

2024年1月“九省联考”考后提升卷

高三物理

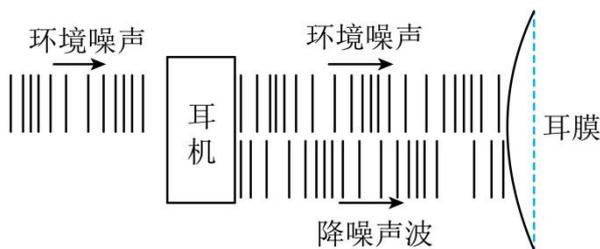
(适用地区：河南 试卷满分：110分)

注意事项：

1. 答卷前，考生务必将自己的姓名、准考证号填写在答题卡上。
2. 回答选择题时，选出每小题答案后，用铅笔把答题卡上对应题目的答案标号涂黑。如需改动，用橡皮擦干净后，再选涂其他答案标号。回答非选择题时，将答案写在答题卡上。写在本试卷上无效。
3. 考试结束后，将本试卷和答题卡一并交回。

一、选择题：本题共8小题，每小题6分，共48分。在每小题给出的四个选项中，第1~5题只有一项符合题目要求，第6~8题有多项符合题目要求。全部选对的得6分，选对但不全的得3分，有选错的得0分。

1. (2024·广东佛山·统考一模) 主动降噪耳机能根据环境中的噪声(纵波)产生相应的降噪声波，降噪声波与环境噪声同时传入人耳，两波相互叠加，达到降噪的目的。下列说法正确的是()



- A. 降噪声波与环境噪声的波长相同
- B. 耳膜振动方向与环境噪声传播方向垂直
- C. 降噪声波和环境噪声发生干涉，耳膜振动加强
- D. 环境噪声频率越高，从耳机传播到耳膜的速度越快

【答案】A

【详解】A. 降噪声波与环境噪声叠加后实现降噪，根据波的干涉条件可知，降噪声波与环境噪声频率相同，速度相同，波长相同，相位相反，A 正确；

B. 声波是属于纵波，纵波是振动方向与波的传播方向一致，B 错误；

C. 降噪声波和环境噪声发生干涉，耳膜振动减弱，C 错误；

D. 声波传播的速度取决于介质，与其频率无关，故 D 错误。

故选 A。

2. (2024 上·山东滨州·高三校联考) 某中学航天课外活动小组在发射飞行器, 升空后, 飞行器斜向上运动, 方向与竖直方向成 53° 角做匀加速直线运动, 加速度大小为 $0.1g$, 如图所示。若空气阻力大小为重力的 0.1 倍, g 为重力加速度, 飞行器的质量为 m 保持不变, 则飞行器推力 (不再考虑其它作用力, $\cos 53^\circ = 0.6$) 的大小是 ()

- A. $\frac{3}{5}\sqrt{2}mg$ B. $\frac{4}{5}\sqrt{2}mg$
 C. $\frac{3}{5}\sqrt{3}mg$ D. $\frac{4}{5}mg$

【答案】B

【详解】对重力进行矢量分解, 根据牛顿第二定律有

$$F_y = mg \sin 53^\circ = \frac{4}{5}mg$$

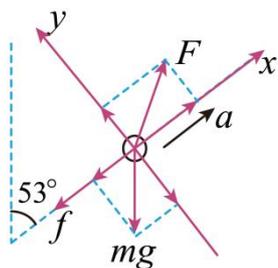
$$F_x - f - mg \cos 53^\circ = ma$$

解得

$$F_x = \frac{4}{5}mg$$

根据力的合成有

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \frac{4}{5}\sqrt{2}mg$$



故选 B。

3. (2024 上·浙江·高三校联考) 已知钠原子在 A、B、C、D 几个能级间跃迁时辐射 的光的波长及光子能量如表所示。下列判断正确的是 ()

能级跃迁	D→A	C→A	B→A
光子波长	285nm	330nm	590 nm

光子能量	4.4eV	3.8eV	2.1eV
------	-------	-------	-------

- A. $D \rightarrow B$ 产生的光的波长为 $(590-285) \text{ nm} = 305 \text{ nm}$
- B. $B \rightarrow A$ 与 $D \rightarrow B$ 产生的光在同一双缝干涉装置中，相邻干涉条纹的间距之比为 2.1 : 2.3。
- C. $D \rightarrow C$ 与 $C \rightarrow B$ 产生的光子，动量之比为 6 : 17
- D. $C \rightarrow A$ 产生的光能使某种金属发生光电效应，则 $D \rightarrow B$ 产生的光也一定能使这种金属发生光电效应

【答案】 C

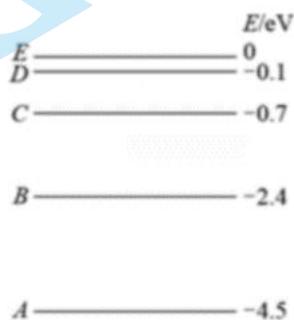
【详解】 A. 根据

$$E_D - E_A = 4.4 \text{ eV}$$

$$E_C - E_A = 3.8 \text{ eV}$$

$$E_B - E_A = 2.1 \text{ eV}$$

得能级图如图所示



由

$$E_D - E_B = h \frac{c}{\lambda}$$

代入数据解得

$$\lambda \approx 565 \text{ nm}$$

故 A 错误；

B. 根据双缝干涉规律

$$\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$$

得

$$\frac{\Delta x_1}{\Delta x_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

$B \rightarrow A$ 产生的光的波长为

$$E_B - E_A = h \frac{C}{\lambda_1}$$

由 $D \rightarrow B$ 产生光的波长为

$$E_D - E_B = h \frac{C}{\lambda_2}$$

联立可解得

$$\frac{\Delta x_1}{\Delta x_2} = \frac{2.3}{2.1}$$

故 B 错误；

C. 由 A 中图可知

$$E_D - E_C = 0.6\text{eV}$$

$$E_C - E_B = 1.7\text{eV}$$

由

$$E = \frac{hC}{\lambda}$$

而动量

$$p = mv = \frac{h}{\lambda}$$

得两种光子的动量之比等于其能量之比

$$\frac{P_{DC}}{P_{CB}} = \frac{E_D - E_C}{E_C - E_B} = \frac{6}{17}$$

故 C 正确；

D. $C \rightarrow A$ 的能级差为

$$E_C - E_A = 3.8\text{eV}$$

$D \rightarrow B$ 其能级差为

$$E_D - E_B = 2.3\text{eV}$$

由

$$\Delta E = h\nu$$

可得 ΔE 越大频率 ν 越大，明显

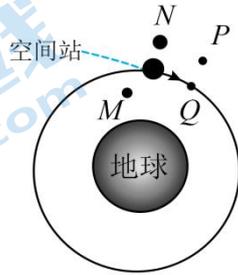
$$E_C - E_A > E_D - E_B$$

所以 $C \rightarrow A$ 产生的光能使某种金属发生光电效应，而 $D \rightarrow B$ 产生的光不一定能使这种金属发生光电效应，故

D 错误。

故选 C。

4. (2024·陕西宝鸡·统考模拟预测) 在 2023 年 9 月 21 日的“天宫课堂”上, 同学们与航天员进行互动交流, 航天员给同学们解答了与太空垃圾相关的问题。所谓太空垃圾是指在宇宙空间中的各种人造废弃物及其衍生物。假设在空间站观察到如图所示的太空垃圾 P、Q、M、N (P、Q、M、N 均无动力运行, 轨道空间存在稀薄气体), 假设空间站和这些太空垃圾均绕地球近似做顺时针方向的圆周运动, 则最可能对空间站造成损害的是 ()



A. P

B. Q

C. M

D. N

【答案】A

【详解】太空垃圾无动力运行, 由于轨道空间存在稀薄气体, 所以太空垃圾的轨道会逐渐减低, 根据

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

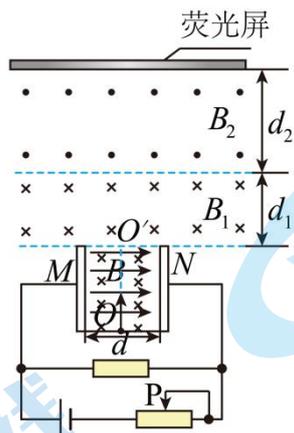
可得

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$$

所以太空垃圾 P、N 的周期大于空间站, 在轨道降低过程中, P 最有可能对空间站造成损害, N 会在空间站的后方。

故选 A。

5. (2024 上·湖南永州·高三校联考开学考试) 如图所示, 速度选择器 MN 两极板间的距离为 d , 板间匀强磁场的磁感应强度大小为 B , O 为速度选择器中轴线上的粒子源, 可沿 OO' 方向发射速度大小不同、带电荷量均为 $q (q > 0)$ 、质量均为 m 的带电粒子, 经速度选择器后, 粒子先后经过真空中两平行边界的匀强磁场区域到达足够大荧光屏; 匀强磁场的磁感应强度分别为 B_1 、 B_2 , 对应边界的宽度分别为 d_1 、 d_2 。调节滑片 P 可改变速度选择器 M、N 两极板间的电压, 使粒子沿 OO' 方向垂直磁场 B_1 边界进入 B_1 , 经磁场 B_1 偏转后进入 B_2 , 最后荧光屏恰好未发光, 粒子重力不计, 则 MN 两极板间的电压大小是 ()



- A. $\frac{qBd(B_1d_1 + B_2d_2)}{m}$ B. $\frac{q(B_1d_1 + B_2d_2)}{mBd}$
 C. $\frac{qBd(B_2d_2 - B_1d_1)}{m}$ D. $\frac{qBd(B_1d_1 - B_2d_2)}{m}$

【答案】C

【详解】设粒子速度为 v_0 ，MN 两极板间电压为 U ，在速度选择器中有

$$qBv_0 = \frac{U}{d}q$$

可得

$$v_0 = \frac{U}{Bd}$$

由题意，粒子运动的轨迹如图，由三角形相似可得

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{d_1}{d_2 - R_2}$$

又

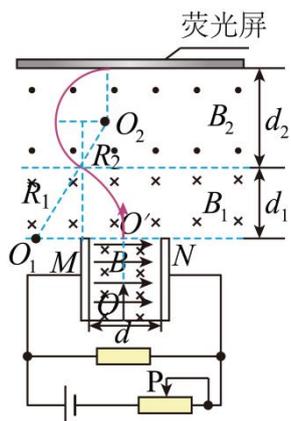
$$R_1 = \frac{mv_0}{qB_1}$$

$$R_2 = \frac{mv_0}{qB_2}$$

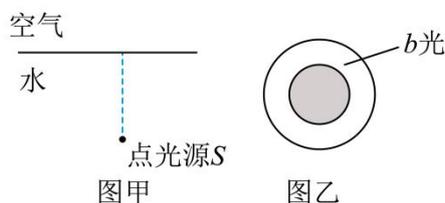
联立求解得

$$U = \frac{qBd(B_2d_2 - B_1d_1)}{m}$$

故选 C。



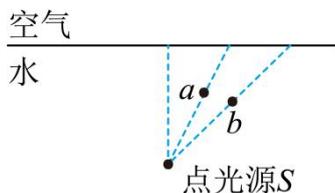
6. (2024·全国·高三专题练习) 为了装点城市夜景, 市政工作人员常在喷水池水下安装灯光照亮水面。如图甲所示, 水下有一点光源 S , 同时发出两种不同颜色的 a 光和 b 光, 在水面上形成了一个被照亮的圆形区域, 俯视如图乙所示, 环状区域只有 b 光, 中间小圆为复合光, 以下说法中正确的是 ()



- A. 在水中 a 光波速小于 b 光
- B. a 光的频率小于 b 光
- C. 用同一套装置做双缝干涉实验, a 光条纹间距更小
- D. 若某单缝能使 b 光发生明显衍射现象, 则 a 光也一定能发生明显衍射现象

【答案】AC

【详解】AB. 如图



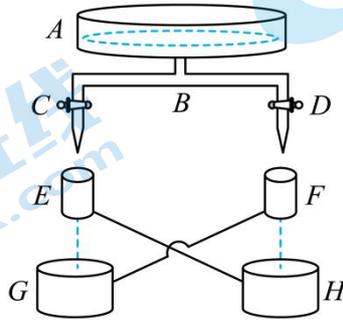
在被照亮的圆形区域边缘光线恰好发生了全反射, 入射角等于临界角, 由于 a 光照射的面积较小, 则知 a 光的临界角较小, 根据 $\sin C = \frac{1}{n}$, 知 a 光的折射率较大, 由 $v = \frac{c}{n}$, 知 a 光在水中的传播速度比 b 光小, a 光的频率高于 b 光, 故 A 正确, B 错误;

C. 由双缝干涉条纹间距公式 $\Delta x = \frac{l}{d} \lambda$, 可知 a 光波长更短, 条纹间距更小, 故 C 正确;

D. 单缝的尺寸小于光波的波长, 或与波长差不多能发生明显的衍射, 由于 a 的波长小于 b 的波长, 所以若某单缝能使 b 光发生明显衍射现象, 则 a 光不一定能发生明显衍射现象, 故 D 错误。

故选 AC。

7. (2024·广东佛山·统考一模) 开尔文滴水起电机的结构如图所示。中空金属圆筒 E 、 F 通过导线分别与金属杯 G 、 H 相连, 盆 A 中的水通过管 B 从滴管 C 、 D 滴出, 分别经 E 、 F 落入 G 、 H 中。整个装置原不带电, 若某次偶然机会, C 滴出一滴带少量正电荷的水滴, 落入金属杯 G 中, 则由于静电感应, D 后续滴下的水滴总是带负电, 这样 G 、 H 就会带上越来越多的异种电荷。关于上述过程, 下列说法正确的是 ()



- A. G 带正电荷, 则 F 带正电荷
- B. G 带正电荷, 则 E 带负电荷
- C. 关闭 C 、 D 的阀门, 仅 G 向 E 靠近时, G 带电量减少
- D. 此过程中水的重力势能部分转化为系统的电势能

【答案】 ABD

【详解】 AB. 左边金属杯 G 获得正电荷, 则与之相连的右边导电环 F 也有一定的正电荷。由于静电感应作用, 右手导电环 F 上的正电荷, 会吸引负电荷到右边 D 的水流中。右边的水滴会携带负电荷滴落, 最终滴到右边的金属杯 H 内, 使右边的桶所带负电荷增加积累, 从而又使之相边的左边导电环 E 也带负电荷, 它将会吸引正电荷到左边的水流中。当水滴落到金属杯内, 他们各自携带的正负电荷就会转移到金属杯上并积累。

因此, 正电荷由于左边导电环 E 的吸引作用被吸引到左边水流, 使左边金属杯 G 携带正电荷不断积累。负电荷被吸引到右侧水流, 使右边金属杯携带负电荷不断积累, AB 正确;

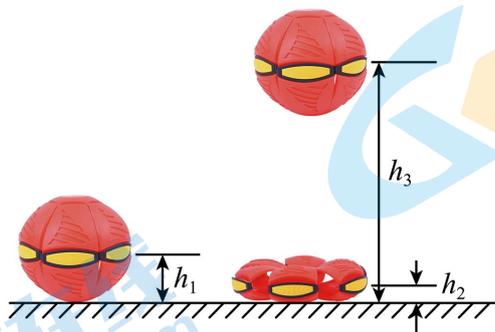
C. 关闭 C 、 D 的阀门, 仅 G 向 E 靠近时, 不会导出新的电荷, G 带电量不变, C 错误;

D. 此过程中水的重力势能部分转化为系统的电势能, 其余重力势能转化为内能, D 正确。

故选 ABD。

8. (2024·全国·高三专题练习) 小朋友喜欢的“踩踩球”其实就是由上下两个连在一起质量相等的半球组成, 两半球间装有一个轻弹簧。玩耍时, 将“踩踩球”直立静放在水平地面上, 用脚从上半球顶部中心点向下踩压, 当两半球贴合后放开脚, 过一会儿贴合装置失效, 弹簧恢复原长, 球就会突然展开, 瞬间弹起。如图所示, 小明同学测得“踩踩球”展开静止在地面上时中间白色标记距地面的高度为 h_1 ; 踩压贴合时中间白色标记距

地面的高度为 h_2 ；弹起后到达最高点时中间白色标距地面的高度为 h_3 。已知“踩踩球”总质量为 m 并全部集中在上下半球上，重力加速度大小为 g ，不计一切阻力，下列说法中正确的是（ ）



- A. “踩踩球”离开地面时的速度大小为 $\sqrt{2g(h_3 - h_1)}$
- B. 上述踩压过程中压力做的功为 $mg(h_3 - h_1)$
- C. 弹簧的最大弹性势能为 $mg(2h_3 - h_1 - h_2)$
- D. 弹簧恢复原长过程中“踩踩球”所受合外力的冲量大小为 $m\sqrt{2g(h_3 - h_2)}$

【答案】AC

【详解】A. 设球离地的速度为 v ，由动能定理可得

$$-mg(h_3 - h_1) = 0 - \frac{1}{2}mv^2$$

解得

$$v = \sqrt{2g(h_3 - h_1)}$$

故 A 正确；

D. 弹簧恢复原长过程中，根据动量定理，“踩踩球”所受合外力的冲量大小为

$$I_{\text{合}} = mv - 0 = m\sqrt{2g(h_3 - h_1)}$$

故 D 错误；

BC. 设弹簧的最大弹性势能为 E_p ，踩压过程中压力做的功为 W ，弹簧恢复原长连接装置拉紧前上半球速度为 v_1 ，上半球弹起过程由机械能守恒可得

$$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}mv_1^2 + mg(h_1 - h_2) = E_p$$

连接装置拉紧过程由动量守恒可得

$$mv = \frac{1}{2}mv_1$$

踩压过程由功能关系可得

$$E_p = W + mg(h_1 - h_2)$$

联立解得

$$W = 2mg(h_3 - h_1), \quad E_p = mg(2h_3 - h_1 - h_2)$$

故 B 错误，C 正确。

故选 AC。

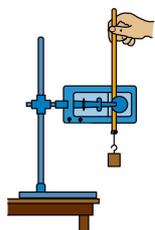
二、非选择题：共 62 分。

9. (2024·浙江嘉兴·统考一模) 某校实验小组准备用铁架台、打点计时器、重物等验证机械能守恒定律，实验装置如图甲所示。

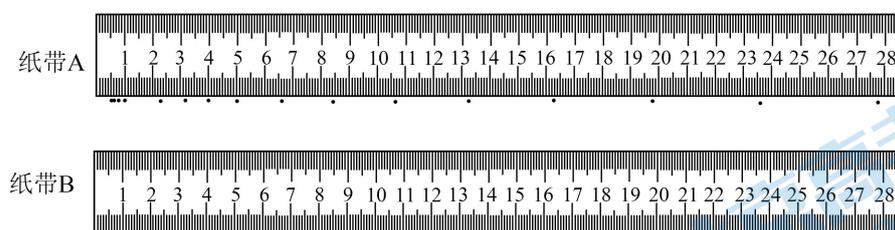
(1) 下列关于该实验说法正确的是_____。(多选)

- A. 必须在接通电源的同时释放纸带
- B. 利用本装置验证机械能守恒定律，可以不测量重物的质量
- C. 为了验证机械能守恒，必须选择纸带上打出的第一个点作为起点
- D. 体积相同的条件下，重锤质量越大，实验误差越小

(2) 图乙中的纸带 A 和 B 中，纸带_____ (选填“A”或“B”) 可能是本次实验得到的。



图甲



图乙

【答案】 BD/DB A

【详解】(1) [1]A. 为了充分利用纸带，应先接通电源再释放纸带，故 A 错误；

B. 利用本装置验证机械能守恒定律，由于验证机械能守恒的表达式中，质量可以约去，所以可以不测量重物的质量，故 B 正确；

C. 验证机械能守恒的表达式为

$$mgh_{12} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

为了验证机械能守恒，不一定需要选择纸带上打出的第一个点作为起点，故 C 错误；

D. 体积相同的条件下，重锤质量越大，空气阻力的影响越小，实验误差越小，故 D 正确。

故选 BD。

(2) [2]根据

$$\Delta x = gT^2 = 10 \times 0.02^2 = 4 \times 10^{-3} \text{ m} = 0.4 \text{ cm}$$

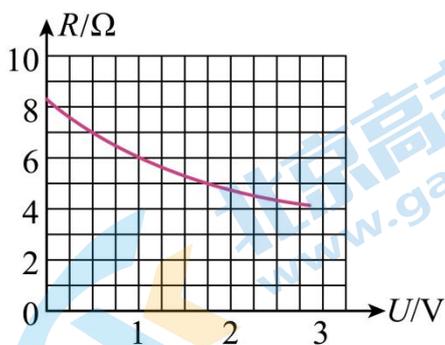
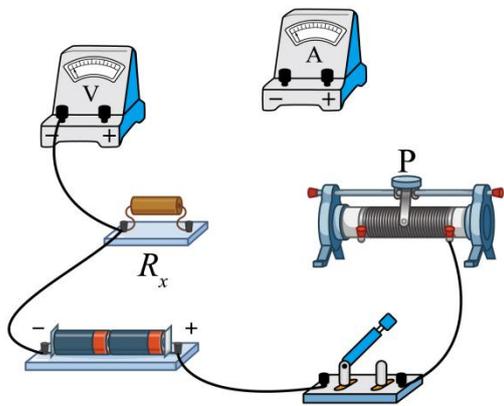
由图可知纸带 A 中相等时间相邻位移差大约为 0.4cm，则纸带 A 可能是本次实验得到的。

10. (2024·海南·校联考一模) 有一温度敏感元件，室温下它的阻值约为 10Ω ，某实验小组想要研究这温度敏感元件的电阻与温度的关系，实验室可供选择的实验器材还有：

- A. 电压表 V (量程 $0 \sim 3\text{V}$ ，内阻约为 $10\text{k}\Omega$)
- B. 电流表 A (量程 $0 \sim 0.6\text{A}$ ，内阻约为 1Ω)
- C. 滑动变阻器 R_1 (阻值范围 $0 \sim 10\Omega$ ，允许的最大电流为 2A)
- D. 滑动变阻器 R_2 (阻值范围 $0 \sim 200\Omega$ ，允许的最大电流为 1A)
- E. 干电池 2 节
- F. 开关、导线若干

(1) 实验过程中要求流过被测元件的电流从零开始逐渐增加，滑动变阻器应该选用_____ (填器材前面的字母序号)。

(2) 请用笔画线代替导线将图中实验电路的实物图补充完整_____。

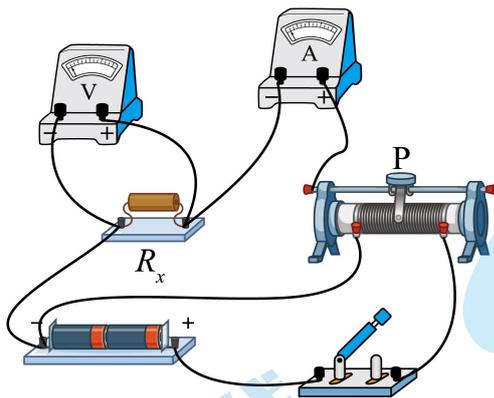


(3) 被测元件的阻值 R 可根据电压表的读数 U 和电流表的读数 I 求出，通过调节滑动变阻器接入电路的阻值，得到多组 U 、 I 数据，并对应求出多个 R 值。根据测得的数值作出如图所示的 $R-U$ 图像，根据图像可知，这一温度敏感元件属于_____ (填选项前的字母序号)。

- A. 金属材料制成的热敏电阻
- B. 半导体材料制成的热敏电阻

(4) 当电压表读数为 1V 时，被测元件的发热功率为_____ W (用分数表示)，室温状态下被测元件的阻值为_____ Ω (保留 2 位有效数字)。

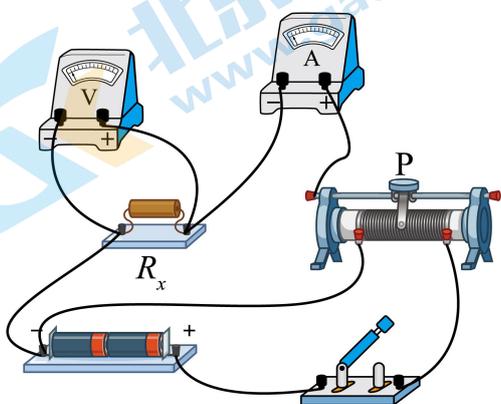
【答案】 C



B $\frac{1}{6}$
8.1/8.2/8.3/8.4

【详解】(1) [1]实验过程中要求流过被测元件的电流从零开始逐渐增加，滑动变阻器接成分压电路，则应该选用阻值较小的 C。

(2) [2]电压表的内阻远大于待测电阻，则应该采用电流表外接电路，则实物连线如图：



(3) [3]由图像可知，该元件的电阻随电压增加（温度升高）阻值减小，可知这一温度敏感元件属于半导体材料制成的热敏电阻，故选 B；

(4) [4][5]当电压表读数为 1V 时，被测元件的电阻为 6Ω，则发热功率为

$$P_{\text{热}} = \frac{U^2}{R} = \frac{1^2}{6} \text{ W} = \frac{1}{6} \text{ W}$$

由图像可知室温状态下（ $U=0$ 时）被测元件的阻值为 8.2Ω。

11. (2024·河北邯郸·统考二模) 如图所示，“空气炮”是非常有趣的小玩具，深受小朋友们喜爱。其使用方法是先用手拉动后面的橡胶膜，抽取一定量的空气后，迅速放手，橡胶膜在恢复原状的过程中压缩空气，从而产生内外压强差，空气从管口冲出形成冲击力。已知“空气炮”在未使用前的容积为 600mL，拉动橡胶膜至释放前的容积变为 800mL，大气压强为 $1.05 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，整个过程中“空气炮”中的空气温度等于环境温度 27°C 不变。

(1) 若橡胶膜恢复原状的过程可视为没有气体冲出，试求恢复原状瞬间“空气炮”内部空气压强。

(2) 经检测，橡胶膜恢复原状瞬间，“空气炮”内部空气压强为 $1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，试求此时已冲出管口的空气质量与仍在“空气炮”内部的空气质量之比。



【答案】(1) $1.4 \times 10^5 \text{Pa}$; (2) $\frac{1}{6}$

【详解】(1) 以抽入气体后的空气炮内气体为研究对象，初始气体压强

$$p_1 = 1.05 \times 10^5 \text{Pa}$$

气体体积

$$V_1 = 800 \text{mL}$$

橡皮膜恢复原状时气体体积

$$V_2 = 600 \text{mL}$$

气体做等温变化，由玻意耳定律得

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

解得

$$p_2 = 1.4 \times 10^5 \text{Pa}$$

即橡胶膜恢复原状时气体的压强为 $1.4 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

(2) 以抽入气体后的空气炮内气体为研究对象，初始气体压强

$$p_1 = 1.05 \times 10^5 \text{Pa}$$

气体体积

$$V_1 = 800 \text{mL}$$

橡皮膜恢复原状时气体在瓶内的体积

$$V_2 = 600 \text{mL}$$

已冲出管口的气体压强视为与内部相同为

$$p_2' = 1.2 \times 10^5 \text{Pa}$$

设其体积为 V_3 ，气体做等温变化，由玻意耳定律得

$$p_1 V_1 = p_2' (V_2 + V_3)$$

解得

$$V_3 = 100\text{mL}$$

同压强下气体质量与体积成正比，则冲出管口的气体与内部气体的质量比为

$$\frac{m_3}{m_2} = \frac{V_3}{V_2}$$

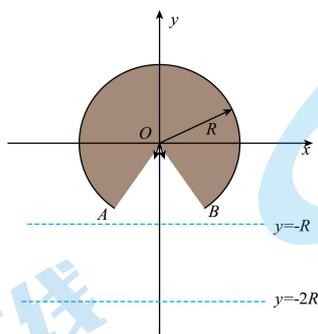
解得

$$\frac{m_3}{m_2} = \frac{1}{6}$$

12. (2024·广东·统考·一模) 有些高能粒子会对物理仪器造成损害，一位同学认为可利用电磁场让带电粒子偏转的特点设计装置实现对粒子的屏蔽作用，如图所示为一半径为 R 的圆柱形铅盒的截面图，其中心为粒子发射源，以中心为坐标原点建立 Oxy 平面坐标系，使 y 轴负半轴与 $\angle AOB$ 的角平分线重合，发射源可在图示 $\angle AOB = 60^\circ$ 平面范围内从圆心 O 沿半径方向往外不断发射出速度大小均为 v ，电荷量为 q ，质量为 m 的某种带正电粒子，粒子通过圆弧 AB 的缝隙到达铅盒外面，同学打算在 $y = -R$ 到 $y = -2R$ 间的条形区域设置匀强电场或者匀强磁场以实现屏蔽效果，粒子重力不计，忽略粒子间的相互作用。

(1) 如果条形区域设置平行于 y 轴的匀强电场，则电场的电场强度应至少为多少，使得所有粒子不能越过条形电场区域？并判断匀强电场方向；

(2) 如果条形区域设置垂直于截面向里的匀强磁场，则磁场的磁感应强度应至少为多少，使得所有粒子不能越过条形磁场区域？此时粒子在磁场运动的最长时间为多少？



【答案】 (1) $\frac{mv^2}{2qR}$ ，沿 y 轴正方向； (2) $\frac{3mv}{2qR}$ ， $\frac{8\pi R}{9v}$

【详解】 (1) 根据题意可知，由于粒子发射源发出的粒子速度大小相等，若沿 y 轴负方向射出的粒子不能穿过条形电场区域，其它粒子一定不能穿过，对沿 y 轴负方向射出的粒子，由动能定理有

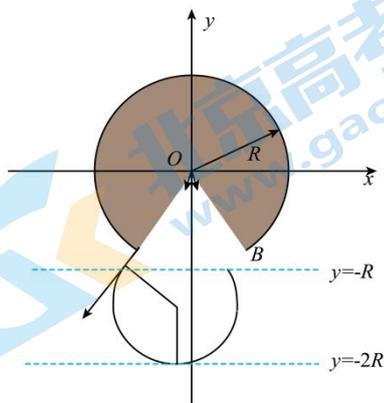
$$-EqR = 0 - \frac{1}{2}mv^2$$

解得

$$E = \frac{mv^2}{2qR}$$

方向沿 y 轴正方向。

(2) 如果条形区域设置垂直于截面向里的匀强磁场，粒子在磁场中做匀速圆周运动，由左手定则可知，粒子进入磁场后逆时针做圆周运动，可知，只要沿 OA 方向的粒子不能越过条形磁场区域，其它粒子一定不能越过，沿 OA 方向的粒子恰好不能越过，轨迹如图所示



由几何关系有

$$r + r \sin 30^\circ = R$$

又有

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

联立解得

$$B = \frac{3mv}{2qR}$$

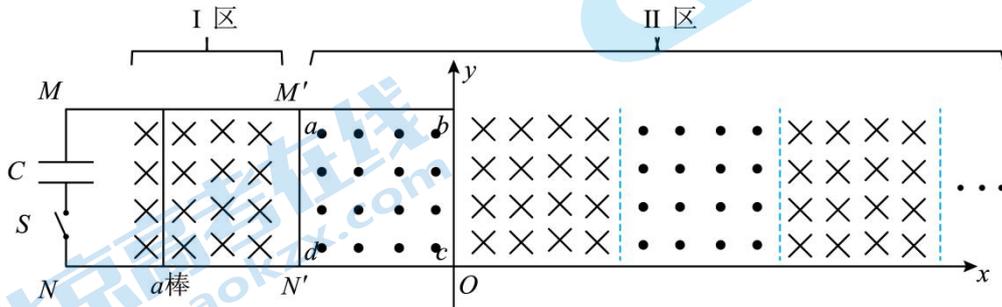
此时圆弧所对圆心角最大，粒子在磁场运动的时间最长，由几何关系可得，圆心角为 240° ，则运动时间为

$$t = \frac{240^\circ}{360^\circ} \cdot \frac{2\pi r}{v} = \frac{8\pi R}{9v}$$

13. (2024·浙江·校联考·一模) 如图所示，在光滑水平面上建立坐标系 xoy ，在 $x = -0.1\text{m}$ 左右两侧分别存在着 I 区和 II 区匀强磁场，大小均为 $B = 1\text{T}$ ，I 区方向垂直纸面向里，II 区一系列磁场宽度均为 $L = 0.1\text{m}$ ，相邻两磁场方向相反，各磁场具有理想边界。在 $x = -0.1\text{m}$ 左侧是间距 L 的水平固定的平行光滑金属轨道 MM' 和 NN' ，轨道 MN 端接有电容为 $C = 1\text{F}$ 的电容器，初始时带电量为 $q_0 = 1\text{C}$ ，电键 S 处于断开状态。轨道上静止放置一金属棒 a ，其质量 $m = 0.01\text{kg}$ ，电阻 $R = 1\Omega$ 。轨道右端 $M'N'$ 上涂有绝缘漆， $M'N'$ 右侧放置一边长 L 、质量 $4m$ 、电阻为 $4R$ 的匀质正方形刚性导线框 $abcd$ 。闭合电键 S ， a 棒向右运动，到达 $M'N'$ 前已经匀

速，与导线框 $abcd$ 碰撞并与 ad 边粘合在一起继续运动。金属轨道电阻不计，其 ab 边与 x 轴保持平行，求：

- (1) 电键 S 闭合前，电容器下极板带电性， a 棒匀速时的速度 v_1 ；
- (2) 组合体 bc 边向右刚跨过 y 轴时， ad 两点间的电势差 U_{ad} ；
- (3) 碰后组合体产生的焦耳热及最大位移。



【答案】 (1) 5m/s ，沿 x 轴正方向；(2) -0.0714V ；(3) 0.025J ， 4.375m

【详解】 (1) 电容器下极板带负电；

a 棒以 v_1 匀速运动时回路中 $I=0$ ，电容器两端

$$U = E = BLv_1$$

此时电容器带电量

$$q_1 = CU = CBLv_1$$

开始运动至达稳定，对 a 棒用动量定理，有

$$BL\Delta q = mv_1 - 0$$

其中运动过程 a 棒上通过电量

$$\Delta q = q_0 - q_1$$

联立得

$$v_1 = \frac{BLq_0}{m + CB^2L^2} = 5\text{m/s}$$

沿 x 轴正方向

(2) a 棒与线框碰撞过程系统动量守恒，有

$$mv_1 + 0 = (m + 4m)v_2$$

得碰后整体速度

$$v_2 = \frac{1}{5}v_1 = 1\text{m/s}$$

碰后 a 棒与 ad 边粘合，并联电阻为 $\frac{1}{2}R$ ，则闭合线框总阻值为 $\frac{7}{2}R$

bc 边跨过 y 轴时， ad 、 bc 边作电源，有

$$E_{ad} = E_{bc} = BLv_2$$

由闭合回路欧姆定律得

$$I = \frac{E_{ad} + E_{bc}}{\frac{7R}{2}} = \frac{4BLv_2}{R}$$

由右手定则判断 ad 边 d 端为正极，故

$$U_{ad} < 0$$

则

$$U_{ad} = -\left(E_{ad} - I \frac{R}{2}\right) = -\frac{5}{7}E_{ad} = -\frac{1}{14}V = -0.0714V$$

(3) 碰后 ad 与 bc 边在反向磁场中受沿 x 轴负向的等大安培力，则从 v_2 减速至 0 的过程中，对组合体在 x 方向运用动量定理有

$$-2BIL\Delta t = (m + 4m)\Delta v$$

其中电流

$$I = \frac{E_{ad} + E_{bc}}{\frac{7R}{2}} = \frac{4BLv_x}{R}$$

两式联立累加有

$$-\frac{8B^2L^2}{7R}\Delta x = 5m\Delta v$$

则

$$\Delta x = \frac{35mv_2R}{8B^2L^2} = \frac{35}{8}m = 4.375m$$

从 v_2 减速至 0 的过程中，对组合体系统有能量守恒故

$$Q = \frac{1}{2} \cdot 5mv_2^2 - 0 = \frac{1}{40}J = 0.025J$$