

# 2021年河北省普通高中学业水平选择性考试

## 物理

注意事项:

1. 答卷前, 考生务必将自己的姓名、考生号、考场号、座位号填写在答题卡上。
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、单项选择题: 本题共7小题, 每小题4分, 共28分。在每小题给出的四个选项中, 只有一项是符合题目要求的。

1. 银河系中存在大量的铝同位素 $^{26}\text{Al}$ ,  $^{26}\text{Al}$ 核 $\beta$ 衰变的衰变方程为 $^{26}_{13}\text{Al} \rightarrow ^{26}_{12}\text{Mg} + ^0_1\text{e}$ , 测得 $^{26}\text{Al}$ 核的半衰期为72万年, 下列说法正确的是( )
  - A.  $^{26}\text{Al}$ 核的质量等于 $^{26}\text{Mg}$ 核的质量
  - B.  $^{26}\text{Al}$ 核的中子数大于 $^{26}\text{Mg}$ 核的中子数
  - C. 将铝同位素 $^{26}\text{Al}$ 放置在低温低压的环境中, 其半衰期不变
  - D. 银河系中现有的铝同位素 $^{26}\text{Al}$ 将在144万年后全部衰变为 $^{26}\text{Mg}$

【答案】C

【解析】

【分析】

【详解】A.  $^{26}\text{Al}$ 和 $^{26}\text{Mg}$ 的质量数均为26相等, 但是二者原子核中的质子数和中子数不同, 所以质量不同, A错误;

B.  $^{26}_{13}\text{Al}$ 核的中子数为 $26 - 13 = 13$ 个,  $^{26}_{12}\text{Mg}$ 核的中子数为 $26 - 12 = 14$ 个, B错误;

C. 半衰期是原子核固有的属性, 与外界条件无关, C正确;

D. 质量为 $m$ 的 $^{26}\text{Al}$ 的半衰期为72万年, 经过 $144 = 2 \times 72$ 万年为2个半衰期, 剩余质量为 $\frac{1}{4}m$ , 不会全部衰变为 $^{26}\text{Mg}$ , D错误。

故选C。

2. 铯原子钟是精确的计时仪器, 图1中铯原子从O点以100m/s的初速度在真空中做平抛运动, 到达竖直面MN所用时间为 $t_1$ ; 图2中铯原子在真空中从P点做竖直上抛运动, 到达最高点Q再返回P点, 整个

过程所用时间为  $t_2$ ,  $O$  点到竖直平面  $MN$ 、 $P$  点到  $Q$  点的距离均为  $0.2\text{m}$ , 重力加速度取  $g = 10\text{m/s}^2$ , 则  $t_1 : t_2$  为 ( )

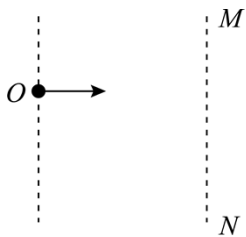


图1

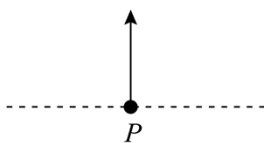


图2

- A. 100 : 1                      B. 1 : 100                      C. 1 : 200                      D. 200 : 1

**【答案】** C

**【解析】**

**【分析】**

**【详解】** 铯原子做平抛运动, 水平方向上做匀速直线运动, 即

$$x = vt_1$$

解得

$$t_1 = \frac{x}{v} = \frac{0.2}{100}\text{s}$$

铯原子做竖直上抛运动, 抛至最高点用时  $\frac{t_2}{2}$ , 逆过程可视为自由落体, 即

$$x = \frac{1}{2}g\left(\frac{t_2}{2}\right)^2$$

解得

$$t_2 = \sqrt{\frac{8x}{g}} = \sqrt{\frac{8 \times 0.2}{10}} = 0.4\text{s}$$

则

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\frac{0.2}{100}}{0.4} = \frac{1}{200}$$

故选 C。

3. 普朗克常量  $h = 6.626 \times 10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}$ , 光速为  $c$ , 电子质量为  $m_e$ , 则  $\frac{h}{m_e c}$  在国际单位制下的单位是 ( )

- A. J/s                      B. m                      C. J·m                      D. m/s

**【答案】** B

【解析】

【分析】

【详解】根据  $\frac{h}{m_e c}$  可得它们的单位为：

$$\frac{\text{J}\cdot\text{s}}{\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}} = \frac{\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}}{\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}} = \frac{\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2\cdot\text{m}\cdot\text{s}}{\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}} = \text{m}$$

故选 B。

4. “祝融号”火星车登陆火星之前，“天问一号”探测器沿椭圆形的停泊轨道绕火星飞行，其周期为 2 个火星日，假设某飞船沿圆轨道绕火星飞行，其周期也为 2 个火星日，已知一个火星日的时长约为一个地球日，火星质量约为地球质量的 0.1 倍，则该飞船的轨道半径与地球同步卫星的轨道半径的比值约为（ ）

- A.  $\sqrt[3]{4}$                       B.  $\sqrt[3]{\frac{1}{4}}$                       C.  $\sqrt[3]{\frac{5}{2}}$                       D.  $\sqrt[3]{\frac{2}{5}}$

【答案】D

【解析】

【分析】

【详解】绕中心天体做圆周运动，根据万有引力提供向心力，可得

$$\frac{GMm}{R^2} = m \frac{4\rho^2}{T^2} R$$

则

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 R^3}{GM}}, \quad R = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$$

由于一个火星日的时长约为一个地球日，火星质量约为地球质量的 0.1 倍，则飞船的轨道半径

$$R_{\text{飞}} = \sqrt[3]{\frac{GM_{\text{火}}(2T)^2}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{G \times 0.1M_{\text{地}} \times 4 \times \frac{4\pi^2 R_{\text{同}}^3}{GM_{\text{地}}}}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{2}{5}} R_{\text{同}}$$

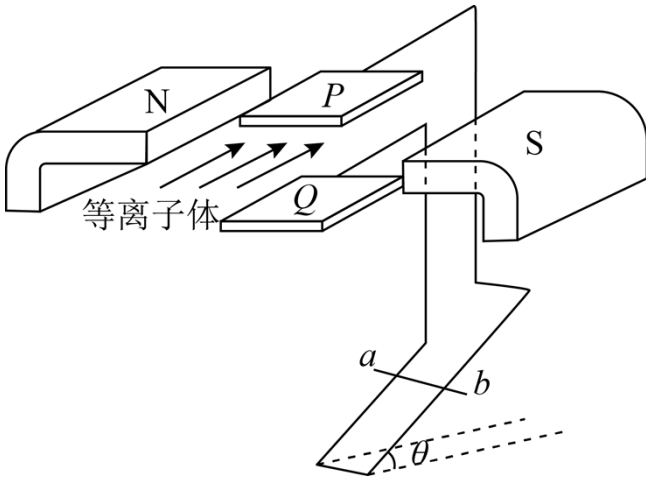
则

$$\frac{R_{\text{飞}}}{R_{\text{同}}} = \sqrt[3]{\frac{2}{5}}$$

故选 D。

5. 如图，距离为  $d$  的两平行金属板  $P$ 、 $Q$  之间有一匀强磁场，磁感应强度大小为  $B_1$ ，一束速度大小为  $v$  的

等离子体垂直于磁场喷入板间，相距为  $L$  的两光滑平行金属导轨固定在与导轨平面垂直的匀强磁场中，磁感应强度大小为  $B_2$ ，导轨平面与水平面夹角为  $\theta$ ，两导轨分别与  $P$ 、 $Q$  相连，质量为  $m$ 、电阻为  $R$  的金属棒  $ab$  垂直导轨放置，恰好静止，重力加速度为  $g$ ，不计导轨电阻、板间电阻和等离子体中的粒子重力，下列说法正确的是（ ）



- A. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向上， $v = \frac{mgR \sin \theta}{B_1 B_2 L d}$
- B. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向下， $v = \frac{mgR \sin \theta}{B_1 B_2 L d}$
- C. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向上， $v = \frac{mgR \tan \theta}{B_1 B_2 L d}$
- D. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向下， $v = \frac{mgR \tan \theta}{B_1 B_2 L d}$

【答案】B

【解析】

【分析】

【详解】等离子体垂直于磁场喷入板间时，根据左手定则可得金属板  $Q$  带正电荷，金属板  $P$  带负电荷，则电流方向由金属棒  $a$  端流向  $b$  端。等离子体穿过金属板  $P$ 、 $Q$  时产生的电动势  $U$  满足

$$q \frac{U}{d} = q B_1 v$$

由欧姆定律  $I = \frac{U}{R}$  和安培力公式  $F = BIL$  可得

$$F_{\text{安}} = B_2 L \times \frac{U}{R} = \frac{B_2 B_1 L v d}{R}$$

再根据金属棒  $ab$  垂直导轨放置，恰好静止，可得

$$F_{\text{安}} = mg \sin \theta$$

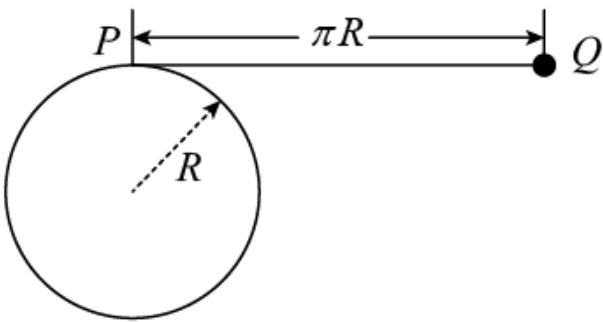
则

$$v = \frac{mgR \sin \theta}{B_1 B_2 L d}$$

金属棒  $ab$  受到的安培力方向沿斜面向上，由左手定则可判定导轨处磁场的方向垂直导轨平面向下。

故选 B。

6. 一半径为  $R$  的圆柱体水平固定，横截面如图所示，长度为  $\pi R$ 、不可伸长的轻细绳，一端固定在圆柱体最高点  $P$  处，另一端系一个小球，小球位于  $P$  点右侧同一水平高度的  $Q$  点时，绳刚好拉直，将小球从  $Q$  点由静止释放，当与圆柱体未接触部分的细绳竖直时，小球的速度大小为（重力加速度为  $g$ ，不计空气阻力）（ ）



- A.  $\sqrt{(2+\pi)gR}$       B.  $\sqrt{2\pi gR}$       C.  $\sqrt{2(1+\pi)gR}$       D.  $2\sqrt{gR}$

【答案】A

【解析】

【分析】

【详解】小球下落的高度为

$$h = \pi R - \frac{\pi}{2}R + R = \frac{\pi + 2}{2}R$$

小球下落过程中，根据动能定理有

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

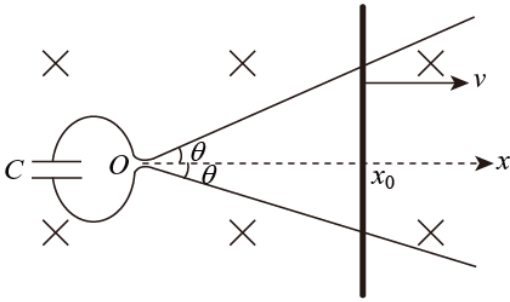
综上有

$$v = \sqrt{(\pi + 2)gR}$$

故选 A。

7. 如图，两光滑导轨水平放置在竖直向下的匀强磁场中，磁感应强度大小为  $B$ ，导轨间距最窄处为一狭缝，取狭缝所在处  $O$  点为坐标原点，狭缝右侧两导轨与  $x$  轴夹角均为  $\theta$ ，一电容为  $C$  的电容器与导轨左端相连，

导轨上的金属棒与  $x$  轴垂直，在外力  $F$  作用下从  $O$  点开始以速度  $v$  向右匀速运动，忽略所有电阻，下列说法正确的是（ ）



- A. 通过金属棒的电流为  $2BCv^2 \tan \theta$
- B. 金属棒到达  $x_0$  时，电容器极板上的电荷量为  $BCvx_0 \tan \theta$
- C. 金属棒运动过程中，电容器的上极板带负电
- D. 金属棒运动过程中，外力  $F$  做功的功率恒定

【答案】A

【解析】

【分析】

【详解】C. 根据楞次定律可知电容器的上极板应带正电，C 错误；

A. 由题知导体棒匀速切割磁感线，根据几何关系切割长度为

$$L = 2x \tan \theta, \quad x = vt$$

则产生的感应电动势为

$$E = 2Bv^2 t \tan \theta$$

由题图可知电容器直接与电源相连，则电容器的电荷量为

$$Q = CE = 2BCv^2 t \tan \theta$$

则流过导体棒的电流

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = 2BCv^2 \tan \theta$$

A 正确；

B. 当金属棒到达  $x_0$  处时，导体棒产生的感应电动势为

$$E' = 2Bvx_0 \tan \theta$$

则电容器的电荷量为

$$Q = CE' = 2BCvx_0 \tan \theta$$

B 错误；

D. 由于导体棒做匀速运动则

$$F = F_{安} = BIL$$

由选项 A 可知流过导体棒的电流  $I$  恒定，但  $L$  与  $t$  成正比，则  $F$  为变力，再根据力做功的功率公式

$$P = Fv$$

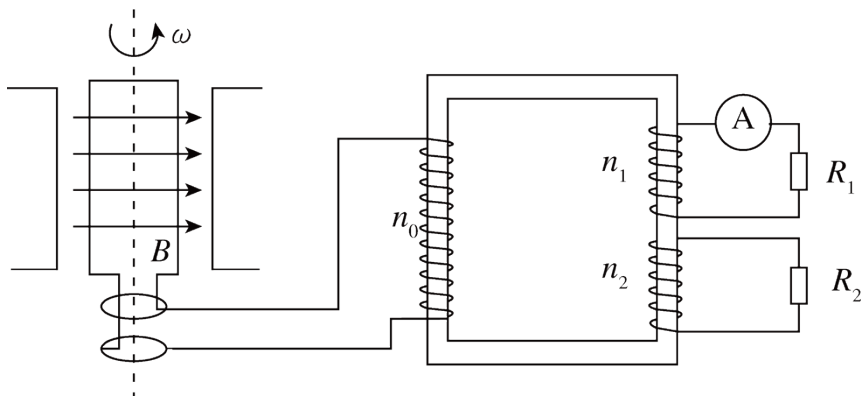
可看出  $F$  为变力， $v$  不变则功率  $P$  随力  $F$  变化而变化；

D 错误；

故选 A。

二、多项选择题：本题共 3 小题，每小题 6 分，共 18 分。在每小题给出的四个选项中，有两个或两个以上选项符合题目要求。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

8. 如图，发电机的矩形线圈长为  $2L$ 、宽为  $L$ ，匝数为  $N$ ，放置在磁感应强度大小为  $B$  的匀强磁场中，理想变压器的原、副线圈匝数分别为  $n_0$ 、 $n_1$  和  $n_2$ ，两个副线圈分别接有电阻  $R_1$  和  $R_2$ ，当发电机线圈以角速度  $\omega$  匀速转动时，理想电流表读数为  $I$ ，不计线圈电阻，下列说法正确的是（ ）



A. 通过电阻  $R_2$  的电流为  $\frac{n_1 I}{n_2}$

B. 电阻  $R_2$  两端的电压为  $\frac{n_2 I R_1}{n_1}$

C.  $n_0$  与  $n_1$  的比值为  $\frac{\sqrt{2} N B L^2 \omega}{I R_1}$

D. 发电机的功率为  $\frac{\sqrt{2} N B L^2 \omega I (n_1 + n_2)}{n_0}$

【答案】BC

【解析】

【分析】

【详解】AB. 由题知理想电流表读数为  $I$ ，则根据欧姆定律

$$U_1 = I R_1$$

根据变压器电压与匝数的关系有

$$\frac{n_0}{n_1} = \frac{U_0}{U_1}, \quad \frac{n_0}{n_2} = \frac{U_0}{U_2}$$

代入数据有

$$U_0 = \frac{n_0}{n_1} IR_1, \quad U_2 = \frac{n_2}{n_1} IR_1$$

再由欧姆定律有

$$U_2 = I_2 R_2$$

可计算出

$$I_2 = \frac{n_2 R_1}{n_1 R_2} I$$

综上所述，A 错误、B 正确；

C. 由于矩形线圈产生的交变电流直接输入原线圈，则有

$$E_{\max} = NB2L^2\omega, \quad U_0 = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} NBL^2\omega$$

由选项 AB 知

$$U_0 = \frac{n_0}{n_1} IR_1$$

则

$$\frac{n_0}{n_1} = \frac{\sqrt{2} NBL^2\omega}{IR_1}$$

C 正确；

D. 由于变压器为理想变压器则有

$$P_0 = P_1 + P_2 = U_1 I + U_2 I_2 = I^2 R_1 + U_2 I_2$$

代入选项 ABC 公式有

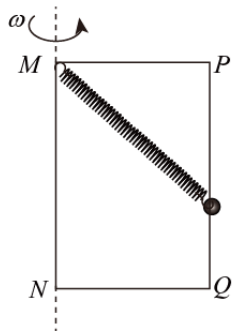
$$P_0 = \frac{\sqrt{2} NBL^2\omega I}{n_0} \left( \frac{n_1^2 R_2 + n_2^2 R_1}{n_1 R_2} \right)$$

由于矩形线圈产生的交变电流直接输入原线圈，则发电机的功率为  $P_0$ ，D 错误。

故选 BC。

9. 如图，矩形金属框  $MNQP$  竖直放置，其中  $MN$ 、 $PQ$  足够长，且  $PQ$  杆光滑，一根轻弹簧一端固定在  $M$  点，另一端连接一个质量为  $m$  的小球，小球穿过  $PQ$  杆，金属框绕  $MN$  轴分别以角速度  $\omega$  和  $\omega'$  匀速转动

时，小球均相对  $PQ$  杆静止，若  $\omega' > \omega$ ，则与以  $\omega$  匀速转动时相比，以  $\omega'$  匀速转动时（ ）



- A. 小球的高度一定降低
- B. 弹簧弹力的大小一定不变
- C. 小球对杆压力的大小一定变大
- D. 小球所受合外力的大小一定变大

**【答案】** BD

**【解析】**

**【分析】**

**【详解】** 对小球受力分析，设弹力为  $T$ ，弹簧与水平方向的夹角为  $\theta$ ，则对小球竖直方向

$$T \sin \theta = mg$$

而

$$T = k\left(\frac{MP}{\cos \theta} - l_0\right)$$

可知  $\theta$  为定值， $T$  不变，则当转速增大后，小球的高度不变，弹簧的弹力不变。则 A 错误，B 正确；

水平方向当转速较小时，杆对小球的弹力  $F_N$  背离转轴，则

$$T \cos \theta - F_N = m\omega^2 r$$

即

$$F_N = T \cos \theta - m\omega^2 r$$

当转速较大时， $F_N$  指向转轴

$$T \cos \theta + F'_N = m\omega'^2 r$$

即

$$F'_N = m\omega'^2 r - T \cos \theta$$

则因  $\omega' > \omega$ ，根据牛顿第三定律可知，小球对杆的压力不一定变大。则 C 错误；

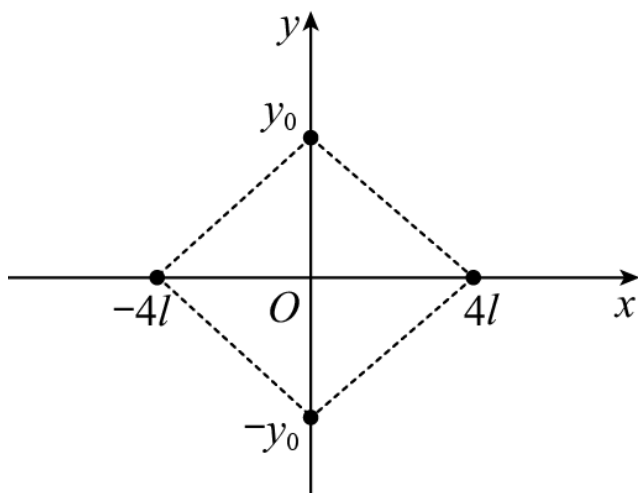
根据

$$F_{\text{合}} = m\omega^2 r$$

可知，因角速度变大，则小球受合外力变大。则 D 正确。

故选 BD。

10. 如图，四个电荷量均为  $q (q > 0)$  的点电荷分别放置于菱形的四个顶点，其坐标分别为  $(4l, 0)$ 、 $(-4l, 0)$ 、 $(0, y_0)$  和  $(0, -y_0)$ ，其中  $x$  轴上的两个点电荷位置固定， $y$  轴上的两个点电荷可沿  $y$  轴对称移动 ( $y_0 \neq 0$ )，下列说法正确的是 ( )



- A. 除无穷远处之外，菱形外部电场强度处处不为零
- B. 当  $y_0$  取某值时，可使得菱形内部只存在两个电场强度为零的点
- C. 当  $y_0 = 8l$  时，将一带负电的试探电荷由点  $(4l, 5l)$  移至点  $(0, -3l)$ ，静电力做正功
- D. 当  $y_0 = 4l$  时，将一带负电的试探电荷放置在点  $(l, l)$  处，其所受到的静电力方向与  $x$  轴正方向成  $45^\circ$  倾斜向上

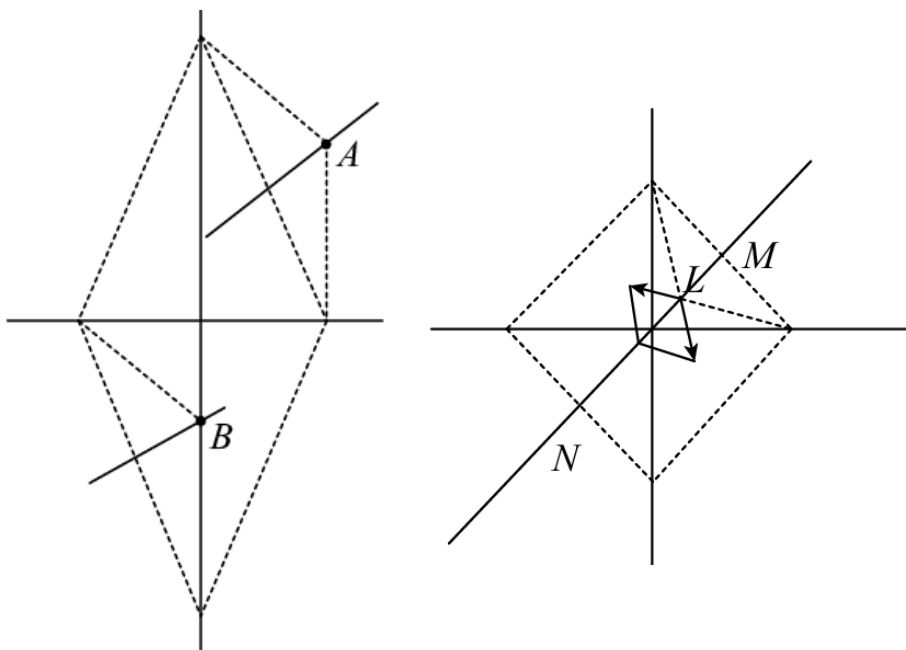
**【答案】** ACD

**【解析】**

**【分析】**

- 【详解】** A. 根据场强叠加原理可知，除无穷远处之外，菱形外部电场强度处处不为零，选项 A 正确；
- B. 因为在  $x$  轴上的两个点电荷在  $O$  点的合场强为零，在  $y$  轴上的两电荷，无论  $y_0$  取什么值，因为关于原点对称，则在  $O$  点的合场强也为零，在横轴和纵轴上除原点外，出现合场强为零的点，根据对称性可知，一定是成对出现的，关于原点对称，所以算上原点，合场强为零的点是奇数个，不会是 2 个，选项 B 错误
- C. 由几何关系可知，坐标为  $(4l, 5l)$  的  $A$  点在第一象限内所在的虚像的垂直平分线的上方；坐标为  $(0, -3l)$  的  $B$  点在第三象限内所在的虚像的垂直平分线的上方，且到达虚线的距离相等，由电势叠加可知， $B$

点的电势高于  $A$  点，则带负电的试探电荷在  $A$  点的电势能较大，从  $A$  点到  $B$  点电势能减小，可知电场力做正功，选项 C 正确；



D. 若  $y_0=4l$ ，则四个点构成正方形，由对称可知在点  $(l, l)$  处的场强一定沿着过该点与原点连线的方向上；在  $y$  轴正向和  $x$  正向上的点电荷在  $(l, l)$  处的合场强

$$E_1 = 2 \frac{kq}{(\sqrt{9l^2 + l^2})^2} \cdot \frac{2\sqrt{2}l - \sqrt{2}l}{\sqrt{9l^2 + l^2}} = \frac{kq}{5\sqrt{5}l^2}$$

在  $y$  轴负向和  $x$  负向上的点电荷在  $(l, l)$  处的合场强

$$E_2 = 2 \frac{kq}{(\sqrt{25l^2 + l^2})^2} \cdot \frac{2\sqrt{2}l + \sqrt{2}l}{\sqrt{25l^2 + l^2}} = \frac{13}{3} \frac{kq}{\sqrt{13}l^2} < E_1$$

可知  $(l, l)$  点的场强沿着  $MN$  方向且与  $x$  轴从成  $45^\circ$  角的方向向下，将一带负电的试探电荷放置在点  $(l, l)$  处，其所受到的静电力方向与  $x$  轴正方向成  $45^\circ$  倾斜向上，选项 D 正确。

故选 ACD。

**三、非选题：共 54 分。第 11~14 题为必考题，每个试题考生都必须作答。第 15~16 题为选考题，考生根据要求作答。**

**(一) 必考题：共 62 分。**

11. 某同学研究小灯泡的伏安特性，实验室提供的器材有：小灯泡（6.3V，0.15A），直流电源（9V），滑动变阻器，量程合适的电压表和电流表，开关和导线若干，设计的电路如图 1 所示。

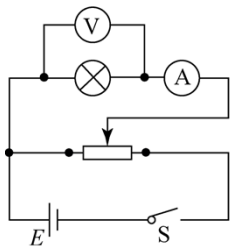


图1

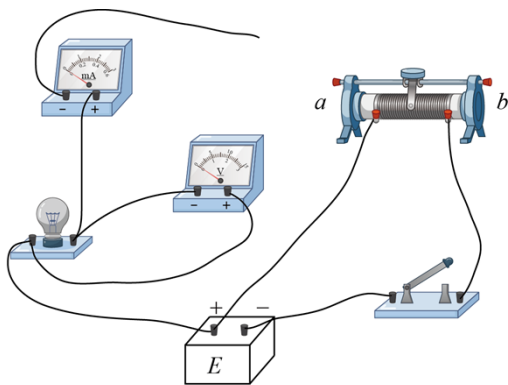


图2

(1) 根据图1，完成图2中的实物连线\_\_\_\_\_；

(2) 按照图1连线后，闭合开关，小灯泡闪亮一下后熄灭，观察发现灯丝被烧断，原因可能是\_\_\_\_\_（单项选择，填正确答案标号）；

- A. 电流表短路
- B. 滑动变阻器的滑片接触不良
- C. 滑动变阻器滑片的初始位置在  $b$  端

(3) 更换小灯泡后，该同学正确完成了实验操作，将实验数据描点作图，得到  $I-U$  图像，其中一部分如图3所示，根据图像计算出  $P$  点对应状态下小灯泡的电阻为\_\_\_\_\_  $\Omega$ （保留三位有效数字）。

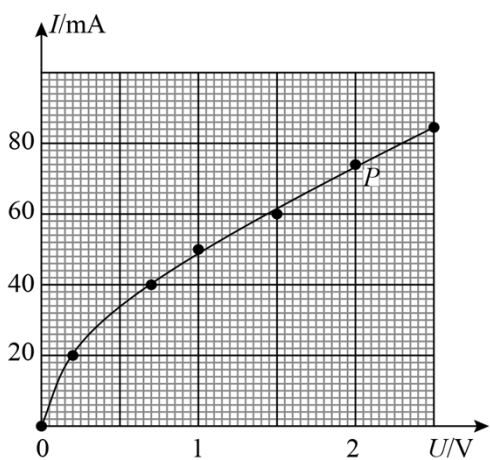
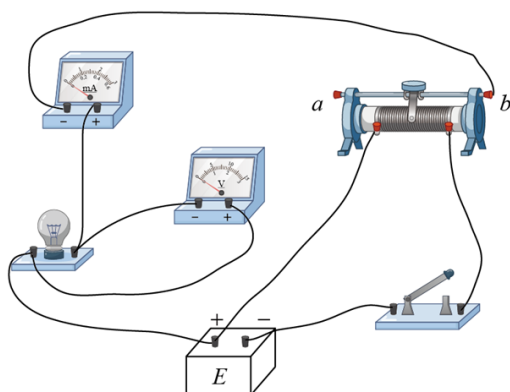


图3

【答案】

(1).



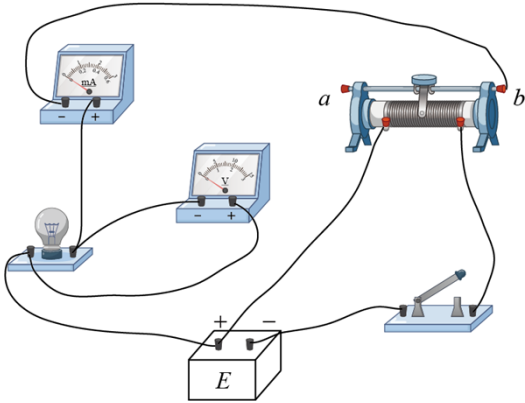
(2). C

(3). 27.0

【解析】

【分析】

【详解】(1) [1]电流表负极与滑动变阻器的右端的  $b$  位置连接，如图



(2) [2]开关闭合，小灯泡闪亮一下后灯丝烧断，说明通过小灯泡的电流过大。

- A. 电流表内阻非常小，短路几乎不影响通过小灯泡的电流，与灯丝烧断无关，A 错误；
- B. 滑动变阻器滑片接触不良，无电流通过小灯泡，B 错误；
- C. 滑动变阻器的滑片开始时置于  $b$  端，小灯泡部分分压达到最大，通过电流最大，可能会烧断小灯泡灯丝，C 正确；

故选 C。

(3) 根据小灯泡的伏安特性曲线可知在  $P$  点时的电压和电流分别为

$$U = 2\text{V}, I = 74\text{mA}$$

根据欧姆定律  $I = \frac{U}{R}$  可知小灯泡的电阻为

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2}{74 \times 10^{-3}} \Omega = 27.0\Omega$$

12. 某同学利用图 1 中的实验装置探究机械能变化量与力做功的关系，所用器材有：一端带滑轮的长木板、轻细绳、50g 的钩码若干、光电门 2 个、数字计时器、带遮光条的滑块（质量为 200g，其上可放钩码）、刻度尺，当地重力加速度为  $9.80\text{m/s}^2$ ，实验操作步骤如下：

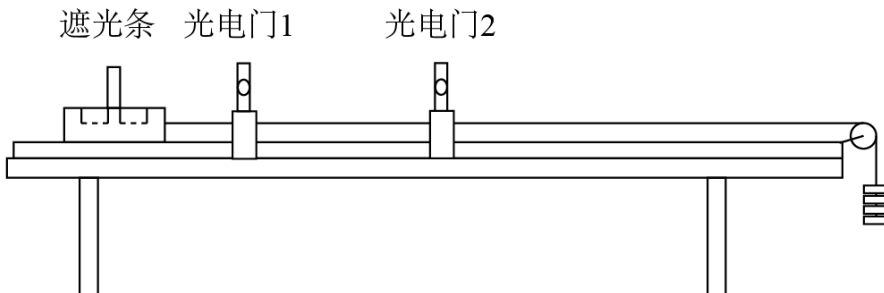


图1

①安装器材，调整两个光电门距离为 50.00cm，轻细绳下端悬挂 4 个钩码，如图 1 所示；

- ②接通电源，释放滑块，分别记录遮光条通过两个光电门的时间，并计算出滑块通过两个光电门的速度；
- ③保持最下端悬挂 4 个钩码不变，在滑块上依次增加一个钩码，记录滑块上所载钩码的质量，重复上述步骤；
- ④完成 5 次测量后，计算出每次实验中滑块及所载钩码的总质量  $M$ 、系统（包含滑块、滑块所载钩码和轻细绳悬挂钩码）总动能的增加量  $\Delta E_k$  及系统总机械能的减少量  $\Delta E$ ，结果如下表所示：

$M / \text{kg}$	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400
$\Delta E_k / \text{J}$	0.582	0.490	0.392	0.294	0.195
$\Delta E / \text{J}$	0.393	0.490		0.686	0.785

回答下列问题：

- (1) 实验中轻细绳所悬挂钩码重力势能的减少量为\_\_\_\_\_J（保留三位有效数字）；
- (2) 步骤④中的数据所缺数据为\_\_\_\_\_；
- (3) 若  $M$  为横轴， $\Delta E$  为纵轴，选择合适的标度，在图 2 中绘出  $\Delta E - M$  图像\_\_\_\_\_；

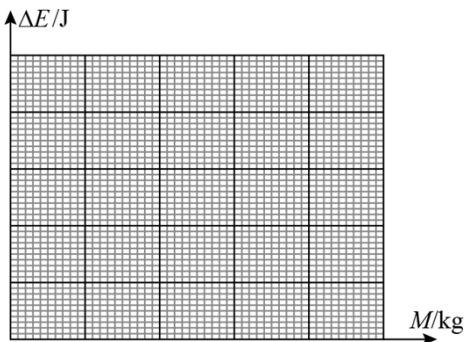
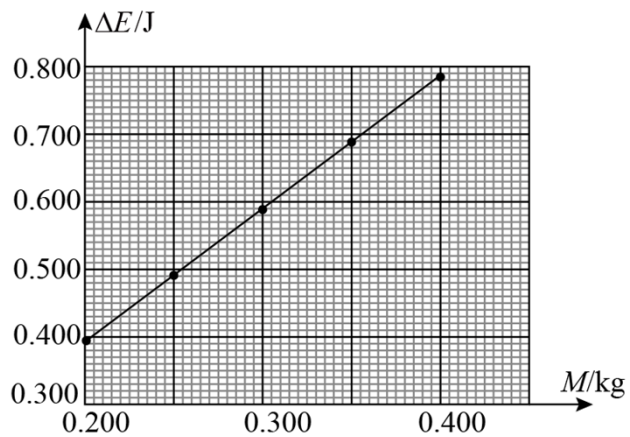


图2

若系统总机械能的减少量等于克服摩擦力做功，则物块与木板之间的摩擦因数为\_\_\_\_\_（保留两位有效数字）



【答案】 (1). 0.980 (2). 0.588 (3). (4). 0.40

(0.38~0.42)

【解析】

【分析】

【详解】(1) [1]四个钩码重力势能的减少量为

$$\Delta E_p = 4mgL = 4 \times 0.05 \times 9.8 \times 0.5 \text{J} = 0.980 \text{J}$$

(2) [2]对滑块和钩码构成的系统，由能量守恒定律可知

$$4mgL - W_f = \frac{1}{2}(4m + M)v_2^2 - \frac{1}{2}(4m + M)v_1^2$$

其中系统减少的重力势能为

$$\Delta E_p = 4mgL$$

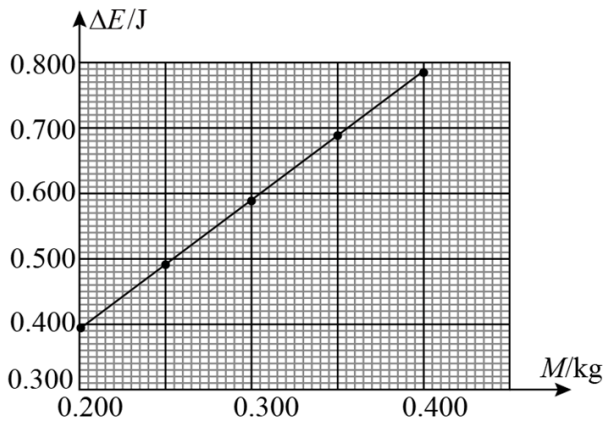
系统增加的动能为

$$\Delta E_k = \frac{1}{2}(4m + M)v_2^2 - \frac{1}{2}(4m + M)v_1^2$$

系统减少的机械能为  $\Delta E = W_f$ ，则代入数据可得表格中减少的机械能为

$$\Delta E_4 = 0.98 - 0.392 = 0.588 \text{J}$$

(3) [3]根据表格数据描点得  $\Delta E - M$  的图像为



[4]根据做功关系可知

$$\Delta E = \mu MgL$$

则  $\Delta E - M$  图像的斜率为

$$k = \mu gL = \frac{0.785 - 0.393}{0.4 - 0.2} = 1.96$$

解得动摩擦因数为

$$\mu = 0.40 \quad (0.38 \sim 0.42)$$

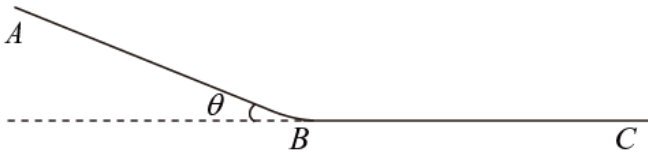
13. 如图，一滑雪道由  $AB$  和  $BC$  两段滑道组成，其中  $AB$  段倾角为  $\theta$ ， $BC$  段水平， $AB$  段和  $BC$  段由一

小段光滑圆弧连接，一个质量为  $2\text{kg}$  的背包在滑道顶端  $A$  处由静止滑下，若  $1\text{s}$  后质量为  $48\text{kg}$  的滑雪者从顶端以  $1.5\text{m/s}$  的初速度、 $3\text{m/s}^2$  的加速度匀加速追赶，恰好在坡底光滑圆弧的水平处追上背包并立即将其

拎起，背包与滑道的动摩擦因数为  $\mu = \frac{1}{12}$ ，重力加速度取  $g = 10\text{m/s}^2$ ， $\sin \theta = \frac{7}{25}$ ， $\cos \theta = \frac{24}{25}$ ，忽略

空气阻力及拎包过程中滑雪者与背包的重心变化，求：

- (1) 滑道  $AB$  段的长度；
- (2) 滑雪者拎起背包时这一瞬间的速度。



**【答案】** (1)  $L = 9\text{m}$ ；(2)  $v = 7.44\text{m/s}$

**【解析】**

**【分析】**

**【详解】** (1) 设斜面长度为  $L$ ，背包质量为  $m_1 = 2\text{kg}$ ，在斜面上滑行的加速度为  $a_1$ ，由牛顿第二定律有

$$m_1 g \sin \theta - \mu m_1 g \cos \theta = m_1 a_1$$

解得

$$a_1 = 2\text{m/s}^2$$

滑雪者质量为  $m_2 = 48\text{kg}$ ，初速度为  $v_0 = 1.5\text{m/s}$ ，加速度为  $a_2 = 3\text{m/s}^2$ ，在斜面上滑行时间为  $t$ ，落后时间  $t_0 = 1\text{s}$ ，则背包的滑行时间为  $t + t_0$ ，由运动学公式得

$$L = \frac{1}{2} a_1 (t + t_0)^2$$

$$L = v_0 t + \frac{1}{2} a_2 t^2$$

联立解得

$$t = 2\text{s} \text{ 或 } t = -1\text{s} (\text{舍去})$$

故可得

$$L = 9\text{m}$$

(2) 背包和滑雪者到达水平轨道时的速度为  $v_1$ 、 $v_2$ ，有

$$v_1 = a_1(t + t_0) = 6\text{m/s}$$

$$v_2 = v_0 + a_2t = 7.5\text{m/s}$$

滑雪者拎起背包的过程，系统在光滑水平面上外力为零，动量守恒，设共同速度为  $v$ ，有

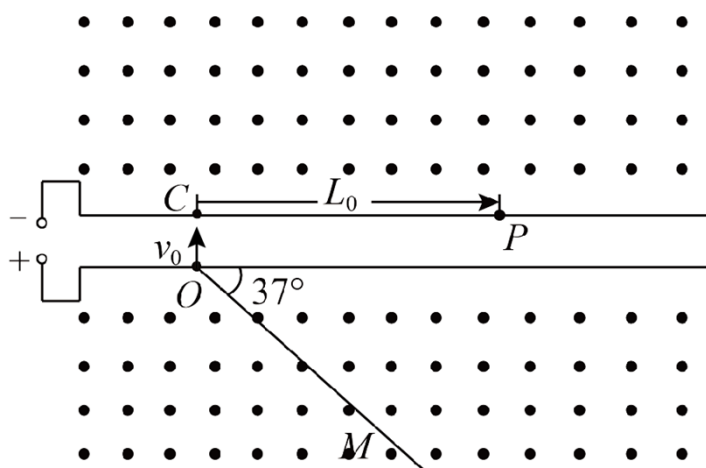
$$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v$$

解得

$$v = 7.44\text{m/s}$$

14. 如图，一对长平行栅极板水平放置，极板外存在方向垂直纸面向外、磁感应强度大小为  $B$  的匀强磁场，极板与可调电源相连，正极板上  $O$  点处的粒子源垂直极板向上发射速度为  $v_0$ 、带正电的粒子束，单个粒子的质量为  $m$ 、电荷量为  $q$ ，一足够长的挡板  $OM$  与正极板成  $37^\circ$  倾斜放置，用于吸收打在其上的粒子， $C$ 、 $P$  是负极板上的两点， $C$  点位于  $O$  点的正上方， $P$  点处放置一粒子靶（忽略靶的大小），用于接收从上方打入的粒子， $CP$  长度为  $L_0$ ，忽略栅极的电场边缘效应、粒子间的相互作用及粒子所受重力。  $\sin 37^\circ = \frac{3}{5}$ 。

- (1) 若粒子经电场一次加速后正好打在  $P$  点处的粒子靶上，求可调电源电压  $U_0$  的大小；
- (2) 调整电压的大小，使粒子不能打在挡板  $OM$  上，求电压的最小值  $U_{\min}$ ；
- (3) 若粒子靶在负极板上的位置  $P$  点左右可调，则负极板上存在  $H$ 、 $S$  两点（ $CH \leq CP < CS$ ， $H$ 、 $S$  两点未在图中标出）、对于粒子靶在  $HS$  区域内的每一点，当电压从零开始连续缓慢增加时，粒子靶均只能接收到  $n$ （ $n \geq 2$ ）种能量的粒子，求  $CH$  和  $CS$  的长度（假定在每个粒子的整个运动过程中电压恒定）。



【答案】 (1)  $U_0 = \frac{B^2 q L_0^2}{8m} - \frac{m v_0^2}{2q}$ ; (2)  $U_{\min} = \frac{7m v_0^2}{18q}$ ; (3)  $CH = \frac{10m v_0}{3qB}$ ;  $CS \rightarrow \infty$

【解析】

【分析】

【详解】(1) 从  $O$  点射出的粒子在板间被加速，则

$$U_0 q = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2$$

粒子在磁场中做圆周运动，则半径

$$r = \frac{L_0}{2}$$

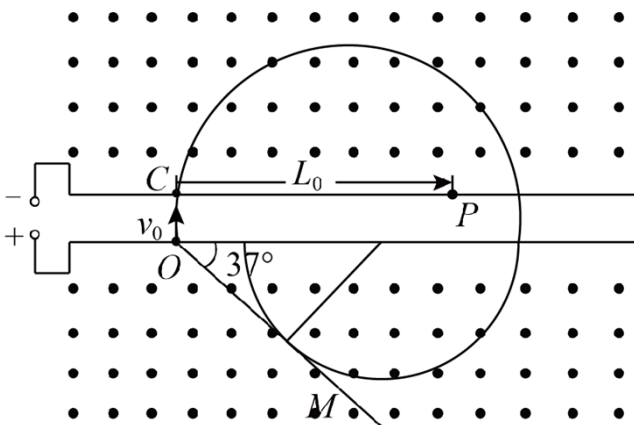
由

$$q v B = m \frac{v^2}{r}$$

解得

$$U_0 = \frac{B^2 q L_0^2}{8m} - \frac{m v_0^2}{2q}$$

(2) 当电压有最小值时，当粒子穿过下面的正极板后，圆轨道与挡板  $OM$  相切，此时粒子恰好不能打到挡板上，则



从  $O$  点射出的粒子在板间被加速，则

$$U_{\min} q = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2$$

粒子在负极板上方的磁场中做圆周运动

$$q v B = m \frac{v^2}{r_{\min}}$$

粒子从负极板传到正极板时速度仍减小到  $v_0$ ，则

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

由几何关系可知

$$2r_{\min} = \frac{r'}{\sin 37^\circ} + r'$$

联立解得

$$v = \frac{4v_0}{3}$$

$$U_{\min} = \frac{7mv_0^2}{18q}$$

(3) 设被粒子靶  $P'$  接收到  $n$  种能量的粒子中能量最小的粒子，在负极板上方磁场区域偏转的轨迹半径为  $r_0$ ，则

$$k(2r_0 - 2r') + 2r_0 = x_{CP'}$$
，其中  $k = n - 1$

由(2)问分析可得

$$r' = \frac{mv_0}{qB}$$
，为定值

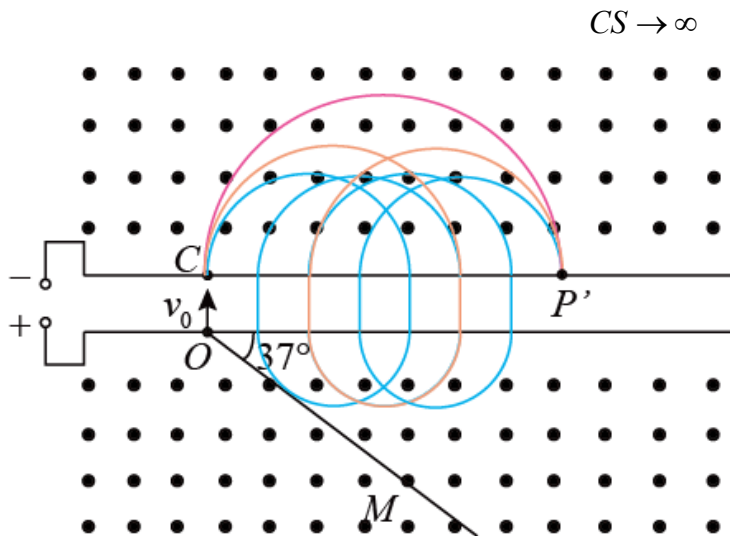
$$r_0 \geq \frac{4mv_0}{3qB}$$
 才不能被  $OM$  板吸收

$r_0$  越小， $k$  越小，粒子靶  $P'$  离  $C$  点越近。 $r_0$  最小为  $\frac{4mv_0}{3qB}$ ，由于要求  $n \geq 2$ ，则  $k$  最小取 1，此时  $x_{CP'}$  最小，

即  $CH$  点的距离

$$CH = x_{CP'_{\min}} = 4 \times \frac{4mv_0}{3qB} - 2 \times \frac{mv_0}{qB} = \frac{10mv_0}{3qB}$$

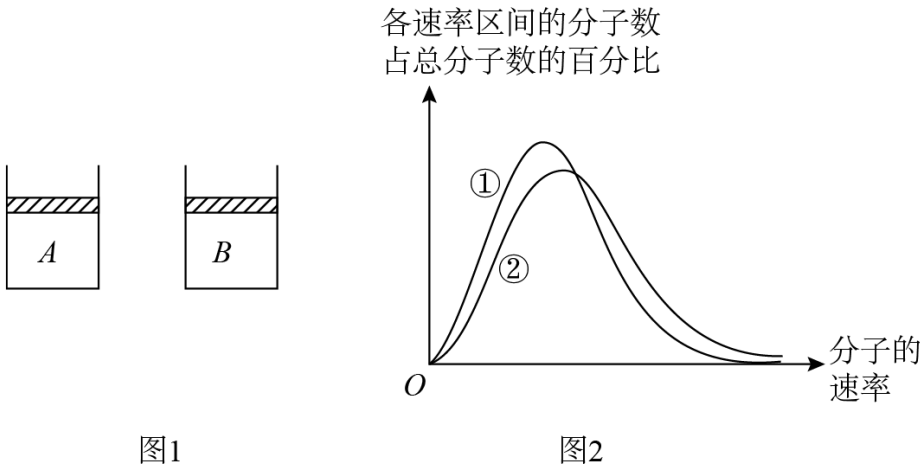
当粒子靶  $P'$  向右移动时， $x_{CP'}$  增大，粒子靶  $P'$  一定能接收到多种能量的粒子，故



(二) 选考题：共 12 分。请考生从 2 道题中任选一题作答，并用 2B 铅笔将答题卡上所选题

目对应的题号右侧方框涂黑，按所涂题号进行评分；多涂、多答，按所涂的首题进行评分；不涂，按本选考题的首题进行评分。

15. 两个内壁光滑、完全相同的绝热汽缸 A、B，汽缸内用轻质绝热活塞封闭完全相同的理想气体，如图 1 所示，现向活塞上表面缓慢倒入细沙，若 A 中细沙的质量大于 B 中细沙的质量，重新平衡后，汽缸 A 内气体的内能\_\_\_\_\_（填“大于”“小于”或“等于”）汽缸 B 内气体的内能，图 2 为重新平衡后 A、B 汽缸中气体分子速率分布图像，其中曲线\_\_\_\_\_（填图像中曲线标号）表示汽缸 B 中气体分子的速率分布规律。



【答案】 (1). 大于 (2). ①

【解析】

【分析】

【详解】 [1]对活塞分析有

$$p = \frac{mg}{s}$$

因为 A 中细沙的质量大于 B 中细沙的质量，故稳定后有  $p_A > p_B$ ；所以在达到平衡过程中外界对气体做功有

$$W_A > W_B$$

则根据

$$\Delta U = W + Q$$

因为汽缸和活塞都是绝热的，故有

$$\Delta U_A > \Delta U_B$$

即重新平衡后 A 汽缸内的气体内能大于 B 汽缸内的气体内能；

[2]由图中曲线可知曲线②中分子速率大的分子数占总分子数百分比较大，即曲线②的温度较高，所以由前面分析可知 B 汽缸温度较低，故曲线①表示汽缸 B 中气体分子的速率分布。

16. 某双层玻璃保温杯夹层中有少量空气，温度为  $27^{\circ}\text{C}$  时，压强为  $3.0 \times 10^3 \text{ Pa}$ 。

(1) 当夹层中空气的温度升至  $37^{\circ}\text{C}$ ，求此时夹层中空气的压强；

(2) 当保温杯外层出现裂隙，静置足够长时间，求夹层中增加的空气质量与原有空气质量的比值，设环境温度为  $27^{\circ}\text{C}$ ，大气压强为  $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

【答案】(1)  $p_2 = 3.1 \times 10^3 \text{ Pa}$ ；(2)  $\frac{97}{3}$

【解析】

【分析】

【详解】(1) 由题意可知夹层中的气体发生等容变化，根据理想气体状态方程可知

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

代入数据解得

$$p_2 = 3.1 \times 10^3 \text{ Pa}$$

(2) 当保温杯外层出现裂缝后，静置足够长时间，则夹层压强和大气压强相等，设夹层体积为  $V$ ，以静置后的所有气体为研究对象有

$$p_0 V = p_1 V_1$$

解得

$$V_1 = \frac{100}{3} V$$

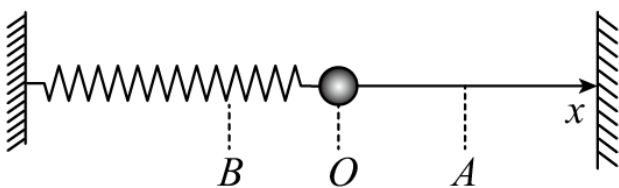
则增加空气的体积为

$$\Delta V = V_1 - V = \frac{97}{3} V$$

所以增加的空气质量与原有空气质量之比为

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta V}{V} = \frac{97}{3}$$

17. 如图，一弹簧振子沿  $x$  轴做简谐运动，振子零时刻向右经过  $A$  点， $2\text{s}$  后第一次到达  $B$  点，已知振子经过  $A$ 、 $B$  两点时的速度大小相等， $2\text{s}$  内经过的路程为  $0.4\text{m}$ 。该弹簧振子的周期为 \_\_\_\_\_  $\text{s}$ ，振幅为 \_\_\_\_\_  $\text{m}$ 。



【答案】 (1). 4 (2). 0.2

【解析】

【分析】

【详解】 [1]根据简谐运动对称性可知，振子零时刻向右经过  $A$  点， $2\text{s}$  后第一次到达  $B$  点，已知振子经过  $A$ 、 $B$  两点时的速度大小相等，则  $A$ 、 $B$  两点关于平衡位置对称，而振动经过了半个周期的运动，则周期为

$$T = 2t = 4\text{s}$$

[2]从  $A$  到  $B$  经过了半个周期的振动，路程为  $s = 0.4\text{m}$ ，而一个完整的周期路程为  $0.8\text{m}$ ，为 4 个振幅的路程，有

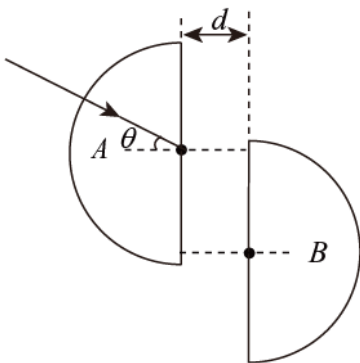
$$4A = 0.8\text{m}$$

解得振幅为

$$A = 0.2\text{m}$$

18. 将两块半径均为  $R$ 、完全相同的透明半圆柱体  $A$ 、 $B$  正对放置，圆心上下错开一定距离，如图所示，用一束单色光沿半径照射半圆柱体  $A$ ，设圆心处入射角为  $\theta$ ，当  $\theta = 60^\circ$  时， $A$  右侧恰好无光线射出；当  $\theta = 30^\circ$  时，有光线沿  $B$  的半径射出，射出位置与  $A$  的圆心相比下移  $h$ ，不考虑多次反射，求：

- (1) 半圆柱体对该单色光的折射率；
- (2) 两个半圆柱体之间的距离  $d$ 。



【答案】 (i)  $n = \frac{2}{3}\sqrt{3}$ ； (ii)  $d = \sqrt{2}(h - \frac{R}{2})$

【解析】

【分析】

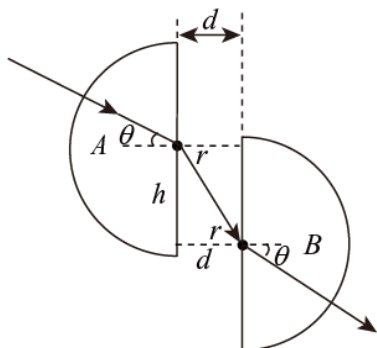
【详解】 (i) 光从半圆柱体  $A$  射入，满足从光密介质到光疏介质，当  $\theta = 60^\circ$  时发生全反射，有

$$\sin \theta = \frac{1}{n}$$

解得

$$n = \frac{2}{3}\sqrt{3}$$

(ii) 当入射角  $\theta = 30^\circ$ ，经两次折射从半圆柱体 B 的半径出射，设折射角为  $r$ ，光路如图



由折射定律有

$$\sin \theta \cdot n = \sin r$$

有几何关系有

$$\tan r = \frac{h - R \sin \theta}{d}$$

联立解得

$$d = \sqrt{2} \left( h - \frac{R}{2} \right)$$