

1. D 【命题点】通过乘客乘坐电梯下楼的 $s-t$ 图像考查超重和失重问题

【解析】 $s-t$ 图像中图线的斜率表示速度,由题图知, $0 \sim t_1$ 时间内, v 增大,乘客向下做加速运动,加速度竖直向下,以竖直向下为正方向, a 为正值,由牛顿第二定律得 $mg - F_N = ma$, 则 $F_N < mg$, **A 错误**;同理, $t_1 \sim t_2$ 时间内, v 不变,由平衡条件可知 $F_N = mg$, **B 错误**; $t_2 \sim t_3$ 时间内, v 减小,乘客向下做减速运动,加速度竖直向上, a 为负值,由牛顿第二定律得 $mg - F_N = ma$, 则 $F_N > mg$, **C 错误, D 正确**。

2. B 【命题点】通过氡核的衰变考查核反应方程和电流的微观表达式

【解析】设发生定向移动的电子数为 n , 则 $I = \frac{ne}{t}$, 解得 $n = \frac{It}{e} = 1.0 \times 10^{16}$, 由原子核衰变时质量数和电荷数都守恒知, 一个氡核衰变为氦核 ${}^3_2\text{He}$ 时释放出一个电子, 故在这段时间内发生 β 衰变的氡核个数为 1.0×10^{16} , **B 正确, A、C、D 错误**。

➤ **知识拓展** β 衰变的实质是核内的中子转化成了一个质子和一个电子; 原子核衰变时质量数和电荷数都守恒。

3. A 【命题点】通过双缝干涉实验装置考查光的传播

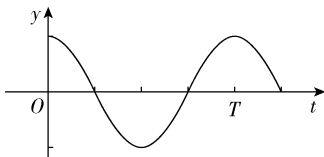
【解析】由几何知识知 $OS_2 = OS_1$, 设 $OS_2 = x$, 光从 S_2 传播到 O 点的时间 $t_1 = \frac{x}{c}$, 由 $n = \frac{c}{v}$ 得, 光在玻璃片中的传播速度 $v = \frac{c}{n} = \frac{c}{1.5}$, 光垂直玻璃片入射, 光的传播方向不变, 则光从 S_1 传播到 O 点的时间 $t_2 = \frac{x - 10\lambda}{c} + \frac{10\lambda}{v} = \frac{x + 5\lambda}{c}$, 所以 $\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{5\lambda}{c}$, **A 正确, B、C、D 错误**。

➤ **快解** 光在玻璃片中的传播速度 $v = \frac{c}{n} = \frac{c}{1.5}$, 光从 S_1 传播到 O 点的时间与光从 S_2 传播到 O 点的时间差即为光通过玻璃片厚度的距离的时间差, 则 $\Delta t = \frac{10\lambda}{v} - \frac{10\lambda}{c} = \frac{5\lambda}{c}$, **A 正确**。

➤ **知识拓展** 当光倾斜射入玻璃片时, 玻璃片起到了光路平移及延长传播时间的作用, 当光垂直射入玻璃片时, 玻璃片起到了延长传播时间的作用。

4. D 【命题点】振动方程和波的传播

【解析】 $x = \frac{5}{4}\lambda$ 处质点的振动图像如图所示, $t = \frac{3}{4}T$ 时刻, $x = \frac{5}{4}\lambda$ 处质点的位移 $y = 0$, 质点处于平衡位置且向上运动, 由于波沿 x 轴负方向传播, **D 正确**。



5. A 【命题点】理想变压器的电压规律、欧姆定律及串并联电路的特点

【解析】由题图乙可知,变压器原线圈两端电压的有效值为 220 V,由理想变压器的电压关系 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 得,变压器的输出电压 $U_2 = \frac{n_2}{n_1} U_1 = \frac{3}{22} \times 220 \text{ V} = 30 \text{ V}$,若使灯泡正常发光,则电阻 R_1 两端的电压 $U = U_2 - U_L = 30 \text{ V} - 24 \text{ V} = 6 \text{ V}$,变压器的输出电流 $I = \frac{U_L}{R_L} = \frac{24 \text{ V}}{15 \Omega} = 1.6 \text{ A}$,通过电阻 R_1 的电流 $I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{6 \text{ V}}{10 \Omega} = 0.6 \text{ A}$,则通过电阻 R_2 的电流 $I_2 = I - I_1 = 1 \text{ A}$,滑动变阻器接入电路的电阻 $R = \frac{U}{I_2} - R_2 = 1 \Omega$,A 正确,B、C、D 错误。

知识拓展 在交流电路中,若没有特别说明,则电压、电流均为有效值,电压表的示数、电流表的示数均为有效值,求功率、功、热量时用有效值,保险丝的熔断电流为有效值,交流用电器铭牌上的值为有效值。

6. C 【命题点】通过 p - V 图像考查理想气体状态方程、热力学第一定律

【解析】 p - V 图像中图线与 V 轴围成图形的面积表示气体对外界做功的大小,由题图可知,气体在 $a \rightarrow b$ 过程中对外界做的功 W_1 等于在 $b \rightarrow c$ 过程中对外界做的功 W_2 ,A 错误;由理想气体状态方程 $\frac{pV}{T} = C$ 可知, $T_a = T_b$, $T_b < T_c$,则在 $a \rightarrow b$ 、 $b \rightarrow c$ 两过程中气体内能变化 $\Delta U_{ab} = 0$, $\Delta U_{bc} > 0$,由热力学第一定律知 $\Delta U_{ab} = Q_1 - W_1$, $\Delta U_{bc} = Q_2 - W_2$,由以上各式可知 $Q_1 < Q_2$,B 错误;在 $c \rightarrow a$ 过程中,气体的压强不变,体积减小,外界对气体做功,由盖-吕萨克定律 $\frac{V_a}{T_a} = \frac{V_c}{T_c}$ 知,气体的温度降低,内能减少,由热力学第一定律知,外界对气体做的功小于气体向外界放出的热量,C 正确;理想气体的内能只与温度有关, $T_a = T_b$,故气体在 $c \rightarrow a$ 过程中内能的减少量等于 $b \rightarrow c$ 过程中内能的增加量,D 错误。

方法拓展 p - V 图像中图线与 V 轴围成图形的面积表示气体对外界做的功或外界对气体做的功;一定质量的理想气体的内能只与温度有关。

7. B 【命题点】通过“天问 1 号”着陆器考查匀变速直线运动规律、牛顿第二定律、万有引力定律

【解析】由万有引力定律得 $G \frac{Mm}{r^2} = mg$,可得 $g = \frac{GM}{r^2}$,则 $\frac{g_{\text{火}}}{g} = \frac{M_{\text{火}}}{M_{\text{地}}} \cdot \frac{r_{\text{地}}^2}{r_{\text{火}}^2} = 0.1 \times \frac{1}{0.5^2} = 0.4$,解得 $g_{\text{火}} = 0.4g$,着陆器的加速度大小 $a = \frac{v_0}{t_0}$,由牛顿第二定律得 $F - mg_{\text{火}} = ma$,联立解得 $F = m(0.4g + \frac{v_0}{t_0})$,B 正确,A、C、D 错误。

一题多解

由万有引力定律得 $G \frac{Mm}{r^2} = mg$, 可得 $g = \frac{GM}{r^2}$,

则 $\frac{g_{\text{火}}}{g} = \frac{M_{\text{火}}}{M_{\text{地}}} \cdot \frac{r_{\text{地}}^2}{r_{\text{火}}^2} = 0.1 \times \frac{1}{0.5^2} = 0.4$, 解得 $g_{\text{火}} = 0.4g$, 以竖直向上为正方向, 由动量定理得 $(F - mg_{\text{火}})t_0 = 0 - m(-v_0)$, 解得 $F = m(0.4g + \frac{v_0}{t_0})$, B 正确, A、C、D 错误。

8. C 【命题点】通过连接体考查平衡条件及临界问题

【解析】物块 A、B 刚好要滑动时, B 有沿木板下滑的趋势, A 有沿木板上滑的趋势, 设绳中拉力为 F , 对 B, 由平衡条件得 $2mg \sin 45^\circ = F + 3\mu mg \cos 45^\circ + \mu mg \cos 45^\circ$, 对 A, 由平衡条件得 $mg \sin 45^\circ + \mu mg \cos 45^\circ = F$, 联立解得 $\mu = \frac{1}{5}$, C 正确, A、B、D 错误。

一题多解

A、B 作为整体, 由平衡条件得 $3mg \sin 45^\circ = 2F + 3\mu mg \cos 45^\circ$, 对 A, 由平衡条件得 $mg \sin 45^\circ + \mu mg \cos 45^\circ = F$, 联立解得 $\mu = \frac{1}{5}$, C 正确, A、B、D 错误。

9. AC 【命题点】通过光在等腰直角三棱镜中的传播考查全反射和折射率

【解析】由 $\sin C = \frac{1}{n} = \frac{\sqrt{2}}{2}$, 可得该单色光发生全反射的临界角 $C = 45^\circ$, 由几何知识知, DE 发出的光射到 AC 和 $A'C'$ 中点连线时入射角 $\theta = 45^\circ = C$, 光恰好发生全反射, DE 发出的光射到该连线上方的入射角大于 45° , 发生全反射, 同理, DE 发出的光射到 $C'C$ 时入射角等于 45° , 恰好发生全反射, 故光从 $AA'C'C$ 面出射的区域占该侧面总面积的 $\frac{1}{2}$, A 正确, B 错误; 若 DE 发出的单色光频率变小, 则三棱镜对该单色光的折射率变小, 由 $\sin C = \frac{1}{n}$ 知, 该单色光发生全反射的临界角增大, 由几何知识知, 其恰好发生全反射的点在 AC 和 $A'C'$ 中点连线的上方, 故 $AA'C'C$ 面有光出射的区域面积将增大, C 正确, D 错误。

10. BD 【命题点】两不等量正点电荷的电场中电势、电场力、电势能、电场线的分析

【解析】带负电的试探电荷仅在电场力的作用下恰好保持静止状态, 由 $F = qE$ 知, O 点的电场强度为零, 则两正点电荷连线上的电场线方向如图所示, 由沿电场线方向电势逐渐降低知, a 点的电势高于 O 点, A 错误; 设左边正点电荷所带的电荷量为 q_1 ,

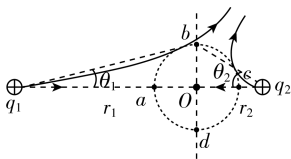
右边正点电荷所带的电荷量为 q_2 , 则在 O 点有 $k \frac{q_1}{r_1^2} = k \frac{q_2}{r_2^2}$, 在 b

点处平行两正电荷连线方向有 $k \frac{q_1}{\left(\frac{r_1}{\cos \theta_1}\right)^2} \cos \theta_1 = \frac{kq_1 \cos^3 \theta_1}{r_1^2} >$

$k \frac{q_2}{\left(\frac{r_2}{\cos \theta_2}\right)^2} \cos \theta_2 = \frac{kq_2 \cos^3 \theta_2}{r_2^2}$, 故 b 点电场强度平行两正电

荷连线方向的分量指向右方, 则 b 点场强方向斜向右上方,

由沿电场线方向电势逐渐降低知, O 点电势低于 a 、 c 两点,高于 b 、 d 两点,故 b 点的电势低于 a 、 c 两点,由负电荷在电势低处电势能大知,试探电荷在 a 点的电势能小于在 b 点的电势能,**B 正确,C 错误**;由对称性知, d 点的电势低于 c 点,由上述分析可知,带负电的试探电荷在 c 点的电势能小于在 d 点的电势能,**D 正确**。



11. ACD 【命题点】通过弹簧与物体组成的系统考查平衡条件、机械能守恒定律和功能关系

【解析】设轻绳与水平方向的夹角为 θ , B 下降的最大距离为 x ,当 B 下降到最低点时, A 对水平桌面的压力刚好为零,由平衡条件得 $F\sin\theta=Mg$, $F=kx$, B 由静止到下降到最低点的过程中, B 的重力势能转化为弹簧的弹性势能,由机械能守恒定律得 $mgx=\frac{1}{2}kx^2$, 联立解得 $M=2m\sin\theta<2m$, **A 正确,B 错误**;在 B 从释放位置运动到最低点的过程中,所受向上的弹簧弹力不断变大,向下的重力大小不变, B 先向下加速后向下减速,则 B 所受合力先竖直向下后竖直向上,即所受合力对 B 先做正功后做负功,**C 正确**; B 在运动过程中受重力和弹簧弹力作用,由功能关系知, B 克服弹簧弹力做的功等于弹簧弹性势能的增加量,也就等于 B 机械能的减少量,**D 正确**。

方法拓展 对单个物体,机械能的变化量等于除重力外其他力做功的代数和,本题 B 在运动过程中受重力和弹簧弹力作用, B 克服弹簧弹力做的功等于 B 机械能的减少量;对弹簧和钩码 B 组成的系统机械能守恒,则 B 机械能的减少量等于弹簧弹性势能的增加量。

12. BC 【命题点】通过不规则导体框在磁场中的运动考查法拉第电磁感应定律、闭合电路欧姆定律、安培力

【解析】设虚线方格边长为 L ,则 $v=\frac{4L}{4s}=L$, $0\sim 1\text{ s}$ 内,感应电动势 $E_1=B\cdot 2L\cdot v=2BL^2$,由闭合电路欧姆定律得,感应电流 $I_1=\frac{E_1}{R}=\frac{2BL^2}{R}$, $1\sim 2\text{ s}$ 内,感应电动势 $E_2=B\cdot [2L+v(t-1)]\cdot v=BL^2t+BL^2$,由闭合电路欧姆定律得,感应电流 $I_2=\frac{E_2}{R}=\frac{BL^2}{R}t+\frac{BL^2}{R}$,当 $t=2\text{ s}$ 时, $I_2=\frac{3BL^2}{R}=\frac{3}{2}I_1$, $2\sim 4\text{ s}$ 内,感应电动势 $E_3=B\cdot 3L\cdot v-B\cdot v(t-2)\cdot v=5BL^2-BL^2t$,由闭合电路欧姆定律得,感应电流 $I_3=\frac{E_3}{R}=\frac{5BL^2}{R}-\frac{BL^2}{R}t$,当 $t=4\text{ s}$ 时, $I_4=\frac{BL^2}{R}=\frac{1}{2}I_1$, **B 正确,A 错误**; $0\sim 1\text{ s}$ 内, ab 边所受安培力的大小 $F_1=BI_1vt=\frac{2B^2L^3}{R}t$,当 $t=1\text{ s}$ 时, $F_1=\frac{2B^2L^3}{R}$, $1\sim 2\text{ s}$ 内, ab 边所受安培力的大小 $F_2=BI_2vt=\frac{B^2L^3}{R}t^2+\frac{B^2L^3}{R}t$, $t=2\text{ s}$

时, $F_2 = \frac{6B^2L^3}{R} = 3F_1$, $2 \sim 4$ s 内, ab 边所受安培力的大小 $F_3 =$

$BI_3vt = \frac{5B^2L^3}{R}t - \frac{B^2L^3}{R}t^2$, 当 $t = 4$ s 时, $F_4 = \frac{4B^2L^3}{R} = 2F_1$, C 正确,

D 错误。

易错警示 感应电动势 $E = BLv$ 中 L 为导体切割磁感线的有效长度, 不是导体的实际长度, 本题中, $2 \sim 4$ s 内导体框切割磁感线的有效长度是变化的; 同理, 安培力 $F = BIL$ 中 L 也为导体在磁场中的有效长度, 随时间变化。

13. (1) 0.32 或 0.33 (2 分) 3.1 (2 分) (2) 9.4 (2 分)

【命题点】通过测重力加速度考查实验数据的处理

【解析】(1) 由 $L = v_0t + \frac{1}{2}at^2$, 得 $\frac{2L}{t} = 2v_0 + at$, 则 $\frac{2L}{t} - t$ 图线的斜率表示加速度, 截距表示 $2v_0$, 由题图乙得 $2v_0 = 65 \times 10^{-2}$ m/s, 解得物块过测量参考点的速度大小为 $v_0 = 0.33$ m/s, 小物块下滑的加速度大小 $a = \frac{(185-70) \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{(39.5-2.0) \times 10^{-2} \text{ s}} = 3.1 \text{ m/s}^2$ 。

(2) 当木板的倾角为 37° 时, 由牛顿第二定律得 $mg\sin 37^\circ - \mu mg\cos 37^\circ = ma$, 同理, 当木板的倾角为 53° 时, 有 $mg\sin 53^\circ - \mu mg\cos 53^\circ = ma_1$, 由题知 $a_1 = 5.6 \text{ m/s}^2$, 联立解得 $g = 9.4 \text{ m/s}^2$ 。

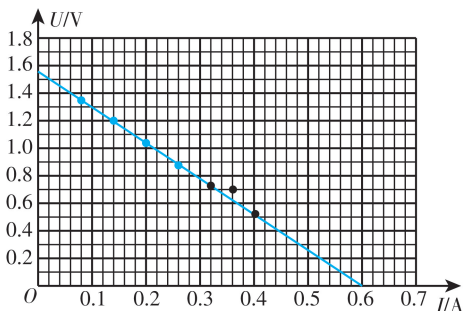
14. (1) B (2 分) (2) ①见解析 (2 分) ② R_1 (2 分) ③见解析 (2 分)

【命题点】通过测量电源的电动势和内阻实验考查实验数据的处理、实物图的连接以及对实验原理的理解

【解析】(1) 由闭合电路欧姆定律得, 电压表的示数为 $U = \frac{E}{R+r}R = \frac{1}{1+\frac{r}{R}}E$, 电压表的示数变化范围较小, 可能是因为干电池内

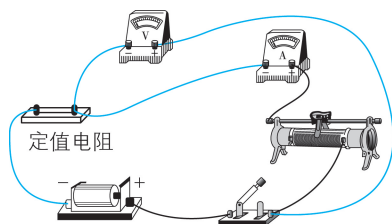
阻较小, 也可能是滑动变阻器最大阻值较小, 而根据题图乙中数据可知电压表示数一直比较接近电源电动势, 则可排除滑动变阻器最大阻值较小的可能, 故选 B。

(2) ①根据表格中的数据描点连线, 用一条直线将尽可能多的点连起来, 不在直线上的点尽量对称分布在直线两侧, 偏远的点舍去, 图像如图所示。



②由 $U-I$ 图像知, 干电池的电动势为 $E = 1.55$ V, 电压表示数为 0 时, 电路中的电流为 0.6 A, 由闭合电路欧姆定律得 $r+R = \frac{E}{I} = \frac{1.55 \text{ V}}{0.6 \text{ A}} \approx 2.58 \Omega$, 故所选的定值电阻为 R_1 。

③实物图连接如图所示。



15. $\frac{1}{3}$

【命题点】通过抽气拔罐考查理想气体状态方程和玻意耳定律

【解析】设火罐内气体初始状态参量分别为 p_1 、 T_1 、 V_1 , 温度降低后状态参量分别为 p_2 、 T_2 、 V_2 , 罐的容积为 V_0 , 大气压强为 p_0 , 由题意知

$$p_1 = p_0, T_1 = 450 \text{ K}, V_1 = V_0, T_2 = 300 \text{ K}, V_2 = \frac{20}{21} V_0 \quad (1)$$

由理想气体状态方程得

$$\frac{p_0 V_0}{T_1} = \frac{p_2 \cdot \frac{20}{21} V_0}{T_2} \quad (2)$$

代入数据得

$$p_2 = 0.7 p_0 \quad (3)$$

对于抽气罐, 设初态气体状态参量分别为 p_3 、 V_3 , 末态气体状态参量分别为 p_4 、 V_4 , 罐的容积为 V_0' , 由题意知

$$p_3 = p_0, V_3 = V_0', p_4 = p_2 \quad (4)$$

由玻意耳定律得

$$p_0 V_0' = p_2 V_4 \quad (5)$$

联立②⑤式, 代入数据得

$$V_4 = \frac{10}{7} V_0' \quad (6)$$

设抽出的气体的体积为 ΔV , 由题意知

$$\Delta V = V_4 - \frac{20}{21} V_0' \quad (7)$$

故应抽出气体的质量与抽气前罐内气体质量的比值为

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta V}{V_4} \quad (8)$$

联立②⑤⑦⑧式, 代入数据得

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{1}{3} \quad (1 \text{ 分})$$

易错警示 本题是变气体质量问题, 难点为由于气体质量的变化导致不再是同一部分气体, 如何正确选择研究对象使得气体实验定律得以适用是解题的关键, 通常将容器内剩余气体及被抽出部分气体的整体视为研究对象来分析。

16. (1) 4.8 m (2) 12 m

【命题点】通过 U 形轨道考查运动的合成与分解、牛顿第二定律、匀变速直线运动规律

【解析】(1) 在 M 点, 设运动员在 ABCD 面内垂直 AD 方向的分速度为 v_1 , 由运动的合成与分解规律得

$$v_1 = v_M \sin 72.8^\circ \quad (1 \text{ 分})$$

设运动员在 ABCD 面内垂直 AD 方向的分加速度为 a_1 , 由牛顿第二定律得

$$mg\cos 17.2^{\circ}=ma_1 \quad (2)$$

由运动学公式得

$$d=\frac{v_1^2}{2a_1} \quad (3)$$

联立①②③式,代入数据得

$$d=4.8 \text{ m} \quad (4)$$

(2)在 M 点,设运动员在 $ABCD$ 面内平行 AD 方向的分速度为 v_2 ,由运动的合成与分解规律得

$$v_2=v_M\cos 72.8^{\circ} \quad (5)$$

设运动员在 $ABCD$ 面内平行 AD 方向的分加速度为 a_2 ,由牛顿第二定律得

$$mg\sin 17.2^{\circ}=ma_2 \quad (6)$$

设腾空时间为 t ,由运动学公式得

$$t=\frac{2v_1}{a_1} \quad (7)$$

$$L=v_2t+\frac{1}{2}a_2t^2 \quad (8)$$

联立①②⑤⑥⑦⑧式,代入数据得

$$L=12 \text{ m} \quad (1 \text{ 分})$$

$$17. (1) \frac{\sqrt{2mqU}}{qB} - \frac{\sqrt{2mqU}}{qB} - \sqrt{\frac{2mU}{qB^2} - d^2} \quad (2) \frac{md^2E}{4mU - 2qd^2B^2}$$

$$(3) R - \sqrt{R^2 - d^2} + \frac{d^2}{\sqrt{R^2 - d^2}}$$

(4) s_1 、 s_2 、 s_3 分别对应氚核 ${}^3_1\text{H}$ 、氦核 ${}^4_2\text{He}$ 、质子 ${}^1_1\text{H}$ 的位置

【命题点】以质谱仪为模型考查带电粒子在电磁场中的运动

【解析】(1)设粒子经加速电场到 b 孔的速度大小为 v ,粒子在区域 I 中,做匀速圆周运动对应圆心角为 α ,在 M 、 N 两金属板间,由动能定理得

$$qU=\frac{1}{2}mv^2 \quad (1 \text{ 分})$$

在区域 I 中,粒子做匀速圆周运动,磁场力提供向心力,由牛顿第二定律得

$$qvB=m\frac{v^2}{R} \quad (2)$$

联立①②式得

$$R=\frac{\sqrt{2mqU}}{qB} \quad (3)$$

由几何关系得

$$d^2+(R-L)^2=R^2 \quad (4)$$

$$\cos \alpha=\frac{\sqrt{R^2-d^2}}{R} \quad (5)$$

$$\sin \alpha=\frac{d}{R} \quad (6)$$

联立①②④式得

$$L=\frac{\sqrt{2mqU}}{qB} - \sqrt{\frac{2mU}{qB^2} - d^2} \quad (7)$$

(2)设区域 II 中粒子沿 z 轴方向的分速度为 v_z ,沿 x 轴正方向加速度大小为 a ,位移大小为 x ,运动时间为 t ,由牛顿第二定律得

$$qE=ma \quad (8)$$

粒子在 z 方向做匀速直线运动,由运动合成与分解的规律得

$$v_z = v \cos \alpha \quad (9)$$

$$d = v_z t \quad (10) \quad (1 \text{ 分})$$

粒子在 x 轴方向做初速度为零的匀加速直线运动,由运动学公式得

$$x = \frac{1}{2} a t^2 \quad (11) \quad (1 \text{ 分})$$

联立①②⑤⑧⑨⑩⑪式得

$$x = \frac{md^2 E}{4mU - 2qd^2 B^2} \quad (12) \quad (1 \text{ 分})$$

(3) 设粒子沿 y 方向偏离 z 轴的距离为 y , 其中在区域 II 中沿 y 方向偏离的距离为 y' , 由运动学公式得

$$y' = v t \sin \alpha \quad (13) \quad (1 \text{ 分})$$

由题意得

$$y = L + y' \quad (14)$$

联立①④⑥⑨⑩⑬⑭式得

$$y = R - \sqrt{R^2 - d^2} + \frac{d^2}{\sqrt{R^2 - d^2}} \quad (15) \quad (1 \text{ 分})$$

(4) 根据(2)中结果 $x = \frac{md^2 E}{4mU - 2qd^2 B^2} = \frac{d^2 E}{4U - 2d^2 B^2 \cdot \frac{q}{m}}$, 可知

$\frac{q}{m}$ 越大, 粒子打在记录板上的位置的 x 坐标值越大, 可

得 s_1 、 s_2 、 s_3 分别对应氦核 ${}^3_1\text{H}$ 、氦核 ${}^4_2\text{He}$ 、质子 ${}^1_1\text{H}$ 的位置

(2 分)

$$18. (1) \frac{3}{5}v_0 \quad \frac{2}{5}v_0 \quad (2) \left(\frac{7}{25}\right)^{n-1} \cdot \frac{v_0^2}{25g} (n=1, 2, 3, \dots)$$

$$(3) \frac{v_0^2}{18g} \quad (4) \frac{(8\sqrt{7}-13)v_0^2}{200g\sin\theta}$$

【命题点】以碰撞为模型考查动量守恒定律、机械能守恒定律、匀变速直线运动规律、动能定理

【解析】(1) P 与 Q 的第一次碰撞, 取 P 的初速度方向为正方向, 由动量守恒定律得 $mv_0 = mv_{P1} + 4mv_{Q1}$ ①

由机械能守恒定律得

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_{P1}^2 + \frac{1}{2} \cdot 4mv_{Q1}^2 \quad (2) \quad (1 \text{ 分})$$

联立①②式得

$$v_{P1} = -\frac{3}{5}v_0 \quad (3)$$

$$v_{Q1} = \frac{2}{5}v_0 \quad (4) \quad (1 \text{ 分})$$

故第一次碰撞后 P 的速度大小为 $\frac{3}{5}v_0$, Q 的速度大小为 $\frac{2}{5}v_0$ 。

(2) 设 P 、 Q 第一次碰撞后 Q 上升的高度为 h_1 , 对 Q 由运动

$$学公式得 0 - v_{Q1}^2 = 2 \cdot (-2g\sin\theta) \cdot \frac{h_1}{\sin\theta} \quad (5)$$

联立①②⑤式得

$$h_1 = \frac{v_0^2}{25g} \quad (6) \quad (1 \text{ 分})$$

设 P 运动至与 Q 刚要发生第二次碰撞前的位置时速度为 v_{02} , 第一次碰后至第二次碰前, 对 P 由动能定理得

$$\frac{1}{2}mv_{02}^2 - \frac{1}{2}mv_{P1}^2 = -mgh_1 \quad (7)$$

联立①②⑤⑦式得

$$v_{02} = \frac{\sqrt{7}}{5}v_0 \quad (8) \quad (1 \text{ 分})$$

P 与 Q 的第二次碰撞, 设碰后 P 与 Q 的速度分别为 v_{P2} 、 v_{Q2} , 由动量守恒定律得 $mv_{02} = mv_{P2} + 4mv_{Q2}$ ⑨

由机械能守恒定律得

$$\frac{1}{2}mv_{02}^2 = \frac{1}{2}mv_{P2}^2 + \frac{1}{2} \cdot 4mv_{Q2}^2 \quad (10)$$

联立①②⑤⑦⑨⑩式得

$$v_{P2} = -\frac{3}{5} \times \frac{\sqrt{7}}{5}v_0 \quad (11) \quad (1 \text{ 分})$$

$$v_{Q2} = \frac{2}{5} \times \frac{\sqrt{7}}{5}v_0 \quad (12) \quad (1 \text{ 分})$$

设第二次碰撞后 Q 上升的高度为 h_2 , 对 Q 由运动学公式得

$$0 - v_{Q2}^2 = 2 \cdot (-2g \sin \theta) \cdot \frac{h_2}{\sin \theta} \quad (13)$$

联立①②⑤⑦⑨⑩⑬式得

$$h_2 = \frac{7}{25} \cdot \frac{v_0^2}{25g} \quad (14) \quad (1 \text{ 分})$$

设 P 运动至与 Q 刚要发生第三次碰撞前的位置时速度为 v_{03} , 第二次碰后至第三次碰前, 对 P 由动能定理得

$$\frac{1}{2}mv_{03}^2 - \frac{1}{2}mv_{P2}^2 = -mgh_2 \quad (15)$$

联立①②⑤⑦⑨⑩⑬⑮式得

$$v_{03} = \left(\frac{\sqrt{7}}{5}\right)^2 v_0 \quad (16) \quad (1 \text{ 分})$$

P 与 Q 的第三次碰撞, 设碰后 P 与 Q 的速度分别为 v_{P3} 、 v_{Q3} , 由动量守恒定律得

$$mv_{03} = mv_{P3} + 4mv_{Q3} \quad (17)$$

由机械能守恒定律得

$$\frac{1}{2}mv_{03}^2 = \frac{1}{2}mv_{P3}^2 + \frac{1}{2} \cdot 4mv_{Q3}^2 \quad (18)$$

联立①②⑤⑦⑨⑩⑬⑮⑰⑱式得

$$v_{P3} = -\frac{3}{5} \times \left(\frac{\sqrt{7}}{5}\right)^2 v_0 \quad (19) \quad (1 \text{ 分})$$

$$v_{Q3} = \frac{2}{5} \times \left(\frac{\sqrt{7}}{5}\right)^2 v_0 \quad (20) \quad (1 \text{ 分})$$

设第三次碰撞后 Q 上升的高度为 h_3 , 由运动学公式得

$$0 - v_{Q3}^2 = 2 \cdot (-2g \sin \theta) \cdot \frac{h_3}{\sin \theta} \quad (21)$$

联立①②⑤⑦⑨⑩⑬⑮⑰⑱⑳㉑式得

$$h_3 = \left(\frac{7}{25}\right)^2 \cdot \frac{v_0^2}{25g} \quad (22) \quad (1 \text{ 分})$$

.....

总结可知, 第 n 次碰撞后, 物块 Q 上升的高度为

$$h_n = \left(\frac{7}{25}\right)^{n-1} \cdot \frac{v_0^2}{25g} (n=1, 2, 3, \dots) \quad (23) \quad (1 \text{ 分})$$

(3) 当 P 、 Q 到达 H 时, 两物块到此处的速度可视为零, 对两物块运动全过程由动能定理得

$$0 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -(m+4m)gH - \tan \theta \cdot 4mg \cos \theta \cdot \frac{H}{\sin \theta} \quad (24)$$

解得

$$H = \frac{v_0^2}{18g} \quad (25) \quad (1 \text{ 分})$$

(4) 设 Q 第一次碰撞至速度减为零需要的时间为 t_1 , 由运动学公式得

$$v_{Q1} = 2gt_1 \sin \theta \quad (26)$$

设 P 运动到斜面底端时的速度为 v'_{P1} , 需要的时间为 t_2 , 由运动学公式得

$$v'_{P1} = v_{P1} + gt_2 \sin \theta \quad (27)$$

$$v'^2_{P1} - v_{P1}^2 = 2sg \sin \theta \quad (28) \quad (1 \text{ 分})$$

设 P 从 A 点到 Q 第一次碰后速度减为零处匀减速运动的时间为 t_3 , 得

$$v_{02} = (-v_{P1}) - gt_3 \sin \theta \quad (29)$$

当 A 点与挡板之间的距离最小时

$$t_1 = 2t_2 + t_3 \quad (30) \quad (1 \text{ 分})$$

联立 (26)(27)(28)(29)(30) 式, 代入数据得

$$s = \frac{(8\sqrt{7}-13)v_0^2}{200g \sin \theta} \quad (31) \quad (1 \text{ 分})$$