

2020 年北京市海淀区高三期末物理考试逐题解析

2020.1

一、本题共 10 小题，每小题 3 分，共 30 分。在每小题给出的四个选项中，有的小题只有一个选项是正确的，有的小题有多个选项是正确的。全部选对的得 3 分，选不全的得 2 分，有选错或不答的得 0 分。把正确的答案填涂在答题纸上。

1. 某静电场的电场线如图 1 所示，一带正电的点电荷在电场中 M 、 N 两点所受电场力的大小分别为 F_M 和 F_N ，所具有的电势能分别为 E_{pM} 和 E_{pN} ，则下列说法中正确的是

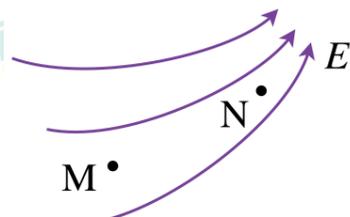


图 1

- A. $F_M > F_N, E_{pM} > E_{pN}$ B. $F_M > F_N, E_{pM} < E_{pN}$
 C. $F_M < F_N, E_{pM} > E_{pN}$ D. $F_M < F_N, E_{pM} < E_{pN}$

【答案】C

【解析】由电场线疏密可知， M 点电场强度小于 N 点电场强度，所以 $F_M < F_N$ ，故 AB 错误；

沿电场线方向电势降低，正电荷在电势高的点电势能大，所以 $E_{pM} > E_{pN}$ ，故 C 正确，D 错误。

2. 关于电磁波，下列说法中正确的是

- A. 变化的电场一定在周围空间产生变化的磁场
 B. 麦克斯韦首先预言了电磁波的存在，法拉第最先用实验证实了电磁波的存在
 C. 电磁波和机械波都依赖于介质才能传播
 D. 各种频率的电磁波在真空中的传播速率都相同

【答案】D

【解析】均匀变化的电场周围存在恒定的磁场，故 A 错误；

麦克斯韦预言了电磁波的存在，赫兹证明了电磁波的存在，故 B 错误；

机械波的传播需要介质，电磁波的传播不需要介质，故 C 错误；

各种频率的电磁波在真空中传播速度相同，故 D 正确。

3. 如图 2 所示，理想变压器原、副线圈的匝数分别为 n_1 、 n_2 ，原、副线圈两端的电压分别为 U_1 、 U_2 ，通过原、副线圈中的电流分别为 I_1 、 I_2 。若保持 n_1 、 n_2 和 U_1 不变，且闭合开关 S 后两灯泡均能发光，则下列说法中正确的是

A. $I_2 = \frac{n_2}{n_1} I_1$ B. $U_2 = \frac{n_2}{n_1} U_1$

C. 开关 S 由闭合变为断开， U_2 将变大

D. 不论开关 S 闭合或断开，始终有 $U_1 I_1 = U_2 I_2$ 的关系

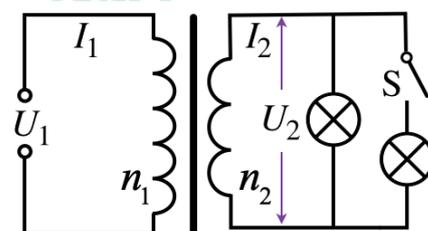


图 2

【答案】BD

【解析】由 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ ， $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$ 可知，A 错误，B 正确；开关由闭合变为断开，原线圈、副线圈匝数比不变， U_2 不变，故 C 错误；不论开关 S 闭合或断开，变压器输入功率等于输出功率，故 D 正确。

4. 在如图 3 所示的电路中，两个完全相同的小灯泡 L_1 和 L_2 分别串联一个带铁芯的电感线圈 L 和一个滑动变阻器 R 闭合开关 S 待电路稳定后，调整 R 的滑片使 L_1 和 L_2 亮度一样，此时通过两个灯泡的电流均为 I_0 在之后的 t_0 时刻断开 S，则在如图 4 所示的图像中，能正确反映 t_0 前后的一小段时间内通过 L_1 的电流 i_1 和通过 L_2 的电流 i_2 随时间 t 变化关系的是

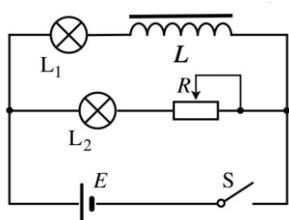


图 3

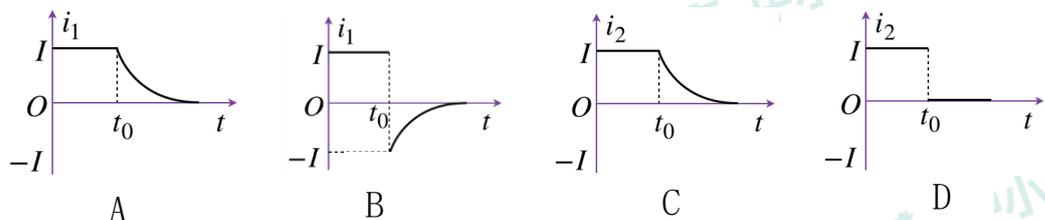


图 4

【答案】A

【解析】电路稳定时，两条支路电流相等，断开开关瞬间，由于电感线圈 L 阻碍电流的减小，保持电流原方向不变，并且逐渐减小，通过灯泡 L_1 的电流与原方向一致，大小在 t_0 时与原来大小相同，之后逐渐减小到 0；通过灯泡 L_2 的电流与原方向相反，并且逐渐减小到 0，故选 A

5. 如图 5 所示，两条平行的金属轨道所构成的平面与水平地面的夹角为 θ ，在两轨道的顶端之间接有电源和一滑动变阻器，滑动变阻器的滑片处于中点位置，整个装置处于垂直轨道平面向上的匀强磁场中。一根金属杆 ab 垂直放在两导轨上，与导轨构成闭合电路， ab 杆处于静止状态。现将滑动变阻器的滑片向 N 端缓慢滑动，此过程中 ab 杆始终保持静止状态。下列说法中正确的是（ ）

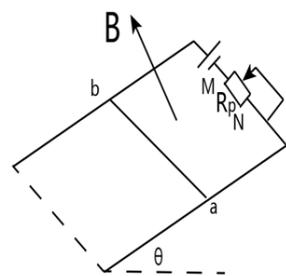


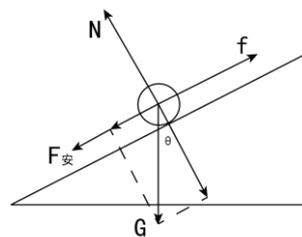
图 5

- A. 金属杆与轨道之间一定不是光滑的
- B. 金属杆所受安培力的方向沿斜面向上
- C. 滑片向 N 端滑动的过程中金属杆所受安培力变小
- D. 滑片向 N 端滑动的过程中金属杆对轨道的压力变小

【答案】AC

【解析】根据左手定则可知，导体棒受到的安培力沿斜面向下，保持静止，一定有摩擦力，故 A 正确，B 错误；滑片向 N 滑动，变阻器接入电路中的电阻变大，电路中的电流变小，安培力变小，故 C 正确；

$F_{\text{压}} = N = mg\cos\theta$ ，大小不变，D 错误



6. 如图 6 所示, 在一个圆形区域内有垂直于圆平面的匀强磁场, 现有两个质量相等、所带电荷量大小也相等的带电粒子 a 和 b , 先后以不同的速率从圆边沿的 A 点对准圆形区域的圆心 O 射入圆形磁场区域, 它们穿过磁场区域的运动轨迹如图所示。粒子之间的相互作用力及所受重力和空气阻力均可忽略不计, 下列说法中正确的是

- A. a 、 b 两粒子所带电荷的电性一定不同
- B. 射入圆形磁场区域时 a 粒子的速率较大
- C. 穿过磁场区域的过程洛伦兹力对 a 粒子做功较多
- D. 穿过磁场区域的过程 a 粒子运动的时间较长

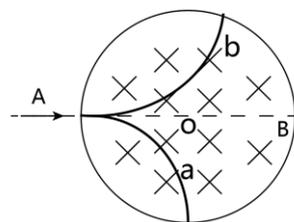


图 6

【答案】AD

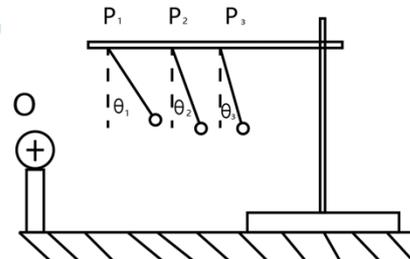
【解析】粒子向右运动, 根据左手定则, b 向上偏转, 应当带正电; a 向下偏转, 应当带负电, 电性不同, 故 A 正确;

由洛伦兹力提供向心力, 即: $qvB = \frac{mv^2}{r}$, 得: $r = \frac{mv}{qB}$, 所以半径较大的 b 粒子速度大, 故 B 错误;

洛伦兹力与速度垂直, 不做功, 故 C 错误;

两粒子运动周期相同, 磁场中偏转角大的运动的时间也长; 由图可知, a 粒子的偏转角大, 因此运动的时间就长。故 D 正确。

7. 在探究影响电荷之间相互作用力大小因素的过程中, 老师做了如图 7 所示的实验。O 是一个带正电的绝缘导体球, 将同一带电小球用绝缘细丝线分别挂在 P_1 、 P_2 、 P_3 不同的位置, 调节丝线长度, 使小球与带电导体球 O



的球心保持在同一水平线上, 发现小球静止时细丝线与竖直方向的夹角 $\theta_1 > \theta_2 > \theta_3$ 。关于这个实验, 下列说法中正确的是

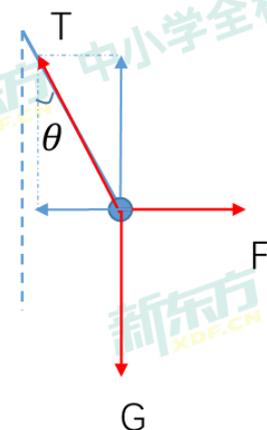
- A. 通过该实验的现象可知，小球带正电
- B. 该实验可以研究电荷间相互作用力大小与它们之间距离是否有关
- C. 该实验中细丝线与竖直方向的夹角越大，表示电荷之间的相互作用力越弱
- D. 通过该实验现象可知，电荷之间的相互作用力与电荷之间的距离的平方成反比

【答案】AB

【解析】对小球受力分析，它受重力、拉力与库仑力，如图所示，则有： $F = mgtan\theta$ ，根据平衡条件，可知，带电小球之间相互作用力的大小为 $mgtan\theta$ ，为排斥力，是同种电荷，角度越大，作用力越强，故 A 正确，C 错误；

距离越大，角度越小，作用力越小，故可以验证相互作用力与距离是否有关，B 正确；

具体数值关系仅根据图像看不出来，故 D 错误。



8. 在如图 8 所示的电路中，电源电动势为 E 、内电阻为 r ，电容器的电容为 C ，灯泡 L 的灯丝电阻不随温度变化，电压表和电流表均为理想电表。闭合开关 S ，待电路稳定后，缓慢减小电阻箱 R 接入电路的阻值，与调节电阻箱之前相比，电压表示数变化量的绝对值为 ΔU ，在这个过程中电路中所有器件均不会被损坏，下列说法中正确的是

- A. 灯泡 L 将变亮
- B. 电压表和电流表的示数都将变大
- C. 电源两端电压变化量的绝对值将大于 ΔU
- D. 电容器所带电荷量增加，增加量小于 $C\Delta U$

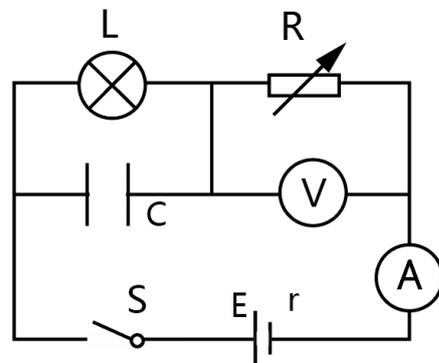


图 8

【答案】AD

【解析】 $I = \frac{E}{r+R_L+R}$ ，电阻箱 R 减小，电流 I 增加，灯泡变亮。故 A 正确；

电阻箱 R 减小，由串反并同规律知，电压表示数减小，电流表示数增加。故 B 错误；
 $E = U_{\text{内}} + U_L + U_R$ ，电阻箱 R 上电压变化了 ΔU ，故内阻和灯泡上电压变化的总和为 ΔU ，
 但电阻箱 R 上和内阻灯泡变化量有增有减所以是抵消关系，电源两端电压变化小于 ΔU 。

故 C 错误；

由 C 选项知灯泡两端电压变化小于 ΔU ，电容与灯泡并联，电容器两端电压变化与灯泡
 两端变化相同，根据 $C = \frac{\Delta Q}{\Delta U}$ ，所以 ΔQ 小于 $C\Delta U$ 。故 D 正确。

9. 如图 9 所示为某同学利用传感器研究电容器放电过程的实验电路。实验时先使开关 S 与 1 端相连，电源向电容器充电。待电路稳定后把开关 S 掷向 2 端，电容器通过电阻放电，传感器将电流信息传入计算机，屏幕上显示出电流随时间变化的 $i-t$ 曲线，这个曲线的横坐标是放电时间，纵坐标是放电电流。仅由这个 $i-t$ 曲线所提供的信息可以估算出

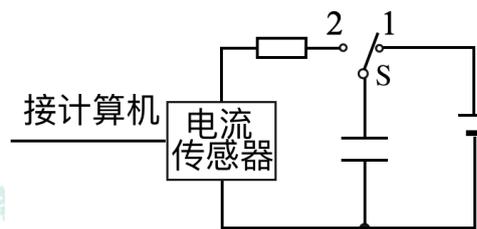
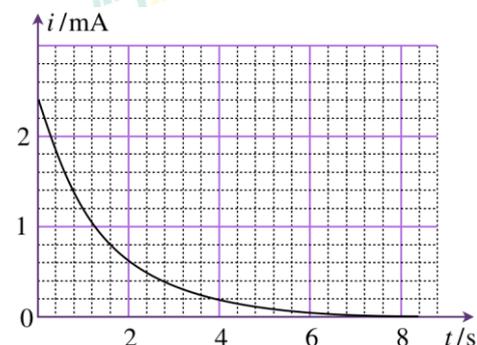


图 9

- A. 电容器的电容
- B. 一段时间内电容器放电的电荷量
- C. 某时刻电容器两极板间的电压
- D. 一段时间内电阻产生的热量

【答案】B

【解析】 $C = \frac{Q}{U}$ ， U 未知求不出 C 。故 A 错误；

$i-t$ 图像面积即为电量 Q 。故 B 正确；

已知条件不足无法求解。故 C 错误；

$Q = I^2 Rt$ ， I 要用有效值，无法求解。故 D 错误；

10.将一段裸铜导线弯成如图 10 甲所示形状的线框，将它置于一节 5 号干电池的正极上（线框上端的弯折位置与正极良好接触），一块圆柱形强磁铁吸附在电池的负极，使铜导线框下面的两端 P、Q 与磁铁表面保持良好接触。放手后线框就会发生转动，从而制成了一个“简易电动机”，如图 10 乙所示。关于该“简易电动机”，下列说法中正确的是

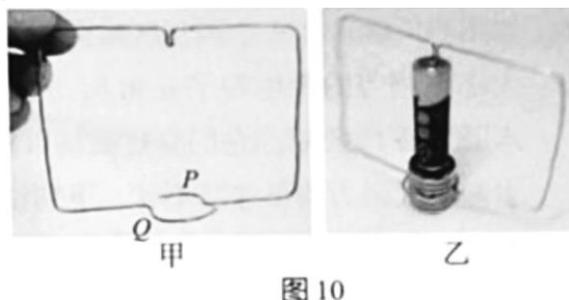


图 10

- A. 如果导线框下面的两端 P、Q 有一端与磁铁表面不接触，线框也会发生转动
- B. 如果磁铁吸附在电池负极的磁极调换一下，线框转动的方向也应该改变
- C. 电池的输出功率一定大于线圈转动的机械功率
- D. 线框由静止开始转动的过程中，通过线框中的电流大小始终不变

【答案】ABC

【解析】线圈转起来是受到安培力，有一端不吸附另一端连通仍受到安培力。故 A 正确；

$F = BIL$ ，用左手定则判断电流方向改变，磁场方向不变，安培力方向改变。故 B 正确；

电动机是非纯电阻电路 $P_{出} = P_{热} + P_{机}$ 。故 C 正确；

线圈转动产生反电动势会抵消原来电流，电流减小。故 D 错误。

二、本题共 2 小题，共 15 分。

11.某同学利用多用电表的欧姆档测量未知电阻阻值以及判断二极管的正负极。

- (1) 若用已经调好的多用电表欧姆档“ $\times 10$ ”档来探测一只二极管的正、负极（如图 11 所示）。当两表笔分别接二极管的正、负极时，发现表针几乎不发生偏转（即指

示电阻接近无穷大)；再将两表笔与二极管两极的连接情况对调，发现表针指在如图 11 中的虚线①的位置，此时红表笔接触的是二极管的_____极（选填“正”或“负”）。

(2) 他选择“ $\times 100$ ”倍率的欧姆档按照正确的步骤测量未知电阻时，发现表针偏转角度很大，如图 11 中虚线①的位置所示。为了能获得更准确的测量数据，他应该将倍率调整到_____的档位（选填“ $\times 10$ ”或“ $\times 1k$ ”）；并把两支表笔直接接触，调整“欧姆调零旋钮”，使表针指向_____ Ω 。调整好此档位的欧姆表后再正确测量上述未知电阻，表针指在如图 11 所示中虚线②的位置，则未知电阻的测量值为_____ Ω 。

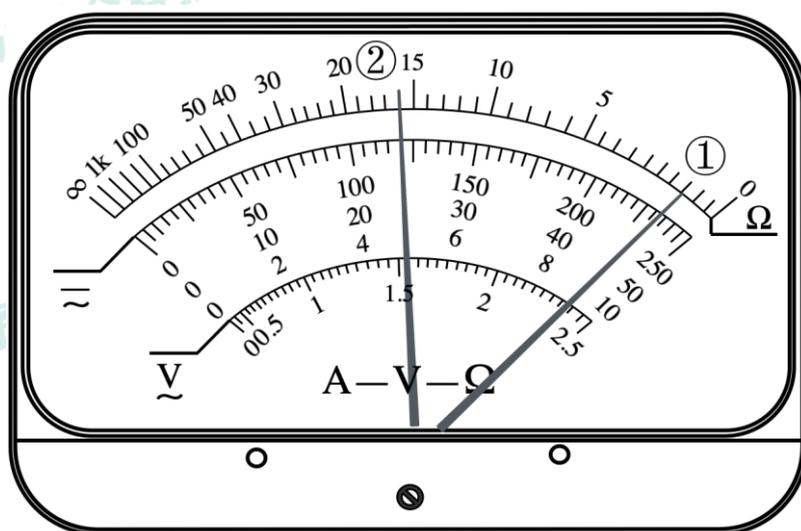


图 11

【答案】 (1) 负 (2) $\times 10$; 0; 160

【解析】 (1) 第二次表有示数，说明有电流通过二极管，本着红进黑出的原则，红表笔应接二极管负极。

(2) 表针偏转角很大，说明选择倍率过大，所以要把倍率调小，所以调至 $\times 10$ 的档位。欧姆调零是要把表针调制欧姆档的零刻度出，所示指针指向 0Ω 。表针示数为16乘以档位 $\times 10$ 得电阻测量值为 160Ω

12. (11分) 现有两组同学要测定一节干电池的电动势 E 和内阻 r (已知 E 约为 1.5V , r 约为 1Ω)。

(1) 第一组采用图 13 所示电路。

①为了完成该实验, 选择实验器材时, 在电路 a 、 b 两点间可接入的器材是_____。

A. 一个定值电阻

B. 电阻箱

C. 滑动变阻器

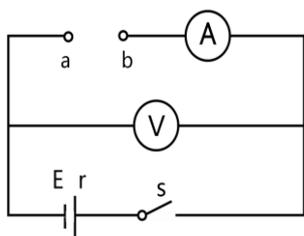


图 13

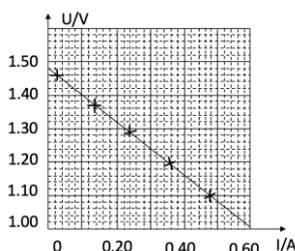


图 14

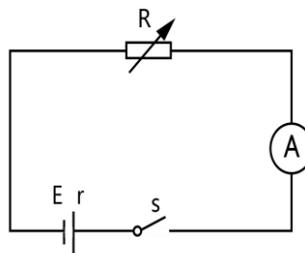


图 15

②为了调节方便且测量精度更高, 电流表和电压表应选_____ (选填选项前的字母)。

A. 电流表 ($0\sim 0.6\text{A}$), 电压表 ($0\sim 3\text{V}$)

B. 电流表 ($0\sim 0.6\text{A}$), 电压表 ($0\sim 15\text{V}$)

C. 电流表 ($0\sim 3\text{A}$), 电压表 ($0\sim 3\text{V}$)

D. 电流表 ($0\sim 3\text{A}$), 电压表 ($0\sim 15\text{V}$)

③经过多次测量, 他们记录了多组电流表示数 I 和电压表示数 U , 并在图 14 中画出了 $U-I$ 图象。由图象可以得出, 此干电池的电动势的测量值 $E=$ _____V (保留三位有效数字), 内阻测量值 $r=$ _____ Ω (保留两位有效数字)。

(2) 第二组在没有电压表的情况下, 设计了如图 15 所示的电路, 完成了同一电池的测量。

①改变电阻箱接入电路中的电阻值, 记录多组电流表示数 I 和电阻箱示数 R , 通过研究 $\frac{1}{I} - R$ 图象的信息, 他们发现电动势的测量值与第一组结果非常接近, 但是内阻的测量值与第一组的结果有明显偏差。将上述实验重复进行了若干次, 结果依然

如此。关于第二组测量内阻产生的偏差及其原因，下列分析中正确的是_____（选填选项前的字母）。

- A. 第二组内阻的测量结果小于第一组的测量结果
- B. 第二组内阻的测量结果大于第一组的测量结果
- C. 造成这个偏差的原因是实际电流表内阻不能近似为零
- D. 造成这个偏差的原因是实验小组读取电流表读数时眼睛没有正对表盘，使读数有时候偏大，有时候偏小

②第二组对实验进行了深入的理论研究，在是否可忽略电流表内阻这两种情况下，绘制两类图象。第一类图象以电流表读数 I 为横坐标，将电流表和电阻箱读数的乘积 IR 记为 U 作为纵坐标。第二类图像以电阻箱读数 R 为横坐标，将电流表读数的倒数 $\frac{1}{I}$ 为纵坐标。图 16 中实线代表电流表内阻可忽略的情况，虚线代表电流表内阻不可忽略的情况，这四幅图中，能正确反应相关物理量之间关系的是_____（选填选项前的字母）。

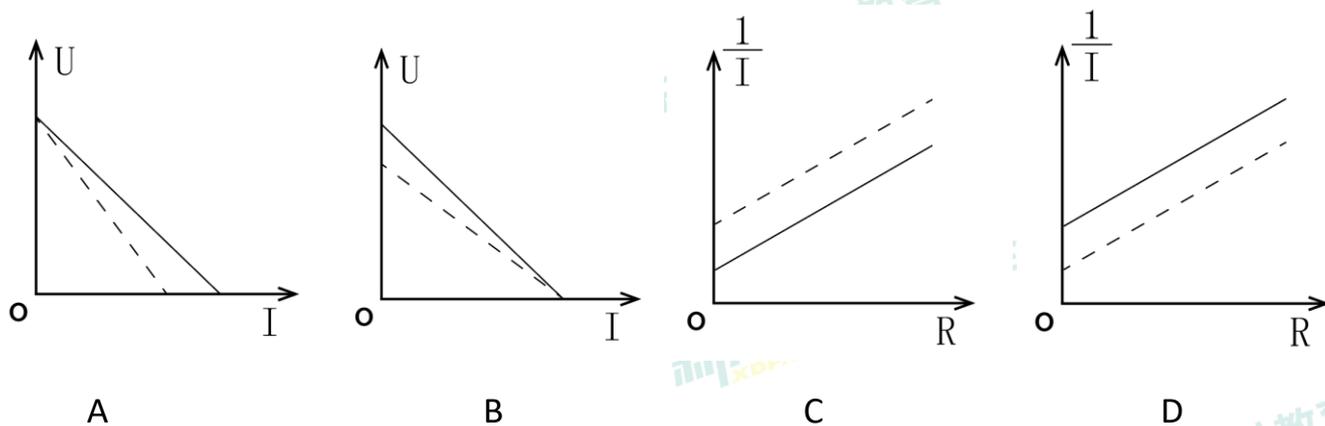


图 16

【答案】 (1) ①BC ②A ③1.48; 0.80 (2) ①BC ②AC

【解析】

(1) ①根据电动势和内阻的测量原理，电路图中需要一个可调节的电阻，所以可接入的为BC。

②根据图14电压和电流的测量值判断，电流表量程为0.6A，电压表量程为1.5V。

③根据图14可知，图像和U轴交点为电动势，所以 $E=1.48V$ ，图像斜率表示内阻大小，所以内阻 $r = \frac{\Delta U}{\Delta I} = 0.80 \Omega$ 。

(2) ①根据实验原理第一组实验电动势和内阻测量值都偏小，测量误差为 $\frac{R_V}{r+R_V}$ ，第二组实验把电流表内阻也当做了电源内阻，所以电源内阻测量值偏大，所以选择BC。

②根据闭合电路欧姆定律，在不考虑电流表内阻的情况下， $\frac{1}{I} - R$ 图像表达式为 $\frac{1}{I} = \frac{1}{E}R + \frac{r}{E}$ ， $U - I$ 图像表达式为 $U = E - Ir$ 。在考虑电流表内阻的情况下，表达式为 $\frac{1}{I} = \frac{1}{E}R + \frac{r+R_A}{E}$ ，即斜率相同，但图像与y轴交点偏高。 $U - I$ 图像表达式为 $U = E - I(r + R_A)$ 即图像与y轴交点相同，但斜率绝对值更大。故AC正确，BD错误。

三、本题包括6小题，共55分。解答应写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤。

只写出最后答案的不能得分，有数值计算的题，答案中必须明确写出数值和单位。

13. (8分) 如图17所示，宽度 $L = 0.40m$ 的平行光滑金属导轨固定在绝缘水平面上，导轨的左端连接阻值 $R = 1.5 \Omega$ 的电阻。导轨所在空间存在竖直向下的匀强磁场，磁感应强度大小 $B = 0.50T$ 。一根导体棒 MN 放在导轨上，两导轨之间的导体棒的电阻 $r = 0.5 \Omega$ ，导轨的电阻可忽略不计。现用一垂直于导体棒的水平拉力拉动导体棒使其沿导轨以 $v = 10m/s$ 的速度向右匀速运动，在运动过程中保持导体棒与导轨垂直且接触良好。空气阻力可忽略不计，求：

(1) 通过导体棒的电流 I ，并说明通过导体棒的电流方向；

(2) 作用在导体棒上的拉力大小 F ；

(3) 电阻 R 的电功率 P 。

【答案】 (1) $I = 1A$ ，通过导体棒的电流从 N 到 M ；

(2) $F = 0.2N$ ； (3) $P = 1.5W$

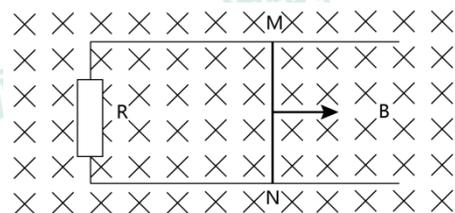


图17

【解析】

(1) 根据动生电动势： $E = BLv$ ；电流： $I = \frac{E}{R+r} = \frac{2V}{2\Omega} = 1A$ ；根据右手定则可知，通过导体棒的电流从N到M。

(2) 导体棒做匀速直线运动，受到的拉力等于安培力，则： $F = F_{安} = BIL = 0.2N$ 。

(3) R的电功率： $P = I^2R = 1.5W$

14. (8分) 如图18所示，长为 l 的绝缘轻细线一端固定在O点，另一端系一质量为 m 的带电小球，小球静止时处于O点正下方的O'点。现将此装置放在水平向右的匀强电场中，电场强度大小为 E ，带电小球静止在A点时细线与竖直方向成 θ 角。已知电场的范围足够大，空气阻力可忽略不计，重力加速度为 g 。

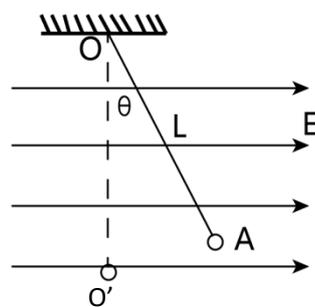


图18

(1) 请说明小球所带电荷的电性，并求小球所带的电荷量 q ；

(2) 若将小球从O'点由静止释放，求小球运动到A点时的动能 E_k ；

(3) 若将小球从O'点由静止释放，其运动到A点时细线突然断开，试定性分析说明小球此后做什么样的运动。

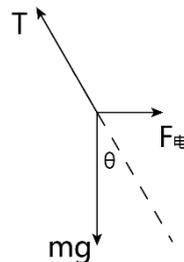
【答案】 (1) 小球带正电， $q = \frac{mgtan\theta}{E}$ ； (2) $E_k = -mgl(1 - \cos\theta) + mgl \frac{\sin^2\theta}{\cos\theta}$ ；

(3) 匀变速曲线运动。

【解析】

(1) 小球处在平衡态，场强方向水平向右，根据受力分析可知，小球所受电场力水平向右，所以小球带正电。

$mgtan\theta = F_{电} = Eq$ ； 则： $q = \frac{mgtan\theta}{E}$ 。



(2) 由静止释放小球到A点的过程中，重力做负功，电场力做正功，由动能定理得：

$$-mgl(1 - \cos\theta) + Eq\sin\theta = E_k - 0, E_k = -mgl(1 - \cos\theta) + mgl \frac{\sin^2\theta}{\cos\theta}.$$

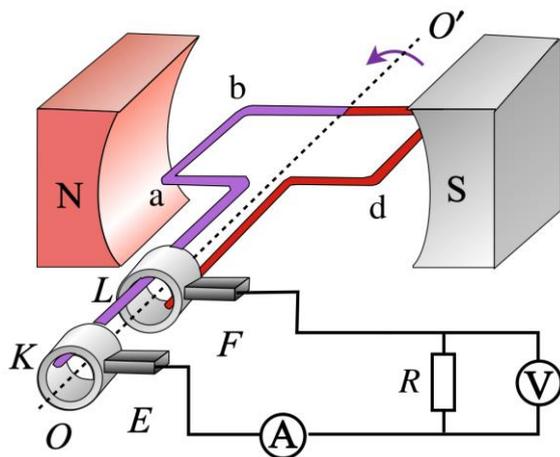
(3) 绳子剪断的瞬间，小球有水平向左的初速度，并受到重力和电场力，合力恒定，大小为 $F = \frac{mg}{\cos\theta}$ ，方向竖直方向成 θ 。合力恒定，速度与合力方向不共线，所以小球做匀变速曲线运动。

15. (8分) 如图 19 所示为一交流发电机的原理示意图，装置中两磁极之间产生的磁场可近似为匀强磁场，发电机的矩形线圈 $abcd$ 在磁场中，图中 $abcd$ 分别为矩形线圈的四个顶点，其中 c 点被磁铁遮挡而未画出。线圈可绕过 bc 边和 ad 边中点且垂直于磁场方向的水平轴 OO' 匀速转动。为了便于观察，图中发电机的线圈只画出了其中的 1 匝，用以说明线圈两端的连接情况。线圈的 ab 边连在金属滑环 K 上， cd 边连在金属滑环 L 上；用导体做两个电刷 E 、 F 分别压在两个滑环上，线圈转动过程中可以通过滑环和电刷保持其两端与外电路的定值电阻 R 连接。已知矩形线圈 ab 边和 cd 边的长度 $L_1=50\text{cm}$ ， bc 边和 ad 边的长度 $L_2=20\text{cm}$ ，匝数 $n=100$ 匝，线圈的总电阻 $r=5.0\Omega$ ，转动的角速度 $\omega=282\text{ rad/s}$ ，外电路的定值电阻 $R=45\Omega$ ，匀强磁场的磁感应强度 $B=0.05\text{T}$ 。电流表和电压表均为理想电表，滑环与电刷之间的摩擦及空气阻力均可忽略不计，计算中取 $\pi=3.14$ ， $\sqrt{2}=1.41$ 。

(1) 请推导出线圈在匀速转动过程中感应电动势最大值 E_m 的表达式（用题中已知物理量的符号表示），并求出此最大值；

(2) 求电流表的示数 I ；

(3) 求维持线圈匀速转动 1 圈，所需外力做的功 W （结果保留 3 位有效数字）。



【答案】(1) $E_m = nBL_1L_2\omega$; $E_m = 141V$; (2) $I = 2A$; (3) $W = 4.45 J$

【解析】(1) 当线框与磁场平行时，感应电动势最大，此时 ab 与 cd 两边切割磁感线，产生的电动势均为 $E_{ab} = E_{cd} = nBL_1v$

$$v = \omega \frac{L_2}{2} \text{①}$$

$$E_m = E_{ab} + E_{cd} \text{②}$$

$$\text{联立①②得 } E_m = nBL_1L_2\omega \text{③}$$

$$\text{代入得 } E_m = 141V$$

(2) 根据闭合电路欧姆定律

$$E_{\text{有效}} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 100V$$

$$I = \frac{E_{\text{有效}}}{R + r} = 2A$$

(3) 外力做功等于系统产生总热量，即

$$W = Q_{\text{总}} \text{①}$$

$$Q_{\text{总}} = I_{\text{有}}^2 (R + r) T \text{②}$$

$$\text{周期 } T = \frac{2\pi}{\omega} \text{③}$$

$$\text{联立①②③得 } W = 4.45 J$$

16. (9分) 如图20所示为示波管的结构原理图, 加热的阴极 K 发出的电子 (初速度可忽略不计) 经电势差为 U_0 的 AB 两金属板间的加速电场加速后, 从一对水平放置的平行正对带电金属板的左端中心 O' 点沿中心轴线 $O'O$ 射入金属板间 ($O'O$ 垂直于荧光屏 M), 两金属板间偏转电场的电势差为 U , 电子经偏转电场偏转后打在右侧竖直的荧光屏 M 上。整个装置处在真空中, 加速电场与偏转电场均视为匀强电场, 忽略电子之间的相互作用力, 不考虑相对论效应。已知电子的质量为 m , 电荷量为 e ; 加速电场的金属板 AB 间距离为 d_0 ; 偏转电场的金属板长为 L_1 , 板间距离为 d , 其右端到荧光屏 M 的水平距离为 L_2 。

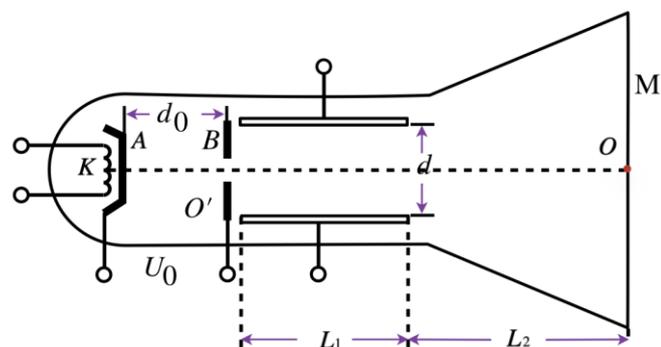


图20

(1) 电子所受重力可忽略不计, 求:

① 电子从加速电场射入偏转电场时的速度大小

v_0 ;

② 电子打在荧光屏上的位置与 O 点的竖直距离 y ;

③ 在偏转电场中, 若单位电压引起的偏转距离称

为示波器的灵敏度, 该值越大表示示波管的灵敏度越高。在示波管结构确定的情况下, 为了提高示波管的灵敏度, 请分析说明可采取的措施。

(2) 在解决一些实际问题时, 为了简化问题, 常忽略一些影响相对较小的量, 这对最终的计算结果并没有太大的影响, 因此这种处理是合理的。如计算电子在加速电场中的末速度 v_0 时, 可以忽略电子所受的重力。请利用下列数据分析说明为什么这样的处理是合理的。已知 $U_0=125\text{V}$, $d_0=2.0\times 10^{-2}\text{m}$, $m=9.0\times 10^{-31}\text{kg}$, $e=1.6\times 10^{-19}\text{C}$, 重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$

【答案】 (1) ① $v_0 = \sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$ ② $y = \frac{UL_1(L_1+2L_2)}{4dU_0}$ ③ 见解析 (2) 见解析

【解析】 (1) ① 根据动能定理 $eU_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$ ①

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

②设通过偏转电场的时间为 t_1 ，加速度为 a ，竖直位移为 y_1 ，竖直速度为 v_y ，则

$$t_1 = \frac{L_1}{v_0} \quad \text{②}$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{Ee}{m} = \frac{eU}{md} \quad \text{③}$$

$$y_1 = \frac{1}{2}at_1^2 \quad \text{④}$$

联立①②③④，得 $y_1 = \frac{UL_1^2}{4dU_0}$ ⑤

$$v_y = at_1 = \frac{qL_1}{d} \sqrt{\frac{U}{2mq}} \quad \text{⑥}$$

穿出偏转电场后到荧光屏过程中做匀速直线运动，设时间为 t_2 ，竖直位移为 y_2 ，则

$$t_2 = \frac{L_2}{v_0} \quad \text{⑦}$$

$$y_2 = v_y t_2 \quad \text{⑧}$$

联立⑥⑦⑧，可得 $y_2 = \frac{UL_1L_2}{2dU_0}$ ⑨

$$y = y_1 + y_2 = \frac{UL_1(L_1 + 2L_2)}{4dU_0}$$

③设灵敏度为 Δ ，由题意可知 $\Delta = \frac{y_1}{U} = \frac{L_1^2}{4dU_0}$

则可以通过增加偏转电场的金属板长，或减小板间距离 d ，加速电压 U_0 ，来提高灵敏度。

(2)若考虑重力，则电子在水平方向上做匀加速直线运动，在竖直方向上做自由落体运动，设通过加速电场时，加速度为 a_0 ，时间为 t_0 ，水平速度为 v_{x0} ，竖直速度为 v_{y0} ，则有

$$a_0 = \frac{F}{m} = \frac{Ee}{m} = \frac{eU_0}{md_0} \quad \text{①}$$

$$d_0 = \frac{1}{2}a_0t_0^2 \quad \text{②}$$

$$v_{x0} = a_0t_0 \quad \text{③}$$

$$v_{y0} = gt_0 \quad \text{④}$$

联立①②③④，得 $v_{x0} = 0.7 \times 10^7 \text{ m/s}$

$$v_{y0} = 0.6 \times 10^{-7} \text{ m/s}$$

由于 $\frac{v_{y0}}{v_{x0}} \approx 10^{-14}$, $v_{x0} \gg v_{y0}$, 故可以忽略电子重力。

17. (10分)如图 21 所示为质谱仪的构造原理图, 它是一种分离和检测不同同位素的重要工具。质子数相同而中子数不同的同一元素的不同核素互称位同位素。现让待测的不同带电粒子经加速后进入速度选择器, 速度选择器的平行金属板之间有相互正交的匀强磁场和匀强电场。(图中未画出), 磁感应强度为 B , 电场强度为 E 。金属版靠近平板 S , 在平板 S 上有可让粒子通过的狭缝 P , 带电粒子经过速度选择器后, 立即从 P 点沿垂直于平板 S 且垂直于磁场方向的速度进入磁感应强度为 B_0 , 并以金属板 S 为边界的有界匀强磁场中, 在磁场中偏转后打在记录它的照相底片上, 底片厚度可忽略不计, 且与平板 S 重合, 根据粒子打在底边上的位置便可以对它的比荷(电荷量与质量之比)情况进行分析。在下面的讨论中, 磁感应强度为 B_0 的匀强磁场区域足够大, 空气阻力、带电粒子所受的重力及它们之间的相互作用力均可忽略不计。

- (1) 若某带电粒子打在底片上的 A 点, 测得 P 与 A 之间的距离为 x , 求该粒子的比荷 q/m ;
- (2) 若有两种质量不同的正一价离子, 质量分别为 m_1 和 m_2 , 他们经速度选择器和匀强磁场后, 分别打在底片上的 A_1 和 A_2 两点, 测得 P 到 A_1 的距离与 A_1 到 A_2 的距离相等, 求这两种离子的质量之比 $\frac{m_1}{m_2}$ 。
- (3) 若用这个质谱仪观测氢的两种同位素离子(所带电荷量为 e), 她们分别打在照相底片上相距为 d 的两点。

①为了便于观测, 期望 d 的数值大一些为宜。试分析说明为了便于观测, 应如何改变匀强磁场磁感应强度 B_0 的大小;

②研究小组的同学对上述 B_0 影响 d 的问题进入了进行了深入的研究。为了直观, 他们

以 d 为纵坐标，以 $\frac{1}{B_0}$ 为横坐标，画出了 d 随 $\frac{1}{B_0}$ 变化的关系图像，该图像为一条过原点的直线。测得该直线的斜率为 k ，求这两种同位素离子的质量之差 Δm 。

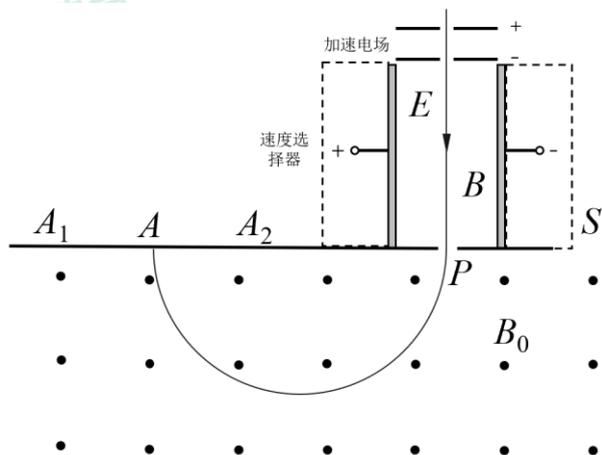


图 21

【答案】 $\frac{q}{m} = \frac{2E}{xB_0}$ ； $\frac{m_1}{m_2} = \frac{x_1}{x_2} = \frac{P_{A1}}{P_{A2}} = 2$ ；见解析； $\Delta m = \frac{qBk}{2E}$

【解析】（1）粒子经过速度选择器，有 $v = \frac{E}{B}$

带电粒子在磁场中运动，洛伦兹力提供向心力得： $m \frac{v^2}{R} = qvB_0$

两式联立得 $R = \frac{mv}{qB_0} = \frac{mE}{qBB_0}$ ，所以有 $\frac{x}{2} = \frac{mE}{qBB_0}$ ；所以粒子的比荷为 $\frac{q}{m} = \frac{2E}{xB_0}$

（2）由（1）问可得 $m = \frac{xqBB_0}{2E}$ ；所以 $\frac{m_1}{m_2} = \frac{x_1}{x_2} = \frac{P_{A1}}{P_{A2}} = 2$

（3）① $x = \frac{2mE}{qBB_0}$

$x_2 - x_1 = d = \frac{2(m_2 - m_1)E}{qBB_0} = \frac{2\Delta m E}{qBB_0}$ ，所以减小 B_0 ，可以增大 d

②由图像， $k = \frac{2\Delta m E}{qB}$ ， $\Delta m = \frac{qBk}{2E}$

18. (12分) 对于同一物理问题, 常常可以从宏观与微观两个不同角度进行研究, 找出其内在联系, 从而更加深刻地理解其物理本质。一段长为 l 、电阻率为 ρ 、横截面积为 S 的细金属直导线, 单位体积内有 n 个自由电子, 电子电量为 e 、质量为 m 。

(1) 当该导线通有恒定电流 I 时:

①请根据电流的定义, 推导出导线中自由电子定向移动的速率 v ;

②经典物理学认为, 金属的电阻源于定向运动的自由电子与金属离子 (即金属原子失去电子后的剩余部分) 的碰撞, 该碰撞过程将对电子的定向移动形成一定的阻碍作用, 该作用可等效为施加在电子上的一个沿导线的平均阻力。若电子受到的平均阻力大小与电子定向移动的速率成正比, 比例系数为 k 。请根据以上的描述构建物理模型, 推导出比例系数 k 的表达式。

(2) 将上述细导线弯成一个闭合原线圈, 若该不带电的圆线圈绕通过圆心且垂直于线圈平面的轴匀速率转动, 线圈中不会有电流通过, 若线圈转动的线速度大小发生变化, 线圈中会有电流通过, 这个现象首先由斯泰瓦和托尔曼在 1917 年发现, 被称为斯泰瓦—托尔曼效应。这一现象可解释为: 当线圈转动的线速度大小均匀变化时, 由于惯性, 自由电子与线圈中的金属离子间产生定向的相对运动。取线圈为参照物, 金属离子相对静止, 由于惯性影响, 可认为线圈中的自由电子受到一个大小不变、方向始终沿线圈切线方向的力, 该力的作用相当于非静电力的作用。

已知某次此线圈匀加速转动过程中, 该切线方向的力的大小恒为 F 。根据上述模型回答下列问题:

①求一个电子沿线圈运动一圈, 该切线方向的力 F 做功的大小;

②推导该原线圈中的电流 I' 的表达式。

【答案】 (1) ① $v = \frac{I}{neS}$; ② $k = \rho ne^2$; (2) ① $W = F \cdot l$; ② $I' = \frac{FS}{\rho e}$

【解析】

(1) ①由电流定义式和微观表达式

$$I = \frac{q}{t} = \frac{nSle}{t} = neSv$$

$$v = \frac{I}{neS}$$

②设导线两端电压为 U ，内部场强 $E = \frac{U}{L}$ 对电子运动，电场力与阻力平衡

$$\frac{U}{L} \cdot e = k \frac{I}{neS} \quad \text{①}$$

由部分电路欧姆定律和电阻定律得：

$$\frac{U}{I} = R = \frac{\rho l}{S} \quad \text{②}$$

联立①②得， $k = \rho ne^2$

(2) ①由做功定义， $W = F \cdot l$

解法一：②对导体中所有的自由电子非静电力做功为：

$$W_{\text{非}} = FlnSl = FnSl^2$$

$$\text{由电动势定义式：} E' = \frac{W_{\text{非}}}{q} = \frac{FnSl^2}{nSle} = \frac{Fl}{e}$$

$$\text{由欧姆定律} I' = \frac{E}{R} = \frac{\frac{Fl}{e}}{\frac{\rho l}{S}} = \frac{FS}{\rho e}$$

解法二：由(1)中信息， $F = kv = \rho ne^2 v$

$$\text{得，} v = \frac{F}{\rho ne^2}$$

$$\text{由电流微观表达式得，} I' = neSv = neS \frac{F}{\rho ne^2} = \frac{FS}{\rho e}$$