

1. C 【命题点】位移、平均速度及平均速率

选项	分析	正误
A	位移指的是从 M 点到 N 点的有向线段,故位移大小为 1.8 km	×
B	从 M 点漂流到 N 点的路程为 5.4 km ,用时 1 h ,则平均速率为 $v_{\text{率}} = \frac{s}{t} = \frac{5.4}{1} \text{ km/h} = 1.5 \text{ m/s}$	×
C	该游客的平均速度大小为 $v = \frac{x}{t} = \frac{1.8}{1} \text{ km/h} = 0.5 \text{ m/s}$	✓
D	以玉女峰为参考系,所乘竹筏的平均速度大小为 0.5 m/s ,若以所乘竹筏为参考系,玉女峰的平均速度大小也为 0.5 m/s	×

2. B 【命题点】带电粒子在复合场中的匀速直线运动

【解析】质子(${}_1^1\text{H}$)受到向上的洛伦兹力和向下的电场力,满足

$qv_0B = qE$,解得 $v_0 = \frac{E}{B}$,即此时质子的速度满足速度选择

器的条件。以速度 $\frac{v_0}{2}$ 射入的正电子(${}_1^0\text{e}$),所受的洛伦兹力小

于电场力,正电子将向下偏转, **A 错误**;以速度 v_0 射入的电子

(${}_{-1}^0\text{e}$),依然满足电场力等于洛伦兹力,能够做匀速直线运动,即

速度选择器不选择电性只选择速度, **B 正确**;以速度 $2v_0$ 射入的

氦核(${}_2^4\text{He}$)、以速度 $4v_0$ 射入的 α 粒子(${}_2^4\text{He}$),其速度都不满

足速度选择器的条件 $v_0 = \frac{E}{B}$,故都不能做匀速直线运动, **C、**

D 错误。

► 快解

粒子以速度 v 自 O 点沿中轴线射入,恰沿中轴线做匀速直线运动,受到的洛伦兹力和电场力满足 $qvB = qE$,解得 $v = \frac{E}{B}$,由于匀强电场和匀强磁场不变,所以粒子做匀速直线运动的速度大小不变,与粒子的电性、比荷无关,故以速度 v_0 射入的电子(${}_{-1}^0\text{e}$)做匀速直线运动。

3. D 【命题点】理想变压器和动态电路分析

【解析】不考虑变压器的输入电压随负载的变化,即变压器原

线圈的输入电压 $U_1 = U_{V1}$ 不变,根据 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 可知,变压器副

线圈的输出电压 $U_2 = U_{V2}$ 不变;当住户使用的用电器增加时,

即用户的总电阻 $R_{\text{总}}$ 变小,由 $I_2 = \frac{U_2}{R + R_{\text{总}}}$ 可知,副线圈的电流

$I_2 = I_{A2}$ 变大,而由 $U_{V3} = U_2 - I_2 R$ 可知 V_3 减小;由 $U_1 I_1 = U_2 I_2$

可知原线圈的电流 $I_1 = I_{A1}$ 变大。综合上述分析可知 A_1 增

大, A_2 增大, V_2 不变, V_3 减小, **D 正确**。

快解 不考虑变压器的输入电压随负载的变化,即变压器原线圈的输入电压 $U_1 = U_{V1}$ 不变,根据 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 可知,变压器副线圈的输出电压 $U_2 = U_{V2}$ 不变,将输电线的总电阻等效为电源的内阻,根据“串反并同”可得 V_3 减小,副线圈的电流 I_2 变大,由 $U_1 I_1 = U_2 I_2$ 可知原线圈的电流 $I_1 = I_{A1}$ 变大。

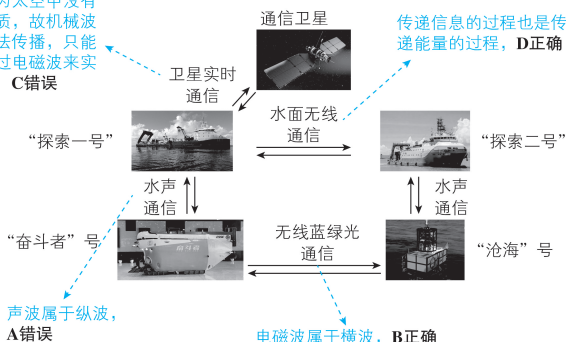
4. B 【命题点】动量定理的应用

【解析】 设空气的密度为 ρ , 交通标志牌的迎风面面积为 S , Δt 时间内的空气质量为 $\Delta m = \rho S v \Delta t$, 假定台风迎面垂直吹向一固定的交通标志牌后末速度变为零, 对风由动量定理有 $-F \Delta t = 0 - \Delta m \cdot v$, 可得 $F = \rho S v^2$, 取 10 级台风的风速 $v_1 = 25 \text{ m/s}$, 16 级台风的风速 $v_2 = 50 \text{ m/s}$, 则有 $\frac{F_2}{F_1} = \frac{v_2^2}{v_1^2} = 4$, B 正确。

一题多解 设空气的密度为 ρ , 固定的交通标志牌的迎风面面积为 S , Δt 时间内的空气质量为 $\Delta m = \rho S v \Delta t$, 以 Δt 时间吹的空气为研究对象, 根据牛顿第二定律可得 $F = \Delta m \cdot a$, 其中 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{\Delta t}$, 联立可得 $F = \rho S v^2$ 。

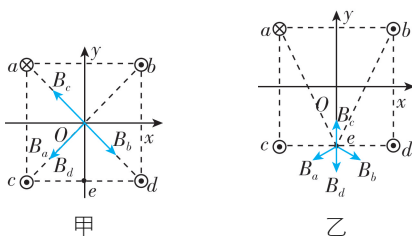
5. BD 【命题点】机械波和电磁波的概念

因为太空中没有介质, 故机械波无法传播, 只能通过电磁波来实现, C 错误



6. BD 【命题点】通电直导线周围磁场的叠加

【解析】 由题知四条导线中的电流大小相等, 且到 O 点的距离相等, 故四条导线在 O 点的磁感应强度大小相等, 根据右手螺旋定则可得, 四条导线在 e 点产生的磁感应强度方向如图甲所示, 由图可知 B_b 与 B_c 相互抵消, B_a 与 B_d 均由 O 指向 c , 则 O 点的磁感应强度方向由 O 指向 c , 其大小不为零, A 错误, B 正确; 四条导线中的电流大小相等, a 、 b 到 e 点的距离相等, 故 a 、 b 在 e 点的磁感应强度大小相等, c 、 d 到 e 点的距离相等, 故 c 、 d 在 e 点的磁感应强度大小相等, 根据右手螺旋定则可得, 四条导线在 O 点产生的磁感应强度方向如图乙所示, 由图可知 B_c 与 B_d 大小相等, 方向相反, 互相抵消; 而 B_b 与 B_a 大小相等, 方向如图乙所示, 根据平行四边形定则, 可知两个磁场在 e 点的合磁感应强度沿 y 轴负方向, C 错误, D 正确。



一题多解 由题知四条导线中的电流大小相等,且到 O 点的距离相等,先求 b 、 c 直导线在 O 处的合磁场,由于 b 、 c 直导线中电流为同向,所以 b 、 c 直导线在 O 处的合磁场为零,再求 a 、 d 直导线在 O 处的合磁场,由于 a 、 d 直导线中电流为反向,所以 a 、 d 直导线在 O 处的合磁场不为零,根据右手螺旋定则可知 O 点的磁感应强度方向由 O 指向 c , A 错误, B 正确;先求 c 、 d 直导线在 e 点处的合磁场,由于 c 、 d 直导线中电流为同向,所以 c 、 d 直导线在 e 点处的合磁场为零,再求 a 、 b 直导线在 e 点处的合磁场,由于 a 、 b 直导线中电流方向相反,根据右手螺旋定则和叠加原理可知 e 点的磁感应强度方向沿 y 轴负方向, C 错误, D 正确。

7. AD 【命题点】电磁感应的综合应用

【解析】由题知, a 进入磁场的速度方向向右, b 的速度方向向左,根据右手定则可知, a 产生的感应电流方向是 E 到 F , b 产生的感应电流方向是 H 到 G ,即两个感应电流方向相同,所以流过 a 、 b 的感应电流是两个感应电流之和,则有 $I = \frac{2BLv_0}{3R}$,对 a ,根据牛顿第二定律有 $BIL = ma$,解得 $a = \frac{2B^2L^2v_0}{3mR}$, **A 正确**;根据左手定则,可知 a 受到的安培力向左, b 受到的安培力向右,由于流过 a 、 b 的电流一直相等,故两个力大小相等,则 a 与 b 组成的系统动量守恒。由题知, t_2 时刻流过 a 的电流为零,说明穿过 a 、 b 之间区域的磁通量不变,即 a 、 b 在 t_2 时刻达到了共同速度,设为 v 。由题知,金属棒 a 、 b 由相同材料制成,长度均为 L ,电阻分别为 R 和 $2R$,根据电阻定律有 $R = \rho \frac{L}{S}$, $2R = \rho \frac{L}{S'}$,解得 $S' = \frac{1}{2}S$,已知 a 的质量为 m ,设 b 的质量为 m' ,则有 $m = \rho_{\text{密}} V = \rho_{\text{密}} SL$, $m' = \rho_{\text{密}} V' = \rho_{\text{密}} S'L$,联立解得 $m' = \frac{1}{2}m$,取向右为正方向,根据系统动量守恒有 $mv_0 - \frac{1}{2}mv_0 = \left(m + \frac{1}{2}m\right)v$,解得 $v = \frac{1}{3}v_0$, **B 错误**; $q = I\Delta t$,在 $t_1 \sim t_2$ 时间内,因通过两棒的电流时刻相等,所用时间相同,故通过两棒横截面的电荷量相等, **C 错误**;在 $t_1 \sim t_2$ 时间内,对 a 、 b 组成的系统,根据能量守恒有 $\frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2} \times \left(\frac{1}{2}m\right)v_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2} \times \left(\frac{1}{2}m\right)v^2 + Q_{\text{总}}$,解得回路中产生的总热量为 $Q_{\text{总}} = \frac{2}{3}mv_0^2$,焦耳定律 $Q = I^2R\Delta t$,因流过 a 、 b 的电流一直相等,所用时间相同,故 a 、 b 产生的热量与电阻成正比,即 $Q_a : Q_b = 1 : 2$,又 $Q_a + Q_b = Q_{\text{总}} = \frac{2}{3}mv_0^2$,解得 a 棒产生的焦耳热为 $Q_a = \frac{2}{9}mv_0^2$, **D 正确**。

一题多解 取向右为正方向,对 a ,根据动量定理可得 $-F\Delta t = mv - mv_0$,对 b ,根据动量定理可得 $F\Delta t = \frac{1}{2}mv - \left(-\frac{1}{2}mv_0\right)$,联立可得 $v = \frac{1}{3}v_0$ 。

8. BCD 【命题点】开普勒定律

【解析】设椭圆的长轴为 $2a$,两焦点间的距离为 $2c$,则离心率

$0.87 = \frac{c}{a}$, 由题知, Q 与 O 的距离约为 120 AU , 即 $a - c = 120 \text{ AU}$, 由此可得出 a 与 c 的大小。由于 S_2 围绕致密天体做轨迹为椭圆的运动, 根据万有引力定律可知无法求出两者的质量之比, **A 错误**; 根据开普勒第三定律有 $\frac{a^3}{T^2} = k$, 式中 k 与中心天体的质量 M 有关, 且与 M 成正比; 所以对 S_2 围绕致密天体运动有 $\frac{a^3}{T_{S_2}^2} = k_{\text{致}} \propto M_{\text{致}}$, 对地球围绕太阳运动的过程有 $\frac{r_{\text{地}}^3}{T_{\text{地}}^2} = k_{\text{太}} \propto M_{\text{太}}$, 两式相比, 可得 $\frac{M_{\text{致}}}{M_{\text{太}}} = \frac{a^3 T_{\text{地}}^2}{r_{\text{地}}^3 T_{S_2}^2}$, 故由上式可以求出银河系中心致密天体与太阳的质量之比, **B 正确**; 根据开普勒第二定律有 $\frac{1}{2} v_P (a+c) = \frac{1}{2} v_Q (a-c)$, 解得 $\frac{v_P}{v_Q} = \frac{a-c}{a+c}$, 故可以求出 S_2 在 P 点与 Q 点的速度大小之比, **C 正确**; S_2 不管是在 P 点还是在 Q 点, 都只受致密天体的万有引力作用, 根据牛顿第二定律有 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$, 解得 $a = \frac{GM}{r^2}$, 因 P 点到 O 点的距离为 $a+c$, Q 点到 O 点的距离为 $a-c$, 解得 $\frac{a_P}{a_Q} = \frac{(a-c)^2}{(a+c)^2}$, 故可求出 S_2 在 P 点与 Q 点的加速度大小之比, **D 正确**。

9. 2(1分) 3(1分) $\frac{1}{16}$ (2分)

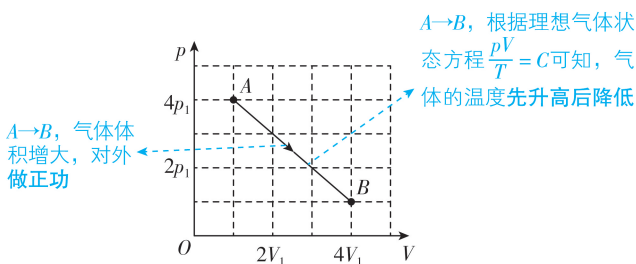
【命题点】氡 β 衰变方程和半衰期

【解析】根据电荷数守恒和质量数守恒, 则有 $3 = A + 0, 1 = Z + (-1)$, 可得 $Z = 2, A = 3$; 经过 50 年, 排入海水中的氡的剩余

质量为 $m' = m \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{50}{12.5}} = \frac{1}{16} m$ 。

10. 做正功(2分) 先升高后降低(2分)

【命题点】理想气体状态方程



一题多解 由题图可知 $p_A V_A = p_B V_B$, 所以状态 A 与状态 B 的温度相同, 过 A 点与 B 点作一条等温线, 过 AB 线上某点再作一条等温线, 等温线离原点越远, 温度越高, 可知从状态 A 到状态 B , 气体的温度先升高后降低。

11. (1) 1.415(1分) (3) $\times 10$ (1分) (5) 160(1分)
(7) 3.14×10^{-4} (2分)

【命题点】测量电阻丝电阻率的实验

【解析】(1) 螺旋测微器的读数方法是固定刻度读数加上可动刻度读数, 该电阻丝的直径为 $d = 1 \text{ mm} + 41.5 \times 0.01 \text{ mm} = 1.415 \text{ mm}$ 。

(3) 使用多用电表电阻挡测电阻时, 为了减小误差, 应尽可能

能使指针偏转至刻度盘中央附近,由于该电阻丝的阻值约为 $100\sim 200\ \Omega$,而表盘中央刻度是 15,所以应选择“ $\times 10$ ”倍率的电阻挡。

(5)表盘上 $15\sim 20$ 之间的分度值为 $1\ \Omega$,所以该电阻丝的电阻 $R=16\times 10\ \Omega=160\ \Omega$ 。

(7)根据电阻定律有 $R=\rho\frac{L}{S}=\rho\frac{4L}{\pi d^2}$,解得该电阻丝的电阻率 $\rho=\frac{\pi d^2 R}{4L}\approx 3.14\times 10^{-4}\ \Omega\cdot\text{m}$ 。

12. (2)往右移(1分) (4)0.15(2分) (5)逐渐变小(2分)
空气阻力随速度增大而增大(2分)

【命题点】探究空气阻力与速度的关系实验

【解析】(2)由题图(b)可知,纸带从左往右点间距逐渐增大,说明小车做加速运动,即平衡摩擦力过度,应减小木板的倾角,即将垫块往右移。

(4)打 F 点时小车的速度大小等于打 E 、 G 两点之间小车的平均速度大小,即 $v_F=\frac{x_{EG}}{2T}=\frac{(6.92-3.85)\times 10^{-2}}{2\times 0.1}\text{ m/s}\approx$

0.15 m/s。

(5) $v-t$ 图像的斜率表示加速度,所以由图像可知小车加速度大小逐渐变小。小车加速度随速度的增大而变小,根据牛顿第二定律可知小车所受合外力 F 随速度的增大而变小。安装上薄板后,设小车所受空气阻力大小为 f ,则 $F=T-f$,而细绳拉力 T 不变,故据此得到的结论是空气阻力随速度增大而增大。

方法拓展 平衡摩擦力时,把木板一端垫高,调节木板的倾角,使小车在不受绳的拉力时能拖动纸带沿木板做匀速直线运动即可。

13. (1)1.2 m/s² 3 840 m (2)1 875 kg

【命题点】匀变速直线运动和牛顿运动定律

【解析】(1)设探测器在动力减速阶段所用时间为 t ,初速度大小为 v_1 ,末速度大小为 v_2 ,加速度大小为 a ,由匀变速直线运动速度—时间公式有 $v_2=v_1-at$ ① (1分)

代入题给数据得 $a=1.2\text{ m/s}^2$ ② (1分)

设探测器下降的距离为 s ,由匀变速直线运动位移公式有

$$s=v_1 t-\frac{1}{2}at^2 \quad \text{③} \quad (1\text{分})$$

联立②③式并代入题给数据得 $s=3\ 840\text{ m}$ ④ (1分)

(2)设火星的质量、半径和表面重力加速度大小分别为 $M_{\text{火}}$ 、 $r_{\text{火}}$ 和 $g_{\text{火}}$,地球的质量、半径和表面重力加速度大小分别为 $M_{\text{地}}$ 、 $r_{\text{地}}$ 和 $g_{\text{地}}$,由牛顿运动定律和万有引力定律,对质量为 m 的物体有

$$\frac{GM_{\text{火}} m}{r_{\text{火}}^2}=mg_{\text{火}} \quad \text{⑤} \quad (2\text{分})$$

$$\frac{GM_{\text{地}} m}{r_{\text{地}}^2}=mg_{\text{地}} \quad \text{⑥} \quad (2\text{分})$$

设变推力发动机的最大推力为 F ,能够悬停的火星探测器最大质量为 m_{max} ,由力的平衡条件有 $F=m_{\text{max}}g_{\text{火}}$ ⑦ (1分)

联立⑤⑥⑦式并代入题给数据得 $m_{\text{max}}=1\ 875\text{ kg}$ ⑧

(1分)

在悬停避障阶段,该变推力发动机能实现悬停的探测器的最大质量约为 1 875 kg。

一题多解 在动力减速阶段,探测器的下降距离 $s =$

$$\frac{v_1 + v_2}{2} t = \frac{96 + 0}{2} \times 80 \text{ m} = 3\,840 \text{ m}。$$

14. (1) 7 m/s^2 (2) 26 J (3) 1.3 m

【命题点】牛顿运动定律和动能定理

【解析】(1) 设小滑块的质量为 m , 斜面倾角为 θ , 滑块与斜面间的动摩擦因数为 μ , 滑块受斜面的支持力大小为 N , 滑动摩擦力大小为 f , 拉力为 10 N 时滑块的加速度大小为 a 。由牛顿第二定律和滑动摩擦力公式有

$$T + mg \sin \theta - f = ma \quad (1 \text{ 分})$$

$$N = mg \cos \theta \quad (1 \text{ 分})$$

$$f = \mu N \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{联立①②③式并代入题给数据得 } a = 7 \text{ m/s}^2 \quad (1 \text{ 分})$$

(2) 设滑块在 AB 段运动的过程中拉力所做的功为 W , 由功的定义有 $W = T_1 s_1 + T_2 s_2$ ⑤ (2 分)

式中 T_1 、 T_2 和 s_1 、 s_2 分别对应滑块下滑过程中两阶段所受的拉力及相应的位移大小。由题图(b)得 $T_1 = 8 \text{ N}$, $s_1 = 1 \text{ m}$, $T_2 = 10 \text{ N}$, $s_2 = 1 \text{ m}$ 。设滑块第一次到达 B 点时的动能为 E_k , 由动能定理有 $W + (mg \sin \theta - f)(s_1 + s_2) = E_k - 0$ ⑥ (2 分)

$$\text{联立②③⑤⑥式并代入题给数据得 } E_k = 26 \text{ J} \quad (1 \text{ 分})$$

(3) 由机械能守恒定律可知, 滑块第二次到达 B 点时, 动能仍为 E_k 。设滑块到 B 点的最大距离为 s_{\max} , 由动能定理有 $-(mg \sin \theta + f)s_{\max} = 0 - E_k$ ⑧ (2 分)

$$\text{联立②③⑦⑧式并代入题给数据得 } s_{\max} = 1.3 \text{ m} \quad (1 \text{ 分})$$

一题多解 (1)(2) 当拉力为 8 N 时, 根据牛顿第二定律有 $T_1 + mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = ma_1$,

根据运动学公式则有 $v_1^2 = 2a_1 s_1$,

当拉力为 10 N 时, 根据牛顿第二定律有

$$T_2 + mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = ma_2,$$

代入题给数据得 $a_2 = 7 \text{ m/s}^2$,

根据运动学公式则有 $v_2^2 - v_1^2 = 2a_2 s_2$,

滑块第一次到达 B 点时的动能 $E_k = \frac{1}{2} m v_2^2$,

联立并代入题给数据得 $E_k = 26 \text{ J}$ 。

(3) 由机械能守恒定律可知滑块第二次到达 B 点时, 速度大小仍为 v_2 , 滑块沿斜面上滑, 根据牛顿第二定律则有

$$mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta = ma_3,$$

根据运动学公式则有 $v_2^2 = 2a_3 s_{\max}$,

联立并代入题给数据得 $s_{\max} = 1.3 \text{ m}$ 。

15. (1) $\frac{\sqrt{2} k Q^2}{4 L^2}$ (2) $\frac{8 k Q^2 \sqrt{g L}}{9 g L^2}$ (3) $E_k > \frac{(13 - 8 \sqrt{2}) k Q^2}{27 L}$

【命题点】库仑定律、动量守恒定律和能量守恒定律

【解析】(1) 设 A 到 M 点的距离为 R_M , A 点的电荷对小球 S_1

的库仑力大小为 F_A , 由库仑定律有 $F_A = \frac{k Q^2}{R_M^2}$ ① (1 分)

设小球 S_1 在 M 点所受电场力大小为 F_M , 由力的合成有

$$F_M = 2F_A \cos 45^\circ \quad (1 \text{ 分})$$

联立①②式, 由几何关系并代入数据得 $F_M = \frac{\sqrt{2}kQ^2}{4L^2}$ (1 分)

(2) 设 O 点下方 $\frac{L}{2}$ 处为 C 点, A 到 C 的距离为 R_C , 小球 S_1 在 C 处所受的库仑力大小为 F_C , 由库仑定律和力的合成有

$$F_C = 2 \frac{kQ^2}{R_C^2} \sin \theta \quad (1 \text{ 分})$$

式中 $\sin \theta = \frac{OC}{R_C}$ (1 分)

设小球 S_1 的质量为 m_1 , 小球 S_1 在 C 点的加速度大小为 a , 由牛顿第二定律有 $F_C + m_1 g = m_1 a$ (1 分)

由图(c)可知, 式中 $a = 2g$ (1 分)

联立④⑤式并代入数据得 $m_1 = \frac{8kQ^2}{27gL^2}$ (1 分)

设 S_2 的质量为 m_2 , 碰撞前、后 S_1 的速度分别为 v_1 、 v_1' , S_2 碰撞前、后的速度分别为 v_2 、 v_2' , 取竖直向下为正方向, 由动量守恒定律和能量守恒定律有 $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$ (1 分)

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \quad (1 \text{ 分})$$

设小球 S_2 碰撞前的动量为 p_2 , 由动量的定义有

$$p_2 = m_2 v_2 \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{依题意有 } \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 = \frac{4kQ^2}{3L} \quad (1 \text{ 分})$$

$$m_1 = m_2,$$

联立⑥⑦⑧⑨式并代入数据可得 $p_2 = -\frac{8kQ^2 \sqrt{gL}}{9gL^2}$ (1 分)

即碰撞前 S_2 的动量大小为 $\frac{8kQ^2 \sqrt{gL}}{9gL^2}$ 。

(3) 设 O 点上方 $\frac{L}{2}$ 处为 D 点。根据图(c)和对称性可知, S_1 在 D 点所受的电场力大小等于小球的重力大小, 方向竖直向上, S_1 在此处加速度为零; S_1 在 D 点上方做减速运动, 在 D 点下方做加速运动, 为保证 S_1 能运动到 N 点与 S_2 相碰, S_1 运动到 D 点时的速度必须大于零 (1 分)

设 M 点与 D 点电势差为 U_{MD} , 由电势差定义有

$$U_{MD} = \varphi_M - \varphi_D \quad (1 \text{ 分})$$

设小球 S_1 初动能为 E_k , 运动到 D 点时的动能为 E_{kd} , 由动能定理有 $m_1 g(MO - DO) + QU_{MD} = E_{kd} - E_k$ (1 分)

$$E_{kd} > 0 \quad (1 \text{ 分})$$

由对称性可知, D 点与 C 点电势相等, M 点与 N 点电势相

等,依据图(b)所给数据,并联立⑥⑪⑫⑬式可得 $E_k >$

$$\frac{(13-8\sqrt{2})kQ^2}{27L} \quad (14) \quad (1 \text{ 分})$$

快解 (2) 由于 S_1 与 S_2 的质量相等, 小球 S_1 运动到 N 点时与小球 S_2 发生弹性碰撞, 所以 S_1 与 S_2 交换速度, 碰撞后 S_1 的动能等于碰撞前 S_2 的动能, 根据 $p^2 = 2mE_k$ 可知碰撞前 S_2 的动量大小 $p_2 = \sqrt{2m_2E_{k2}} = \sqrt{2m_1E_{k1}} = \sqrt{2 \cdot \frac{8kQ^2}{27gL^2} \cdot \frac{4kQ^2}{3L}} = \frac{8kQ^2 \sqrt{gL}}{9gL^2}$ 。