间的距离 d ,极板到光屏的距离 L_2 ,电压 U 和磁感应强度 B 。

(3) 实验数据处理:把速度分解为竖直分量 v_x 和水平分量 v_y 。

当极板间只存在电场时,

$$\frac{v_x}{v_y} = \tan \theta = \frac{d}{\frac{1}{2}L_1 + L_2}$$

即

$$v_y = \frac{v_x \left(\frac{1}{2}L_1 + L_2 \right)}{d}$$

当极板间同时存在电场和磁场时,

$$ev_xB = eE$$

$$v_x = \frac{E}{B}$$

$$v_y = at = \frac{eE}{m} \cdot \frac{L_1}{v_x} = \frac{eBL_1}{m}$$

$$E = \frac{U}{b}$$

联立可得电子的比荷为

$$\frac{e}{m} = \frac{2dU}{\left(\frac{1}{2}L_1 + L_2\right)L_1B^2b}$$

专题 9 加速器

1. 解:由楞次定律可知,在第一个 $\frac{T}{4}$ 和第四个 $\frac{T}{4}$ 时间内,感生电场的方向为顺时针方向,电子受力方向为逆时针方向,可被加速;由左手定则可知,只有磁场方向向上时,电子所受洛伦兹力才指向圆心,充当向心力,所以只有第一个 $\frac{T}{4}$ 时间内,电子可被加速做圆周运动。

2. 解:(1) 在磁场中动能不会增加,末动能全来自静电力所做的功,由动能定理可得

$$N \cdot qEL = E_k$$

可解得

$$N = \frac{E_k}{qEL}$$

(2) 设粒子从 K 射出时速度为 v , 在磁场中洛伦兹力作为向心力有 $qvB = m\frac{v^2}{r}$, 带入在磁场中最后半圈的半径 $r = \frac{d}{2}$, 可解得

$$B = \frac{2\sqrt{2mE_k}}{qd}$$

(3) 粒子在磁场中运动时存在

$$qvB = m\frac{v^2}{r}$$

则

$$r = \frac{mv}{qB}, T_0 = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

粒子在磁场中运动速度不同,运动轨迹不同,但周期相同,则粒子不会在磁场中相碰。粒子在电场中加速度相同,速度越大,从磁场Ⅱ离开到进入磁场Ⅰ这段时间越短,则要粒子不相碰,需要第一个粒子最后一次在电场中和最后进入电场的粒子仍不相碰。第一个飘入电场的粒子第 N 次离开电场时恰好和最后一个粒子不相碰的临界条件为

$$\Delta t \leq T_0 + \frac{L}{v_{N-1}} + \frac{2L}{(v_{N-1} + v_N)}$$

根据第(1)问分析可得,粒子第 $N-1$ 次和第 N 次离开电场的速度分别为

$$v_N = \frac{\sqrt{2E_k}}{\sqrt{m}}, v_{N-1} = \frac{\sqrt{2(E_k - qBL)}}{\sqrt{m}}$$

则

$$\Delta t \leq \frac{\pi d \sqrt{m}}{\sqrt{2E_k}} + \frac{L \sqrt{m}}{\sqrt{2(E_k - qEL)}} + \frac{2L \sqrt{m}}{\sqrt{2E_k} + \sqrt{2(E_k - qEL)}}$$

3. 解:(1) 粒子绕行一圈动能的增量为 qU , 绕行 n 圈所获得的总动能: $E_{kn} = nqU$ 。

(2) 粒子做半径为 R 的匀速圆周运动, 每一圈所用时间为 $\frac{2\pi R}{v}$, 由于每一圈速度不同, 所以每一圈所需时间也不同。

第 1 圈:

$$qU = \frac{1}{2}mv_1^2, v_1 = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

第 2 圈:

$$2qU = \frac{1}{2}mv_2^2, v_2 = \sqrt{\frac{4qU}{m}}$$

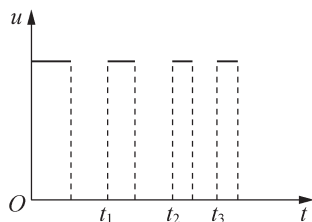
第 n 圈:

$$nqU = \frac{1}{2}mv_n^2, v_n = \sqrt{\frac{2nqU}{m}}$$

绕行 n 圈所需总时间:

$$t_n = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n = \frac{2\pi R}{v_1} + \frac{2\pi R}{v_2} + \dots + \frac{2\pi R}{v_n} = 2\pi R \sqrt{\frac{m}{2qU}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{n}} \right)$$

A 极板电势 u 随时间 t 变化的图像如图所示:



第 3 题解图

(3) 不同意。根据 $qvB = m \frac{v^2}{R}$, 得 $v = \frac{qBR}{m}$ 。因为 R 是定值, 粒子最终的速度由磁感应强度 B 决定。

专题 10 多用电表

1. (1) 黑 (2) 2 049 (3) 6 000

解析: (1) 电流从红表笔流入, 从黑表笔流出, 所以图中的 A 端应与黑色表笔相连接。

(2) 测量电阻前, 将红、黑色表笔短接, 调节可变电阻使通过表头 G 的电流达到 I_g , 此时可变电阻接入电路的阻值满足

$$I_g = \frac{E}{R_0 + R_g + r}$$

解得

$$R_0 = 2\,049\ \Omega$$

(3) 测量电阻时, 若表头 G 的示数为 $\frac{I_g}{3}$, 则被测电阻的阻值 R_x 满足

$$\frac{1}{3} I_g = \frac{E}{(R_0 + R_g + r) + R_x}$$

解得

$$R_x = 6\,000\ \Omega$$

2. D

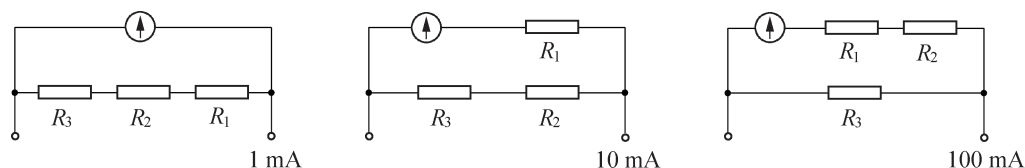
解析: 测量电阻时, 若双手捏住两表笔金属杆, 相当于并联一个人体电阻, 测量值将偏小, 选项 A 错误。指针偏离中央刻度过大, 说明倍率太小或者太大, 应该增大或者减小倍率, 选项 B 错误。选择“ $\times 10$ ”倍率测量时, 发现指针位于 20 与 30 正中间, 则测量值应小于 $250\ \Omega$, 选项 C 错误。表内电池用旧时, 电池的电动势下降, 内电阻会增大。由新、旧电池连接电路可分别得出:

$$I_{\text{新}} = \frac{E_{\text{新}}}{r_{\text{新}} + r_g + R_{0\text{新}}}$$

$$I_{\text{旧}} = \frac{E_{\text{旧}}}{r_{\text{旧}} + r_g + R_{0\text{旧}}}$$

比较上面两式可知: 当 $I_{\text{新}} = I_{\text{旧}}$ 时, 若 $E_{\text{旧}} < E_{\text{新}}$, $r_{\text{旧}} > r_{\text{新}}$, 则 $R_{0\text{旧}} < R_{0\text{新}}$ 。因此若电池使用时间太长, 那么调零时总电阻将减小, 即欧姆挡的中值电阻也将减小。由于欧姆挡面板刻度的中值电阻已经固定, 因此使用旧电池时, 被测电阻小于面板上所指的数值, 即测量值将略有偏大, 选项 D 正确。

3. 解:要求保留原来的分流电阻,则必须找出原来表头的特性,即满偏电流、内阻与分流电阻的关系。设原来表头的满偏电流为 I_0 、内阻为 r ,三个不同挡位的等效电路如图 1 所示。



第 3 题解图 1

根据并联分流原理,当电流表在各挡满偏,即输入电流分别为 $I_1=1\text{ mA}$ 时,有

$$\frac{I_0}{1-I_0} = \frac{R_1+R_2+R_3}{r}$$

$I_2=10\text{ mA}$ 时,有

$$\frac{I_0}{10-I_0} = \frac{R_2+R_3}{r+R_1}$$

$I_3=100\text{ mA}$ 时,有

$$\frac{I_0}{100-I_0} = \frac{R_3}{r+R_1+R_2}$$

联立三式,并代入 $R_1=144\ \Omega$,得原表头的满偏电流和内阻之间必须满足的关系式

$$I_0(r+160)=160$$

更换表头时,只要保证表头所在的修复电路的满偏电流与总电阻之间满足该关系,那么各个挡位的分流电阻一定保持不变。

① 对表头 A,代入 $I_{0A}=0.2\text{ mA}$, $r_A=660\ \Omega$,有

$$I_{0A}(r_A+160)=0.2\times(660+160)=164\neq 160$$

因此用表头 A 更换后,无论串联还是并联另一电阻,都不能满足关系式,即用表头 A 更换不能保留分流电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 。

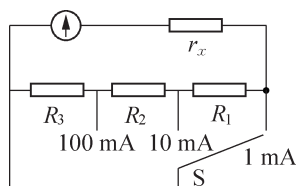
② 对表头 B,代入 $I_{0B}=0.5\text{ mA}$, $r_B=120\ \Omega$,有

$$I_{0B}(r_B+160)=0.5\times(120+160)=140\neq 160$$

此时如果在表头所在修复电路上再串联一个小电阻 $r_x=40\ \Omega$,使修复电路的总内阻 r' 变为 $r'=r_B+r_x=160\ \Omega$,即可满足关系式

$$I_{0B}(r'+160)=0.5\times(160+160)=160$$

综上所述,最终修复方案为:用表头 B 更换原表头,更换时在表头 B 所在修复电路上串联一个 $40\ \Omega$ 的电阻,如图 2 所示。



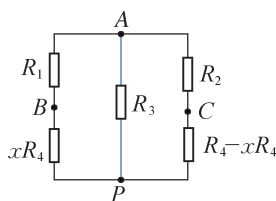
第 3 题解图 2

专题 11 导体电阻的测量

1. C

解析:根据滑线式电桥的原理,可知 $R_x = \frac{L_2}{L_1} R_0$, 所以选项 C 正确。

2. 解:A、P 两点间的等效电路如图 1 所示。



第 2 题解图 1

这个等效电路的左、右两条支路都有可变的分,它们的并联总电阻为

$$R' = \frac{(R_1 + xR_4)[R_2 + (1-x)R_4]}{R_1 + xR_4 + R_2 + (1-x)R_4} = \frac{-\left(x - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{9}{4}}{3} R$$

当 $x = \frac{1}{2}$ 时, R' 有最大值, $R'_{\max} = \frac{3}{4} R$ 。

根据并联电路的原理,并联的电阻最大时,其并联后总电阻也最大。因此 A、P 间的最大电阻值为

$$R_{\max} = \frac{R_3 R'_{\max}}{R_3 + R'_{\max}} = \frac{3}{7} R$$

在 R' 的表达式中,由于 x 的取值范围为 $0 \leq x \leq 1$, 只有当 $x = 0$ 或 $x = 1$ 时, $\left(x - \frac{1}{2}\right)^2$ 的值才最大,此时 R' 有最小值, $R'_{\min} = \frac{2}{3} R$ 。上面的等效电路相应最小值为

$$R_{\min} = \frac{R_3 R'_{\min}}{R_3 + R'_{\min}} = \frac{2}{5} R$$

3. 解:(1) 根据百分误差 = $\left| \frac{\text{实际值} - \text{测量值}}{\text{实际值}} \right| \times 100\%$, 由电压表和电流表的示数可求得 $R_{\text{测}1} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{1.6}{2.0 \times 10^{-3}} \Omega = 800 \Omega$, 这就是被测电阻与电压表内阻的并联的总电阻, 即 $\frac{R_V R_x}{R_V + R_x} = 800 \Omega, R_x = 1\,000 \Omega$ 。

因此, 若以 $R_x = \frac{U_1}{I_1}$ 作为测量值, 引起的百分误差为

$$\eta = \frac{1\,000 - 800}{1\,000} \times 100\% = 20\%$$

(2) 若把电流表改为内接, 此时用两表的示数算出的是被测电阻与电流表内阻的串联总电阻, 即

$$R_{\text{测}2} = \frac{U_2}{I_2} = R_x + R_A$$

因此引起的百分误差为

$$\eta = \frac{R_x - R_{\text{测}2}}{R_x} \times 100\% = \frac{R_A}{R_x} = \frac{50}{1\,000} \times 100\% = 5\%$$

专题 12 磁感应强度的测定

1. B

解析: 由仪器的构造可得, 磁场沿水平方向, 由于电流方向与磁场方向垂直, 根据安培定则可知安培力沿竖直方向。由于 $F_1 > F_2$, 所以当拉力显示器的示数为 F_1 时, 线框所受安培力竖直向下; 当拉力显示器的示数为 F_2 时, 线框所受安培力竖直向上。根据平衡条件可知:

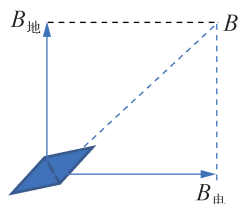
$$F_1 = mg + BI_1 L$$

$$F_2 + BI_2 L = mg$$

由闭合电路欧姆定律得: $I_1 = \frac{U_1}{R}, I_2 = \frac{U_2}{R}$, 代入解得

$$B = \frac{R(F_1 - F_2)}{L(U_1 + U_2)}$$

2. 解:(1) 小磁针此时受到的是地磁场与电流磁场叠加的磁场作用, 由题可知导线方向与小磁针初始位置的指向相同, 所以其磁场与地磁场垂直, 如图所示。根据矢量合成法则, 当小磁针的偏角为 45° 时, 电流的磁场与地磁场相等。



第2题解图

由于导线足够长,因此可视为无限长直导线,则

$$B = \frac{\mu_0 n I_0}{2\pi r}$$

由于导线是单根导线,所以代入匝数 $n=1$ 可得

$$B_{\text{地}} = B_{\text{电}} = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi r}$$

(2) 改变电路中的电流大小,便改变了电流的磁场大小。由于地磁场并没有变化,所以角度发生了变化。根据矢量关系可知,当夹角为 45° 时有

$$B_{\text{地}} = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi r}$$

当夹角为 30° 时有

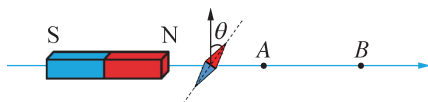
$$B_{\text{地}} = \frac{\sqrt{3}\mu_0 I_1}{2\pi r}$$

联立可得

$$I_1 = \frac{\sqrt{3}}{3} I_0$$

3. 解:(1) $B_{//\text{南京}} \approx 0.34 \times 10^{-4} \text{ T}$ 。

(2) 将条形磁体按东西方向的指向固定于水平桌面,将小磁针放置于磁体轴线上,则小磁针会发生偏转,如图所示。



第3题解图

原因是此时小磁针受到沿轴线方向的条形磁体的磁场 B_0 以及垂直于轴线方向的地磁场的水平分量 $B_{//}$ 两个磁场的作用,且小磁针指向与轴线间的夹角 θ 满足

$$\tan \theta = \frac{B_0}{B_{//}}$$

可得

$$B_0 = B_{//} \cdot \tan \theta$$

可以通过查阅当地的地磁场水平分量 $B_{//}$ 与测量夹角 θ 的大小来计算条形磁体上各点的磁感应强度。

专题 13 磁悬浮列车

1. 解:(1) 开始时金属框产生的电流最大, 设为 I_m , 由题意得

$$I_m = \frac{2Bbv}{R}$$

(2) 分析列车受力可得: $a = \frac{F-f}{m}$, 当列车速度增大时, 列车和磁场间的相对速度减小, 感应电流变小, 安培力变小, 加速度变小, 当 $a=0$ 时, 列车速度达到最大, 有

$$F = 2Bb \frac{2Bb(v-v_m)}{R}$$

解得

$$v_m = v - \frac{Rf}{4B^2b^2}$$

(3) 切断电源、改变磁场的方向、增大阻力。

2. 解: 如果电流有衰减, 意味着线圈有电阻, 设其电阻为 R , 则在一年时间 t 内电流通过线圈因发热而损失的能量为

$$\Delta E = I^2 R t \quad ①$$

以 ρ 表示铅的电阻率, S 表示铅丝的横截面积, l 表示铅丝的长度, 则有

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad ②$$

电流是铅丝中导电电子定向运动形成的, 设导电电子的平均速率为 v , 根据电流的定义

$$I = S v n e \quad ③$$

在持续一年的时间内电流检测仪器没有测量到电流的变化, 并不等于电流一定没有变化, 但这变化不会超过电流检测仪器的精度 ΔI , 即电流变化的上限为 $\Delta I = 1.0 \text{ mA}$ 。由

于导电电子的数密度 n 是不变的, 电流变小是电子平均速率变小的结果, 一年内平均速率由 v 变为 $v - \Delta v$, 对应的电流变化

$$\Delta I = neS\Delta v \quad (4)$$

导电电子平均速率变小, 使导电电子的平均动能减少, 铅丝中所有导电电子减少的平均动能为

$$\Delta E_k = lSn \left[\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}m(v - \Delta v)^2 \right] \approx lSnmv\Delta v \quad (5)$$

由于 $\Delta I \ll I$, 所以 $\Delta v \ll v$, 式中 Δv 的平方项已省略。由③式解出 v , ④式解出 Δv , 代入⑤式得

$$\Delta E_k = \frac{lmI\Delta I}{ne^2S} \quad (6)$$

铅丝中所有导电电子减少的平均动能就是一年内因发热而损失的能量, 即

$$\Delta E_k = \Delta E \quad (7)$$

由①②⑥⑦式解得

$$\rho = \frac{m\Delta I}{ne^2It} \quad (8)$$

式中 $t = 365 \times 24 \times 3\,600 \text{ s} = 3.15 \times 10^7 \text{ s}$, 在⑧式中代入有关数据得

$$\rho = 1.4 \times 10^{-26} \Omega \cdot \text{m}$$

所以电阻率为 0 的结论在这一实验中只能认定到 $\rho \leq 1.4 \times 10^{-26} \Omega \cdot \text{m}$ 。

3. 解: (1) 金属框相对于磁场的速度为 $v_0 - v$, MN 、 PQ 边产生的感应电动势均为 $E = BL(v_0 - v)$, 由欧姆定律得 $I = \frac{2E}{R_1}$, 解得

$$I = \frac{2BL(v_0 - v)}{R_1}$$

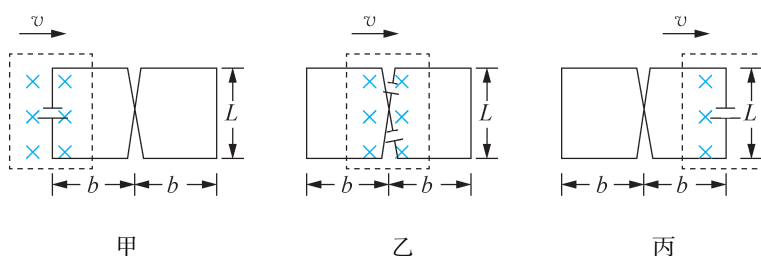
(2) 当金属框的加速度为 0 时, 速度最大, 此时 MN 、 PQ 边受到的安培力均为 $F_{\text{安}} = BIL$, 由平衡条件得 $2F_{\text{安}} - F_{\text{阻}} = 0$, 已知 $F_{\text{阻}} = kv^2$, 解得

$$v_m = \frac{2BL \sqrt{B^2 L^2 + kR_1 v_0} - 2B^2 L^2}{kR_1}$$

(3) 电磁铁通过“”形线圈左边界时, 电路情况如图甲所示, 感应电动势 $E = \frac{n\Delta\Phi}{\Delta t}$, 而 $\Delta\Phi = B' Lb$, 电流 $I_1 = \frac{E}{R_2}$, 电荷量 $Q_1 = I_1 \Delta t$, 解得 $Q_1 = \frac{nB' Lb}{R_2}$;

电磁铁通过“”形线圈中间时,电路情况如图乙所示, $\Delta\Phi = B'Lb$, $2E = 2n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = I_2 R_2$, $Q_2 = I_2 \Delta t$, 解得 $Q_2 = \frac{2nB'Lb}{R_2}$;

电磁铁通过“”形线圈右边界时,电路情况如图丙所示, $E = \frac{n\Delta\Phi}{\Delta t}$, $\Delta\Phi = B'Lb$, $I_3 = \frac{E}{R_2}$, $Q_3 = I_3 \Delta t$, 解得 $Q_3 = \frac{nB'Lb}{R_2}$, 总的电荷量 $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$, 解得 $Q = \frac{4nB'Lb}{R_2}$ 。



第3题解图

专题 14 电磁炮

1. AC

解析: 选项 A, 导轨通有电流 I 时, 炮弹作为导体受到磁场施加的安培力为 $F = BIL$, 故 A 正确。

选项 B, 由动能定理: $Fx = \frac{1}{2}mv^2$, 解得轨道长度至少要 $x = \frac{mv^2}{2BIL}$, 故 B 错误。

选项 C, 由 $F = ma$, $v = at$, 可求发射过程产生的热量: $Q = I^2(R+r)t$ 。弹体的动能: $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 。电源提供的总能量为 $E = E_k + Q$, 联立解得: $E = \frac{mv}{BL} \left(IR + Ir + \frac{BLv}{2} \right)$, 故 C 正确。

选项 D, 由于弹体做匀加速运动且运动时会切割磁感线产生感应电动势, 因此电源的电压应随时间均匀增加以抵消弹体产生的感应电动势。设经过 t 时间导体的速度为 v , 则 $v = at = \frac{BIL}{m}t$, 根据闭合电路的欧姆定律可得电源电压与时间的关系为 $U = I(R+r) + BLv = I(R+r) + \frac{B^2L^2I}{m}t$, 故 D 错误。

2. 解: (1) 设电源的电压为 E , 由于弹体的速度增大, 弹体切割磁感线产生反电动势 $E_{\text{反}}$, 电路中的电流

$$I = \frac{E - E_{\text{反}}}{R + r}$$

根据牛顿第二定律可得: $BIL=ma$, 代入解得

$$a = \frac{BL(E-E_{\text{反}})}{m(R+r)}$$

要保证弹体匀加速发射, 需要使电源的电压随时间均匀增大以抵消反电动势。

(2) 发射过程的加速度 $a = \frac{v}{t}$, 根据牛顿第二定律可得: $BIL=ma$, 解得

$$I = \frac{ma}{BL} = \frac{mv}{BLt}$$

发射过程产生的热量

$$Q = I^2(R+r)t = \frac{m^2 v^2 (R+r)}{B^2 L^2 t}$$

弹体的动能

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

系统消耗的总能量

$$E = E_k + Q = \frac{m^2 v^2 (R+r)}{B^2 L^2 t} + \frac{1}{2}mv^2$$

(3) 设弹体中 t 时刻的电流为 i , 随后在一段很短时间 Δt 内的速度变化为 Δv , 根据动量定理可得

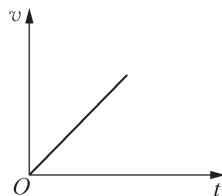
$$mg \sin \theta \Delta t - BiL \Delta t = m \Delta v$$

其中 $i \Delta t = \Delta Q$, ΔQ 是 Δt 时间内电容器增加的电荷量, 则有 $\Delta Q = C \Delta U = CBL \Delta v$ 。整理可得

$$\Delta v = \frac{mg \sin \theta}{B^2 L^2 C + m} \Delta t$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{mg \sin \theta}{B^2 L^2 C + m}$$

加速度 a 是一个定值, 即弹体做匀加速直线运动, 速度图像如下图所示。



第2题解图

3. 解:(1) 两平行导轨中的电流 I 在弹丸所在位置处产生的磁感应强度为

$$B_1 \approx kI$$

弹丸受到的安培力为

$$F = B_1 Id \approx kI^2 d$$

根据动量定理可得

$$F \Delta t = mv - 0$$

联立解得

$$v \approx \frac{kI^2 d \Delta t}{m}$$

(2) 当弹丸的位移为 x 时,回路中的磁通量为

$$\Phi = B_2 dx$$

回路中产生的感应电动势大小为

$$E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \approx 2kId \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t} = 2kIdv$$

代入 v 解得

$$E \approx \frac{2k^2 I^3 d^2}{m} t \quad (0 \leq t \leq \Delta t)$$

(3) 恒流源功率为

$$P = UI = EI \approx \frac{2k^2 I^4 d^2}{m} t$$

P 与时间成线性关系,则恒流源输出的能量为

$$W \approx \overline{P}t = \frac{k^2 I^4 d^2}{m} \Delta t^2$$

恒流源输出的能量一部分转化为弹丸的动能,另一部分转化为回路中的磁场能。

弹丸所获得的动能为

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \approx \frac{1}{2}m \left(\frac{kI^2 d}{m} \right)^2 \Delta t^2 = \frac{k^2 I^4 d^2}{2m} \Delta t^2$$

回路储存的磁场能为

$$E_B = W - E_k \approx \frac{k^2 I^4 d^2}{2m} \Delta t^2$$

专题 15 电磁流量计

1. C

解析:最终达到稳定状态时有: $qvB = q \frac{U}{c}$, 则 $v = \frac{U}{cB}$, 根据电阻定律 $R' = \rho \frac{c}{ab}$, 则总电

阻 $R_{\text{总}} = R' + R$, 所以 $U = IR_{\text{总}} = I \left(\rho \frac{c}{ab} + R \right)$, 解得 $v = \frac{I \left(\rho \frac{c}{ab} + R \right)}{Bc}$, 所以流量 $Q = vS =$

$vbc = \frac{I \left(bR + \frac{\rho c}{a} \right)}{B}$, 故选项 C 正确, 选项 A、B、D 错误。

2. 解: (1) 仪表显示本应为正值, 但实际显示却为负值, 可能是仪表正、负极接线接反了。在不重新拆装电磁流量计的情况下, 可以通过改变磁场方向为与原来相反的方向使仪表显示为正值。

(2) 不接仪表时, M 、 N 间的电势差为 U , M 、 N 间形成的电场可近似为匀强电场, 流体中的带电粒子受到的电场力与洛伦兹力平衡, 则有 $qE = qvB$, 其中 $E = \frac{U}{d}$, 解得

$$U = Bvd$$

由流量定义, 有 $Q = Sv = \frac{\pi d^2}{4} v$, 解得

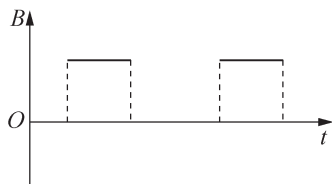
$$U = \frac{4B}{\pi d} Q \quad ①$$

接仪表后 $U' = IR = \frac{U}{R+r} R$, 解得

$$U' = \frac{4BR}{\pi(R+r)d} Q \quad ②$$

通过 U' 与流量 Q 的关系式②与①式比较, 可知当 $R \gg r$, $U' \approx U$, 故可以通过增大仪表的内电阻来降低仪表对测量流量带来的影响。

(3) 可用低频方波励磁, 使用的方波脉冲磁场的变化规律如下图所示, 间歇性的匀强磁场即可避免极化干扰, 又减弱了因磁场方向变化而产生的正弦干扰。



第 2 题解图

3. 解:(1) 当达到稳定时,根据平衡条件可得

$$q \frac{E}{D} = q v_0 B_0$$

解得电磁流量计中产生的电动势

$$E = B_0 v_0 D = 4 \text{ V}$$

(2) 金属棒 P 首先做加速运动,当向右切割磁感线产生的感应电动势等于电磁流量计中 A、C 两点电势差时达到稳定,做匀速运动,设此时 P 棒速度为 v_1 ,根据切割磁感线运动时产生的感应电动势 $\varepsilon = B_1 L v_1 = E$,解得 $v_1 = 2 \text{ m/s}$ 。

对 P 棒,由动量定理得 $B_1 \bar{I} L t = m v_1$,其中 $q = \bar{I} t$,解得 $q = 0.6 \text{ C}$ 。

(3) 设 P 棒在 II 区运动的速度为 v_2 ,由动能定理得

$$-\mu m g s = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

P 棒和 S 棒发生弹性碰撞,设碰撞后 P 棒的速度为 v_2' ,S 棒的速度为 v_3 ,根据动量守恒定律可得

$$m v_2 = m v_2' + m v_3$$

根据能量守恒定律可得

$$\frac{1}{2} m v_2^2 = \frac{1}{2} m v_2'^2 + \frac{1}{2} m v_3^2$$

解得

$$v_2' = 0, v_3 = v_2 = 1 \text{ m/s}$$

S 棒进入 III 区后切割磁场产生感应电动势,与 T 棒构成电流回路后,受向左的安培力做减速运动,T 棒受到向右的安培力做加速运动,当 S 棒和 T 棒速度相同时,设此时 S 棒和 T 棒的速度为 v_4 ,回路中感应电流为 0,两棒做匀速直线运动,整个过程两棒动量守恒,可得

$$m v_3 = 2 m v_4$$

最终 S、T 两棒产生的总焦耳热为

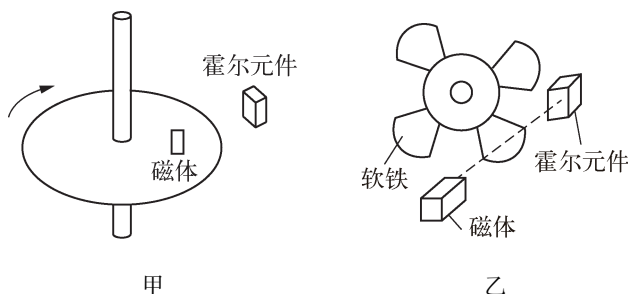
$$Q = \frac{1}{2} m v_3^2 - \frac{1}{2} \times 2 m v_4^2$$

解得 $Q = 0.15 \text{ J}$,则 T 棒产生的焦耳热为 $Q_T = \frac{Q}{2} = 0.075 \text{ J}$ 。

专题 16 电动自行车调速转把装置的研究

1. 解:第一种:如图甲所示,在车轴上安装一个磁体,磁体每旋转一周,便会触发一次霍尔元件,形成一次高电压。通过记录相邻两次高电压间的时间,结合车轮的周长就可以求出此刻电动自行车的速度。除了电动自行车,现在绝大部分交通工具都可以用霍尔效应来进行测速。

第二种:如图乙所示,在霍尔元件的另一端安装一固定的磁体,当磁体被软铁片遮住时,输出的电压是低电压;当齿轮的空档露出来时,霍尔元件输出高电压。利用两次高电压之间的电脉冲时间可以确定出其角速度,结合车轮半径可进一步获得电动车的线速度。



第 1 题解图

2. 解:霍尔型转把的电阻很大,工作电流很小,根据电流热效应可知其电能的损失较小。采用电阻型转把则类似于采用小量程的滑动变阻器,在供电电压不变的情况下能量损耗较大。同时电阻型转把需要滑动片与电阻片保持接触,在长期使用中容易磨损;霍尔型调速转把无需接触,所以可靠性更好。电阻型调速转把在雨雪天气,特别是水流入把手内时会短路,容易失灵,而霍尔式调速转把相对更加安全。

专题 17 无线供电技术的研究

1. D

解析:接收线圈与车载充电器之间连接一个二极管,二极管只能正向通电,具有整流作用,所以通过车载充电器的电流为直流电,故选项 A、B 错误;发射线圈、接收线圈匝数比 $n_1 : n_2 = 10 : 1$,若电磁炉两端所加电压为 $u = 220\sqrt{2} \sin 314t$ V,则接收线圈的电压 U_1 与发射线圈的电压 U_2 满足 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$,可得

$$U_2 = \frac{U_1 n_2}{n_1} = \frac{220 \times 1}{10} \text{ V} = 22 \text{ V}$$

设车载充电器两端电压有效值为 U_3 , 则由有效值的定义知

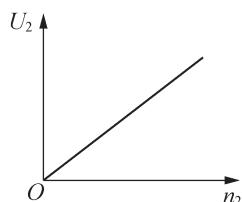
$$\frac{U_2^2}{R} \cdot \frac{T}{2} = \frac{U_3^2}{R} \cdot T$$

可得车载充电器两端电压有效值约为

$$U_3 = \frac{22}{\sqrt{2}} \text{ V}$$

故选项 C 错误, 选项 D 正确。

2. 解: (1) 根据题意做出图像如图所示。 $U_2 - n_2$ 图像斜率的物理意义表示每匝线圈产生的电压。



第 2 题解图

(2) 由于互感现象没有漏磁, 原、副线圈中的每匝线圈都具有相同的 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, 根据法拉第电磁感应定律存在

$$E_1 = n_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$E_2 = n_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

联立得

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

由于不计原、副线圈的电阻, 因此原线圈两端电压 $U_1 = E_1$, 副线圈两端电压 $U_2 = E_2$, 所以

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

(3) 根据电压互感器和电流互感器原理和特点可填表如下：

图号	“○”中所用的电表 (选填“电压表”或“电流表”)	比较原线圈与副线圈导线的粗细 (选填“较粗”或“较细”)
图 17 - 17(c)	电压表	较细
图 17 - 17(d)	电流表	较粗

专题 18 自制电磁驱动小物体

1. 解:当旧电池的短路电流大于新电池单独供电的电流时,新、旧电池串联使用,电流会变大,安培力会变大,但由于摩擦力也变大,所以组合体运动速度不一定会变大;但若旧电池的内电阻变得较大,电源电动势变得较小,新、旧电池串联使用时可能比新电池单独供电时电流还小,小车的速度一定会变小。因此,新、旧电池混用不一定比新电池单独供电时电流大,有时反而会减小,从而使组合体运动速度小。

2. BC

解析:干电池与磁体及中间部分线圈组成闭合回路,产生电流。由右手定则可知线圈内的磁场方向水平向右,该电流磁场和磁体的磁场在左侧对磁体产生吸引作用,在右侧对磁体产生相同方向的排斥作用,由牛顿第三定律可知“小车”向左加速,选项 A 错误,选项 B 正确;改变磁极后同理可得“小车”加速度水平向右,故选项 D 错误,选项 C 正确。