

河南省 2024 年普通高考适应性测试

理科综合

注意事项:

- 1.答卷前,考生务必将自己的考生号、姓名、考点学校、考场号及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。如需要改动,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。

可能用到的相对原子质量: H1 C12 N14 O16 Na23 S32 Ca40

二、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. 如图, 在同一根软绳上先后激发出 a、b 两段同向传播的简谐波, 则它们 ()



- A. 波长相同 B. 振幅相同 C. 波速相同 D. 频率相同

【答案】C

【解析】

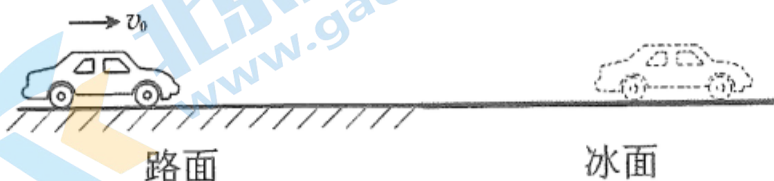
【详解】波在相同介质中传播的速度相同, 由图可知, 两列波的波长不同, 振幅不同, 根据

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

可知两列波的频率不同。故选项 C 正确, ABD 错误。

故选 C。

2. 如图, 在平直路面上进行汽车刹车性能测试。当汽车速度为 v_0 时开始刹车, 先后经过路面和冰面 (结冰路面), 最终停在冰面上。刹车过程中, 汽车在路面与在冰面所受阻力之比为 7: 1, 位移之比为 8: 7。则汽车进入冰面瞬间的速度为 ()



A. $\frac{1}{2}v_0$

B. $\frac{1}{3}v_0$

C. $\frac{1}{8}v_0$

D. $\frac{1}{9}v_0$

【答案】B

【解析】

【详解】设汽车在路面与在冰面所受阻力分别为 a_1 、 a_2 ，汽车进入冰面瞬间的速度为 v_1 ，由牛顿第二定律

$$f = ma$$

则汽车在路面与在冰面上运动的加速度大小之比为

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{7}{1}$$

由运动学公式，在路面上有

$$v_0^2 - v_1^2 = 2a_1x_1$$

在冰面上有

$$v_1^2 = 2a_2x_2$$

其中

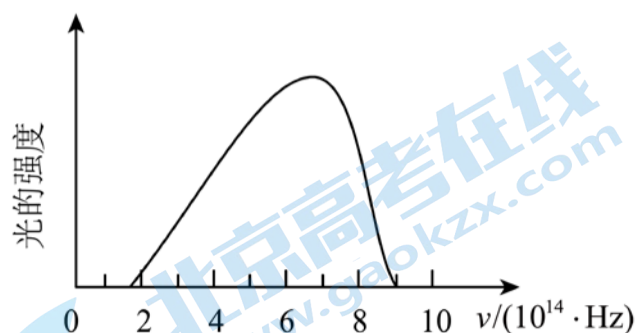
$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{8}{7}$$

解得汽车进入冰面瞬间的速度为

$$v_1 = \frac{v_0}{3}$$

故选 B。

3. 某光源包含不同频率的光，光的强度与频率的关系如图所示。表中给出了一些金属的截止频率 ν_c ，用该光源照射这些金属。则（ ）



金	$\nu_c / (10^{14} \text{ Hz})$
---	--------------------------------

属	
铯	4.69
钠	5.53
锌	8.06
钨	10.95

- A. 仅铯能产生光电子
B. 仅铯、钠能产生光电子
C. 仅铯、钠、锌能产生光电子
D. 都能产生光电子

【答案】C

【解析】

【详解】根据光电效应方程

$$E_k = h\nu - W_0$$

金属的逸出功为

$$W_0 = h\nu_c$$

由图可知光源中光的频率范围为

$$2 \times 10^{14} \text{ Hz} \leq \nu \leq 9 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

则仅铯、钠、锌能产生光电子。

故选 C。

4. 若两颗人造卫星 M、N 绕地球做匀速圆周运动，M、N 到地心的距离之比为 k ，忽略卫星之间的相互作用。在时间 t 内，卫星 M 与地心连线扫过的面积为 S_M ，卫星 N 与地心连线扫过的面积为 S_N ，则 S_M 与 S_N 的比值为（ ）

- A. 1
B. k
C. $\frac{1}{k^2}$
D. $\sqrt{k}$

【答案】D

【解析】

【详解】根据

$$G \frac{mM}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

可知

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

则卫星在时间 t 内与地心的连线扫过的面积为

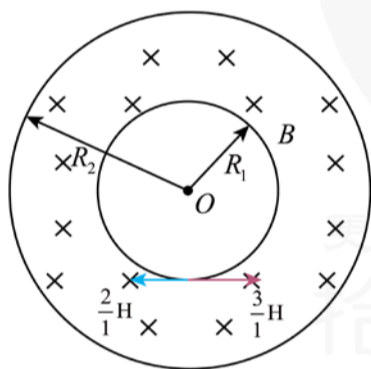
$$S = \frac{1}{2} v t r = \frac{1}{2} t \sqrt{GM r}$$

则

$$\frac{S_M}{S_N} = \sqrt{\frac{r_M}{r_N}} = \sqrt{k}$$

故选 D。

5. 2023 年 4 月，我国有“人造太阳”之称的托卡马克核聚变实验装置创造了新的世界纪录。其中磁约束的简化原理如图：在半径为 R_1 和 R_2 的真空同轴圆柱面之间，加有与轴线平行的匀强磁场，磁场方向垂直纸面向里， $R_2 = 2R_1$ 。假设氘核 ${}^2_1\text{H}$ 沿内环切线向左进入磁场，氦核 ${}^3_1\text{H}$ 沿内环切线向右进入磁场，二者均恰好不从外环射出。不计重力及二者之间的相互作用，则 ${}^2_1\text{H}$ 和 ${}^3_1\text{H}$ 的速度之比为（ ）



A. 1:2

B. 2:1

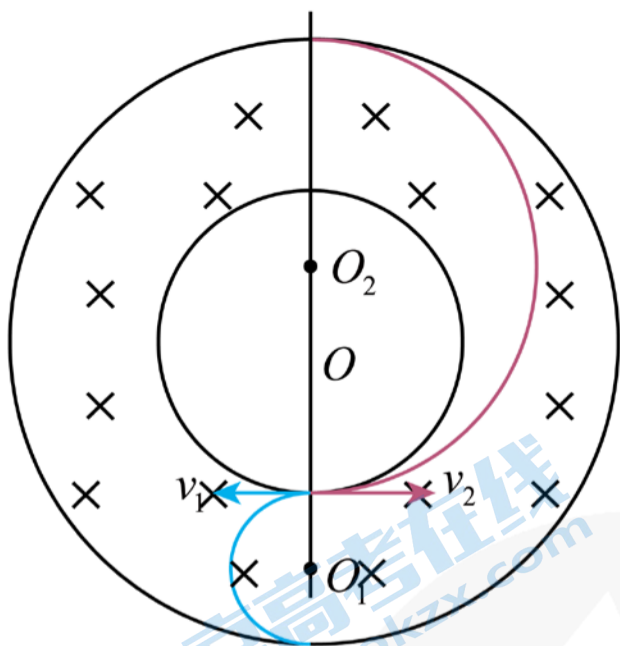
C. 1:3

D. 3:1

【答案】A

【解析】

【详解】由题意可知，根据左手定则，作图如图所示



由几何关系可知，氘核 ${}^2_1\text{H}$ 的半径为 r_1 ，有

$$2r_1 = R_2 - R_1 = R_1$$

则

$$r_1 = \frac{R_1}{2}$$

由几何关系可知，氘核 ${}^3_1\text{H}$ 的半径为 r_2 ，有

$$2r_2 = R_2 + R_1 = 3R_1$$

则

$$r_2 = \frac{3R_1}{2}$$

即

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{1}{3}$$

由洛伦兹力提供向心力

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

可得

$$v = \frac{qBr}{m}$$

由题意可知，氘核 ${}^2_1\text{H}$ 和氘核 ${}^3_1\text{H}$ 的比荷之比为

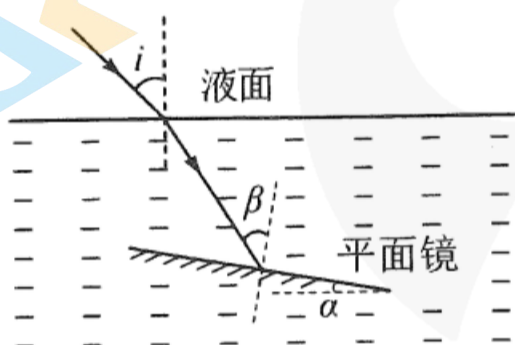
$$\frac{\frac{q_1}{m_1}}{\frac{q_2}{m_2}} = \frac{q_1}{q_2} \cdot \frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{1} \times \frac{3}{2} = \frac{3}{2}$$

故 ${}^2_1\text{H}$ 和 ${}^3_1\text{H}$ 的速度之比为

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{q_1}{m_1}}{\frac{q_2}{m_2}} \cdot \frac{r_1}{r_2} = \frac{3}{2} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{2}$$

故选 A。

6. 如图，将一平面镜置于某透明液体中，光线以入射角 $i = 45^\circ$ 进入液体，经平面镜反射后恰好不能从液面射出。此时，平面镜与水平面（液面）夹角为 α ，光线在平面镜上的入射角为 β 。已知该液体的折射率为 $\sqrt{2}$ ，下列说法正确的是（ ）



- A. $\beta = 30^\circ$
- B. $\beta = 37.5^\circ$
- C. 若略微增大 α ，则光线可以从液面射出
- D. 若略微减小 i ，则光线可以从液面射出

【答案】BD

【解析】

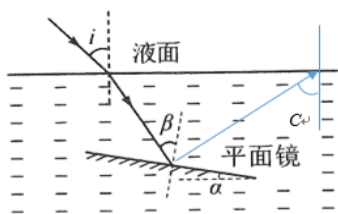
【详解】AB. 根据

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n$$

解得光线在射入液面时的折射角为

$$r = 30^\circ$$

光线经平面镜反射后，恰好不能从液面射出，光路图如图



有

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

解得

$$\angle C = 45^\circ$$

由几何关系可得

$$2\beta + (90^\circ - r) + (90^\circ - C) = 180^\circ$$

解得

$$\beta = 37.5^\circ$$

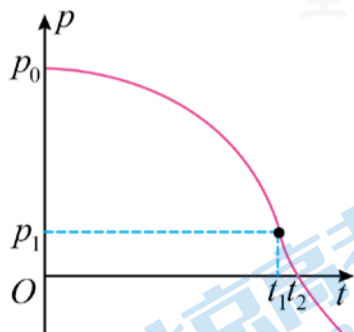
故 A 错误；B 正确；

C. 若略微增大 α ，则光线在平面镜上的入射角 β 将变大，根据上面分析的各角度关系可知光线射出液面的入射角变大，将大于临界角，所以不可以从液面射出。故 C 错误；

D. 同理，若略微减小 i ，则 r 减小，导致光线在平面镜上的入射角 β 减小，可知光线射出液面的入射角变小，将小于临界角，可以从液面射出。故 D 正确。

故选 BD。

7. α 粒子 (${}^4_2\text{He}$) 以一定的初速度与静止的氧原子核 (${}^{16}_8\text{O}$) 发生正碰。此过程中， α 粒子的动量 p 随时间 t 变化的部分图像如图所示， t_1 时刻图线的切线斜率最大。则 ()



- A. t_1 时刻 ${}^{16}_8\text{O}$ 的动量为 $p_0 - p_1$
- B. t_1 时刻 ${}^{16}_8\text{O}$ 的加速度达到最大

C. t_2 时刻 $^{16}_8\text{O}$ 的动能达到最大

D. t_2 时刻系统的电势能最大

【答案】AB

【解析】

【详解】A. α 粒子与氧原子核组成的系统动量守恒, t_1 时刻 $^{16}_8\text{O}$ 的动量为

$$p_2 = p_0 - p_1$$

故 A 正确;

B. t_1 时刻图线的切线斜率最大, 则 α 粒子的动量变化率最大, 根据

$$p = mv$$

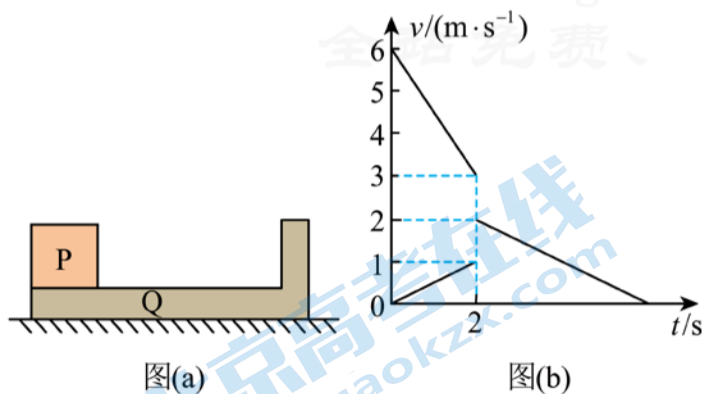
可知 α 粒子的速度变化率最大, 即加速度最大, 即 α 粒子受到的电场力最大, 则氧原子核受到的电场力也最大, $^{16}_8\text{O}$ 的加速度达到最大, 故 B 正确;

C. t_2 时刻, α 粒子速度为零, 由图可知 t_2 时刻后, α 粒子反向运动, 系统动量守恒, 可知在 t_2 时刻之后, $^{16}_8\text{O}$ 的动量达到最大, $^{16}_8\text{O}$ 的速度达到最大, $^{16}_8\text{O}$ 的动能达到最大, 故 C 错误;

D. t_1 时刻, 氧原子核受到的电场力最大, α 粒子与氧原子核的距离最近, 系统的电势能最大, 故 D 错误。

故选 AB。

8. 如图 (a) 所示, “L” 形木板 Q 静止于粗糙水平地面上, 质量为 1kg 的滑块 P 以 6m/s 的初速度滑上木板, $t = 2\text{s}$ 时与木板相撞并粘在一起。两者运动的 $v-t$ 图像如图 (b) 所示。重力加速度大小 g 取 10m/s^2 , 则 ()



A. Q 的质量为 1kg

B. 地面与木板之间的动摩擦因数为 0.1

C. 由于碰撞系统损失的机械能为1.0J

D. $t = 5.8s$ 时木板速度恰好为零

【答案】AC

【解析】

【详解】A. 两者碰撞时，取滑块P的速度方向为正方向，设P的质量为 $m=1kg$ ，Q的质量为 M ，由系统动量守恒定律得

$$mv_1 + Mv_2 = (m + M)v_3$$

根据 $v-t$ 图像可知， $v_1=3m/s$ ， $v_2=1m/s$ ， $v_3=2m/s$ ，代入上式解得

$$M = 1kg$$

故A正确；

B. 设P与Q之间的动摩擦因数为 μ_1 ，Q与地面之间的动摩擦因数为 μ_2 ，根据 $v-t$ 图像可知，0-2s内P与Q的加速度分别为 $a_P=1.5m/s^2$ ， $a_Q=0.5m/s^2$ ，对P、Q分别受力分析，由牛顿第二定律得

$$\mu_1 mg = ma_P$$

$$\mu_1 mg - \mu_2 (m + M)g = Ma_Q$$

联立解得

$$\mu_2 = 0.05$$

故B错误；

C. 由于碰撞系统损失的机械能为

$$\Delta E = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2 - \frac{1}{2}(m + M)v_3^2$$

代入数据解得

$$\Delta E = 1.0J$$

故C正确；

D. 对碰撞后整体受力分析，由动量定理得

$$-\mu_2 (m + M)gt_2 = 0 - (m + M)v_3$$

代入数据解得

$$t_2 = 4s$$

因此木板速度恰好为零的时刻为

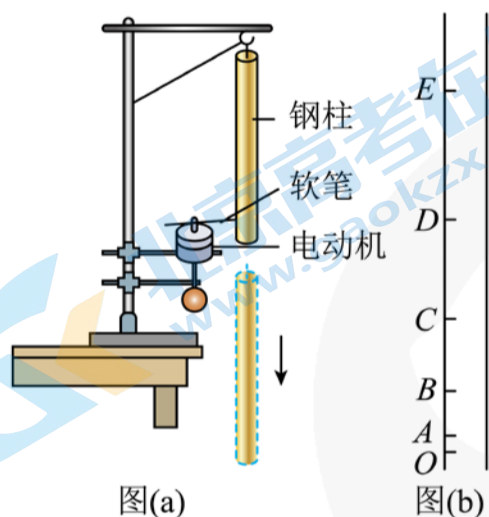
$$t = t_1 + t_2 = 2s + 4s = 6s$$

故 D 错误；

故选 AC。

三、非选择题：共 62 分。

9. 某同学用如图 (a) 所示的装置验证机械能守恒定律。用细线把钢制的圆柱挂在架子上，架子下部固定一个小电动机，电动机轴上装一支软笔。电动机转动时，软笔尖每转一周就在钢柱表面画上一条痕迹（时间间隔为 T ）。如图 (b)，在钢柱上从痕迹 O 开始选取 5 条连续的痕迹 A 、 B 、 C 、 D 、 E ，测得它们到痕迹 O 的距离分别为 h_A 、 h_B 、 h_C 、 h_D 、 h_E 。已知当地重力加速度为 g 。



(1) 若电动机的转速为 3000r/min，则 $T = \underline{\hspace{2cm}}$ s。

(2) 实验操作时，应该 。（填正确答案标号）

A. 先打开电源使电动机转动，后烧断细线使钢柱自由下落

B. 先烧断细线使钢柱自由下落，后打开电源使电动机转动

(3) 画出痕迹 D 时，钢柱下落的速度 $v_D = \underline{\hspace{2cm}}$ （用题中所给物理量的字母表示）

(4) 设各条痕迹到 O 的距离为 h ，对应钢柱的下落速度为 v ，画出 v^2-h 图像，发现图线接近一条倾斜的直线，若该直线的斜率近似等于 ，则可认为钢柱下落过程中机械能守恒。

【答案】 ①. 0.02 ②. A ③. $\frac{h_E - h_C}{2T}$ ④. g

【解析】

【详解】(1) [1]由于电动机的转速为 3000r/min，则其频率为 50Hz，故 $T = 0.02$ s。

(2) [2]实验操作时，应该先打开电源使电动机转动，后烧断细线使钢柱自由下落。

故选 A。

(3) [3]画出痕迹 D 时，钢柱下落的速度

$$v_D = \frac{h_E - h_C}{2T}$$

[4]钢制的圆柱下落过程中，只有重力做功，重力势能的减小等于动能的增加，即

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

得

$$\frac{v^2}{2} = gh$$

若 $\frac{v^2}{2} - h$ 图线为直线，斜率为 g ，则机械能守恒，所以此图像能验证机械能守恒。

10. 学生小组用放电法测量电容器的电容，所用器材如下：

电池（电动势 3V，内阻不计）；

待测电容器（额定电压 5V，电容值未知）；

微安表（量程 200 μ A，内阻约为 1k Ω ）；

滑动变阻器 R （最大阻值为 20 Ω ）；

电阻箱 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 （最大阻值均为 9999.9 Ω ）；

定值电阻 R_0 （阻值为 5.0k Ω ）；

单刀单掷开关 S_1 、 S_2 ，单刀双掷开关 S_3 ；

计时器；

导线若干。

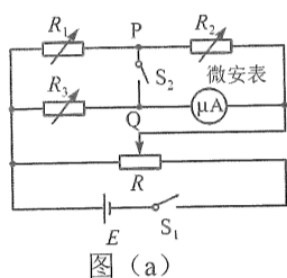


图 (a)

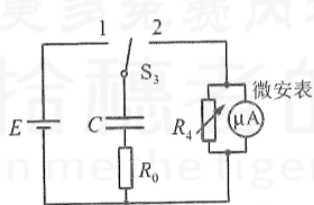


图 (b)

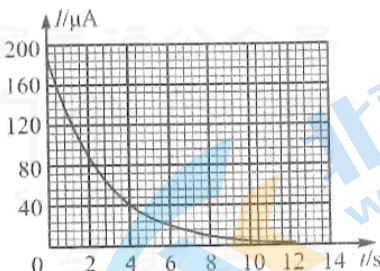


图 (c)

(1) 小组先测量微安表内阻，按图 (a) 连接电路。

(2) 为保护微安表，实验开始前 S_1 、 S_2 断开，滑动变阻器 R 的滑片应置于_____（填“左”或“右”）端。将电阻箱 R_1 、 R_2 、 R_3 的阻值均置于 1000.0 Ω ，滑动变阻器 R 的滑片置于适当位置。保持 R_1 、 R_3 阻值不变，反复调节 R_2 ，使开关 S_2 闭合前后微安表的示数不变，则 P 、 Q 两点的电势_____（填“相等”或“不相等”）。记录此时 R_2 的示数为 1230.0 Ω ，则微安表的内阻为_____ Ω 。

(3) 按照图 (b) 所示连接电路，电阻箱 R_4 阻值调至 615.0 Ω ，将开关 S_3 掷于位置 1，待电容器充电完成后，再将开关 S_3 掷于位置 2，记录微安表电流 I 随时间 t 的变化情况，得到如图 (c) 所示的图像。当微安

表的示数为 $100\mu\text{A}$ 时, 通过电阻 R_0 的电流是_____ μA 。

(4) 图 (c) 中每个最小方格面积所对应的电荷量为_____ C (保留两位有效数字)。某同学数得曲线
下包含 150 个这样的小方格, 则电容器的电容为_____ F (保留两位有效数字)。

【答案】 ①. 左 ②. 相等 ③. 1230.0 ④. 300 ⑤. 4.80×10^{-4} ⑥. 1.60×10^{-4}

【解析】

【详解】(2) [1] 为保护微安表, 实验开始前 S_1 、 S_2 断开, 滑动变阻器 R 的滑片应置于左端。

[2] 由题知, 使开关 S_2 闭合前后微安表的示数不变, 则说明 P 、 Q 两点的电势相等。

[3] 根据电桥平衡可知, 此微安表的内阻为 1230.0Ω 。

(3) [4] 由于微安表与 R_4 并联, 则当微安表的示数为 $100\mu\text{A}$ 时, R_4 分担的电流为

$$I_4 = \frac{IR_g}{R_4} = \frac{100 \times 10^{-6} \times 1230}{615} \text{ A} = 0.2 \text{ mA}$$

则通过电阻 R_0 的电流

$$I_{\text{总}} = I_4 + I = 300 \mu\text{A}$$

(4) [5] 图 (c) 中每个最小方格面积所对应的电荷量为

$$q = 8 \mu\text{A} \times 0.4 \text{ s} = 3.2 \mu\text{C} = 3.2 \times 10^{-6} \text{ C}$$

[6] 则 150 个这样的小方格为总电荷量为

$$Q = n \times q = 150 \times 3.2 \times 10^{-6} \text{ C} = 4.80 \times 10^{-4} \text{ C}$$

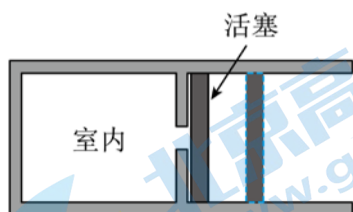
则根据电容的定义式可知电容器的电容为

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{480 \times 10^{-6}}{3} \text{ F} = 1.60 \times 10^{-4} \text{ F}$$

11. 房间内温度升高空气外溢的过程可以抽象为如图所示的汽缸模型。汽缸内活塞可以无摩擦自由滑动, 室内温度升高空气外溢, 可视为空气膨胀推动活塞向外滑动。室内体积为 V_0 , 初始温度为 T_0 。室内温度升高到 T 的过程中, 活塞向外缓慢移至虚线位置。室内外气压始终恒定且相等, 空气可视为理想气体。求

(1) 汽缸内空气升温膨胀后的总体积 V ;

(2) 升温前后室内空气质量之比。



【答案】 (1) $\frac{T}{T_0} V_0$; (2) $\frac{T}{T_0}$

【解析】

【详解】(1) 由题知室内外气压始终恒定且相等, 则由盖—吕萨克定律有

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V}{T}$$

解得

$$V = \frac{T}{T_0} V_0$$

(2) 根据气体变化前后质量相等有

$$\rho_0 V_0 = \rho V$$

解得

$$\rho = \frac{T_0}{T} \rho_0$$

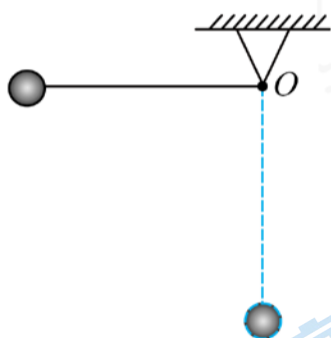
则升温前后室内空气质量之比为

$$\frac{\rho_0 V_0}{\rho V_0} = \frac{T}{T_0}$$

12. 如图所示, 一个带正电的小球, 质量为 m , 电荷量为 q , 固定于绝缘轻杆一端, 轻杆的另一端光滑铰接于 O 点, 重力加速度为 g 。

(1) 未加电场时, 将轻杆向左拉至水平位置, 无初速度释放, 小球到达最低点时, 求轻杆对它的拉力大小。

(2) 若在空间中施加一个平行于纸面的匀强电场, 大小方向未知。将轻杆从左边水平位置无初速度释放, 小球到达最低点时, 受到轻杆的拉力为 $4mg$; 将轻杆从右边水平位置无初速度释放, 小球到达最低点时, 受到轻杆的拉力为 $8mg$ 。求电场强度的水平分量 E_x 和竖直分量 E_y 。



【答案】(1) $3mg$; (2) $E_y = \frac{mg}{q}$, $E_x = \frac{mg}{q}$

【解析】

【详解】(1) 未加电场, 则从水平位置无初速度释放到最低点时, 有

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

则小球在最低点有

$$F_T - mg = m\frac{v^2}{L}$$

解得

$$F_T = 3mg$$

(2) 加电场后, 无论轻杆从哪边释放小球到达最低点时受到的拉力均比无电场时大, 则说明电场在竖直方向的分量向下; 而轻杆从左边释放小球到最低点受到的拉力小于轻杆从右边释放小球到最低点受到的拉力, 则说明电场在水平方向的分量向左, 则杆从左边水平位置无初速度释放, 到小球到达最低点的过程中有

$$mgL - E_x qL + E_y qL = \frac{1}{2}mv_1^2$$

则小球在最低点有

$$F_{T1} - mg - E_y q = m\frac{v_1^2}{L}$$

其中

$$F_{T1} = 4mg$$

杆从右边水平位置无初速度释放, 到小球到达最低点的过程中有

$$mgL + E_x qL + E_y qL = \frac{1}{2}mv_2^2$$

则小球在最低点有

$$F_{T2} - mg - E_y q = m\frac{v_2^2}{L}$$

其中

$$F_{T2} = 8mg$$

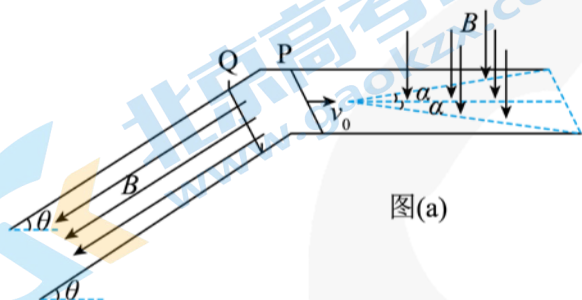
联立解得

$$E_y = \frac{mg}{q}, \quad E_x = \frac{mg}{q}$$

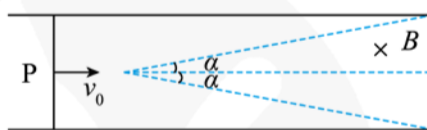
13. 如图 (a) 所示, 一个电阻不计的平行金属导轨, 间距 $L = 1\text{m}$, 左半部分倾斜且粗糙, 倾角 $\theta = 37^\circ$, 处于沿斜面向下的匀强磁场中; 右半部分水平且光滑, 导轨之间存在一个三角形匀强磁场区域, 磁场方向竖直向下, 其边界与两导轨夹角均为 α , $\tan\alpha = 0.1$ 。右半部分俯视图如图 (b)。导体棒 Q 借助小立柱静置于倾斜导轨上, 其与导轨的动摩擦因数 $\mu = 0.5$ 。导体棒 P 以 $v_0 = 0.5\text{m/s}$ 的速度向右进入三角形磁场

区域时，撤去小立柱，Q棒开始下滑，同时对P棒施加一外力使其始终保持匀速运动。运动过程中，两棒始终垂直于导轨且接触良好。已知两磁场的磁感应强度大小均为 $B = 1\text{T}$ ，两棒的质量均为 $m = 0.1\text{kg}$ ，Q棒电阻 $R = 0.5\Omega$ ，P棒电阻不计。重力加速度大小取 $g = 10\text{m/s}^2$ ， $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8$ ，以Q棒开始下滑为计时起点。求

- (1) 撤去小立柱时，Q棒的加速度大小 a_0 ；
- (2) Q棒中电流随时间变化的关系式；
- (3) Q棒达到的最大速度 v_m 及所用时间 t_1 。



图(a)



图(b)

【答案】(1) 2m/s^2 ；(2) $I = 0.1t(\text{A})$ ；(3) 4m/s ， 4s

【解析】

【详解】(1) 撤去小立柱时，导体棒P刚刚进入三角形磁场区域，没有感应电动势，则对Q棒受力分析

$$a_0 = \frac{mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta}{m} = g \sin \theta - \mu g \cos \theta = (10 \times 0.6 - 0.5 \times 10 \times 0.8) \text{m/s}^2 = 2 \text{m/s}^2$$

(2) 只有P棒在切割磁感线，所以感应电动势为

$$E = \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = \frac{B \Delta S}{\Delta t}$$

磁场穿过闭合电路的面积与时间的关系为

$$S = \frac{1}{2} (v_0 t) (2 \tan \alpha \times v_0 t) = \tan \alpha \cdot v_0^2 t^2$$

所以

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = S' = 2 \tan \alpha \cdot v_0^2 t$$

$$E = \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = \frac{B \Delta S}{\Delta t} = 2B \tan \alpha \cdot v_0^2 t = 2 \times 1 \times 0.1 \times 0.5^2 t = 0.05t (\text{V})$$

$$I = \frac{E}{R} = \frac{0.05t}{0.5} \text{A} = 0.1t (\text{A})$$

(3) 对 Q 棒受力分析

$$ma = mg \sin \theta - \mu (mg \cos \theta + BIL)$$

当 Q 棒速度达到最大时

$$mg \sin \theta = \mu (mg \cos \theta + BIL)$$

解得此时

$$I = 0.4 \text{A}, \quad t_1 = 4 \text{s}$$

三角形磁场总长有

$$L_1 = \frac{0.5}{0.1} \text{m} = 5 \text{m}$$

而 P 棒在 4s 内运动的位移为 2m，小于 L_1 。

Q 棒的加速度与时间的关系为

$$a = g \sin \theta - \mu \left(g \cos \theta + \frac{BIL}{m} \right) = (2 - 0.5t) \text{m/s}^2$$

画出 Q 棒的 $a-t$ 图，则 Q 棒速度的变化量等于图线下方与坐标轴围成的面积，则 Q 棒达到的最大速度 v_m 为

$$v_m = \Delta v = \frac{2 \times 4}{2} \text{m/s} = 4 \text{m/s}$$

所用时间 $t_1 = 4 \text{s}$ 。