

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}Al ， ^{26}Al 核 β 衰变的衰变方程为 $^{26}_{13}\text{Al} \rightarrow ^{26}_{12}\text{Mg} + ^0_1\text{e}$ ，测得 ^{26}Al 核的半衰期为72万年，下列说法正确的是（ ）

- A. ^{26}Al 核的质量等于 ^{26}Mg 核的质量
- B. ^{26}Al 核的中子数大于 ^{26}Mg 核的中子数
- C. 将铝同位素 ^{26}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}Al 将在144万年后全部衰变为 ^{26}Mg

【答案】C

【解析】

【分析】

【详解】A. ^{26}Al 和 ^{26}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}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}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，到达竖直平面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 0.2m ，重力加速度取 $g = 10\text{m/s}^2$ ，则

$t_1:t_2$ 为 ()

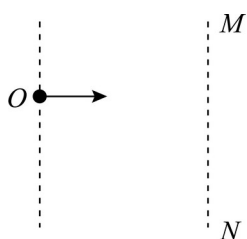


图1

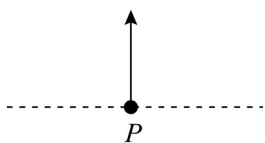


图2

- 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

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

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

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

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

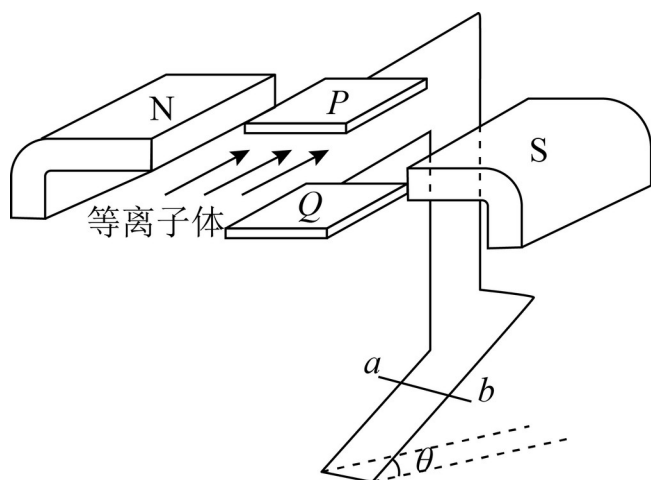
$$R_{\text{飞}} = \sqrt[3]{\frac{GM_{\text{火}}(2T)^2}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{G \times 0.1M_{\text{地}} \times 4 \times \frac{4\pi^2 R_{\text{同}}^3}{GM_{\text{地}}}}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{2}{5}} R_{\text{同}}$$

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 θ ，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

$$F_{\text{安}} = mg \sin \theta$$

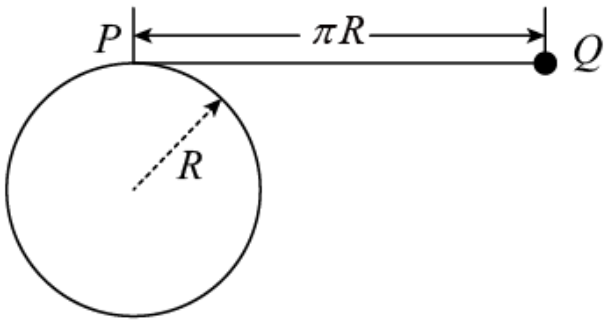
则

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

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 πR 、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

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

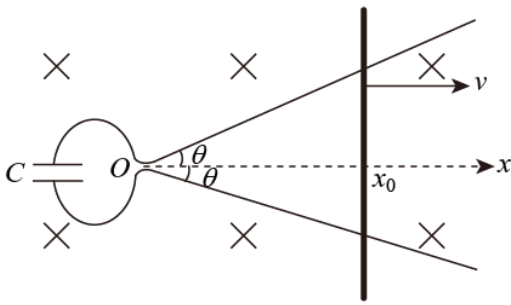
故选 A。

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 θ ，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

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

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

$$F = F_{\text{安}} = BIL$$

由选项 A 可知流过导体棒 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；

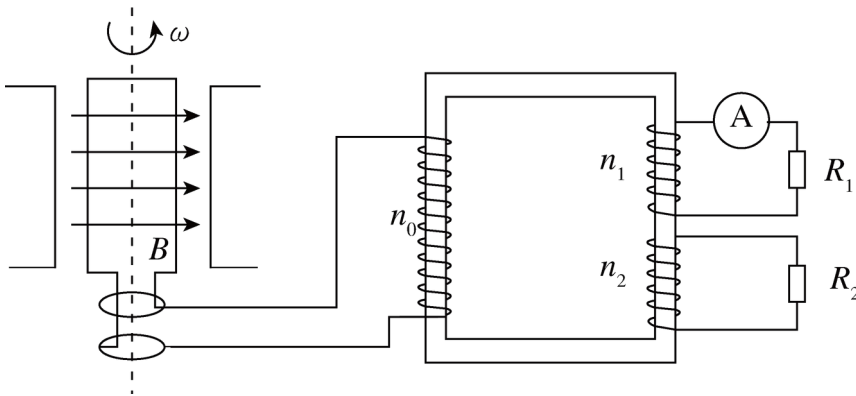
D 错误；

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 ω 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

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

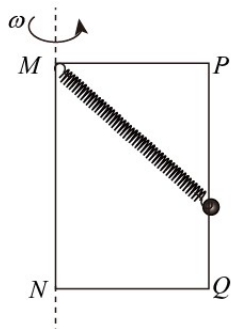
代入选项 ABC 公式有

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

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 ω 和 ω' 匀速转动时，小球均相对 PQ 杆静止，若 $\omega' > \omega$ ，则与以 ω 匀速转动时相比，以 ω' 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 θ ，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 θ 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

$$F_{\text{合}} = m\omega'^2 r$$

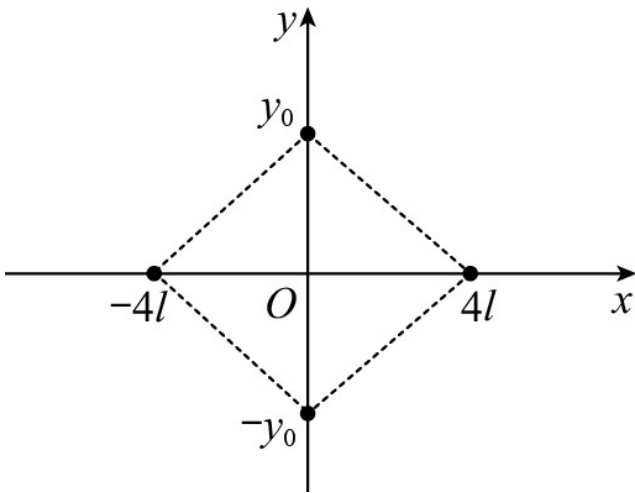
可知，因角速度变大，则小球受合外力变大。则 D 正确。

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° 倾

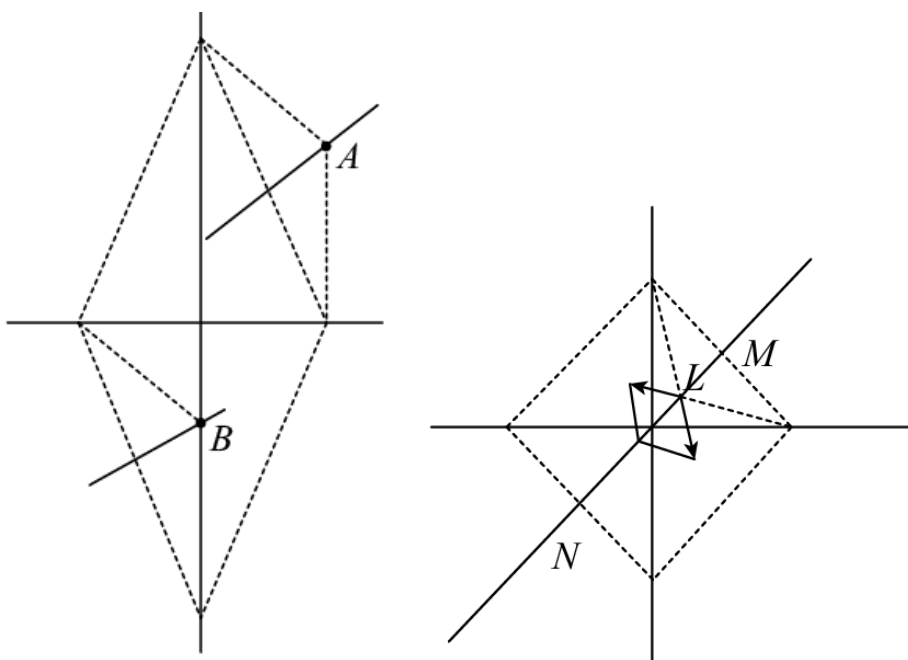
斜向上

【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 点电荷在 (l, l) 处的合场强

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

可知 (l, l) 点的场强沿着 MN 方向且与 x 轴从成 45° 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° 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。

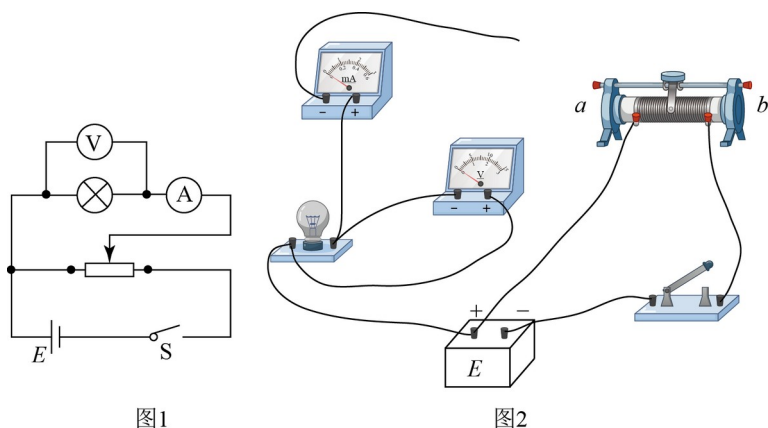


图1

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_____ Ω (保留三位有效数字)。

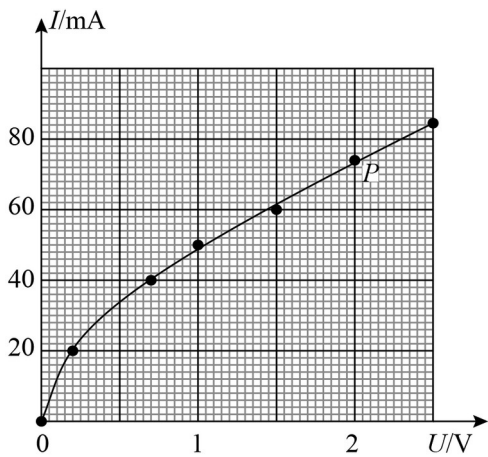
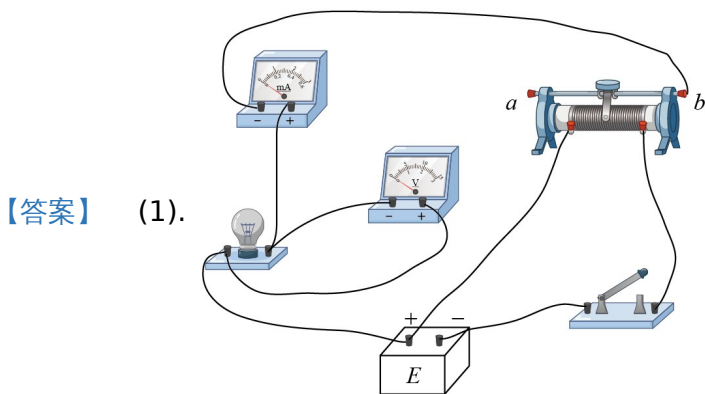


图3



【答案】 (1).

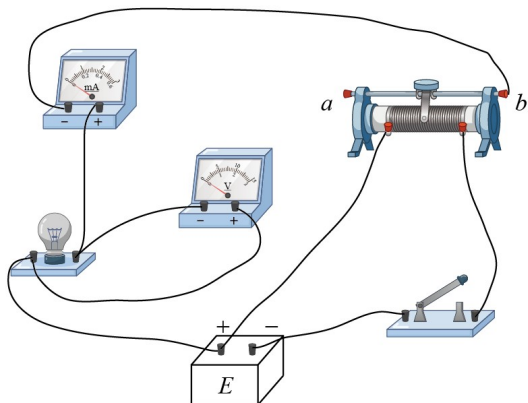
(2). C (3).

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

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

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 9.80m/s^2 ，实验操作步骤如下：

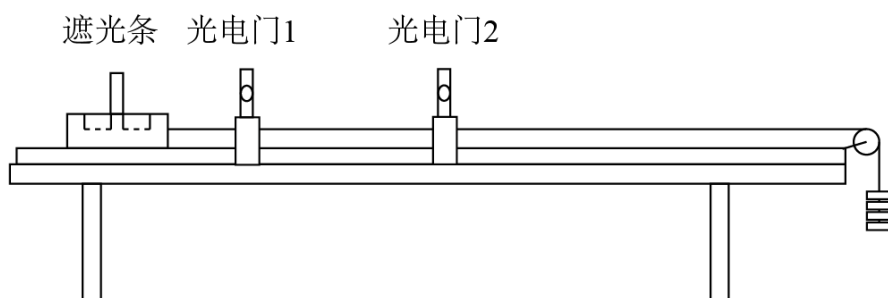


图 1

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 ΔE_k 及系统总机械能的减少量 ΔE ，结果如下表所示：

M / kg	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400

$\Delta E_k / J$	0.582	0.490	0.392	0.294	0.195
$\Delta E / J$	0.393	0.490		0.686	0.785

回答下列问题：

- 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)；
- 步骤④中的数据所缺数据为_____；
- 若 M 为横轴， ΔE 为纵轴，选择合适的标度，在图 2 中绘出 $\Delta E - M$ 图像_____；

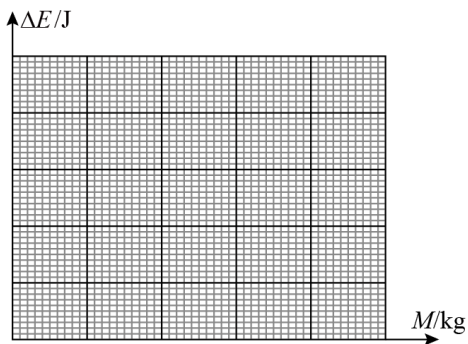
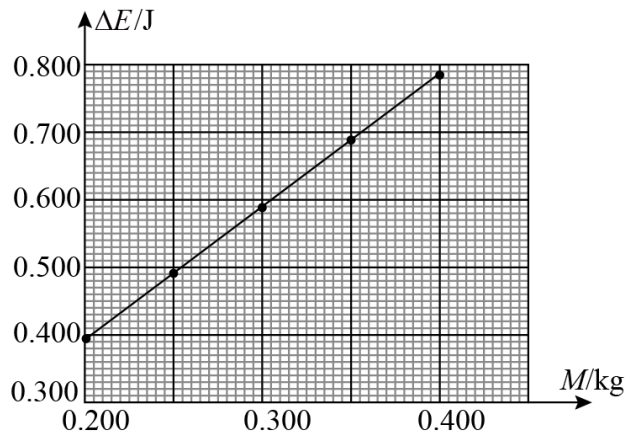


图2

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

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

(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

$$\Delta E_p = 4mgL$$

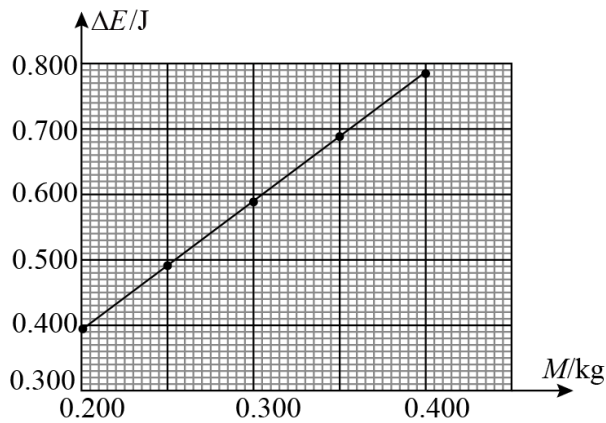
系统增加 动能为

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

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

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

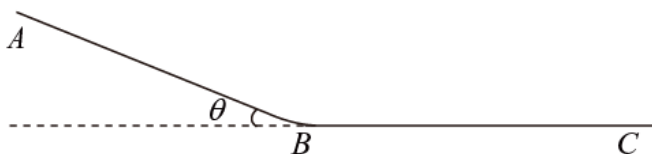
13. 如图，一滑雪道由 AB 和 BC 两段滑道组成，其中 AB 段倾角为 θ ， BC 段水平， AB 段和 BC 段由一

小段光滑圆弧连接，一个质量为 2kg 的背包在滑道顶端 A 处由静止滑下，若 1s 后质量为 48kg 的滑雪者从顶端以 1.5m/s 的初速度、 3m/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

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

故可得

$$L = 9m$$

(2) 背包和滑雪者到达水平轨道时的速度为 v_1 、 v_2 ，有

$$v_1 = a_1(t + t_0) = 6m/s$$

$$v_2 = v_0 + a_2t = 7.5m/s$$

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

$$v = 7.44m/s$$

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° 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。

$$\sin 37^\circ = \frac{3}{5}。$$

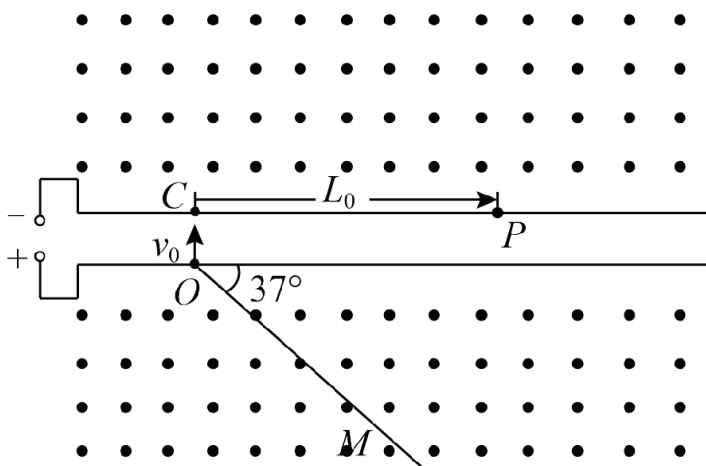
(1) 若粒子经电场一次加速后正好打在 P 点处的粒子靶上，求可调电源电压 U_0 的大小；

(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

点末在图中标出)、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

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

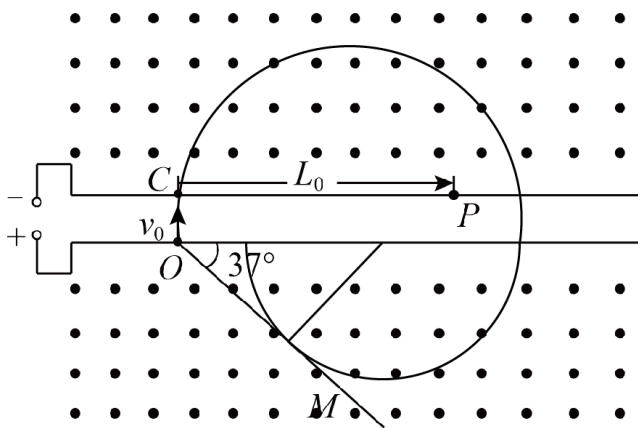
由

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

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

$$U_{\min}q = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

粒子在负极板上方的磁场中做圆周运动

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

粒子从负极板传到正极板时速度仍减小到 v_0 ，则

$$qv_0B = m \frac{v_0^2}{r'}$$

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) 设粒子第一次经过电场加速，在负极板上方的磁场区域偏转的轨迹半径为 r_0 ，若粒子在电场加速电压小于 U_{\min} ，粒子穿过磁场在正极板下方磁场运动时，会被 OM 板吸收。则第一次出现能吸收到 n ($n \geq 2$) 种

能量的位置 (即 H 点)，为粒子通过极板电压 $U_{\min} = \frac{7mv_0^2}{18q}$ 时，粒子第二次从上方打到负极板的位置 (轨

迹如图中蓝色线条所示)。由 (2) 的计算可知

$$r_1 = \frac{4mv_0}{3qB}$$

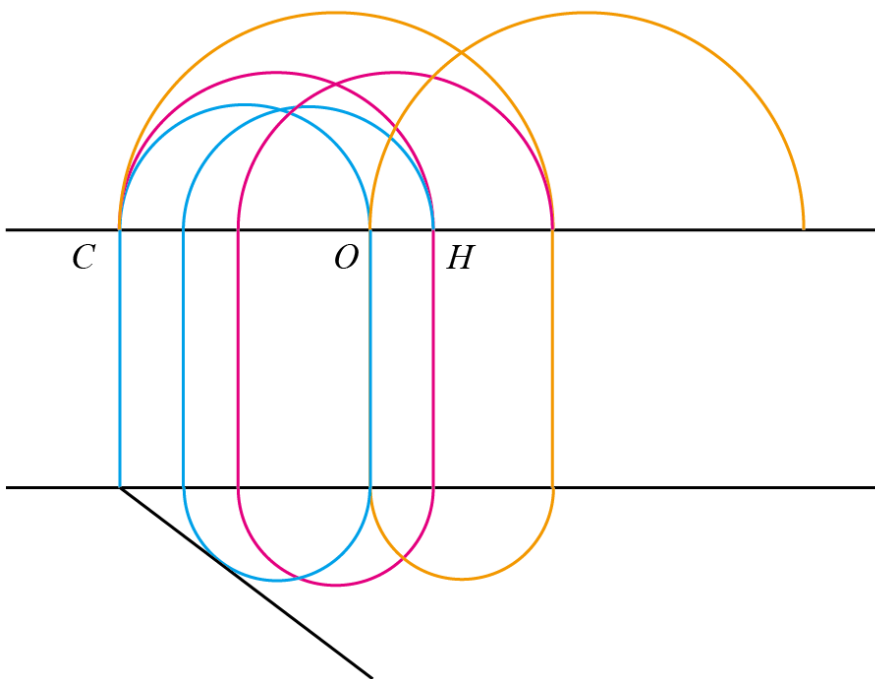
则

$$CH = 4r - 2r' = \frac{10mv_0}{3qB}$$

极板电压大于 $U_{\min} = \frac{7mv_0^2}{18q}$ 时, 粒子均不会被 OM 吸收, 可以经过正极板下方磁场偏转, 回到负极板上方

磁场中, 偏转后打在负极板上。则 H 点右方的点的粒子靶都可以接受到 n ($n \geq 2$) 种能量的粒子。即

$$CS \rightarrow \infty$$



(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。

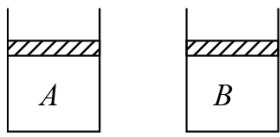


图1

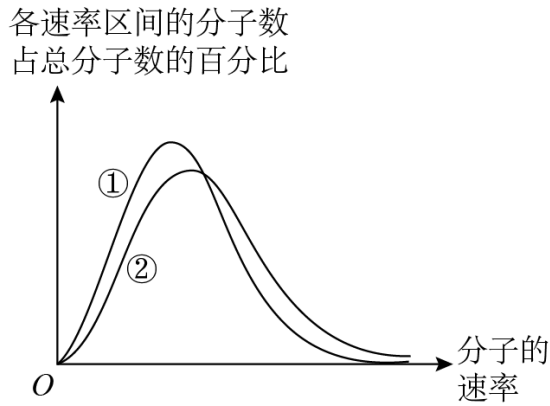


图2

【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

$$\Delta U = W + Q$$

因为气缸和活塞都是绝热的，故有

$$\Delta U_A > \Delta U_B$$

即重新平衡后 A 气缸内的气体内能大于 B 气缸内的气体内能；

[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 气缸温度较低，故曲线①表示气缸 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°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°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°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

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

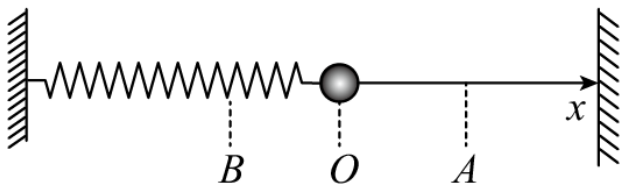
则增加空气的体积为

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

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， 2s 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， 2s 内经过的路程为 0.4m 。该弹簧振子的周期为_____s，振幅为_____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， $2s$ 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

$$T = 2t = 4s$$

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

$$4A = 0.8m$$

解得振幅为

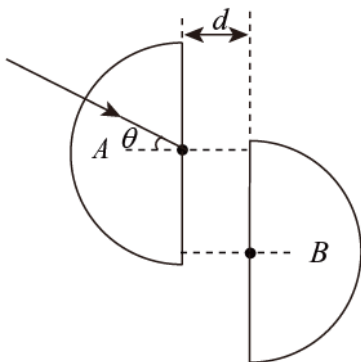
$$A = 0.2m$$

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 θ ，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】

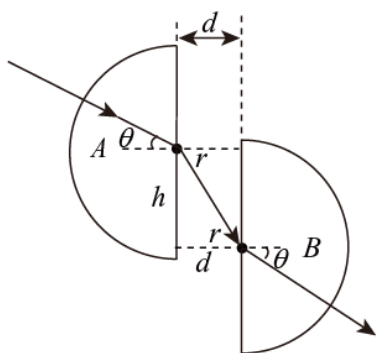
【详解】 (i) 光从半圆柱体 A 射入，满足从光密介质到光疏介质，当 $\theta = 60^\circ$ 时发生全反射，有

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

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

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