



作业手册

全品
选考专题

选考答案

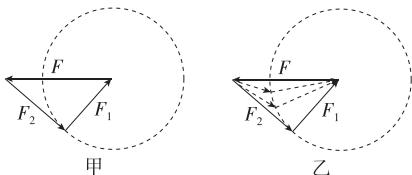
物理



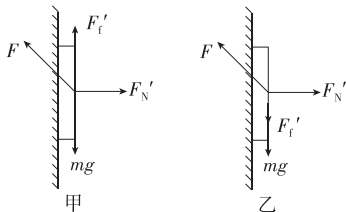
第1讲 力与物体的平衡

1. D 【解析】根据滑动摩擦力的公式 $F_f = \mu F_N$, 可知滑动摩擦力的大小与接触面积无关, 只与接触面的粗糙程度和压力大小有关, 由题可知三个货箱各表面材质和粗糙程度均相同, 压力大小也相同, 故摩擦力相同, 即 $F_{f1} = F_{f2} = F_{f3}$, 选项 D 正确.

2. A 【解析】对结点 O, 由平衡条件作出矢量三角形如图甲所示, 由题意知, F 恒定, F_1 大小不变, 以力 F 的箭头起点为圆心, 以力 F_1 为半径作一辅助圆, 改变 F_1 的方向, 作出中间过程的矢量三角形, 如图乙所示, 可得 F_2 的读数减小, 同时 β 角减小, 选项 A 正确.



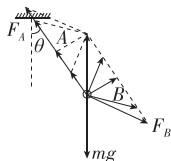
3. D 【解析】拖把下移时, 对拖把受力分析, 由平衡条件有 $mg = F \cos \theta + F'_t$, $F'_N = F \sin \theta$, $F'_t = \mu F'_N$, 解得 $F = \frac{mg}{\cos \theta + \mu \sin \theta}$, 故 D 正确; 拖把上移时, 对拖把受力分析, 由平衡条件有 $mg + F'_t = F \cos \theta$, $F'_N = F \sin \theta$, $F'_t = \mu F'_N$, 解得 $F = \frac{mg}{\cos \theta - \mu \sin \theta}$, 故 C 错误; 由牛顿第三定律可知, 黑板受到的压力的 $F_N = F'_N = F \sin \theta$, 拖把对黑板的摩擦力 $F_t = F'_t = \mu F'_N = \mu F \sin \theta$, 且拖把下移时, $F_t = \frac{\mu mg \sin \theta}{\cos \theta + \mu \sin \theta}$, 拖把上移时, $F_t = \frac{\mu mg \sin \theta}{\cos \theta - \mu \sin \theta}$, 故 A、B 错误.



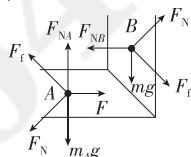
4. A 【解析】设每根细绳对纱布拉力为 F , 由平衡条件得 $4F \cos \theta = mg$, 解得 $F = \frac{mg}{4 \cos \theta}$, 由牛顿第三定律可知, 每根细绳受到的拉力 $F' = F = \frac{mg}{4 \cos \theta}$, 故 A 正确, B 错误; 豆浆流出过程中, 整体的质量减小, 根据 $F' =$

$\frac{mg}{4 \cos \theta}$, 可知 F' 减小, 故 C 错误; 豆浆流出过程中, 整体的重心先向下移, 当豆浆流出到一定程度后, 重心又会上移, 故 D 错误.

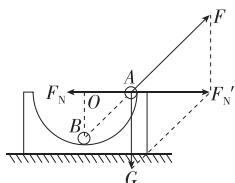
5. D 【解析】对小球受力分析, 由平衡条件可知, 两细线张力的合力与重力平衡, 当细线 B 的方向变化时, 两张力变化如图所示, 当细线 B 垂直于细线 A 时, 细线 B 的张力最小, D 正确, C 错误; 当细线 B 竖直向上拉小球时, 细线 A 的张力可以达到最小值, A、B 错误.



6. C 【解析】对 A、B 分别受力分析如图所示, 其中 $F_t = \mu F_N$, 门门刚好启动时, 对 A 在水平方向上有 $F = F_N \sin 45^\circ + \mu F_N \cos 45^\circ$, 对于 B 在竖直方向上有 $F_N \cos 45^\circ = mg + \mu F_N \sin 45^\circ$, 结合已知条件 $F = \frac{3}{2} mg$, 联立解得 $\mu = 0.2$, 故 C 正确.



7. C 【解析】以凹槽和 A、B 组成的整体作为研究对象, 在竖直方向上, 整体受到竖直向下的重力和竖直向上的支持力, 两个力大小相等, 在整个过程中, 凹槽受到地面的支持力保持不变, 在水平方向上, 整体不受其他外力, 故地面与凹槽之间没有摩擦力, 选项 A 错误, C 正确; 以 A 为研究对象, 受力分析如图所示, 由相似三角形可得 $\frac{F'_N}{OA} = \frac{F}{AB} = \frac{G}{OB}$, 由于在整个过程中, OB 、 OA 不变, 重力 G 也不变, 所以 F'_N 大小不变, 小球 A 受到凹槽的支持力 F_N 大小不变, 而 AB 变小, 则 A、B 两球间的库仑力 F 变小, 选项 B、D 错误.



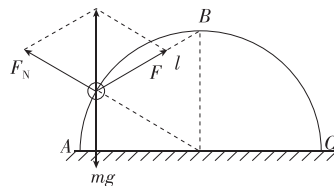
8. D 【解析】磁感应强度方向处处垂直

直指向 OO' , 对导线受力分析, 可知安培力的方向一定与拉力方向垂直, 当导线静止在图甲右侧位置时, 根据三力平衡的知识和左手定则可知, 导线中电流方向为由 M 指向 N, A 错误;

平衡时有 $\tan \theta = \frac{BIL}{F_T}$, $\sin \theta = \frac{BIL}{mg}$, $F_T = mg \cos \theta$, 故 $\sin \theta$ 与电流 I 成正比, 由于导线所在的位置磁感应强度 B 的大小相等, 所以当电流 I 增大时, 安培力变大, 所以平衡后, θ 角变大, 拉力变小, B、C 错误, D 正确.

9. D 【解析】在绳上靠近 M 处取一点 Q, 使得绳 QM 段的长度为总长度的 $\frac{1}{4}$, 根据对称性可知, 绳上 Q 点的张力与 P 点的张力大小相等, 对 PQ 分析可知, 沿电场方向有 $F_{Qy} + F_{Py} = 2F_{Py} = \frac{Eq}{2}$, 解得 P 点的张力沿电场方向的分力 $F_{Py} = \frac{Eq}{4}$, 由于绳上 P 点的张力大小为 $\frac{\sqrt{13}}{4} qE$, 则 P 点的张力垂直于电场方向的分力 $F_{Px} = \sqrt{F_P^2 - F_{Py}^2} = \frac{\sqrt{3}}{2} Eq$, 再对 PN 段分析可知, 垂直于电场方向有 $F_{Nx} = F_{Px} = \frac{\sqrt{3}}{2} Eq$, 沿电场方向有 $F_{Ny} = \frac{1}{4} Eq + F_{Py} = \frac{1}{2} Eq$, 则 M 点的绝缘钉受到绳的拉力 $F_M = F_N = \sqrt{F_{Nx}^2 + F_{Ny}^2} = Eq$, 故 D 正确.

10. AC 【解析】对小球受力分析如图所示, 根据相似三角法可得 $\frac{mg}{R} = \frac{F_N}{R} = \frac{F}{l}$, 使小球从圆环最低点 A 缓缓移动到最高点 B 的过程中, 小球与 B 点间的距离 l 逐渐减小, 则拉力 F 减小, 圆环对小球的支持力 F_N 大小始终不变, 根据牛顿第三定律可得小球对圆环的压力大小始终不变, 故 A、C 正确.

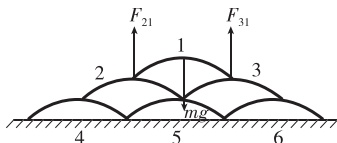


11. D 【解析】分别对 6 个瓦片受力 (图中仅画出瓦片 1 的受力情况), 由平

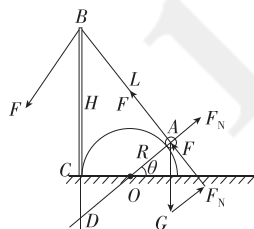
平衡条件和牛顿第三定律可得

$$F_{21} = F_{31} = \frac{1}{2}mg, F_{53} = F_{63} = \frac{1}{2}(F_{13} + mg) = \frac{3}{4}mg, F_{42} = F_{52} = \frac{1}{2}(F_{12} + mg) = \frac{3}{4}mg, F_{地4左} = F_{地4右} = \frac{1}{2}(mg + F_{24}) = \frac{7}{8}mg, F_{地5左} = F_{地5右} = \frac{1}{2}(mg + F_{25} + F_{35}) = \frac{5}{4}mg, F_{地6左} = F_{地6右} = \frac{1}{2}(mg + F_{36}) = \frac{7}{8}mg, \text{根据牛顿第三定律,瓦片4右端对地面的压力与左端的一样大,均等于 } \frac{7}{8}mg, \text{故 A 错误;瓦片5右端受到的支持力与瓦片2右端受到的支持力之比为 } \frac{F_{地5右}}{F_{52}} = \frac{\frac{5}{4}mg}{\frac{3}{4}mg} = \frac{5}{3}, \text{故 B 错误;根据}$$

牛顿第三定律,瓦片4顶端受到的压力 $F_{24} = F_{42} = \frac{3}{4}mg$,故 C 错误;根据牛顿第三定律,瓦片5左端对地面的压力 $F_{5左地} = F_{地5左} = \frac{5}{4}mg$,故 D 正确。

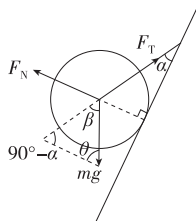


12. C 【解析】根据题意,对小球受力分析,受到拉力、支持力和重力,把拉力和支持力平移,组成矢量三角形,延长 AO 和 BC 交于 D 点,如图所示,由几何关系和相似三角形有 $\frac{F}{L} = \frac{mg}{H + R \tan \theta}$,解得 $F = \frac{mgL}{H + R \tan \theta}$,故 C 正确。



13. D 【解析】在木板转动过程中,球体的受力如图所示,根据正弦定理可得 $\frac{mg}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \frac{F_T}{\sin \theta} = \frac{F_N}{\sin \beta}$,其中 $\alpha = 30^\circ$ 保持不变, θ 由 90° 逐渐减小到 0 , β 从锐角 30° 逐渐增大到钝角 120° ,则 $\sin(90^\circ - \alpha)$ 保持不变, $\sin \theta$ 逐渐减小, $\sin \beta$ 先增大后减小,可知悬绳对足球的拉力 F_T 逐渐减小,木板对足球的支持力 F_N 先增大后减小,即足球对木板的压力先增大后减小. 初始状态时 F_N 最小,为

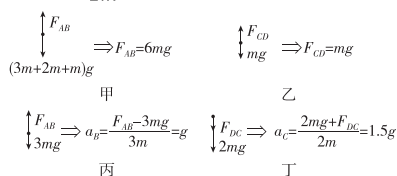
$F_{N\min} = mg \tan \alpha = 3\sqrt{3} \text{ N}$, A 错误;当木板转动 60° 时, $\beta = 90^\circ$,此时 F_N 最大,为 $F_{N\max} = \frac{mg}{\sin 60^\circ} = 6\sqrt{3} \text{ N}$,此时 $\theta = 30^\circ$, $F_T = \frac{mg}{\sin 60^\circ} \cdot \sin 30^\circ = 3\sqrt{3} \text{ N}$,则 F_N 是 F_T 大小的 2 倍, B、C 错误;当木板转动 30° 时, F_N 、 F_T 、 mg 三力构成的矢量三角形为等边三角形, F_N 与 F_T 大小相等, D 正确。



第2讲 力与直线运动

1. CD 【解析】图中光照强度突然降为 0 时表示电线杆在挡光,对应时刻表示杆影经过手机时刻,由图像可知, $0 \sim 10 \text{ s}$ 内动车做加速运动, $10 \sim 16 \text{ s}$ 内动车做匀速运动,故 A、B 错误; $0 \sim 10 \text{ s}$ 内动车平均速率为 $\bar{v} = \frac{x}{t} = \frac{5 \times 50}{10} \text{ m/s} = 25 \text{ m/s}$, 14 s 时动车速率为 $v = \frac{x}{t} = \frac{6 \times 50}{6} \text{ m/s} = 50 \text{ m/s}$,故 C、D 正确。

2. A 【解析】将 B、C 间的细线剪断前, A、B、C、D 受力平衡,对 B、C、D 整体受力分析,如图甲所示, A、B 间弹簧的弹力 $F_{AB} = 6mg$,对 D 受力分析,如图乙所示, C、D 间弹簧的弹力 $F_{CD} = mg$;剪断细线瞬间,细线无拉力,弹簧弹力不突变,对 B 受力分析,如图丙所示,则 B 所受的合力 $F_B = F_{AB} - 3mg = 3mg$, B 的加速度大小 $a_B = \frac{F_B}{3m} = g$,对 C 受力分析,如图丁所示,则 C 所受的合力 $F_C = F_{CD} + 2mg = 3mg$, C 的加速度大小 $a_C = \frac{F_C}{2m} = 1.5g$,故 A 正确。



3. D 【解析】 $v-t$ 图像与时间轴围成的面积表示位移, $v-t$ 图像的斜率表示加速度,由图像可知, $0 \sim 1 \text{ s}$ 内物块沿斜面上滑的位移大小为 $x = \frac{1}{2} \times 8 \times 1 \text{ m} = 4 \text{ m}$,加速度大小为 $a_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} = \frac{8}{1} \text{ m/s}^2 = 8 \text{ m/s}^2$,由牛顿第二定律有 $mg \sin \theta + F_f = ma_1$,解得 $F_f = 3 \text{ N}$,物块沿斜面下滑时,由牛顿第二定律有 $mg \sin \theta - F_f = ma_2$,解得 $a_2 = 2 \text{ m/s}^2$,根据速度—位移关系式有 $v^2 = 2a_2x$,解得 $v = 4 \text{ m/s}$,故 D

正确。

4. D 【解析】由图像可知,从 t_3 时刻开始的一段时间内手机的加速度方向向下且大小等于重力加速度,这段时间内手机与手掌没有力的作用,手机离开了手掌, A 错误;根据 $\Delta v = a \Delta t$ 可知, $a-t$ 图像与时间轴围成的面积表示速度变化量,由图像可知, $0 \sim t_2$ 时间内,速度变化量仍为正值,说明手机在 t_1 时刻还没有到最高点,手机在 t_2 时刻前后速度均为正,运动方向没有发生改变, B、C 错误;由图像可知, $t_1 \sim t_2$ 时间内加速度方向向上且不断减小,根据牛顿第二定律得 $F_N - mg = ma$,即 $F_N = ma + mg$,可知 $t_1 \sim t_2$ 时间内支持力不断减小, $t_2 \sim t_3$ 时间内加速度方向向下且不断增大,根据牛顿第二定律得 $mg - F_N = ma$,即 $F_N = mg - ma$,可知 $t_2 \sim t_3$ 时间内支持力还是不断减小,即手机在 $t_1 \sim t_3$ 间内受到的支持力一直减小, D 正确。

5. ACD 【解析】由图像可知,物块在 $0 \sim 10 \text{ m}$ 内速度减小,做匀减速直线运动,加速度大小为 $a_1 = \frac{v_0^2}{2x_1} = \frac{25}{2 \times 10} \text{ m/s}^2 = 1.25 \text{ m/s}^2$,故 A 正确;物块做匀减速直线运动的时间为 $t_1 = \frac{v_0}{a_1} = \frac{5}{1.25} \text{ s} = 4 \text{ s}$,即在 4 s 末恒力 F 反向,物块开始做匀加速运动,故 B 错误;物块做匀加速运动的加速度大小 $a_2 = \frac{v'^2}{2x_2} = \frac{16}{2 \times (26-10)} \text{ m/s}^2 = 0.5 \text{ m/s}^2$,根据牛顿第二定律有 $F + F_f = ma_1$, $F - F_f = ma_2$,联立解得 $F = 0.875 \text{ N}$, $F_f = 0.375 \text{ N}$,则物块与水平地面间的动摩擦因数为 $\mu = \frac{F_f}{mg} = \frac{0.375}{1 \times 10} = 0.0375$,故 C、D 正确。

6. C 【解析】由图像可知,歼-20 的加速度为 $a = \frac{400-100}{6} \text{ m/s}^2 = 50 \text{ m/s}^2$,歼-20 在追击敌机的过程中,当歼-20 的速度小于敌机速度时,两者之间的距离在增大,当歼-20 的速度大于敌机速度时,两者之间的距离在减小直至追上,即在追上敌机前,歼-20 与敌机的距离先增大后减小,当 $t = 6 \text{ s}$ 时,歼-20 与敌机速度相等,此时两者之间的距离最大,最大距离为 $\Delta x = v_{\text{敌}} t - v_0 t - \frac{1}{2} a t^2 + x_0 = 400 \times 6 \text{ m} - 100 \times 6 \text{ m} - \frac{1}{2} \times 50 \times 6^2 \text{ m} + 4000 \text{ m} = 4900 \text{ m}$,选项 C 正确, B 错误;当 $t' = 14 \text{ s}$ 时,敌机的位移为 $x_{\text{敌}} = v t' = 400 \times 14 \text{ m} = 5600 \text{ m}$,歼-20 的位移为 $x_{\text{歼}} = v_0 t' + \frac{1}{2} a t'^2 = 100 \times 14 \text{ m} + \frac{1}{2} \times 50 \times 14^2 \text{ m} = 6300 \text{ m}$,由于 $x_{\text{歼}} < x_{\text{敌}} + x_0$,故当 $t' = 14 \text{ s}$ 时,歼-20 没追上敌机,即歼-20 是在之后的匀速运动过程中追上敌机的,歼-20 匀速运动时

的速度为 $v = v_0 + at' = 100 \text{ m/s} + 50 \times 14 \text{ m/s} = 800 \text{ m/s}$, 选项 A、D 错误。

7. C 【解析】对工件 D 受力分析, 当工件 A 与 D 之间恰好没有作用力时, 工件 D 只受到重力、工件 B 对 D 的弹力作用, 弹力方向垂直于接触面 (沿 B、D 的轴线连线方向), 弹力和重力的合力产生加速度, 如图所示, 根据牛顿第二定律得 $F_{\text{合}} = ma = \frac{mg}{\tan 60^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{3} mg$,

则当 $a = \frac{\sqrt{3}}{3} g$ 时工件 A 与 D 之间恰好没有作用力, 再把工件 A、B、D 作为整体进行受力分析, 当汽车向左加速运动时, 工件 A 相对于车有向右运动的趋势, 所以车厢与工件 A 之间的弹力是 0, 工件 C 对 B 有水平向左的弹力, 竖直方向上的支持力和重力平衡, 在水平方向, 工件 C 对 A、B、D 整体的作用力大小为 $F = 3ma = \sqrt{3} mg$, 故 C 正确。

8. D 【解析】当 $0 < F \leq \mu mg$ 时, A 受到拉力与静摩擦力的作用, 二者可以平衡, 绳中拉力为 0, 故 A 正确; 当 $\mu mg < F \leq 2\mu mg$ 时, 整体受到拉力与摩擦力的作用, 二者可以平衡, 整体处于静止状态, 此时 A 受到的静摩擦力达到最大值 μmg , 绳中拉力为 $F - \mu mg$, 若 $F = \frac{3}{2} \mu mg$, 则 $F - \mu mg = \frac{F}{3}$, 故 B 正确, D 错误; 当 $F > 2\mu mg$ 时, 整体将加速运动, 根据牛顿第二定律, 对整体有 $F - 2\mu mg = 2ma$, 对 B 有 $F_{\text{拉}} - \mu mg = ma$, 联立解得绳中拉力为 $F_{\text{拉}} = \frac{F}{2}$, 故 C 正确。

9. BC 【解析】若在 F 作用下三个砖块保持相对静止并一起向上运动, 则根据牛顿第二定律得 $F - 3mg = 3ma$, 解得三个砖块的加速度为 $a = \frac{F}{3m} - g$, A 错误; 两轻绳夹角为 120° , 则两轻绳的拉力为 $F_T = F$, 对砖块 B 进行受力分析, 当砖块 B 受到的摩擦力达到最大静摩擦力时, 根据牛顿第二定律得 $2F_{\text{fm}} - mg = ma$, 又 $F_{\text{fm}} = \mu_m F_N$, $F_N = F_T \cos 30^\circ$, 联立解得 $F_N = \frac{\sqrt{3}}{2} F$, $F_{\text{fm}} = \frac{1}{6} F$, $\mu_m = \frac{\sqrt{3}}{9}$, 所以若 $\mu > \frac{\sqrt{3}}{9}$, 则砖块 A、B 之间和砖块 B、C 之间的摩擦力均为静摩擦力, 无论 F 有多大, 砖块 A、B、C 都将保持相对静止, B 正确; 若 $\mu = \frac{\sqrt{3}}{9}$, 且 $F > 3mg$, 则三块砖相对静止且一起匀加速运动, 对砖块 B, 根据牛顿第二定律得 $2F_f - mg = ma$, 解得砖块 A、B 之间的摩擦力 $F_f = \frac{1}{6} F$, C 正确; 若 $\mu = \frac{\sqrt{3}}{10}$, 且 $F > 3mg$, 则砖块 B 与砖

块 A、C 之间发生相对滑动, 砖块 A、B 之间的摩擦力为 $F_f' = \mu F_N = \frac{3}{20} F$, D 错误。

10. (1) 2 N (2) 0.6 (3) $\frac{5+\sqrt{2}}{4} \text{ s}$

【解析】(1) 设斜面倾角为 θ , 在 $0 \sim 1 \text{ s}$ 时间内小球从 A 点开始运动至撞到挡板, 由速度—时间关系式得 $2v_0 = a_1 t_1$

由牛顿第二定律得

$$mg \sin \theta - F_f = ma_1$$

在 $1 \sim 1.25 \text{ s}$ 时间内小球从挡板反弹运动到 C 点, 由速度—时间关系式得 $v_0 = a_2 (t_2 - t_1)$

由牛顿第二定律得

$$mg \sin \theta + F_f = ma_2$$

又知 $a_2 - a_1 = 4 \text{ m/s}^2$

联立解得 $a_1 = 4 \text{ m/s}^2$, $a_2 = 8 \text{ m/s}^2$, $v_0 = 2 \text{ m/s}$, $F_f = 2 \text{ N}$

(2) 由 (1) 分析可知 $mg \sin \theta - F_f = ma_1$, $a_1 = 4 \text{ m/s}^2$, $F_f = 2 \text{ N}$

解得 $\sin \theta = 0.6$

(3) $v-t$ 图像与时间轴围成的面积表示位移, 由图像可知, B、C 两点之间位移大小为

$$x_1 = \frac{v_0}{2} \times (t_2 - t_1) = 0.25 \text{ m}$$

设小球从 C 点运动到 B 点的时间为 t , 由位移—时间关系式得

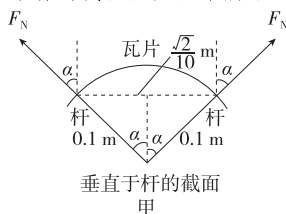
$$x_1 = \frac{1}{2} a_1 t^2$$

$$\text{解得 } t = \frac{\sqrt{2}}{4} \text{ s}$$

$$\text{则 } t_3 = t_2 + t = \frac{5+\sqrt{2}}{4} \text{ s}$$

11. (1) $\frac{\sqrt{6}}{6}$ (2) 6 或 7

【解析】(1) 设每根杆对瓦片的支持力 F_N 与两杆所在平面的夹角为 α , 两杆所在平面与水平面的夹角为 θ , 垂直于杆的截面图如图甲所示

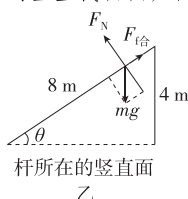


$$\text{由几何关系得 } \sin \alpha = \frac{\frac{1}{2} \times \frac{\sqrt{2}}{10} \text{ m}}{0.1 \text{ m}}$$

两杆对瓦片的支持力的合力 $F_{N\text{合}} = 2F_N \cos \alpha$, 其方向垂直于两杆所在平面向上

根据垂直于杆方向上合力为零, 有 $F_{N\text{合}} = mg \cos \theta$

沿杆方向的竖直截面图如图乙所示



$$\text{由几何关系得 } \sin \theta = \frac{4 \text{ m}}{8 \text{ m}}$$

瓦片所受两杆的摩擦力的合力 $F_{f\text{合}} = 2\mu_0 F_N$, 其方向沿杆向上

若瓦片恰好下滑, 则有 $F_{f\text{合}} = mg \sin \theta$

$$\text{联立解得 } \mu_0 = \frac{\sqrt{6}}{6}$$

(2) 对某一个瓦片的运动进行分析, 在 L_1 范围内, 根据牛顿第二定律得

$$mg \sin \theta - 2 \cdot \frac{\mu_0}{2} F_N = ma_1$$

$$\text{解得 } a_1 = 2.5 \text{ m/s}^2$$

所以瓦片在此范围内做匀加速直线运动, 设运动到边界点时速度为 v_1 , 所用时间为 t_1 , 由运动学公式得

$$L_1 = \frac{1}{2} a_1 t_1^2$$

$$v_1 = a_1 t_1$$

$$\text{解得 } t_1 = 1.2 \text{ s}, v_1 = 3 \text{ m/s}$$

在 L_1 范围外, 根据牛顿第二定律得 $mg \sin \theta - 2 \cdot \mu_0 F_N = ma_2$

$$\text{解得 } a_2 = 0$$

所以瓦片之后做匀速直线运动, 运动到轨道底端所用时间 $t_1 = \frac{8 \text{ m} - L_1}{v_1} \approx 2.07 \text{ s}$

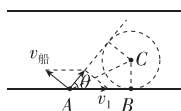
则一个瓦块从轨道顶端运动到轨道底端所用时间 $t = t_1 + t_2 \approx 3.27 \text{ s}$

由于工人师傅每隔 $\Delta t = 0.5 \text{ s}$ 将一个瓦片无初速度放置在轨道顶端, 而 $N = \frac{t}{\Delta t} \approx 6.54$, 即从起始点到终止点对应 7 个点, 所以第一个瓦片落地后某时刻轨道上瓦片的个数可能为 7 个, 也可能为 6 个 (此时起始点或者终止点处的瓦片落在轨道之外)。

第3讲 力与曲线运动 (A)

1. B 【解析】直杆与物块接触点 A 点的实际速度即合速度 v_A , 其方向垂直于杆 OA 指向左下方, 该速度沿水平方向上的速度分量等于 v , 即 $v = v_A \sin \theta$, 则 $v_A = \frac{v}{\sin \theta}$, 故 A、C、D 错误, B 正确。

2. B 【解析】如图所示, 当小船相对地面的运动轨迹恰好与旋涡边界相切, 且小船在静水中的速度与其相对地面的速度垂直时, 小船在静水中的速度最小, 设为 $v_{\text{船}}$, 由几何关系得 $\tan \angle CAB = \frac{r}{\sqrt{3}r}$, 解得 $\angle CAB = 30^\circ$, 所以小船相对地面的速度与水平方向的夹角为 $\theta = 60^\circ$, 则 $v_{\text{船}} = v_1 \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} v_1$, 故 B 正确。

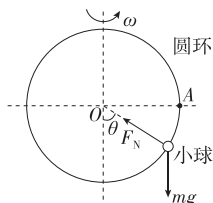


3. B 【解析】设乒乓球在运动过程中水平方向的分速度为 v_x , 在发球点处竖直方向的分速度为 v_{y1} , 在反弹点处竖直方向的分速度为 v_{y2} , 反弹后上升到

最高点的时间为 t , 从发球点运动到反弹点的时间为 t_0 , 由平抛运动规律有 $h = \frac{1}{2}gt^2$, $L = v_x \cdot 2t$, 解得 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, $v_x = L\sqrt{\frac{g}{8h}}$, 从最高点运动到高为 h_0 点的时间为 $t_1 = \sqrt{\frac{2(h-h_0)}{g}}$, 由对称性可得 $t_0 = t - t_1 = \sqrt{\frac{2h}{g}} - \sqrt{\frac{2(h-h_0)}{g}}$, 在竖直方向上, 根据速度与时间的关系可得 $v_{y2} = v_{y1} + gt_0$, 而 $v_{y2} = gt = \sqrt{2gh}$, 联立解得 $v_{y1} = \sqrt{2g(h-h_0)}$, 由此可得发球速度 $v = \sqrt{v_{y1}^2 + v_x^2} = \sqrt{2g(h-h_0) + \frac{gL^2}{8h}}$, 故 B 正确.

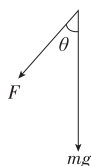
4. D 【解析】以其中一粒陶屑为研究对象, 设工作台匀速转动的角速度为 ω , 陶屑的质量为 m , 转动半径为 r , 陶屑与台面间的动摩擦因数为 μ , 陶屑随工作台一起做匀速圆周运动, 由台面的静摩擦力提供向心力, 有 $F_f = mr\omega^2$, 由于 ω 一定, 所以对于同一陶屑来说, 其离转轴越近, 则所需要的摩擦力越小, 只要该摩擦力小于最大静摩擦力, 陶屑就会与工作台一起转动而无相对滑动, 当由最大静摩擦力提供向心力时, 其做圆周运动的半径最大, 此时有 $\mu mg = mr_m\omega^2$, 解得 $r_m = \frac{\mu g}{\omega^2}$, 即陶屑离轴的最远距离为一个定值, 它由动摩擦因数和工作台转动的角速度确定, 与陶屑的质量无关, 故 A、B、C 错误, D 正确.

5. D 【解析】小球在图示位置时的受力分析如图所示, 小球所受合外力提供向心力, 若圆环光滑, 则 $F_{\text{合}} = mg \tan \theta = m\omega^2 r$, 而 $r = R \sin \theta$, 联立解得 $\omega = \sqrt{\frac{g}{R \cos \theta}}$, 故 A、B 错误; 若小球在 A 点, 则圆环对小球的支持力提供向心力, 圆环对小球的静摩擦力与重力等大反向, 即 $F_N = m\omega^2 R$, $\mu F_N \geq mg$, 联立解得 $\omega \geq \sqrt{\frac{g}{\mu R}}$, 故 C 错误, D 正确.

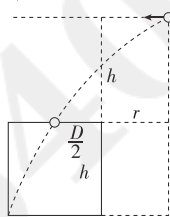


6. C 【解析】无风时小球在竖直方向上的加速度 $a_1 = g$, 有风时, 设风力大小为 F , 小球受力情况如图所示, 此时小球在竖直方向上的加速度 $a_1' = \frac{mg + F \cos \theta}{m} = g + \frac{F \cos \theta}{m} > a_1$, 根据 $h = \frac{1}{2}at^2$ 可知, 有风时小球从抛出至

落到水平面上的时间将减小, 故 A 错误. 由于 v_0 、 h 、 F 及 θ 大小关系不确定, 小球有可能在水平方向上向右刚好减速到零时下落到水平面, 此时速度方向与水平面垂直; 小球也有可能是在水平方向上向右减速到零后再反向加速回到 OO_1 竖直线上, 此时小球刚好落到水平面上的 O_1 点, 故 B 错误, C 正确. 无风时, $O_1O_2 = v_0 t$, 有风时, 小球水平向右移动的最大距离 $x = \frac{1}{2}v_0 t'$, 由 A 项分析已知 $t' < t$, 则 $x < O_1O_2$, 即小球一定不能落到 O_2 点, 故 D 错误.



7. C 【解析】设细水管管口到桶右侧的水平距离为 r 时实现题中所述现象, 示意图如图所示, 水平抛运动到桶口过程, 有 $h = \frac{1}{2}gt^2$, $r + \frac{D}{2} = v_0 t$, 水落入 A 点过程, 有 $2h = \frac{1}{2}gt_1^2$, $r + D = v_0 t_1$, 联立解得 $r = \frac{D}{\sqrt{2}}$, $v_0 = \frac{(\sqrt{2}+1)D}{2} \sqrt{\frac{g}{2h}}$, 选项 C 正确.



8. BD 【解析】第一次抛出上升的高度为 $h_1 = h_0 - OH = 3.2 \text{ m} - 1.4 \text{ m} = 1.8 \text{ m}$, 则上升时间为 $t_{\uparrow 1} = \sqrt{\frac{2h_1}{g}} = 0.6 \text{ s}$, 最高点距水平地面高为 $h_0 = 3.2 \text{ m}$, 则下降时间为 $t_{\downarrow 1} = \sqrt{\frac{2h_0}{g}} = 0.8 \text{ s}$, 所以第一次抛出上升时间、下降时间之比为 $t_{\uparrow 1} : t_{\downarrow 1} = 3 : 4$, 故 A 错误; 两条轨迹最高点等高, 则两次从抛出到落地的时间相等, 均为 $t = t_{\uparrow 1} + t_{\downarrow 1} = 1.4 \text{ s}$, 第一次、第二次抛出时水平方向的分速度分别为 $v_{x1} = \frac{OQ_1}{t} = 6 \text{ m/s}$, $v_{x2} = \frac{OQ_2}{t} = 7 \text{ m/s}$, 由于两条轨迹最高点等高, 故抛出时竖直方向的分速度相等, 均为 $v_y = gt_{\uparrow 1} = 6 \text{ m/s}$, 由于物体在空中做平抛运动过程中机械能守恒, 故第一次过 P 点比第二次过 P 点机械能少 $\Delta E = \frac{1}{2}mv_{x2}^2 - \frac{1}{2}mv_{x1}^2 = 1.3 \text{ J}$, 故 B 正确; 从抛出到落地瞬间, 根据动能定理有 $E_{k1} = E_{k01} + mg \cdot OH =$

$\frac{1}{2}m(v_{x1}^2 + v_y^2) + mg \cdot OH = 10 \text{ J}$, $E_{k2} = E_{k02} + mg \cdot OH = \frac{1}{2}m(v_{x2}^2 + v_y^2) + mg \cdot OH = 11.3 \text{ J}$, 故落地瞬间, 第一次、第二次动能之比为 $E_{k1} : E_{k2} = 100 : 113$, 故 C 错误; 根据前面分析可知, 两次抛出时物体在竖直方向的分速度相同, 两次落地时物体在竖直方向的分速度也相同, 由于第一次的水平分速度较小, 物体在水平方向速度不变, 故第一次抛出时速度与水平方向的夹角较大, 第一次落地时速度与水平方向的夹角也较大, 所以第一次抛出时速度方向与落地瞬间速度方向夹角比第二次大, 故 D 正确.

9. BCD 【解析】若小球到达 B 点时受到沿斜面方向的弹力刚好为 0, 则由重力沿斜面方向的分力提供向心力, 有 $mg \sin 37^\circ = m \frac{v_B^2}{r}$, 解得 $v_B = \sqrt{\frac{3gr}{5}}$, A 错误; 小球离开 B 点做平抛运动, 竖直方向上有 $2r \sin 37^\circ = \frac{1}{2}gt^2$, 解得 $t = 2\sqrt{\frac{3r}{5g}}$, B 正确; 若小球到达 B 点时受到沿斜面方向的弹力刚好为 0, 则小球的落地点与 P 点间的距离为 $x = v_B t = \frac{6}{5}r$, D 正确; 若小球在 B 点时加速度大小为 $2g$, 则小球在 B 点时有 $m \cdot 2g = m \frac{v_1^2}{r}$, 小球由 A 点运动到 B 点过程, 由动能定理有 $-mg \cdot 2r \sin 37^\circ = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 小球在 A 点时有 $F_N - mg \sin 37^\circ = m \frac{v_0^2}{r}$, 解得 $F_N = 5mg$, C 正确.

10. (1) $\frac{3mg}{4q}$ $\frac{5mg}{4}$ (2) $\frac{3}{4}\sqrt{gL}$

【解析】(1) 小球静止时, 由平衡条件得

$$qE = mg \tan \theta$$

$$mg = F_T \cos \theta$$

$$\text{解得 } E = \frac{3mg}{4q}, F_T = \frac{5mg}{4}$$

(2) 小球沿一倾斜平面做匀速圆周运动, 则运动平面与重力和电场力的合力 $F_{\text{合}}$ 垂直, 对小球受力分析如图所示, 由几何关系可知

$$\alpha = \theta$$

$$r = L \sin \theta$$

$$\text{且 } F_{\text{合}} = F_T$$

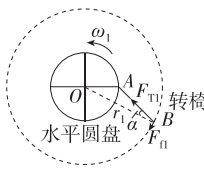
在垂直于运动平面方向上, 由受力平衡得 $F_T' \cos \alpha = F_{\text{合}}$

在沿运动平面方向, 根据牛顿第二定律可知 $F_T' \sin \alpha = m \frac{v_0^2}{r}$

$$\text{解得 } v_0 = \frac{3}{4}\sqrt{gL}$$

11. (1) $\frac{\mu g}{\omega_1^2 r_1}$
 (2) $\sqrt{\frac{\mu g \sin \theta \cos \beta}{(\mu \cos \theta + \sin \theta \sin \beta) r_2}}$

【解析】(1)对转椅受力分析,转椅在水平面内受摩擦力 F_{f} 、轻绳拉力 F_{T} ,两者合力提供其做圆周运动所需向心力,如图所示



设转椅的质量为 m , 则转椅所需的向心力 $F_{n1} = m\omega_1^2 r_1$

转椅受到的摩擦力 $F_{\text{f}} = \mu mg$

根据几何关系有 $\tan \alpha = \frac{F_{\text{fl}}}{F_{\text{nl}}}$

$$\text{联立解得 } \tan \alpha = \frac{\mu g}{\omega_1^2 r_1}$$

(2) 转椅在题图乙情况下所需的向心力 $F_{n2} = m\omega_2^2 r_2$

转椅受到的摩擦力 $F_{f2} = \mu F_{N2}$

根据几何关系有 $\tan \beta = \frac{F_{f2}}{F_{n2}}$

将轻绳拉力 F_{T_2} 沿水平方向和竖直方向分解, 则竖直方向上由平衡条件有 $F_{T_2} \cos \theta = mg - F_{N_2}$

水平面上根据几何关系有 $F_{T2} \sin \theta = \frac{F_{t2}}{\sin \beta}$

联立解得

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{\mu g \sin \theta \cos \beta}{(\mu \cos \theta + \sin \theta \sin \beta) r_2}}$$

第3讲 力与曲线运动 (B)

1. D 【解析】在环月飞行时,样品所受合力提供所需的向心力,不为零,故 A 错误;若将样品放置在月球正面,则它处于平衡状态,它对月球表面压力大小等于它在月球表面的重力大小,由于月球表面自由落体加速度约为地球表面自由落体加速度的 $\frac{1}{6}$,则样品在

地球表面的重力大于在月球表面的重力,所以样品放置在月球背面时对月球的压力比放置在地球表面时对地球的压力小,故 B 错误,D 正确;样品在不同过程中受到的引力不同,但样品的质量不变,故 C 错误.

2. C 【解析】 环月大椭圆冻结轨道的半长轴 $R = \frac{200+16\,000+2\times 1800}{2}$ km = 9900 km, “鹊桥二号”的运行周期 $T = 24$ h, 由万有引力提供向心力,

有 $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$, 解得 $M \approx 7.69 \times 10^{22} \text{ kg}$, 可知月球的质量接近于 $7.5 \times 10^{22} \text{ kg}$, 故 C 正确.

3. A 【解析】 设地球的半径为 R , 地球的质量为 M , 地球表面的重力加速度为 g' , 则月球绕地球的轨道半径 $r = aR$, 根据万有引力定律及牛顿第二定律可知 $G \frac{Mm}{(aR)^2} = mg$,

由 $G \frac{Mm}{R^2} = mg'$, 解得 $g' = a^2 g$, 所以火星表面的重力加速度 $g_{\text{火}} = bg' = ba^2 g$, 在火星表面将物体水平抛出, 由平抛运动规律可知 $h = \frac{1}{2} g_{\text{火}} t^2$, $2h = v_0 t$, 联立解得 $v_0 = a \sqrt{2bgh}$, 故 A 正确.

4. B 【解析】火箭的推力是喷出的燃气对火箭施加的,选项 A 错误;火箭发射升空初始阶段是加速上升阶段,装在火箭上部的卫星处于超重状态,选项 D 错误;卫星进入距离地面约 500 km 的轨道,根据万有引力提供向心力,有

$\frac{GMm}{(R+h)^2} = ma$, 解得 $a \approx 8.4 \text{ m/s}^2$, 根据万有引力提供向心力, 有 $\frac{GMm}{(R+h)^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 (R+h)$, 解得 $T \approx 1.6 \text{ h}$, 选项 B 正确, C 错误.

5. B 【解析】冻结轨道和捕获轨道的中心天体是月球,根据开普勒第三定律得 $\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3}$, 整理得 $T_2 =$

$T_1 \sqrt{\frac{R_2^3}{R_1^3}} \approx 288 \text{ h}$, A 错误; 根据开普勒第二定律得, 鹊桥二号在捕获轨道运行时在近月点的速度大于在远月点的速度, B 正确; 在近月点从捕获轨道到冻结轨道变轨时, 鹊桥二号需要减速进行近月制动, 故鹊桥二号在捕获轨道近月点的速度大于在冻结轨道运行时近月点的速度, C 错误; 在两轨道的近月点所受的万有引力相同, 根据牛顿第二定律可知, 在捕获轨道运行时近月点的加速度等于在冻结轨道运行时近月点的加速度, D 错误。

6. D 【解析】根据万有引力提供向心力, 有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 可得 $T =$

$2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$,修正后的轨道半径变大,所以周期变大,故 A 错误;根据牛顿第二定律得 $G\frac{Mm}{r^2}=ma$,可得 $a=\frac{GM}{r^2}$,修

正后的轨道半径变大,所以加速度减小,故 B 错误;要使得空间站轨道半径变大,需要使空间站加速而做离心运动,除了万有引力外的其他力做正功,则空间站的机械能增大,故 C 错误;根据万有引力提供向心力,有

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}, \text{ 可得 } v = \sqrt{\frac{GM}{r}}, \text{ 修正}$$

后的轨道半径变大,则线速度减小,根据 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$,可知动能减小,故 D 正确.

7. A 【解析】 根据开普勒第三定律,行星公转轨道半径的三次方与公转周期的平方的比值相等,由于地球的公转轨道半径比该火星的公转轨道半径小,故地球的公转周期比火星的小,设火星的公转周期为 T_1 ,地球的公转周期为 T_0 ,火星相邻两次“冲日”的时间间隔为 t ,则在时间 t 内地球比火星绕太阳多转一周,即 $\frac{t}{T_0} - \frac{t}{T_1} = 1$,解

得 $T_1 = \frac{T_0 t}{t - T_0} \approx 671 \text{ 天} \approx 1.8 \text{ 年}$, A 正确; 同理, 土星的公转周期为 $T_2 = \frac{T_0 t'}{t' - T_0} \approx 10\,613 \text{ 天} \approx 29 \text{ 年}$, 故火星的

公转周期比土星的公转周期小,B 错误;根据开普勒第三定律,行星公转轨道半径的三次方与公转周期的平方的比值相等,可知火星的公转轨道半径比土星的公转轨道半径小,火星和土星的公转轨道半径之比为 $\frac{R_1}{R_2} = \sqrt[3]{\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2} \approx \sqrt[3]{\left(\frac{671}{10\ 613}\right)^2}$,C、D 错误。

8. A **【解析】**对卫星,根据万有引力提供向心力,有 $G \frac{M_{\text{地}} m}{(L+s)^2} + G \frac{M_{\text{月}} m}{s^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 (L+s)$, 根据万有引力与重力的关系得 $G \frac{M_{\text{地}} m_1}{R^2} = m_1 g$, $G \frac{M_{\text{月}} m_1}{R_{\text{月}}^2} = m_1 \frac{g}{6}$, 联立解得月球的半径为 $R_{\text{月}} = s \sqrt{\frac{24(L+s)\pi^2}{gT^2} - \frac{6R^2}{(L+s)^2}}$, 故 A 正确.

9. A 【解析】 设太阳的半径为 R , 太阳到地球的距离为 r , 由成像光路图, 根据相似三角形可得 $\frac{R}{r} = \frac{\frac{d}{2}}{L}$, 解得 $R =$

$\frac{dr}{2L}$, 地球绕太阳做匀速圆周运动, 设太阳质量为 M , 地球质量为 m , 由万有引力提供向心力, 有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$,

太阳体积为 $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, 太阳密度为 $\rho = \frac{M}{V}$, 联立解得 $\rho = \frac{24\pi L^3}{GT^2 d^3}$, 故 A 正确.

10. C 【解析】行星所受的引力为恒星引力和尘埃引力的合力,尘埃对行星的引力可看成以 r_0 为半径的球形空间尘埃的引力,有 $F = G \frac{Mm}{r_0^2} +$

$$\frac{G\rho\frac{4}{3}\pi r_0^3 m}{r_0^2} = \frac{GMm}{r_0^2} + \frac{4}{3}G\rho\pi r_0 m,$$

行星绕行的轨道圆半径 r_0 大时,其所受的万有引力的合力不一定小,A 错误;由圆周运动受力特点可得 $G \frac{Mm}{r_0^2} + \frac{4}{3} G \pi \rho r_0 = m \frac{4\pi^2}{T^2} r_0$,解

$$\text{得 } T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{\frac{GM}{r_0^3} + \frac{4}{3} G \pi \rho}}, \text{B 错误;}$$

由圆周运动受力特点可得 $G \frac{Mm}{r_0^2} + \frac{4}{3} G \pi \rho r_0 = m \frac{v_0^2}{r_0}$,则行星绕行的动

$$\text{能为 } E_k = \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{GMm}{2r_0} + \frac{2}{3} G \pi \rho r_0^2, \text{C 正确;若行星的轨道}$$

不是圆轨道,则行星与恒星之间的距离发生变化,能对行星产生引力的等效球形空间内的尘埃质量发生变化,相当于中心天体的质量发生变化,开普勒第三定律不再适用,D 错误。

11. A 【解析】由万有引力提供向心力可得 $G \frac{m_1 m_2}{l^2} = m_1 \omega^2 r_1$,

$$\frac{G m_1 m_2}{l^2} = m_2 \omega^2 r_2, \text{而 } l = r_1 + r_2, \text{联}$$

$$\text{立可得 } \frac{G(m_1 + m_2)}{l^2} = \omega^2 l, \text{所以}$$

$$m_1 + m_2 = \frac{\omega^2 l^3}{G}, \text{其中 } \omega = \frac{2\pi}{T}, \text{可}$$

$$\text{得 } m_1 + m_2 = \frac{4\pi^2 l^3}{GT^2}, \text{所以双星的质量}$$

之和可以估算出,双星的质量之积无法求解,故 A 正确,B 错误;由线速度与角速度的关系 $v = \omega r$,可得 $v_1 + v_2 = \omega(r_1 + r_2) = \frac{2\pi}{T} l$,所以双星的速率之和可以估算出,双星的速率之比无法求解,C 错误;由加速度与角速度的关系 $a = \omega^2 r$,可得 $\frac{a_1}{a_2} = \frac{r_1}{r_2}$,由于双星的轨道半径之比未知,故双星的加速度之比无法求解,D 错误。

12. AC 【解析】根据开普勒第三定律得 $\left(\frac{T_{\text{近}}}{2T}\right)^2 = \left(\frac{R}{2R}\right)^3$,可得该星球的

$$\text{近地卫星的周期为 } T_{\text{近}} = \frac{\sqrt{2}}{2} T, \text{则该}$$

$$\text{星球的第一宇宙速度为 } v_1 = \frac{2\pi R}{T_{\text{近}}} =$$

$$\frac{2\sqrt{2}\pi R}{T}, \text{故 A 正确;根据开普勒第三}$$

$$\text{定律得 } \left(\frac{T}{2T}\right)^2 = \left(\frac{r}{2R}\right)^3, \text{解得该星球}$$

的“同步”卫星的轨道半径 $r = \sqrt[3]{2} R$,故 B 错误;设经过 t 时间卫星 a 经过 P 的正上方一次,有

$$\left(\frac{2\pi}{T} + \frac{2\pi}{2T}\right)t = 2\pi, \text{解得 } t = \frac{2}{3} T, \text{故 C}$$

正确;在赤道上有 $G \frac{Mm}{R^2} = mg + m \frac{4\pi^2}{T^2} R$,对探测卫星有

$$G \frac{Mm'}{(2R)^2} = m' \frac{4\pi^2}{(2T)^2} \cdot 2R, \text{联立解得}$$

该星球赤道上的重力加速度 $g = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$,故 D 错误。

13. BC 【解析】地球同步轨道卫星的运行周期为 $T = 24$ h,根据开普勒第三定律得 $\frac{(6R+R)^3}{T^2} = \frac{(3R+R)^3}{T_1^2}$,解

$$\text{得中轨道卫星的运行周期为 } T_1 = \frac{96}{7} \sqrt{\frac{4}{7}} \text{ h,故 A 错误;根据牛顿第二}$$

$$\text{定律得 } G \frac{Mm}{(R+3R)^2} = mg', \text{根据万}$$

有引力与重力的关系得

$$G \frac{Mm}{R^2} = mg, \text{解得中轨道卫星的向心}$$

$$\text{加速度约为 } g' = \frac{g}{16}, \text{故 B 正确;根据}$$

万有引力提供向心力,有

$$G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r, \text{可得 } \omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}, \text{同}$$

步轨道卫星运动的轨道半径大于中轨道卫星运动的轨道半径,则同步轨道卫星运动的角速度小于中轨道卫星运动的角速度,故 C 正确;卫星在中轨道上需向后方喷气而加速做离心运动,才能变轨到同步轨道,故 D 错误。

第 4 讲 功与能

1. A 【解析】根据动能定理有 $mgh - 0.1mgh = \Delta E_k$,此过程中合外力做正功,运动员的动能增加,可知运动员的动能增加了 $0.9mgh$,故 A 正确;

此过程中重力做正功,可知运动员的重力势能减少了 mgh ,故 B 错误;此过程中运动员克服阻力所做的功为 $0.1mgh$,机械能的减少量等于克服阻力所做的功,故机械能减少了 $0.1mgh$,故 C、D 错误。

2. D 【解析】设小球受到的阻力大小恒为 F_f ,小球上升至最高点过程中,由动能定理得 $-mgh - F_f H = 0 - \frac{1}{2} m v_0^2$,设小球上升至离地高度 h 处

$$\text{时速度为 } v_1, \text{此过程由动能定理得}$$

$$-mgh - F_f h = \frac{1}{2} m v_1^2 - \frac{1}{2} m v_0^2,$$

$$\text{由题知 } \frac{1}{2} m v_1^2 = 2mgh, \text{设小球上升}$$

至最高点后又下降至离地高度 h 处时

$$\text{速度为 } v_2, \text{此过程由动能定理得}$$

$$-mgh - F_f (2H - h) = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_0^2, \text{由题知 } 2 \times \frac{1}{2} m v_2^2 = mgh,$$

$$\text{联立解得 } h = \frac{4H}{9}, \text{故 D 正确。}$$

3. C 【解析】物体恰好能到达最高点 C,则物体在最高点只受重力,且重力全部用来提供向心力,设半圆轨道的半径为 r ,由牛顿第二定律得 $mg =$

$$m \frac{v^2}{r}, \text{解得物体在 C 点的速度 } v =$$

$\sqrt{gr}$, A、B 错误;由牛顿第二定律得 $mg = ma$,解得物体在 C 点的向心加速度 $a = g$,C 正确;由能量守恒定律知,物体在 A 点时弹簧的弹性势能等于物体在 C 点时的动能和重力势能之和,D 错误。

4. B 【解析】运动员从助滑雪道末端 A 点水平滑出,在空中做平抛运动,其在中空中运动的速度大小 $v =$

$$\sqrt{v_0^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}, \text{可见}$$

$v-t$ 图像不是一次函数图像,故 A 错误;速度方向与水平方向夹角的正切

$$\text{值 } \tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{g}{v_0} t, \text{可见 } \tan \theta-t \text{ 图像}$$

是正比例函数图像,故 B 正确;取落点为零势能点,下落过程中重力势能

$$E_p = E_{p0} - mgh = E_{p0} - \frac{1}{2} g t^2, \text{可见}$$

E_p-t 图像是二次函数图像,故 C 错误;运动员下落过程中只受重力,只有重力做功,机械能守恒,故 D 错误。

5. A 【解析】对木块受力分析,木块受到重力、压力 F 、墙面的支持力 F_N 与滑动摩擦力,根据受力特征有 $F = F_N$, $F_f = \mu F_N$,又知 $F = 5h$ (N),则 $F_f = 5\mu h = h$ (N),当 $h = H = 4$ m

$$\text{时, } F_f = 4 \text{ N,由于 } mg = 20 \text{ N} > 4 \text{ N,}$$

所以木块从初始位置开始下滑,且下滑至地面前瞬间的过程中,滑动摩擦力与位移成线性关系,则木块克服摩

$$\text{擦力做功为 } W_f = \frac{F_f h}{2} = \frac{H^2}{2} = 8 \text{ J,故}$$

A 正确;木块从初始位置开始下滑至地面前瞬间的过程中,克服摩擦力做功为 8 J,根据动能定理有

$$mgH - W_f = \Delta E_k, \text{解得 } \Delta E_k = 72 \text{ J,根}$$

$$\text{据 } \Delta E_k = \frac{1}{2} m v^2 - 0, \text{解得 } v =$$

$$6\sqrt{2} \text{ m/s,故 B、C、D 错误。}$$

6. B 【解析】物体到达最高点时,动能为零,机械能 $E = E_p = mgh$,则 $m =$

$$\frac{E}{gh} = \frac{30 \text{ J}}{10 \text{ m/s}^2 \times 3.0 \text{ m}} = 1 \text{ kg,故 A 错}$$

误;由图像可知,物体上升过程中摩擦力做功 $W = E - E_0 = 30 \text{ J} -$

$$50 \text{ J} = -20 \text{ J,当物体再次回到斜面底}$$

$$\text{端时,由动能定理得 } E_k - E_{k0} = 2W,$$

$$\text{则物体回到斜面底端时的动能 } E_k = E_{k0} + 2W = 50 \text{ J} + 2 \times (-20) \text{ J} = 10 \text{ J,}$$

故 B 正确;物体上升过程中,克服摩擦力做功,机械能减少,减少的机械能等于克服摩擦力做的功,由功能关系得

$$E - E_0 = -\mu mg \cos \alpha \cdot \frac{h}{\sin \alpha}, \text{解}$$

$$\text{得 } \mu = 0.50, \text{故 D 错误;物体上升过程}$$

$$\text{中,由牛顿第二定律得 } mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha = ma, \text{解得 } a = 10 \text{ m/s}^2, \text{故}$$

C 错误。

7. B 【解析】当甲所坐木板刚要离开原位置时,对甲及其所坐木板整体

有 $\mu mg = kx_0$, 解得弹性绳的伸长量 $x_0 = \frac{\mu mg}{k}$, 则此时弹性绳的弹性势能为 $E_0 = \frac{1}{2} kx_0^2 = \frac{(\mu mg)^2}{2k}$, 从开始拉动乙所坐木板到甲所坐木板刚要离开原位置的过程中, 乙所坐木板的位移为 $x_1 = x_0 + l - d$, 由功能关系可知, 该过程中 F 所做的功 $W = E_0 + \mu mg x_1 = \frac{3(\mu mg)^2}{2k} + \mu mg(l - d)$, B 正确.

8. D 【解析】A 从 N 点运动到 M 点的过程中, 根据动能定理有 $\sqrt{3}mgl + W = \frac{1}{2}mv^2$, 解得绳的拉力对 A 做的功为 $W = \frac{1}{2}mv^2 - \sqrt{3}mgl$, A 错误; A 从 N 点运动到 M 点的过程中, A、B 和弹簧组成的系统机械能守恒, A 减少的机械能等于 B 增加的机械能和弹簧增加的弹性势能之和, 则 A 减少的机械能大于 B 增加的机械能, 故 B 错误; A 运动到 M 点时, 设 OM 与竖直方向的夹角为 α , 由几何关系得 $\tan \alpha = \frac{ON}{MN} = \frac{l}{\sqrt{3}l} = \frac{\sqrt{3}}{3}$, 解得 $\alpha = 30^\circ$, 由于绳连接的两物体沿绳方向的速度大小相等, 故此时 B 的速度为 $v_B = v \cos \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2}v$, 故 C 错误; A 运动到 M 点时, $OM = \frac{ON}{\sin \alpha} = 2l$, 根据系统机械能守恒可得 $\sqrt{3}mgl - mg(2l - l) \sin \theta = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}mv_B^2 + \Delta E_p$, 解得弹簧增加的弹性势能为 $\Delta E_p = \frac{(2\sqrt{3}-1)mgl}{2} - \frac{7}{8}mv^2$, 故 D 正确.

9. (1) $F_N = 20h + 1.4$ (N)
(2) 0.15 m (3) 0.66 m

【解析】(1) 由几何关系可知 $\angle BO_1C = 90^\circ - \frac{1}{2}\angle DO_2F = 37^\circ$. 若释放点距离 B 点的高度为 h , 则滑块从释放到 C 点过程, 根据动能定理可得

$$mgh + mgR(1 - \cos 37^\circ) = \frac{1}{2}mv_C^2$$

在 C 点时, 根据向心力公式可得

$$F_N - mg = m \frac{v_C^2}{R}$$

联立解得 $F_N = 20h + 1.4$ (N)

- (2) 若释放点距离地面的高度为 $\frac{3}{2}R$,

滑块在轨道 BCD 点 P 点刚好脱离轨道, 设滑块脱离轨道时和圆心的连线与竖直方向的夹角为 θ , 则此时有

$$mg \cos \theta = m \frac{v_P^2}{R}$$

滑块从释放到 P 点过程, 由动能定理得 $mg \cdot \frac{3}{2}R - mgR(1 + \cos \theta) =$

$$\frac{1}{2}mv_P^2$$

滑块脱离轨道后做斜抛运动, 在最高点时的速度为

$$v_m = v_P \cos \theta$$

滑块从释放到脱离轨道后上升到最高点过程, 根据动能定理得

$$mg \cdot \frac{3}{2}R - mgh_m = \frac{1}{2}mv_m^2$$

联立解得 $h_m = 0.15$ m

- (3) 若释放点距离地面的高度为 $\frac{27}{5}R$,

则从释放点到 F 点过程, 由动能定理得 $mg \cdot \frac{27}{5}R - mg(2R \sin 53^\circ + R + R \cos 37^\circ) = \frac{1}{2}mv_F^2$

$$R \cos 37^\circ = \frac{1}{2}mv_F^2$$

由几何关系可知, 在 F 点时滑块的速度与水平方向的夹角为 37°

滑块脱离轨道后做斜抛运动, 设从 F 点处到最高处所用的时间为 t_1 , 则在竖直方向上有

$$v_F \sin 37^\circ = gt_1$$

$$h_1 = \frac{1}{2}gt_1^2$$

此后滑块做平抛运动, 设平抛运动的时间为 t_2 , 则在竖直方向上有

$$2R \sin 53^\circ + R + R \cos 37^\circ + h_1 = \frac{1}{2}gt_2^2$$

滑块从 F 点抛出后水平位移 $x = v_F \cos 37^\circ \cdot (t_1 + t_2)$

联立解得 $x = 0.66$ m

10. (1) $2\sqrt{41}$ N (2) 12 W (3) $v_0 \geq 5\sqrt{2}$ m/s 或 $2 \text{ m/s} \leq v_0 \leq 2\sqrt{5}$ m/s

【解析】(1) 小球在 BC 圆管轨道内运动时, 竖直方向上, 轨道对小球的作用的一个分量 $F_1 = mg$

水平方向上, 轨道对小球的作用力的另一个分量 $F_2 = m \frac{v_0^2}{R}$

轨道对小球的作用力大小为 $F_N = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$

联立解得 $F_N = 2\sqrt{41}$ N

(2) 小球从 D 点到 E 点过程中, 由动能定理得 $mgL \sin \theta - \mu mg \cos \theta \cdot L = \frac{1}{2}mv_E^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

小球在 E 点时重力的功率 $P = mgv_E \sin \theta$

联立解得 $P = 12$ W

(3) 小球在 EF 圆轨道上运动时不脱离轨道对应两种情况: 一种是小球能运动到 F 点, 另一种是小球运动过程不能越过与圆心 O 等高位置.

临界状态 1: 小球恰能运动到 F 点.

小球在 E 点时, 由牛顿第二定律得 $mg = m \frac{v_F^2}{R}$

小球从 A 点到 F 点过程, 由动能定理得 $mgL \sin \theta - \mu mg \cos \theta \cdot L - mg(R \cos \theta + R) = \frac{1}{2}mv_F^2 -$

$$\frac{1}{2}mv_1^2$$

联立解得 $v_1 = 5\sqrt{2}$ m/s

临界状态 2: 小球恰能运动到与圆心 O 等高位置.

小球从 A 点到与 O 点等高位置过程, 由动能定理得

$$mgL \sin \theta - \mu mg \cos \theta \cdot L - mgR \cos \theta = 0 - \frac{1}{2}mv_2^2$$

解得 $v_2 = 2\sqrt{5}$ m/s

临界状态 3: 小球恰能运动到 E 点.

小球从 A 点运动到 E 点过程, 由动能定理得 $mgL \sin \theta - \mu mg \cos \theta \cdot L = 0 - \frac{1}{2}mv_3^2$

解得 $v_3 = 2$ m/s

所以 v_0 的取值范围是 $v_0 \geq 5\sqrt{2}$ m/s 或 $2 \text{ m/s} \leq v_0 \leq 2\sqrt{5}$ m/s

微专题 1 传送带模型综合问题

1. D 【解析】刚开始时, 物体速度小于传送带速度, 则物体相对传送带向后运动, A 错误; 匀速运动过程中, 物体与传送带之间无相对运动趋势, 则物体不受摩擦力作用, B 错误; 物体加速, 由动能定理可知, 摩擦力对物体做正功, C 错误; 设物体与传送带间动摩擦因数为 μ , 物体相对传送带运动时, 有 $a = \frac{\mu mg}{m} = \mu g$, 做匀加速运动时, 物体速度小于传送带速度, 则一直加速, 由 $v = at$ 可知, 传送带速度越大, 物体加速运动的时间越长, D 正确.
2. BC 【解析】相对地面而言, 小物块在 $0 \sim t_1$ 时间内向左做匀减速运动, t_1 时刻之后反向向右运动, 故小物块在 t_1 时刻离 A 处距离最大, A 错误; 小物块在 $0 \sim t_1$ 时间内向左做匀减速运动, 相对传送带也是向左运动, $t_1 \sim t_2$ 时间内反向向右做匀加速运动, 但速度小于传送带向右的速度, 仍是相对传送带向左运动, t_2 时刻两者共速, 在 $t_2 \sim t_3$ 时间内, 小物块与传送带相对静止, 一起向右匀速运动, 所以 t_2 时刻小物块相对传送带滑动的距离达到最大, B 正确; 在 $0 \sim t_2$ 时间内, 小物块相对传送带一直向左运动, 所以受到的摩擦力方向一直向右, 在 $t_2 \sim t_3$ 时间内, 小物块相对于传送带静止, 则小物块不受摩擦力作用, 故 C 正确, D 错误.

3. C 【解析】小物块的加速度大小为 $a = \frac{\mu mg}{m} = 2 \text{ m/s}^2$, 小物块向左减速运动至速度为零时的位移为 $x = \frac{v_0^2}{2a} = 9$ m, 小物块向左运动的时间为 $t_1 = \frac{v_0}{a} = 3$ s, 由于传送带左右两端的距离为 10 m, $x < 10$ m, 所以小物块速度减为零后将向右运动, 向右加速运动至与传送带共速所用的时间

为 $t_2 = \frac{v}{a} = 2 \text{ s}$, 小物块对传送带做功为 $W = -\mu mgv(t_1 + t_2) = -40 \text{ J}$, A、B 错误; 全程小物块与传送带的相对位移为 $\Delta x = \frac{v_0^2}{2a} + vt_1 + vt_2 - \frac{1}{2}at_2^2 = 25 \text{ m}$, 根据功能关系可知, 带动传送带转动的电动机多做的功为 $W' = \mu mg\Delta x + \left(\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2\right) = 40 \text{ J}$, C 正确, D 错误。

4. BC 【解析】设传送带上下两端的距离为 L , 传送带的倾角为 θ , 小物块的质量为 m , 小物块从传送带底端运动到顶端的时间为 t , 小物块受到的摩擦力为 F_f , 根据题意, 有 $x_{\text{物}} = L = \frac{v}{2}t$,

$x_{\text{带}} = vt$, 可得 $x_{\text{带}} = 2L$, 对小物块, 根据动能定理有 $F_f L - mg \sin \theta \cdot L = E_k - 0$, 产生的热量为 $Q = F_f(x_{\text{带}} - x_{\text{物}}) = F_f(2L - L) = F_f L$, 其中 $mg \sin \theta \cdot L = E_p$, 联立可得 $Q = E_k + E_p$, 则 $Q > E_k$, 故 B、C 正确。

5. A 【解析】传送带静止时, 物块 P 匀速下滑, 由平衡条件得 $mg \sin \theta = \mu mg \cos \theta$, 现传送带以恒定速率 v_1 沿逆时针方向运行, 若 $v_0 < v_1$, 则对物块 P 受力分析, 由牛顿第二定律可得 $ma = mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta$, 可知物块先做匀加速直线运动, 当 $v_0 = v_1$ 时, 摩擦力瞬间消失, 然后随着物块的继续运动, 摩擦力反向, 由牛顿第二定律可得 $ma' = mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = 0$, 可知物块后做匀速直线运动, 故 A 正确, B 错误; 若 $v_0 > v_1$, 则对物块 P 受力分析, 由牛顿第二定律可得 $ma = mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = 0$, 可知物块一直做匀速直线运动, 故 C、D 错误。

6. AC 【解析】工件所受重力沿传送带向下的分力大小为 $G_1 = mg \sin \theta = 0.5 mg$, 滑动摩擦力大小为 $F_f = \mu mg \cos \theta = 0.3 mg$, 当工件的速度大于传送带的速度时, 工件受到沿传送带向下的滑动摩擦力, 因此工件向上做匀减速运动, 根据牛顿第二定律可得, 上滑的加速度大小为 $a_1 = \frac{G_1 + F_f}{m} = 8 \text{ m/s}^2$, 工件从 A 端上滑至与传送带速度相同所用的时间 $t_1 = \frac{v_0 - v}{a_1} = 0.5 \text{ s}$, 此后工件继续向上做匀减速运动, 上滑的加速度大小为 $a_2 = \frac{G_1 - F_f}{m} = 2 \text{ m/s}^2$, 从工件与传送带达到共同速度至工件到达 B 端的时间为 $t_2 = \frac{v}{a_2} = 2 \text{ s}$, 因此工件沿传送带上滑的时间为 $t = t_1 + t_2 = 2.5 \text{ s}$, 故 A 正确; A、B 两端的距离为 $L = \frac{v_0 + v}{2}t_1 + \frac{v}{2}t_2 = 7 \text{ m}$, 设工件返回 A

端时的速度大小为 v' , 由运动学公式有 $v'^2 = 2a_2 L$, 解得 $v' = 2\sqrt{7} \text{ m/s}$, 故 B 错误; 根据动能定理可知, 工件在传送带上运动的整个过程中, 摩擦力对工件做的功 $W = \frac{1}{2}mv'^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -18 \text{ J}$, 故 C 正确; 工件从 B 端下滑至 A 端的时间为 $t' = \frac{v'}{a_2} = \sqrt{7} \text{ s}$, 工件在传送带上运动的整个过程中, 因摩擦产生的热量为 $Q = F_f \left(\frac{v_0 + v}{2}t_1 - vt_1 \right) + F_f \left(vt_2 - \frac{v}{2}t_2 \right) + F_f(vt' + L) = (36 + 12\sqrt{7}) \text{ J}$, 故 D 错误。

7. BCD 【解析】由图像可知, $0 \sim x_0$ 过程中, 物块相对于传送带向左运动, 物块受到向右的滑动摩擦力, 物块做加速运动, $x_0 \sim 2x_0$ 过程中, 物块相对于传送带静止, 相对于地面做匀速直线运动, 物块受到向左的静摩擦力, 静摩擦力与弹簧弹力大小相等, 方向相反, 直到位移为 $2x_0$ 处弹簧恢复原长后, 物块不再受到静摩擦力, 继续做匀速直线运动, 故物块先加速后匀速, 故 A 错误, B 正确; 在位置为 x_0 处物块与传送带共速, 此时物块受力平衡, 即 $kx_0 = 0.5F_{\text{弹}}$, 解得 $k = \frac{F_{\text{弹}}}{2x_0}$, 故 C 正确; $F_f - x$ 图像中图线与 x 轴围成的面积表示摩擦力对物块做的功, $0 \sim x_0$ 过程中, 摩擦力对物块做正功, $x_0 \sim 2x_0$ 过程中, 摩擦力对物块做负功, 故整个过程中摩擦力做的功为 $W = F_{\text{弹}}x_0 - \frac{1}{2} \times 0.5F_{\text{弹}}x_0 = 0.75F_{\text{弹}}x_0$, 故 D 正确。

8. (1) 12 J (2) $12 + 2\sqrt{6} \text{ J}$ (3) 12.5 N 【解析】(1) 设物块经过 B 点时速度为 v_B , 物块从传送带 B 端运动到 C 端的过程, 由动能定理得

$$-\mu mgL = 0 - \frac{1}{2}mv_B^2$$

从释放弹簧至物块运动到 B 点过程, 由能量守恒定律得

$$E_p = \frac{1}{2}mv_B^2$$

联立解得 $E_p = 12 \text{ J}$

物块从 B 点运动到 C 点的时间 $t = \frac{2L}{v_B}$

物块相对传送带的位移 $\Delta x_{\text{相对}} = L + vt$

产生的热量 $Q = \mu mg \Delta x_{\text{相对}}$

联立解得 $Q = (12 + 2\sqrt{6}) \text{ J}$

(2) 物块从 E 飞出后做平抛运动, 竖直方向上有 $2R = \frac{1}{2}gt^2$

水平方向上有 $x = v_E t$

在 E 点时, 由牛顿第二定律得

$$F_N + mg = m \frac{v_E^2}{R}$$

联立解得 $F_N = 12.5 \text{ N}$

9. (1) -0.55 J (2) $\mu \geq 0.3$ (3) 2.4 J

【解析】(1) 滑块在圆弧轨道 AB 上运动过程中, 由动能定理得

$$mgR(1 - \cos 60^\circ) + W_f = \frac{1}{2}mv_B^2$$

解得 $W_f = -0.55 \text{ J}$

(2) 滑块在传送带上受到向左的摩擦力, 当滑块恰好不从右端离开传送带时, 由动能定理得

$$-\mu mgL = 0 - \frac{1}{2}mv_B^2$$

解得 $\mu = 0.3$

所以 $\mu \geq 0.3$ 时滑块不从右端滑离传送带

(3) 滑块在传送带上运动过程中, 由牛顿第二定律得 $\mu mg = ma$

其中 $\mu = 0.6$

滑块向右做匀减速运动的位移为

$$x_1 = \frac{v_B^2}{2a}$$

联立解得 $x_1 = 0.75 \text{ m}$

由于 $x_1 < l = 1.5 \text{ m}$, 所以滑块未从右端滑离传送带, 接下来滑块向左反向加速并从 B 点离开传送带, 向左加速运动的位移为 $x_2 = x_1$

滑块在传送带上运动的总时间为

$$t = 2 \frac{v_B}{a}$$

传送带向左运动的位移为 $x_3 = vt$

则滑块从 B 点开始到第一次离开传送带过程中产生的热量 $Q = \mu mg(x_1 + x_3 - x_2)$

联立解得 $Q = 2.4 \text{ J}$

第 5 讲 冲量与动量

1. A 【解析】A 和 B 组成的系统所受合外力为零, 系统动量守恒, 有 $m_A v_A = m_B v_B$, 设弹簧的初始弹性势能为 E_p , 整个系统只有弹簧弹力做功, 系统机械能守恒, 从剪断细绳到弹簧恢复原长过程, 根据机械能守恒定律得 $E_p = \frac{1}{2}m_A v_A^2 + \frac{1}{2}m_B v_B^2$, 联立

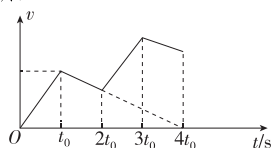
得 $E_p = \frac{1}{2} \left(m_A + \frac{m_A^2}{m_B} \right) v_A^2$, 所以弹簧恢复原长时 A 的速度最大, 此时 A 的动量最大, 动能最大, 故 A 正确, B、C、D 错误。

2. AD 【解析】根据图像可知, 当 $F = 2mg \sin \theta$ 时, 物体的加速度大小为 $a = \frac{2mg \sin \theta + mg \sin \theta}{m} = 3g \sin \theta$,

方向沿斜面向下, 当 $F = -2mg \sin \theta$ 时, 物体的加速度大小为 $a = \frac{2mg \sin \theta - mg \sin \theta}{m} = g \sin \theta$, 方向沿斜面向上, 作出物体在 $0 \sim 4t_0$ 内的 $v-t$ 图像, 根据图像可知, $0 \sim 4t_0$ 内物体一直沿斜面向下运动, 故 A 正确; 根据图像可知, $0 \sim 4t_0$ 内物体的初、末速度不相等, 根据动量定理得 $I_{\text{合}} = \Delta p \neq 0$, 故 B 错误; 根据图像可知, t_0

时物体速度是 $2t_0$ 时物体速度的 $\frac{3}{2}$

倍,故 t_0 时动量是 $2t_0$ 时的 $\frac{3}{2}$ 倍,故 C 错误; $v-t$ 图像与横轴围成的面积表示位移,由图像可知 $2t_0 \sim 3t_0$ 过程物体的位移小于 $3t_0 \sim 4t_0$ 过程的位移,故 D 正确.



3. C 【解析】由于水在不到 0.1 s 时间内喷完,可知水和水火箭间的作用力较大,水和水火箭的重力相对两者间的作用力来说可以忽略,水和水火箭组成的系统动量近似守恒,有 $m_1 v_0 - m_2 v = 0$,解得水火箭的速度 $v \approx 53\text{ m/s}$,故 C 正确.

4. B 【解析】从解除锁定到甲与轻弹簧分离的过程,摩擦力对两滑块做负功,两滑块和轻弹簧组成的系统机械能减小,即系统机械能不守恒,由于 $\mu = 0.75$, $\theta = 37^\circ$,故 $(m_1 + m_2)g \sin \theta = \mu(m_1 + m_2)g \cos \theta$,则两滑块和轻弹簧组成的系统所受的合力为零,系统动量守恒,故 A 错误;对两滑块和轻弹簧组成的系统,从解除锁定到甲与轻弹簧分离的过程,根据动量守恒定律可得 $(m_1 + m_2)v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$,解得 $v_1 = 0$,由于 $m_1 g \sin \theta = \mu m_1 g \cos \theta$,可知甲与轻弹簧分离后静止在斜面体上,故 B 正确;根据能量守恒定律可得 $\frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_0^2 + E_p = \frac{1}{2}m_1 v_1^2 + \frac{1}{2}m_2 v_2^2$,解得轻弹簧原来储存的弹性势能为 $E_p = 1.2\text{ J}$,故 C 错误;甲与轻弹簧分离后,乙所受的合力为 $F_{\text{合}} = m_2 g \sin \theta - \mu m_2 g \cos \theta = 0$,则乙沿斜面向下做匀速直线运动,故 D 错误.

5. B 【解析】由于沙子下落时,沙子与沙漏均具有水平向右的初速度 v ,所以漏出的沙子在水平方向上均与沙漏以相同的速度向右移动,因此沙子在空中形成的几何图形是一条直线,沙子落到地面时与沙漏的水平距离为 0, A、D 错误;从某一粒沙子漏出开始到这粒沙子刚落地,在竖直方向上,有 $H = \frac{1}{2}gt^2$,解得所用的时间为 $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$,由于单位时间内漏出的沙子质量恒为 Q ,故在空中飞行的沙子的总质量 $M = Qt = Q\sqrt{\frac{2H}{g}}$, B 正确;对 t 时间内下落的沙子,根据动量定理,竖直方向上有 $F_N t - Qtg = 0$,水平方向上有 $F_t t = 0 - (-Qtv)$,地面对沙子的作用力 $F = \sqrt{F_N^2 + F_t^2}$,联立解得 $F = Q\sqrt{2gH + v^2}$,根据牛顿第三定律可知,沙子对地面的作用力为 $F' = F = Q\sqrt{2gH + v^2}$, C 错误.

6. C 【解析】因小球之间的碰撞均为弹性碰撞,则动量守恒且机械能守恒, A、B 碰撞为第一次碰撞,设碰后 A 的速度为 v_1 , B 的速度为 v_2 ,由动碰静规律可得 $v_1 = \frac{m_A - m_B}{m_A + m_B}v_0 = -1\text{ m/s}$, $v_2 = \frac{2m_A}{m_A + m_B}v_0 = 2\text{ m/s}$,因 A 球质量小于 B 球质量,故碰撞后 A 球反弹, B 球向前运动, B、C 碰撞为第二次碰撞,因 B、C 两球质量相等,故 B 与 C 碰后交换速度, B 静止, C 的速度为 $v_4 = v_2 = 2\text{ m/s}$, C、D 碰撞为第三次碰撞,由于 C 球质量小于 D 球质量,故碰撞后 C 球反弹,设碰后 C 的速度为 v_5 , D 的速度为 v_6 ,由动碰静规律可得 $v_5 = \frac{m_C - m_D}{m_C + m_D}v_4 = -\frac{4}{3}\text{ m/s}$, $v_6 = \frac{2m_C}{m_C + m_D}v_4 = \frac{2}{3}\text{ m/s}$, C 会和 B 发生碰撞,此碰撞为第四次碰撞,由于 B、C 两球质量相等,故 B、C 碰后交换速度, C 静止, B 的速度为 $v_8 = v_5 = -\frac{4}{3}\text{ m/s}$,由于 $|v_8| > |v_1|$,即 B 的速度大于 A 的速度,故 B 会和 A 发生碰撞,此碰撞为第五次碰撞,由于 B 球质量大于 A 球质量,故 B 不会反弹,此后所有小球不再发生碰撞,所以从 A 开始运动起,四个小球一共发生 5 次碰撞,故 C 正确.

7. B 【解析】小球 A 第一次下滑到圆弧槽最低点时,小球 A 和圆弧槽组成的系统在水平方向上动量守恒,有 $mv_A = mv_1$,小球 A 和圆弧槽组成的系统机械能也守恒,有 $mgR = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}mv_1^2$,联立解得 $v_A = v_1 = \sqrt{gR}$,故小球 A 通过圆弧槽最低点时相对于圆弧槽的速度大小为 $v_{\text{相}} = v_A + v_1$,根据牛顿第二定律有 $F - mg = m\frac{v_{\text{相}}^2}{R}$,联立解得小球 A 通过圆弧槽最低点时受到圆弧槽的支持力为 $F = 5mg$,由牛顿第三定律可知,小球 A 通过圆弧槽最低点时对圆弧槽的压力大小为 $5mg$,故 A 错误;小球 A 与小球 B 发生弹性正碰,取向向右为正方向,根据动量守恒定律有 $mv_A = mv_{A1} + 3mv_B$,根据机械能守恒定律有 $\frac{1}{2}mv_A^2 = \frac{1}{2}mv_{A1}^2 + \frac{1}{2} \times 3mv_B^2$,联立解得 $v_{A1} = -\frac{1}{2}\sqrt{gR}$, $v_B = \frac{1}{2}\sqrt{gR}$,若 B、C 发生的是完全非弹性碰撞,则 B、C 碰撞过程,根据动量守恒定律有 $3mv_B = (3m + nm)v$,根据能量守恒定律有 $\Delta E = \frac{1}{2} \times 3mv_B^2 - \frac{1}{2}(3m + nm)v^2$,联立解得

B、C 碰撞损失的机械能为 $\Delta E = \frac{3n}{8(n+3)}mgR$,所以当 n 取不同值时, B、C 碰撞损失的机械能不同,故 B 正确;若 B、C 发生的是弹性正碰,则当 $n=2$ 时, B、C 碰撞过程,根据动量守恒定律有 $3mv_B = 3mv_{B2} + 2mv_C$,根据机械能守恒定律有 $\frac{1}{2} \times 3mv_B^2 = \frac{1}{2} \times 3mv_{B2}^2 + \frac{1}{2} \times 2mv_C^2$,联立解得碰撞完成后小球 C 的速度为 $v_C = \frac{3}{5}\sqrt{gR}$,故 C 错误;当 B、C 发生的是完全非弹性正碰时, B、C 碰撞过程,根据动量守恒定律有 $3mv_B = (3m + nm)v$,解得碰撞完成后小球 C 的速度为 $v = \frac{3}{6+2n}\sqrt{gR}$,小球 C 的动量为 $p = nmv = \frac{3n}{6+2n}m\sqrt{gR} = \frac{3}{\frac{6}{n}+2}m\sqrt{gR}$,当 n 取 1 时,动量取最小值,为 $p_{\min} = \frac{3}{8}m\sqrt{gR}$,当 B、C 发生的是弹性正碰时,根据动量守恒定律有 $3mv_B = 3mv_B' + nmv_C'$,根据机械能守恒定律有 $\frac{1}{2} \times 3mv_B^2 = \frac{1}{2} \times 3mv_B'^2 + \frac{1}{2}nmv_C'^2$,联立解得碰撞完成后小球 C 的速度为 $v_C' = \frac{3}{3+n}\sqrt{gR}$,小球 C 的动量为 $p' = nmv_C' = \frac{3n}{3+n}m\sqrt{gR} = \frac{3}{\frac{3}{n}+1}m\sqrt{gR}$,当 n 取 1 时,动量取最小值,为 $p_{\min}' = \frac{3}{4}m\sqrt{gR}$,由于 B、C 碰撞的类型未确定,所以可能会导致 n 取不同值时 C 最终的动量相同,当 B、C 的碰撞为完全非弹性碰撞时, C 最终的动量最小值为 $\frac{3}{8}m\sqrt{gR}$,故 D 错误.

8. BC 【解析】由于 $\mu = \tan \theta$,则有 $3mg \sin \theta = \mu \cdot 3mg \cos \theta$,可知碰撞前, A 沿斜面做匀速直线运动,故 A 错误;碰撞后, A、B 都沿斜面向下运动的过程中,由于 $3mg \sin \theta = \mu \cdot 3mg \cos \theta$, $mg \sin \theta = \mu mg \cos \theta$, A、B 之间的库仑斥力为 A、B 组成的系统的内力,则 A、B 组成的系统所受合外力为零,系统动量守恒,当 A 的速度为 $\frac{v_0}{3}$ 时,设 B 的速度为 v_B ,有 $3mv_0 = 3m \cdot \frac{v_0}{3} + mv_B$,解得 $v_B = 2v_0$,故 B、C 正确;碰撞后,对于 A、B 组成的系统,由于 A、B 之间存在库仑斥力,且 A、B 两者距离逐渐增大,可知库仑斥力对系统做正功,则系统的电势能逐渐减小,故 D 错误.

9. (1) 1 m/s 1 m/s (2) 0.2

(3) 0.12 J

【解析】(1) 弹簧恢复原长时 A 恰好从桌面左端沿水平方向飞出, 说明 A 脱离弹簧时的速度为平抛运动的初速度, 对 A 做平抛运动过程, 有

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

$$x_A = v_A t$$

联立解得脱离弹簧时 A 的速度大小

$$v_A = 1 \text{ m/s}$$

对 A、B 整体, 由动量守恒定律得

$$m_A v_A = m_B v_B$$

解得脱离弹簧时 B 的速度大小 $v_B = 1 \text{ m/s}$

(2) 对 B 脱离弹簧后运动过程, 由动能

$$\text{定理得 } -\mu m_B g x_B = 0 - \frac{1}{2} m_B v_B^2$$

解得物块与桌面间的动摩擦因数 $\mu = 0.2$

(3) 整个过程中, 由能量守恒定律有

$$\Delta E_p = \frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 + \mu m_A g \Delta x_A + \mu m_B g \Delta x_B$$

其中 $m_A = m_B$, $\Delta x_A + \Delta x_B = \Delta x$

解得弹簧释放的弹性势能 $\Delta E_p = 0.12 \text{ J}$

$$10. (1) \frac{\sqrt{2gR}}{2} \quad \frac{\sqrt{2gR}}{2} \quad (2) \frac{\sqrt{2gR}}{2}$$

$$(3) \frac{\sqrt{2gR}}{2^n}$$

【解析】(1) 设小球 A 第一次与 1 号小球发生碰撞前的速度为 v_0 , 由机械

能守恒定律有 $mgR = \frac{1}{2}mv_0^2$

解得 $v_0 = \sqrt{2gR}$

设小球 A 第一次与 1 号小球发生碰撞后, 小球 A 的速度为 v_A , 1 号小球的速度为 v_1 , 由于小球间发生对心弹性碰撞, 故由动量守恒定律有

$$mv_0 = mv_A + 3mv_1$$

由机械能守恒定律有

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2} \times 3mv_1^2$$

联立解得 $v_A = -\frac{\sqrt{2gR}}{2}$, $v_1 =$

$$\frac{\sqrt{2gR}}{2}$$

即碰撞后两小球的速度大小均

$$\text{为 } \frac{\sqrt{2gR}}{2}$$

(2) 此后 1 号小球向右运动, 与 2 号小球发生对心弹性碰撞, 根据动量守恒定律有 $3mv_1 = 3mv_1' + 3mv_2$

根据机械能守恒定律有

$$\frac{1}{2} \times 3mv_1^2 = \frac{1}{2} \times 3mv_1'^2 + \frac{1}{2} \times 3mv_2^2$$

3 mv_2^2

联立解得 $v_1' = 0$, $v_2 = \frac{\sqrt{2gR}}{2}$

通过计算说明 1 号小球碰后在 2 号小球位置静止, 2 号小球碰后速度等

于 1 号小球碰前的速度, 即两者交换速度. 此后, 2 号小球与 3 号小球、3 号小球与 4 号小球直至最后第 $n-1$ 号小球与第 n 号小球碰撞, 都遵循同样的规律, 则第 n 号小球第一次碰撞

后的速度应为 $v_n = \frac{\sqrt{2gR}}{2}$

(3) 根据上述分析可知, 小球 A 与 1 号小球第一次碰后, 小球 A 向左运动至轨道一定高度后第二次运动到

水平轨道上, 此时速度大小为 $\frac{v_0}{2}$, 它

向右运动一定距离后必将与已经静止的 1 号小球发生第 2 次碰撞, 据动量守恒定律和机械能守恒定律可得, 碰后两球的速度分别为 $v_A' =$

$$\frac{m-3m}{m+3m} \times \frac{v_0}{2} = -\frac{v_0}{4}, v_1' = \frac{2m}{m+3m} \times$$

$$\frac{1}{2}v_0 = \frac{v_0}{4}$$

此后小球 A 又反向运动, 1 号小球向右运动再次与 2 号小球碰撞, 后面的小球在彼此碰撞过程中交换速度……此后, 小球 A 球与 1 号小球每碰撞一次, 两者碰后速度等大、反向, 且小球 A 速度减半, 同时静止的小球个数减少 1.

当小球 A 球与 1 号小球发生第 n 次碰撞后, 所有的小球都不再静止, 且小球 A 向左运动至轨道上一定高度后再次运动到水平轨道上时追不上 1 号小球, 所以 1 号小球的最终速度为

$$v = \frac{v_0}{2^n} = \frac{\sqrt{2gR}}{2^n}$$

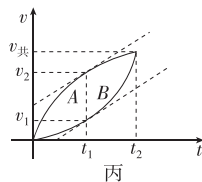
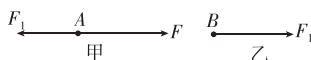
微专题 2 滑块—木板模型综合问题

1. BCD **【解析】** 对 A、B 在水平方向受力分析如图甲、乙所示, F_1 为弹簧的

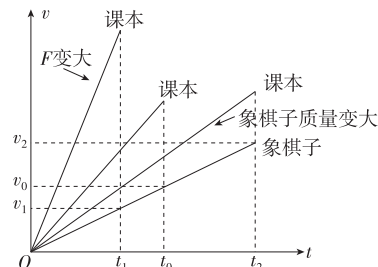
拉力, 当 A、B 的加速度相等时, 对 A 有 $F - F_1 = ma$, 对 B 有 $F_1 = ma$, 解

得 $F_1 = \frac{F}{2}$, 在 A、B 第一次达到共同

速度的过程中 A 所受的合力(加速度)一直减小而 B 所受的合力(加速度)一直增大, 在达到共同加速度之前, A 所受的合力(加速度)一直大于 B 所受的合力(加速度), 之后 A 所受的合力(加速度)一直小于 B 所受的合力(加速度). 两物体运动的 $v-t$ 图像如图丙所示, t_1 时刻, 两物体的加速度相等, 速度之差最大, B 正确; t_2 时刻, 两物体的速度相等, A 的速度达到最大, 图像中两实线之间围成的面积达到最大, 即两物体的相对位移最大, 弹簧被拉到最长, 弹簧的弹性势能最大, C、D 正确; 除重力和弹簧弹力外, 水平恒力对系统做正功, 系统的机械能增加, t_1 时刻之后水平恒力依然对系统做正功, 系统的机械能仍增加, 所以加速度相等时, 系统的机械能并非最大, A 错误.



2. BC **【解析】** 将课本从象棋子下方抽出过程中, 作出象棋子和物理课本的 $v-t$ 图像如图所示, 由于象棋子受到摩擦力与质量之比固定, 故象棋子做匀加速直线运动, 其 $v-t$ 图像为最右侧的图线, 对课本研究, 根据牛顿第二定律可知 $F - F_f = m_{\text{课本}} a$, 当 F 越大时, $v-t$ 图像的加速度越大, 所以随着 F 增大, 课本的 $v-t$ 图像从左侧数第二条图线变为第一条图线, 而当象棋子质量越大时, 象棋子对课本的摩擦力越大, 所以随着象棋子质量增大, 课本的 $v-t$ 图像从左侧数第二条图线变为第三条图线. 当课本和象棋子两者 $v-t$ 图像所围面积等于课本长度一半时, 象棋子离开课本, 由图像可知, 从左侧数第一条图线与第二条图线对比, 两者与最右侧图线所围的面积分别在 t_1 时刻和 t_0 时刻达到课本长度的一半, 象棋子对应的速度分别为 v_1 和 v_0 , 且 $v_1 < v_0$, 说明其他条件不变, F 越大, 象棋子离开课本的速度就越小, 故 A 错误, B 正确; 由图像可知, 从左侧数第三条图线与第二条图线对比, 两者与最右侧图线所围的面积分别在 t_2 时刻和 t_0 时刻达到课本长度的一半, 象棋子对应的速度分别为 v_2 和 v_0 , 且 $v_2 > v_0$ 时, 说明其他条件不变, 象棋子质量越大, 其离开课本的速度就越大, 故 C 正确, D 错误.



3. C **【解析】** 由于斜面光滑, A、B 沿斜面运动方向相同, 所以可以类比自由落体运动, A、B 将以相同加速度一起沿斜面向下运动, 两者始终相对静止,

故 A、B 错误; 根据 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, 由于

两者速度始终相同, $m_A = 2m_B$, 所以始终有 $E_{kA} = 2E_{kB}$, 故 C 正确, D 错误.

4. BCD **【解析】** 小物块第一次与挡板碰撞后, 先向左做匀减速直线运动, 再向右做匀加速直线运动, 根据牛顿第二定律有 $\mu mg = ma$, 解得加速度大小 $a = 3 \text{ m/s}^2$, 小物块第一次与挡板碰撞后, 小物块与木板相互作用直至达到共同速度 v_2 , 由动量守恒定律得 $Mv_1 - mv_1 = (M+m)v_2$, 解得 $v_2 = 4 \text{ m/s}$, 小物块与木板达到共速过

程,小物块的位移为 $x_1 = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2a} = 8 \text{ m}$,所用的时间为 $t_1' = \frac{v_2 - (-v_1)}{a} = 4 \text{ s}$,第二碰撞前小物块和木板一起向右匀速运动的时间为 $t_1'' = \frac{x_1}{v_2} = 2 \text{ s}$,所以小物块与挡板第一次碰撞到第二次碰撞所经历的时间为 $t_1 = t_1' + t_1'' = 6 \text{ s}$,故 A 错误;小物块第一次与挡板碰撞后,小物块与木板相互作用直至达到共同速度 v_2 ,由动量守恒定律得 $Mv_1 - mv_1 = (M+m)v_2$,解得 $v_2 = \frac{M-m}{M+m}v_1$,小物块第二次与挡板碰撞后,小物块与木板相互作用直至达到共同速度 v_3 ,由动量守恒定律得 $Mv_2 - mv_2 = (m+m)v_3$,解得 $v_3 = \frac{M-m}{M+m}v_2 = \left(\frac{M-m}{M+m}\right)^2 v_1$,以此类推可得小物块与挡板第 n 次碰撞前的速度大小为 $v_n = \left(\frac{M-m}{M+m}\right)^{n-1} v_1 = 2^{1-n} \text{ m/s}$,小物块与挡板第二次碰撞前速度大小为 $v_2 = 4 \text{ m/s}$,碰后以原速率反弹,规定水平向左为正方向,对小物块,由动量定理可得挡板对小物块的冲量 $I = mv_2 - (-mv_2) = 8 \text{ N} \cdot \text{s}$,故 B、C 正确;在木板与小物块发生相对滑动过程中,木板一直相对小物块向右做匀减速运动,最终两者静止,根据能量守恒定律得 $\mu mgl_{\min} = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_1^2$,解得长木板的最小长度 $l_{\min} = \frac{128}{3} \text{ m}$,故 D 正确。

5. C 【解析】 a 滑上 c 后相对 c 滑动过程中,假设 b 相对 c 静止,由牛顿第二定律,对 b 、 c 整体有 $\mu mg = (2m+m)a$,对 b 有 $F_f = ma$,解得 $F_f = \frac{1}{3}\mu mg < \mu mg$,即 b 与 c 间的静摩擦力小于最大静摩擦力,所以假设成立,即 b 相对 c 保持静止, b 、 c 一起加速运动, a 与 b 碰撞前, b 做匀加速运动,速度不为零,故 A 错误;设 a 、 b 碰撞前瞬间, a 的速度为 v_1 , b 与 c 的速度均为 v_b , a 、 b 发生弹性碰撞,因 a 、 b 质量相同,故碰撞过程交换速度,碰撞后瞬间 a 获得 b 的速度而与 c 共速, b 获得 a 的速度后相对 c 向右滑动,与选项 A 同理,可知碰撞后 a 、 c 相对静止一起运动, b 相对 c 向右滑动,最终三者相对静止一起匀速运动,故 B 错误; b 刚好滑到 c 的右端与 c 相对静止, a 、 b 、 c 共速,设共同速度为 v' , a 、 b 、 c 组成的系统动量守恒,以向右为正方向,由动量守恒定律得 $mv_0 = (m+m+2m)v'$,由能量守恒定律得 $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}(m+m+2m)v'^2 + Q$,其中 $Q = \mu mgL$,解得 $Q = \frac{3}{8}mv_0^2$, $\mu = \frac{3v_0^2}{8gL}$,故 C 正确,D 错误。

6. ABC 【解析】根据题意可知,小物块开始相对于木板向左运动直到弹簧压缩到最短过程中,木板向左做加速运动,弹簧恢复原长的过程中,开始阶段弹簧的弹力大于小物块与木板间的摩擦力,木板继续向左做加速运动,当弹簧的弹力小于小物块与木板间的摩擦力直到小物块相对于木板向右滑动到木板最右端过程中,木板向左做减速运动,最后小物块与木板共同向左做匀速运动,故 A 正确;弹簧压缩量最大时,小物块与木板速度相等,弹簧弹性势能最大,小物块与木板组成的系统动量始终守恒,以向左为正方向,从小物块滑上木板到弹簧压缩到最短过程中,由动量守恒定律有 $mv_0 = (M+m)v_1$,由能量守恒定律有 $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}(M+m)v_1^2 + \mu mgL + E_p$,从小物块滑上木板到小物块到达木板最右端过程中,由动量守恒定律有 $mv_0 = (M+m)v_2$,由能量守恒定律有 $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}(M+m)v_2^2 + \mu mg \cdot 2L$,联立解得 $E_p = \frac{mMv_0^2}{4(M+m)}$, $L = \frac{Mv_0^2}{4\mu(M+m)g}$,故 B 正确,D 错误;整个过程中,对小物块,由动量定理得 $I_{\text{合}} = mv_2 - mv_0 = -\frac{Mmv_0}{M+m}$,即整个过程中合力对小物块的冲量大小为 $\frac{Mmv_0}{M+m}$,故 C 正确。

7. (1) 2 s 10 m/s (2) 100 J 25 J

【解析】(1)小物块和小车同时做匀加速运动,小物块运动到小车右端的过程中,对小车,由牛顿第二定律得 $\mu mg = Ma_1$

根据运动学公式可得 $x_M = \frac{1}{2}a_1t^2$

联立解得 $t = 2 \text{ s}$

对小物块,根据牛顿第二定律得 $F = \mu mg = ma_2$

根据运动学公式得 $v_m = a_2t$

联立解得 $v_m = 10 \text{ m/s}$

(2)这一过程中,小物块的位移为

$x_m = \frac{1}{2}a_2t^2$

力 F 所做的功为 $W_F = Fx_m$

联立解得 $W_F = 100 \text{ J}$

小物块与小车发生的相对位移为 $\Delta x = x_m - x_M$

物块和小车间因摩擦而产生的热量为 $Q = \mu mg \cdot \Delta x$

联立解得 $Q = 25 \text{ J}$

8. (1) 1.6 m (2) 6.4 m (3) 5

【解析】(1)由于物块与挡板发生完全

弹性碰撞,故碰后物块的速度大小不变,方向向左,即 $v_1 = v_0 = 4 \text{ m/s}$

碰后物块在木板摩擦力作用下向左做匀减速直线运动,物块的加速度大小

为 $a = \frac{\mu mg}{m} = 5 \text{ m/s}^2$

长木板向右减速运动的加速度大小

为 $a' = \frac{\mu mg}{M} = \frac{5}{3} \text{ m/s}^2$

由于物块减速运动的加速度大于长木板减速运动的加速度,可知物块速度先减到零,此时物块与挡板间的距离

最大,为 $x = \frac{v_1^2}{2a} = 1.6 \text{ m}$

(2)物块与挡板发生第一次碰撞后,物块先向左减速运动到速度为零后再向右加速运动,假设物块再次与挡板碰撞前已经与长木板共速,根据动量守恒定律得

$m(-v_1) + Mv_0 = (m+M)v_2$

解得物块与挡板第二次碰撞前的速度为 $v_2 = 2 \text{ m/s}$

此过程物块向右运动的位移 $x_2 = \frac{v_2^2}{2a} = 0.4 \text{ m}$

由于 $x_2 < x_1$,所以假设成立.同理可推知,物块与挡板每次发生碰撞前,物块和长木板都具有共同的水平向右的速度.在物块和木板相对滑动的过程中,木板始终相对物块向右做匀减速运动,物块多次与挡板碰撞后,最终将与木板同时静止,设长木板的最短长度为 L_0 .由能量守恒定律得

$\mu mgL_0 = \frac{1}{2}(m+M)v_0^2$

解得 $L_0 = 6.4 \text{ m}$

(3)物块与挡板每次发生碰撞前,物块和长木板都具有共同的水平向右的速度,第一次碰撞前的速度为 $v_0 = 4 \text{ m/s}$,设第二次碰撞前的速度为 v_2 ,根据动量守恒定律得

$m(-v_1) + Mv_0 = (m+M)v_2$

解得 $v_2 = \frac{1}{2}v_0$

设第三次碰撞前的速度为 v_3 ,根据动量守恒定律得

$m(-v_2) + Mv_2 = (m+M)v_3$

解得 $v_3 = \frac{1}{2}v_2 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 v_0$

同理,第 n 次碰撞前的速度为 $v_n = \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} v_0$

可知第 n 次碰撞后物块的速度大小为 v_n ,方向向左,物块离开挡板的最大距离为 $x_n = \frac{v_n^2}{2a}$

代入 $x_n = 6.25 \times 10^{-3} \text{ m}$

联立解得 $n = 5$

9. (1) $\frac{3v_0^2}{32\mu g}$ (2) $\frac{v_0^2}{32\mu g}$ (3) $\frac{v_0^2}{24\mu g}$
(4) $\frac{7v_0^2}{20\mu g}$

【解析】(1)长板 A 与滑块 B 达到共

速过程,由动量守恒定律得

$$3mv_0 = (m+3m)v_{10}$$

$$\text{解得 } v_{10} = \frac{3}{4}v_0$$

对长板 A,由动能定理得 $\mu \cdot 3mgd_1 =$

$$\frac{1}{2}mv_{10}^2$$

$$\text{解得 } d_1 = \frac{3v_0^2}{32\mu g}$$

(2)长板 A 与滑块 1 发生第 1 次弹性碰撞过程,由动量守恒定律得

$$mv_{10} = mv_{A1} + 2mv_1$$

由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}mv_{10}^2 =$

$$\frac{1}{2}mv_{A1}^2 + \frac{1}{2} \times 2mv_1^2$$

$$\text{联立解得 } v_{A1} = -\frac{1}{4}v_0, v_1 = \frac{1}{2}v_0$$

长板 A 与滑块 B 第二次达到共速过程,由动量守恒定律得

$$3mv_{10} + mv_{A1} = (m+3m)v_{20}$$

$$\text{解得 } v_{20} = \frac{1}{2}v_0$$

对长板 A,由动能定理得 $\mu \cdot 3mgd_2 =$

$$\frac{1}{2}mv_{20}^2 - \frac{1}{2}mv_{A1}^2$$

$$\text{解得 } d_2 = \frac{v_0^2}{32\mu g}$$

滑块 1 与滑块 2 碰撞后速度发生交换,滑块 1 碰后静止,滑块 2 运动的速度为 $\frac{1}{2}v_0$

(3)长板 A 与滑块 B 发生相对运动过程中的加速度大小分别为

$$a_A = \frac{\mu \cdot 3mg}{m} = 3\mu g$$

$$a_B = \frac{\mu mg}{m} = \mu g$$

从滑块 1 第一次被碰后到滑块 1 与滑

$$\text{块 2 碰撞,历时为 } t_{12} = \frac{d_2}{v_1} = \frac{v_0}{16\mu g}$$

长板 A 从速度反向到速度减小为 0,

$$\text{历时为 } t_A = \frac{|v_{A1}|}{a_A} = \frac{v_0}{12\mu g}$$

由于 $t_A > t_{12}$,所以长板 A 的速度减小为 0 时,长板 A 的右端与滑块 1 相距最远,最远距离为

$$x_{\max} = d_2 + \frac{v_{A1}^2}{2a_A}$$

$$\text{联立解得 } x_{\max} = \frac{v_0^2}{24\mu g}$$

(4)长板 A 与滑块 1 第二次碰撞过程,由动量守恒定律得

$$mv_{20} = mv_{A2} + 2mv_2$$

由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}mv_{20}^2 =$

$$\frac{1}{2}mv_{A2}^2 + \frac{1}{2} \times 2mv_2^2$$

$$\text{联立解得 } v_{A2} = -\frac{1}{6}v_0, v_2 = \frac{1}{3}v_0$$

$$\text{由(1)与(2)中可知 } v_{20} = \frac{2}{3}v_{10}$$

依此类推,有

$$v_{n0} = \left(\frac{2}{3}\right)^{n-1} v_{10}$$

$$v_{An} = -\frac{1}{3} \times \left(\frac{2}{3}\right)^{n-1} v_{10} (n=1,2,3,$$

$\cdots)$

长板 A 与滑块 B 的相对加速度始终为 $a = a_A + a_B = 4\mu g$

第 n 次碰后,长板 A 与滑块 B 的相对速度为

$$v_{n\text{相对}} = v_{n0} + |v_{An}| = \left(1 + \frac{1}{3}\right) \times$$

$$\left(\frac{2}{3}\right)^{n-1} v_{10} = \left(\frac{2}{3}\right)^{n-1} v_0$$

第 n 次碰后,滑块 B 在长板 A 上滑行的路程为

$$l_{n0} = \frac{v_{n\text{相对}}^2}{2a} = \frac{v_0^2}{8\mu g} \left(\frac{4}{9}\right)^{n-1} (n=1,2,$$

$3, \cdots)$

无穷次碰后,滑块 B 在长板 A 上滑行的总路程为

$$l = \frac{v_0^2}{8\mu g} \left(1 - \frac{4}{9}\right)^{-1} = \frac{9v_0^2}{40\mu g}$$

$$\text{所以木板的长度为 } L = \frac{v_0^2}{2a} + l$$

$$\text{联立解得 } L = \frac{7v_0^2}{20\mu g}$$

微专题 3 力学三大观点的综合应用

1. B 【解析】v-t 图像的斜率表示加速度,根据图像可知,两物块匀减速运动

的加速度大小都为 $a = \frac{v_0}{t_0}$,根据牛顿

第二定律,匀减速运动中有 $F_f = ma$,则两物块所受的摩擦力大小相等,v-t

图像与时间轴围成的面积表示运动的位移,则由图像可知,两物块全程的位移之比 $x_1 : x_2 = 6 : 5$,对全过程,由

动能定理得 $W_1 - F_f x_1 = 0, W_2 - F_f x_2 = 0$,解得 F_1 和 F_2 对 A、B 做功

之比 $W_1 : W_2 = x_1 : x_2 = 6 : 5$,因此 $W_1 > W_2$;根据图像可知,两物块匀

加速运动的加速度分别为 $\frac{3v_0}{t_0}$ 和 $\frac{2v_0}{3t_0}$,

根据牛顿第二定律,匀加速运动中有 $F - F_f = ma$,解得 $F_1 =$

$$m \frac{4v_0}{t_0}, F_2 = m \frac{5v_0}{3t_0}, \text{则 } F_1 \text{ 和 } F_2 \text{ 对}$$

$$A、B \text{ 的冲量之比 } \frac{I_1}{I_2} = \frac{F_1 \cdot t_0}{F_2 \cdot 3t_0} = \frac{4}{5},$$

因此 $I_1 < I_2$,B 正确。

2. AD 【解析】子弹的初速度大小 v_0 改变时,分为两种情况,一种是最终子弹

和木块共速,一种是子弹穿出木块后继续运动.分析最终子弹和木块共速这种情况,由于水平面光滑,子弹和

木块组成的系统所受合外力为零,则系统动量守恒,设子弹和木块最终速度为 v ,由动量守恒定律得 $mv_0 =$

$$(m+M)v, \text{解得 } v = \frac{m}{m+M}v_0, \text{可知此}$$

种情况下木块获得的速度 v 随子弹初速度 v_0 增大而增大,当子弹恰好不穿

出木块时,木块获得的速度取得最大值,设此时 $v_0 = v_{0m}, v = v_m$,满足 $v_m =$

$\frac{m}{m+M}v_{0m}$,子弹在木块中运动过程中,子弹所受阻力 $F_f = kv_0$,子弹做匀减

速运动的加速度大小 $a_1 = \frac{F_f}{m} = \frac{kv_0}{m}$,

木块做匀加速运动的加速度大小 $a_2 =$

$$\frac{F_f}{M} = \frac{kv_0}{M}, \text{由位移关系得 } \frac{v_{0m}^2 - v_m^2}{2a_1} -$$

$$\frac{v_m^2}{2a_2} = L, \text{联立解得 } v_{0m} =$$

$$\frac{2kL(m+M)}{mM}; \text{分析子弹穿出木块后继续}$$

运动这种情况,将子弹恰好穿出木块(与子弹恰好不穿出木块实际为同一临界点)包含在这种情况下内,此时

$$v_0 \geq \frac{2kL(m+M)}{mM}, \text{设子弹刚穿出木块}$$

时子弹和木块的速度分别为 v_1, v_2 ,可知 $v_1 > v_2$,对子弹有 $2a_1 x_1 = v_1^2 -$

v_0^2 ,对木块有 $2a_2 x_2 = v_2^2$,又知 $x_1 - x_2 = L$,联立解得 $v_2 =$

$$m \left[v_0 - \sqrt{v_0^2 - \frac{2kL(m+M)}{mM}v_0} \right], \text{研}$$

$$\text{究函数 } f(v_0) = v_0 -$$

$$\sqrt{v_0^2 - \frac{2kL(m+M)}{mM}v_0}, \text{对此函数变}$$

$$\text{形得 } f(v_0) = \frac{2kL(m+M)}{mM}v_0$$

$$= v_0 + \sqrt{v_0^2 - \frac{2kL(m+M)}{mM}v_0}$$

$$\frac{2kL(m+M)}{mM}, \text{当 } 1 -$$

$$1 + \sqrt{1 - \frac{2kL(m+M)}{mMv_0}}$$

$$\frac{2kL(m+M)}{mMv_0} = 0, \text{即 } v_0 =$$

$$\frac{2kL(m+M)}{mM} \text{ 时, } f(v_0) \text{ 取得最大值,}$$

v_2 也取得最大值,综上可知,子弹的

初速度大小为 $\frac{2kL(m+M)}{mM}$ 时,木块

获得的速度最大,故 A 正确;将 $v_0 =$

$$\frac{2kL(m+M)}{mM} \text{ 代入上面各式,可}$$

$$\text{得 } F_f = \frac{2k^2 L(m+M)}{mM}, a_2 =$$

$$\frac{2k^2 L(m+M)}{mM^2}, v_2 = \frac{2kL}{M}, \text{子弹在木块}$$

$$\text{中运动的时间 } t = \frac{v_2}{a_2} = \frac{mM}{k(m+M)}, \text{木}$$

块在加速过程中运动的距离 $x_2 =$

$$\frac{v_2^2}{2a_2} = \frac{mL}{m+M}, \text{根据能量守恒定律可}$$

知,木块和子弹损失的总动能用来克服摩擦力做功,即 $\Delta E_k = F_f L =$

$$\frac{2k^2 L^2(m+M)}{mM}, \text{故 B、C 错误,D}$$

正确。

3. ACD 【解析】带电圆环进入电场后,在电场力的作用下,做匀减速直线运动,而电容器则在电场力的作用下做

匀加速直线运动,当它们速度相等时,带电圆环与电容器的左极板相距最近,取向左为正方向,由动量守恒定律得 $mv_0 = (M+m)v$,解得 $v = \frac{mv_0}{M+m}$,

则 P 在 S 处时速度不为 0,故 A 正确; P 从 O 到 S 的过程中,电容器(绝缘座)向左做匀加速直线运动,有 $x = \frac{v}{2}t$,环向左做匀减速直线运动,有 $x' = \frac{v+v_0}{2}t$,由题意可知 $x' - x = \frac{d}{2}$,

解得 $x = \frac{md}{2(M+m)}$,对绝缘座研究,由动能定理得 $Fx = \frac{1}{2}Mv^2$,解得 $F = \frac{mMv_0^2}{(M+m)d}$,根据牛顿第三定律可知, P 进入两板间所受的电场力和绝缘底座受到的力为相互作用力,则 P 进入两板间所受的电场力为 $F_{\text{电}} = F = \frac{mMv_0^2}{(M+m)d}$,故 B 错误,C 正确; P 从 O 至 S 的过程中,整个系统增加的电势能等于系统减少的动能,为 $\Delta E_p = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(m+M)v^2 = \frac{mMv_0^2}{2(M+m)}$,故 D 正确。

4. (1)6 N (2)4 m/s

(3) $0.25 \leq \mu < 0.4$

【解析】(1)对小球摆动到最低点的过程中,由动能定理有

$$mgL = \frac{1}{2}mv_0^2 - 0$$

解得 $v_0 = 5 \text{ m/s}$

小球在最低点时,由牛顿第二定律有

$$F_T - mg = m \frac{v_0^2}{L}$$

解得小球运动到最低点与物块碰撞前所受拉力的大小为 $F_T = 6 \text{ N}$

(2)小球与物块碰撞过程中,由动量守恒定律和机械能守恒定律有

$$mv_0 = mv_1 + Mv_2$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2$$

解得小球与物块碰撞后的瞬间,物块速度的大小为 $v_2 = 4 \text{ m/s}$

(3)若物块恰好运动到圆弧轨道的最低点时两者共速,则对物块与小车整体由水平方向上动量守恒有

$$Mv_2 = 2Mv_3$$

由能量守恒定律有

$$\frac{1}{2}Mv_2^2 = \frac{1}{2} \times 2Mv_3^2 + \mu_1 Mgs$$

解得 $\mu_1 = 0.4$

若物块恰好运动到与圆弧圆心等高的位置时两者共速,则对物块与小车整体由水平方向上动量守恒有

$$Mv_2 = 2Mv_4$$

由能量守恒定律有

$$\frac{1}{2}Mv_2^2 = \frac{1}{2} \times 2Mv_4^2 + \mu_2 Mgs +$$

MgR

解得 $\mu_2 = 0.25$

综上所述,物块与水平轨道间的动摩擦因数 μ 的取值范围为 $0.25 \leq \mu < 0.4$

5. (1)5 m/s (2)0.3 J (3)0.2 m

【解析】(1)小物块刚放在传送带上时,由牛顿第二定律有 $\mu mg = m_{\text{物}}a$

解得 $a = 5 \text{ m/s}^2$

假设小物块运动到传送带右端前已与传送带共速,则此过程有 $v_{\text{传}}^2 = 2ax$

解得小物块运动的位移为 $x = 2.5 \text{ m}$

由于 $x < L_{\text{传}} = 3.6 \text{ m}$,所以假设成立,即小物块运动到传送带右端前已与传送带共速,因此小物块与小球碰撞前瞬间,小物块的速度大小等于传送带的速度大小,为 5 m/s

(2)小物块运动到右端与小球正碰,碰撞时间极短,小物块与小球组成的系统动量守恒,以向右为正方向,由动量守恒定律有 $m_{\text{物}}v = m_{\text{物}}v_1 + m_{\text{球}}v_2$

其中 $v = 5 \text{ m/s}$, $v_1 = -1 \text{ m/s}$

解得 $v_2 = 3 \text{ m/s}$

小物块与小球碰撞过程中,两者构成的系统损失的总动能为

$$\Delta E_k = \frac{1}{2}m_{\text{物}}v^2 - \frac{1}{2}m_{\text{物}}v_1^2 - \frac{1}{2}m_{\text{球}}v_2^2$$

解得 $\Delta E_k = 0.3 \text{ J}$

(3)若小球运动到 P 点正上方,绳子不松弛,设 P 点到 O 点的距离为 d ,小球在 P 点正上方的速度为 v_3 ,在 P 点正上方,由牛顿第二定律有

$$m_{\text{球}} \frac{v_3^2}{L_{\text{绳}} - d} \geq m_{\text{球}}g$$

小球从 O 点正下方到 P 点正上方过程中,由机械能守恒定律有

$$\frac{1}{2}m_{\text{球}}v_2^2 = \frac{1}{2}m_{\text{球}}v_3^2 + m_{\text{球}}g(2L_{\text{绳}} - d)$$

联立解得 $d \geq 0.2 \text{ m}$

即 P 点到 O 点的最小距离为 0.2 m

6. (1) μg (2) $2\mu g$ (3) $5\mu mgx$

(3) $\left(\frac{15}{2} - \frac{2}{n} - \frac{2}{n^2}\right)x$

【解析】(1)对物块,由牛顿第二定律有 $\mu \times 2mg = 2ma_1$

解得 $a_1 = \mu g$

对木板,由牛顿第二定律有

$$\mu \times 2mg = ma_2$$

解得 $a_2 = 2\mu g$

(2)从物块滑上木板到木板与柔性挡板第一次碰撞时,木板的位移

$$x = \frac{1}{2}a_2t_1^2$$

解得所用的时间为 $t_1 = \sqrt{\frac{x}{\mu g}}$

这段时间内,物块的位移

$$x_1 = v_0t_1 - \frac{1}{2}a_1t_1^2$$

物块与木板间因摩擦产生的热量为 $Q = \mu \times 2mg(x_1 - x)$

联立解得 $Q = 5\mu mgx$

(3)木板与柔性挡板第一次碰撞前,木板的速度 $v_1 = \sqrt{2a_2x} = 2\sqrt{\mu gx}$

第一次碰撞后木板的速度

$$v_1' = \frac{1}{1 \times 2}v_1 = \left(1 - \frac{1}{2}\right)v_1$$

第二次碰撞前木板的速度 $v_2 = v_1'$

第一次碰撞到第二次碰撞的时间间隔为

$$\Delta t_1 = 2 \times \frac{v_1'}{a_2} = 2 \left(1 - \frac{1}{2}\right)t_1$$

故从木板开始运动到第二次碰撞时的时间间隔为

$$t_2 = t_1 + \Delta t_1 = t_1 + 2 \left(1 - \frac{1}{2}\right)t_1$$

第二次碰撞后木板的速度

$$v_2' = \frac{1}{2 \times 3}v_1 = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\right)v_1$$

第三次碰撞前木板的速度 $v_3 = v_2'$

第一次碰撞到第二次碰撞的时间间隔为 $\Delta t_2 = 2 \times \frac{v_2'}{a_2} = 2 \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\right)t_1$

故从木板开始运动到第三次碰撞时的时间间隔为

$$t_3 = t_2 + \Delta t_2 = t_1 + 2 \left(1 - \frac{1}{3}\right)t_1$$

归纳可知,从木板开始运动到第 n 次碰撞时的时间间隔为

$$t_n = t_1 + 2 \left(1 - \frac{1}{n}\right)t_1 = \left(3 - \frac{2}{n}\right)t_1$$

该过程中,物块始终做匀减速运动,对物块,由运动学公式有 $x_2 = v_0t_n - \frac{1}{2}a_1t_n^2$

$$\text{解得 } x_2 = \left(\frac{15}{2} - \frac{2}{n} - \frac{2}{n^2}\right)x$$

第6讲 静电场

1. B **【解析】**设 Q 和 P 两球之间的库仑力为 F ,细绳对 Q 、 P 的拉力分别为 F_{T1} 、 F_{T2} , Q 、 P 的质量分别为 m_1 、 m_2 ,两细绳与竖直方向的夹角均为 θ ,对于小球 Q 有 $q_1E + F_{T1} \sin \theta = F$, $F_{T1} \cos \theta = m_1g$,对于小球 P 有 $q_2E + F = F_{T2} \sin \theta$, $F_{T2} \cos \theta = m_2g$,联立有 $q_1E = F - F_{T1} \sin \theta > 0$, $q_2E = F_{T2} \sin \theta - F > 0$,可得 $F_{T2} > F_{T1}$,且 $\frac{F_{T1}}{F_{T2}} = \frac{m_1}{m_2}$,可知 $m_2 > m_1$,即 P 的质量一定大于 Q 的质量,A 错误,B 正确;两小球的电荷量大小关系无法判断,C、D 错误。

2. D **【解析】**根据题意,若小球的初速度方向沿虚线,则其运动轨迹为直线,可知电场力和重力的合力沿着虚线方向,又知电场强度方向为水平方向,根据力的合成可知电场力方向水平向右,若小球的初速度方向垂直于虚线,则其从 O 点出发运动到 O 点等高处的过程中,重力对小球做功为零,电场力的方向与小球的运动方向夹角为锐角,则电场力对小球做正功,小球的动能增大,电势能减小,故 D 正确。

3. B 【解析】根据点电荷的电场分布特点以及电场叠加可知, B、D 两点电场强度大小相等, 但方向不同, 故 A 错误; A 点电场强度为 $E_A = E + \frac{kQ}{r^2}$, M

点电场强度为 $E_M = \sqrt{E^2 + \left(\frac{kQ}{r^2}\right)^2}$, C

点电场强度为 $E_C = \left|E - \frac{kQ}{r^2}\right|$, 由此

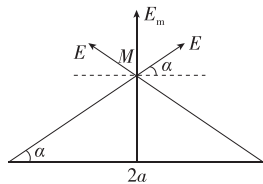
可知 $E_A > E_M > E_C$, 所以将一试探电荷由 A 点沿圆弧 AMC 移至 C 点, 电场强度不断减小, 所受的电场力逐渐减小, 故 B 正确; 负点电荷产生的电场中 A、M、C 三点电势相等, 而匀强电场产生的电场中 A、M、C 三点电势逐渐降低, 所以将一正试探电荷由 A 点沿圆弧 AMC 移至 C 点, 电势能减小, 故 C 错误; 负电荷产生的电场中 B、N、D 三点电势相等, 匀强电场产生的电场中 B、N、D 三点电势也相等, 所以将一负试探电荷由 B 点沿圆弧 BND 移至 D 点, 电势能不变, 故 D 错误。

4. AC 【解析】因为顶点 D 距离正点电荷较近, 顶点 F 距离负点电荷较近, 所以 D 点电势比 F 点电势高, A 正确; 因为正点电荷在 B 点产生的电场强度与负点电荷在 H 点产生的电场强度大小和方向都相同, 负点电荷在 B 点产生的电场强度与正点电荷在 H 点产生的电场强度大小和方向也都相同, 所以根据电场强度叠加原理可知, 顶点 B、H 两处场强大小和方向都相同, B 错误; 等量异种点电荷连线的中垂面为等势面, 且其电势为零, 正方体的 12 条棱中 BC、CD、DH、HE、EF、FB 这 6 条棱的中点各自到正负点电荷的距离都相等, 所以这 6 个中点都在该等势面上, 电势都为零, 因此正方体的 12 条棱上有 6 个点电势为零, C 正确; 因为 B、D 两点到正点电荷的距离相等且到负点电荷的距离也相等, 所以 D 点和 B 点电势相等, 同理, C 点和 F 点的电势也相等, 则 $U_{DC} = U_{BF}$, 由 $W = qU$ 可知, 将一正试探电荷从 D 移到 C 和从 B 移到 F, 电场力做功相同, 则电势能变化量相同, D 错误。

5. BCD 【解析】因等量同种点电荷的电场分布特点可知, B、D 两点的电场强度方向不同, 即电场强度不同, A 错误; 在等量正点电荷连线的中垂线上, 从 O 点到 B 点的电场强度方向向下, 从 O 点到 D 点的电场强度方向向上, 所以将负电荷由 B 沿直线 BD 移到 D 的过程中, 电场力先做正功后做负功, B 正确; 设 BD 上某一点 M 到 A 点的连线与水平方向的夹角为 α , M 点的场强叠加如图所示, M 点的电场强度 $E = \frac{2kq}{\left(\frac{a}{\cos \alpha}\right)^2} \cdot \sin \alpha = \frac{2kq}{a^2} \cos^2 \alpha \sin \alpha$,

由于 $\cos^2 \alpha \sin \alpha = (1 - \sin^2 \alpha) \sin \alpha = \sqrt{\frac{1}{2}(1 - \sin^2 \alpha)^2 \cdot 2 \sin^2 \alpha} \leq \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{1 - \sin^2 \alpha + 1 - \sin^2 \alpha + 2 \sin^2 \alpha}{3}\right)^3} = \sqrt{\frac{4}{27}}$, 当 $1 - \sin^2 \alpha = 2 \sin^2 \alpha$, 即 $\sin \alpha = \frac{\sqrt{3}}{3}$ 时, 不等式取等号, 所以

当 $\sin \alpha = \frac{\sqrt{3}}{3}$ 时, E 有最大值, 为 $E_m = \frac{4\sqrt{3}kq}{9a^2}$, C 正确; 设 P 点到 A 点的连线与 AC 的夹角为 θ , 则 $E_1 = \frac{kq}{(2a \cos \theta)^2}$, $E_2 = \frac{kq}{(2a \sin \theta)^2}$, 故 $\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} = \frac{4a^2}{kq}$ (定值), D 正确。



6. AC 【解析】设正立方体边长为 L, 小球两次在竖直方向的受力情况相同, 则竖直方向的加速度相同, 根据 $L = \frac{1}{2}gt^2$ 可知 $t = \sqrt{\frac{2L}{g}}$, 故两次运动的时间相等, A 正确; 小球两次沿初速度方向均不受力, 即沿初速度方向均做匀速运动, 第一次抛出的初速度 $v_{01} = L\sqrt{\frac{g}{2L}}$, 而第二次抛出的初速度 $v_{02} = \frac{L}{2}\sqrt{\frac{g}{2L}}$, 故两次抛出的初速度不同, B 错误; 第二次沿 ad 方向有 $\frac{L}{2} = \frac{1}{2} \times \frac{F_{\text{电}}}{m} t^2$, 解得 $F_{\text{电}} = \frac{1}{2}mg$, 第一次小球经过 f 点的动能 $E_{kf} = \frac{1}{2}mv_{01}^2 + mgL = \frac{5}{4}mgL$, 第二次小球经过 k 点的动能 $E_{kk} = \frac{1}{2}mv_{02}^2 + mgL + F_{\text{电}} \cdot \frac{L}{2} = \frac{21}{16}mgL$, 故小球经过 f 点的动能与经过 k 点的动能之比为 20 : 21, C 正确; 小球从 a 到 k, 机械能增加量等于电场力做功, 即 $\Delta E = F_{\text{电}} \frac{L}{2} = \frac{1}{4}mgL$, 重力势能减少量 $\Delta E_p = mgL$, 故机械能增加量是重力势能减少量的 $\frac{1}{4}$, D 错误。

7. D 【解析】由图像可知 x 轴上的一 x_0 和 $2x_0$ 之间的电势都大于零, 故两个点电荷一定都是正电荷, 故 A 错误; 在 $x=0$ 处 $\varphi-x$ 图像切线的斜率为零, 则该点处的电场强度为零, 有 $k\frac{q_1}{x_0^2} = k\frac{q_2}{(2x_0)^2}$, 解得 $q_1 : q_2 = 1 : 4$, 故 B 错误; 因 a 点电势大于 b 点电势, 故质子从 a 点由静止释放到达 b

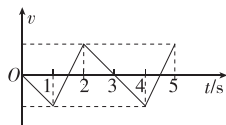
点, 电场力做功大于零, 因此到达 b 点时速度大于 0, 故 C 错误; 将质子从 a 点由静止释放, 质子经过 O 点时, 由动能定理可得 $e(\varphi_a - \varphi_0) = \frac{1}{2}mv_0^2$, 解得 $\varphi_a = \varphi_0 + \frac{mv_0^2}{2e}$, 故 D 正确。

8. CD 【解析】若将 B 板稍向下移, 则 A、B 两板的间距 d_{AB} 变大, 由电容的决定式 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知, C_{AB} 将变小, 而 A'、B' 板未动, 则 $C_{A'B'}$ 不变; 假设 Q_{AB} 不变, 则由 $C = \frac{Q}{U}$ 可知, U_{AB} 增大, 大于 A'、B' 之间的电压, 故 A、B 板将向 A'、B' 板充电, 因此 Q_{AB} 要减小, $Q_{A'B'}$ 要增大, 而 $C_{A'B'}$ 不变, 则 $U_{A'B'}$ 要增大, 故 A、B 错误, C 正确。由场强公式 $E = \frac{U}{d} = \frac{4\pi k Q}{\epsilon_r S}$, 可知 A'、B' 之间的场强 $E_{A'B'}$ 增大, N 将向上运动, 由于 $\varphi_N - 0 = E_{A'B'} d_{NA'}$, 因此 N 原来所在位置处的电势 φ_N 升高, 故 D 正确。

9. BD 【解析】小球甲在变力作用下沿直杆往复性运动, 由于摩擦力与运动方向始终相反, 所以该运动为阻尼振动, 振幅逐渐减小, 小球甲第一次向下到达的最低点为全程的最低点, 小球甲从开始运动至第一次运动到最低点的过程, 根据能量守恒定律有 $mg(x_0 - x) - F_f(x_0 - x) = k\frac{Qq}{x} - k\frac{Qq}{x_0}$, 解得 $x = \frac{kQq}{(mg - F_f)x_0}$, A 错误; 小球甲做阻尼振动, 经过平衡位置的速率越来越小, 第一次向下经过平衡位置时速率最大, 小球甲第一次向下运动至速率达到最大值的位置, 根据平衡条件有 $mg = F_f + \frac{kQq}{x^2}$, 解得 $x = \sqrt{\frac{kQq}{mg - F_f}}$, B 正确; 若小球甲停止在下降的过程中, 且停止运动后恰好静止, 则有 $mg = \frac{kQq}{x_1^2} + F_f$, 解得 $x_1 = \sqrt{\frac{kQq}{mg - F_f}}$, 若小球甲停止在上升的过程中, 且停止运动后恰好静止, 则有 $mg + F_f = \frac{kQq}{x_2^2}$, 解得 $x_2 = \sqrt{\frac{kQq}{mg + F_f}}$, 因此小球甲最后停留位置 x 的区间为 $\sqrt{\frac{kQq}{mg + F_f}} \leq x \leq \sqrt{\frac{kQq}{mg - F_f}}$, C 错误; 若小球甲在最低点能返回, 则有 $\frac{kQq}{x^2} > mg + F_f$, 解得 $x < \sqrt{\frac{kQq}{mg + F_f}}$, 由于 $x = \frac{kQq}{(mg - F_f)x_0}$, 故 $\frac{kQq}{(mg - F_f)x_0} <$

$\sqrt{\frac{kQq}{mg+F_f}}$, 可得初始电势能 $E_{p0} = \frac{kQq}{x_0} < (mg - F_f) \sqrt{\frac{kQq}{mg+F_f}}$, D 正确.

10. D 【解析】粒子进入电容器后, 在平行于极板方向做匀速直线运动, 在垂直于极板方向运动的 $v-t$ 图像如图所示, 因为粒子平行于极板射出, 可知粒子射出极板时在垂直于极板方向的分速度为 0, 所以射出时刻可能为 1.5 s、3 s、4.5 s……, 满足 $t = 1.5n (n=1, 2, 3, \dots)$, 粒子射出的速度大小必定为 v , 极板长度 $L = v \cdot 1.5n (n=1, 2, 3, \dots)$, 故 A、B、C 错误; 因为粒子不跟极板碰撞, 则应满足 $\frac{d}{2} \geq \frac{1}{2} v_{\text{垂直}} \times 1.5 \text{ s}$, $v_{\text{垂直}} = a \times 1 \text{ s}$, $a = \frac{qU_0}{md}$, 联立解得 $d \geq \sqrt{\frac{3}{2} kU_0}$, 故 D 正确.



11. (1) $\frac{5mv_0^2}{2qL}$ 方向与 AB 夹角为 37° 指向右下方

(2) $\frac{\sqrt{11}}{11} v_0$ (3) $\frac{3}{8} v_0$ 或 $\frac{2}{3} v_0$

【解析】(1) 设电场强度大小为 E , 方向与 AB 的夹角为 θ 指向右下方, 粒子由 A 到 B, 由动能定理得

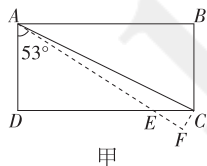
$$Eq \cdot 2L \cos \theta = \frac{1}{2} m v_0^2 \times 8$$

粒子由 A 到 D, 由动能定理得

$$Eq \cdot L \cos (90^\circ - \theta) = \frac{1}{2} m v_0^2 \times 3$$

联立解得 $\theta = 37^\circ$, $E = \frac{5mv_0^2}{2qL}$

(2) 粒子从 C 点射出时, 沿电场线方向的位移最大, 动能增量最多, 如图甲所示



甲

由几何关系可得

$$AE = \frac{L}{\cos 53^\circ} = \frac{5}{3} L$$

$$EC = DC - DE = 2L - L \tan 53^\circ = \frac{2}{3} L$$

$$EF = EC \sin 53^\circ = \frac{8}{15} L$$

则垂直于电场方向移动的距离为

$$CF = EC \cos 53^\circ = \frac{2}{5} L$$

沿电场方向移动的距离为 $AF =$

$$AE + EF = \frac{11}{5} L$$

在垂直于电场的方向上有 $vt = \frac{2}{5} L$

在沿电场的方向上有 $\frac{Eq}{2m} t^2 = \frac{11}{5} L$

联立解得 $v = \frac{\sqrt{11}}{11} v_0$

(3) 粒子第一次经过长方形边界时动量的增量 $\Delta p = mv_0$

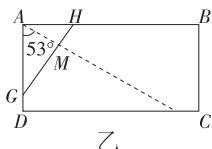
由动量定理得 $\Delta p = Eqt'$

联立解得粒子运动的时间 $t' = \frac{2L}{5v_0}$

粒子沿电场方向的位移为 $y =$

$$\frac{Eq}{2m} t'^2 = \frac{1}{5} L$$

如图乙所示



乙

当沿电场方向的位移 $y = \frac{1}{5} L = AM$

时, 粒子可能从 G 点射出长方形边界, 也可能从 H 点射出长方形边界, 即粒子在垂直于电场方向的位移可能为 $x_1 = MG = AM \tan 53^\circ = \frac{4}{15} L$,

也可能为 $x_2 = MH = \frac{AM}{\tan 53^\circ} = \frac{3}{20} L$

根据 $x_1 = v_1 t'$

$$\text{解得 } v_1 = \frac{2}{3} v_0$$

根据 $x_2 = v_2 t'$

$$\text{解得 } v_2 = \frac{3}{8} v_0$$

所以粒子进入电场时的速度为 $\frac{2}{3} v_0$

或 $\frac{3}{8} v_0$

第 7 讲 磁场

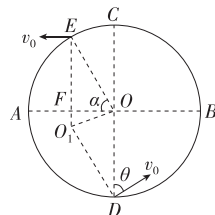
1. BD 【解析】根据左手定则可知, 通电后半圆环 AB 受到竖直向下的安培力, 根据平衡条件可知, 通电后两线拉力变大, 故 A 错误, B 正确; 半圆环 AB 所受安培力的等效长度为直径 AB, 则安培力大小为 $F = BI \cdot 2r = 2BIr$, 故 C 错误, D 正确.

2. D 【解析】同向电流相互吸引, 所以 ab 边受到的安培力方向向下, 选项 A 错误; ab 边受到的安培力向下, cd 边受到的安培力也向下, 则线框整体受到的安培力 F_A 方向向下, 由平衡条件可知 $F = F_A + mg$, 则 $F > mg$, 选项 B 错误; 根据线框四边受到的安培力分析, 线框没有转动的趋势, 选项 C 错误; 长直导线中的电流在线框的 ab 边和 cd 边处产生的磁场的磁感应强度 B 大小相等, 方向相反, 线框 ab 边和 cd 边受到的安培力方向相同, 大小均为 $\frac{1}{2} F_A$, 有 $BIL = \frac{F - mg}{2}$, 解得 $B = \frac{F - mg}{2IL}$, 选项 D 正确.

3. A 【解析】由 $qv_0 B = m \frac{v_0^2}{r}$, 解

得 $r = \frac{mv_0}{qB} = R$, 即两个粒子在磁场中做匀速圆周运动的半径均为 R , 恰好与磁场区域圆半径相等, 则两粒子射出磁场的点与 O 点连线的长度均为 R , 即两粒子在磁场中运动过程轨迹对应的弦长相等, 所以两粒子在磁场中运动的时间相同, 即 $t_a : t_b = 1 : 1$, 故 A 正确.

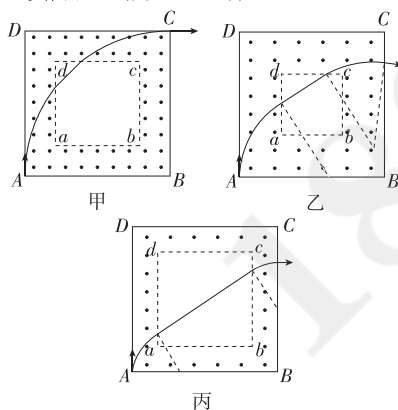
4. BC 【解析】设粒子在磁场中做匀速圆周运动的圆心为 O_1 , 如图所示, 图中 $\angle EOD = \alpha + 90^\circ = 150^\circ$, 根据相交圆的特点可知 $\angle EOO_1 = \frac{1}{2} \angle EOD = 75^\circ$, 进而 $\angle FOO_1 = \angle EOO_1 - \alpha = 15^\circ$, 则 $EF = R \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} R$, $FO_1 = FO \tan 15^\circ = R \cos 60^\circ \tan 15^\circ = \frac{1}{2} R \times \frac{\sin (45^\circ - 30^\circ)}{\cos (45^\circ - 30^\circ)} = R - \frac{\sqrt{3}}{2} R$, 所以粒子在磁场中做匀速圆周运动的半径 $R' = EF + FO_1 = R$, A 错误; 因 $R' = R$, 可知四边形 $EODO_1$ 为菱形, 故 $\angle O_1 DO = 180^\circ - 2 \angle EOO_1 = 30^\circ$, 因而 $\theta = 90^\circ - \angle O_1 DO = 60^\circ$, 故 B 正确; 由于粒子在磁场中运动的轨迹对应的圆心角为 $\angle DO_1 E = \angle EOD = 150^\circ$, 所以粒子在磁场中运动的时间 $t = \frac{150^\circ}{360^\circ} \times \frac{2\pi R}{v_0} = \frac{5\pi R}{6v_0}$, 故 C 正确; 因 $R' = R$, 根据磁发散的特点可知, 以不同的方向从 D 点进入磁场的粒子出磁场时其方向均与 CD 垂直, 故 D 错误.



5. BCD 【解析】设正方形的边长为 L , 带电粒子的质量为 m , 电荷量为 q . 若空间中只有磁感应强度大小为 B 且方向垂直于平面 PQMN 的匀强磁场, 粒子经过 M 点, 则由几何关系可得粒子做匀速圆周运动的半径 $R = L$, 周期 $T = \frac{2\pi R}{v_0} = \frac{2\pi L}{v_0}$, 运动的时间 $t_1 = \frac{1}{4} T = \frac{\pi L}{2v_0}$. 由于洛伦兹力不做功, 所以 $E_{k1} = \frac{1}{2} m v_0^2$, 洛伦兹力的冲量大 $I_1 = \sqrt{(m v_0)^2 + (m v_0)^2} = \sqrt{2} m v_0$, 由 $qv_0 B = m \frac{v_0^2}{R}$, 解得 $B = \frac{m v_0}{qL}$; 若空间中只有电场强度大小为 E 且平行于 PN 方向的匀强电场, 粒子经过 QM 的中点, 则沿初速度方向有 $t_2 = \frac{L}{v_0}$, 由速度偏转角和位移偏转角的关

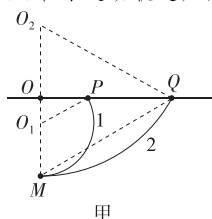
系可得 $\tan \theta_v = 2 \tan \theta_s = 2 \times \frac{\frac{1}{2}QM}{PQ} = 1$, 则经过 QM 中点时沿电场方向的分速度为 $v_y = v_0$, 合速度为 $v = \sqrt{2}v_0$, 所以 $E_{k2} = \frac{1}{2}mv^2 = mv_0^2$, 电场力的冲量大小为 $I_2 = mv_y = mv_0$, 沿电场方向有 $\frac{L}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{Eq}{m} t_2^2$, 解得 $E = \frac{mv_0^2}{qL}$, 因此时间之比 $\frac{t_1}{t_2} = \frac{\frac{\pi L}{2v_0}}{\frac{L}{v_0}} = \frac{\pi}{2}$, A 错误; 动能之比 $\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = \frac{\frac{1}{2}mv_0^2}{mv_0^2} = \frac{1}{2}$, B 正确; 冲量大小之比 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{\sqrt{2}mv_0}{mv_0} = \frac{\sqrt{2}}{1}$, C 正确; 磁感应强度与电场强度之比 $\frac{B}{E} = \frac{mv_0}{qL} = \frac{1}{v_0}$, D 正确.

6. ACD **【解析】** 若粒子穿过 ad 边时速度方向与 ad 边夹角为 45° , 则粒子必经过 cd 边, 作出粒子运动轨迹图, 如图甲所示, 由对称性可知, 粒子从 C 点垂直于 BC 射出, A、C 正确; 若粒子穿过 ad 边时速度方向与 ad 边夹角为 60° , 则粒子可能从 cd 边再次进磁场, 作出粒子运动轨迹如图乙所示, 此时粒子不能垂直 BC 射出, 粒子也可能经 bc 边再次进入磁场, 作出粒子运动轨迹如图丙所示, 此时粒子垂直 BC 边射出, B 错误, D 正确.



7. (1) $\frac{2\sqrt{3}}{3}d$ $2\sqrt{3}d$ (2) $\frac{2q}{3}$ (3) $6d$

【解析】 (1) 粒子运动轨迹如图甲所示



设粒子 1 做匀速圆周运动的半径为 r_1 , 由几何关系得 $r_1^2 - (\sqrt{3}d - r_1)^2 = d^2$

$$\text{解得 } r_1 = \frac{2\sqrt{3}}{3}d$$

设粒子 2 做匀速圆周运动的半径为 r_2 , 由几何关系得

$$r_2^2 - (r_2 - \sqrt{3}d)^2 = (3d)^2$$

$$\text{解得 } r_2 = 2\sqrt{3}d$$

(2) 由几何关系知, 粒子 1 在磁场中运动的时间 $t_1 = \frac{1}{3}T_1$

粒子 2 在磁场中运动的时间 $t_2 = \frac{1}{6}T_2$

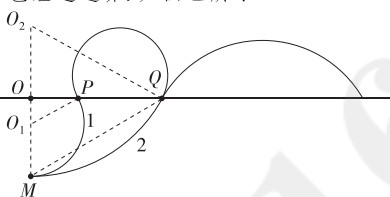
$$\text{其中 } T_1 = \frac{2\pi m_1}{q_1 B}, T_2 = \frac{2\pi m_2}{q_2 B}$$

由题意知 $m_1 = m_2, t_1 = t_2$

由电荷守恒定律得 $q_1 + q_2 = q$

$$\text{联立解得 } q_1 = \frac{2q}{3}$$

(3) 若在边界上方同时存在磁感应强度大小相同、方向垂直于平面向外的匀强磁场, 则粒子 1、2 将做周期性运动. 粒子 2 第 2 次经过边界时, 粒子 1 也经过边界, 如图乙所示



粒子 1 到 O 点的距离 $x_1 = 3r_1 \cos 30^\circ$

粒子 2 到 O 点的距离 $x_2 = 3r_2 \cos 30^\circ$

所以两个粒子之间的距离 $\Delta x = x_2 - x_1$

$$\text{联立解得 } \Delta x = 6d$$

8. (1) $\frac{mv_0}{qR}$ (2) $(\sqrt{15} - \sqrt{3})R$ (3) $\frac{\sqrt{3}}{2}$

【解析】 (1) 由从离子源最上方射出的离子经过磁场 I 偏转后恰好从 O 点沿 y 轴负方向射入磁场 II 可知, 离子在磁场 I 中做匀速圆周运动的半径为 $r_1 = R$

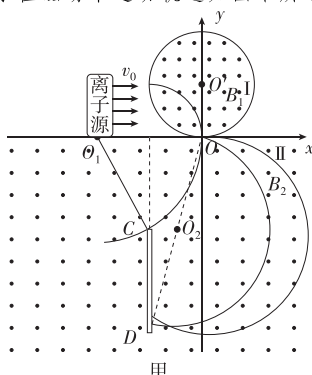
根据洛伦兹力提供向心力有

$$qv_0 B_1 = m \frac{v_0^2}{r_1}$$

$$\text{解得 } B_1 = \frac{mv_0}{qR}$$

(2) 因为 $B_2 = \frac{1}{2}B_1$, 所以离子在磁场 II 中做匀速圆周运动的半径为 $r_2 = 2r_1 = 2R$

离子在磁场中运动轨迹如图甲所示

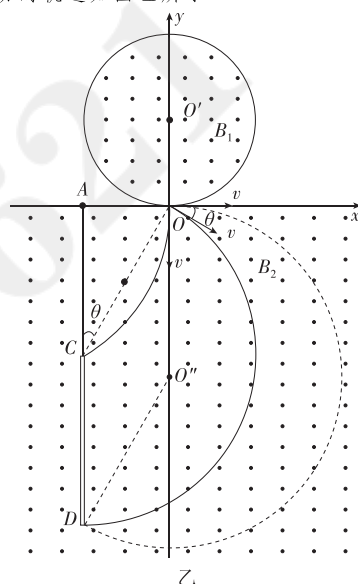


从离子源最上方射出的离子经 O 点沿 y 轴负方向射入磁场 II, 打在收集板的位置离 x 轴的距离最近, 由几何关系可知, 最近距离为 $y_1 = \sqrt{r_2^2 - (r_2 - R)^2} = \sqrt{3}R$, 可知恰好打在 C 点

射入磁场 II 的离子打到 CD 板上最下端的 D 点, 由几何关系可知, D 点离 x 轴的距离为 $y_2 = \sqrt{(2r_2)^2 - R^2} = \sqrt{15}R$

所以若从 O 点射出的离子恰好全部被收集板右侧吸收, 则收集板的长度为 $L = y_2 - y_1 = (\sqrt{15} - \sqrt{3})R$

(3) 若收集板的长度为 $2R$, 则打在收集板最下端的 D 点的离子做圆周运动的轨迹如图乙所示



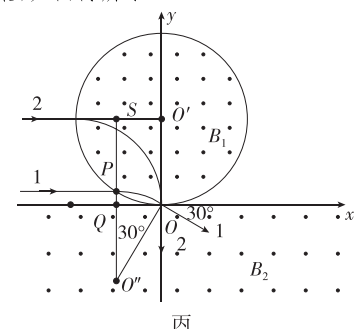
从 O 点射出沿 y 轴负方向射入磁场 II 的离子在磁场 II 中偏转后恰好经过 C 点, 设从 O 点射出与 x 轴正方向夹角为 θ 的离子刚好经过收集板最下端的 D 点, 由几何关系可知 $OC = \sqrt{OA^2 + AC^2} = 2R$

因 $OC = CD = 2R$, 则 C 点为经过 D 点的离子运动轨迹的圆心

$$\text{由几何关系可知 } \sin \theta = \frac{OA}{OC} = \frac{1}{2}$$

$$\text{解得 } \theta = 30^\circ$$

所以从 O 点射出与 x 轴正方向夹角在 $30^\circ \sim 90^\circ$ 之间的离子能被 CD 板收集, 如图丙所示



由几何关系可知, 从 O 点射出与 x 轴正方向夹角为 30° 的离子在进入圆形磁场 I 时与 x 轴的距离为 $PQ = R$

$$R \cos 30^\circ = \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2}\right) R$$

从 O 点射出沿 y 轴负方向射入磁场 II 的离子进入圆形磁场 I 时与 x 轴的距离为 R

则被收集板右侧收集的离子对应离子

$$\text{源的宽度为 } PS = SQ - PQ = \frac{\sqrt{3}}{2} R$$

所以被收集板右侧收集的离子数与射入磁场的离子总数的比值为 $k =$

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

微专题 4 带电粒子在组合场中的运动

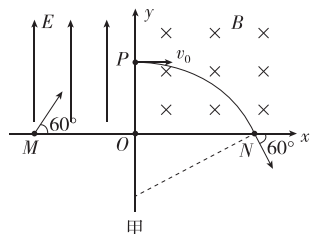
1. (1) $2v_0$ (2) $\frac{mv_0}{2qd}$ (3) $\left(\frac{mv_0}{2k}, 0\right)$

(4) $\frac{mv_0}{k} + d - \frac{m^2 v_0^2}{4dk^2}$

【解析】(1) 粒子进入电场后做类斜抛运动, 垂直于电场方向做匀速直线运动, 沿电场方向做匀减速直线运动, 有 $v_M \cos 60^\circ = v_0$

$$\text{解得 } v_M = 2v_0$$

(2) 粒子在磁场中做匀速圆周运动, 其运动轨迹如图甲所示

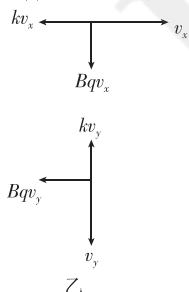


根据几何关系可知 $R \sin 30^\circ = R - d$
由洛伦兹力提供向心力有

$$qv_0 B = m \frac{v_0^2}{R}$$

$$\text{联立解得 } B = \frac{mv_0}{2qd}$$

(3) 对粒子受力分析, 速度沿 x 轴的分量会产生沿 x 轴方向的阻力与沿 y 轴方向的洛伦兹力, 速度沿 y 轴的分量会产生沿 y 轴方向的阻力与沿 x 轴方向的洛伦兹力, 如图乙所示



沿 x 轴方向上, 由动量定理有

$$-(kv_x + Bqv_y) \Delta t = m \Delta v_x$$

由微元法累加后可得

$$-kx - Bqy = m(0 - v_0)$$

其中 $y = d$

$$\text{解得 } x = \frac{mv_0}{2k}$$

则 Q 点的坐标为 $\left(\frac{mv_0}{2k}, 0\right)$

(4) 同(3), 沿 y 轴方向上, 由动量定理有 $(kv_y - Bqv_x) \Delta t = m \Delta v_y$

由微元法累加后可得

$$ky - Bqx = m(-v_0 - 0)$$

解得 $v_Q = \frac{mv_0^2}{4dk} - \frac{kd}{m}$, 方向沿轨迹切线方向

阻力使得粒子速度减小, 沿轨迹切线

$$\text{方向上有一 } -kv \Delta t = m \Delta v$$

沿轨迹切线方向上速度的变化量

$$\Delta v = v_Q - v_0$$

由微元法累加后可得

$$-kl = m(v_Q - v_0)$$

解得轨迹的长度为 $l = \frac{mv_0}{k} + d -$

$$\frac{m^2 v_0^2}{4dk^2}$$

2. (1) $\frac{2U}{R}$ (2) $\sqrt{2}d$ (3) $\frac{16Uet^2}{\pi^2 d^2}$

【解析】(1) 设氦核 ${}^4_2\text{He}$ 的质量为 m , 氦核 ${}^2_1\text{H}$ 的质量为 M , 氦核 ${}^2_1\text{H}$ 经加速电压 U 加速过程, 由动能定理得 $Ue =$

$$\frac{1}{2} m v_1^2$$

氦核 ${}^2_1\text{H}$ 在辐向电场中做匀速圆周运动, 由电场力提供向心力, 有

$$eE = m \frac{v_1^2}{R}$$

$$\text{联立解得 } E = \frac{2U}{R}$$

(2) 设匀强磁场的磁感应强度为 B , 氦核 ${}^2_1\text{H}$ 在磁场中做匀速圆周运动, 由洛伦兹力提供向心力, 有

$$ev_1 B = m \frac{v_1^2}{d}$$

$$\text{解得 } d = \sqrt{\frac{2Um}{eB^2}}$$

氦核 ${}^2_1\text{H}$ 在磁场中做匀速圆周运动, 由洛伦兹力提供向心力, 有 $ev_2 B =$
 $M \frac{v_2^2}{r}$

$$\text{解得 } r = \sqrt{\frac{2UM}{eB^2}}$$

$$\text{又知 } M = 2m$$

则氦核 ${}^2_1\text{H}$ 在磁场区域运动的半径 $r = \sqrt{2}d$

(3) 设氦核 ${}^4_2\text{He}$ 与氦核 ${}^2_1\text{H}$ 在磁场中做匀速圆周运动的周期分别为 T_1 和 T_2 , 则有

$$T_1 = \frac{2\pi m}{eB} = 4t$$

$$T_2 = \frac{2\pi M}{eB} = 8t$$

$$\text{对氦核 } {}^2_1\text{H} \text{ 有 } r = \sqrt{2}d = \sqrt{\frac{2UM}{eB^2}}$$

$$\text{联立解得 } M = \frac{16Uet^2}{\pi^2 d^2}$$

3. (1) $\frac{3U_0 e}{2dm} t_0^2$ (2) $B < \frac{U_0 t_0}{dL} + \frac{m}{eL}$

$$\sqrt{v_0^2 + \left(\frac{U_0 e}{dm} t_0\right)^2} \quad (3) \frac{U_0 e}{dm} t_0^2$$

【解析】(1) 由题意可知, 从 $0, 2t_0, 4t_0,$

$\dots\dots$ 时刻进入偏转电场的电子离开偏转电场时的位置到 OO' 的距离最大, 在这种情况下, 最大距离为 $y_{\max} =$

$$\frac{1}{2} a t_0^2 + v_y t_0$$

$$\text{加速度大小 } a = \frac{eU_0}{md}$$

$$\text{竖直分速度大小 } v_y = at_0$$

$$\text{解得 } y_{\max} = \frac{3U_0 e}{2dm} t_0^2$$

(2) 设电子从偏转电场中射出时的偏向角为 θ , 由于电子要打在荧光屏上, 临界情况是与屏相切, 所以电子在磁场中运动半径应满足 $R + R \sin \theta > L$

设电子离开偏转电场时的速度为 v_1 , 垂直偏转极板的速度为 v_y , 则电子离开偏转电场时的偏向角为 θ ,

$$\sin \theta = \frac{v_y}{\sqrt{v_0^2 + v_y^2}}$$

$$\text{又 } ev_1 B = m \frac{v_1^2}{R}, R = \frac{mv_1}{Be}$$

$$\text{解得 } B < \frac{U_0 t_0}{dL} + \frac{m}{eL} \sqrt{v_0^2 + \left(\frac{U_0 e}{dm} t_0\right)^2}$$

(3) 从 $t_0, 3t_0, \dots\dots$ 时刻进入偏转电场的电子离开偏转电场时的位置到 OO' 的距离最小, 在这种情况下, 最小距离

$$\text{为 } y_{\min} = \frac{1}{2} a t_0^2$$

$$\text{解得 } y_{\min} = \frac{1}{2} \frac{U_0 e}{dm} t_0^2$$

由于各个时刻从偏转电场中射出的电子的速度大小相等, 方向相同, 因此电子进入磁场后做圆周运动的半径也相同, 所以打到屏上的粒子是一系列平行的圆弧, 由第(1)问知电子离开偏转电场时的位置到 OO' 的最大距离和最小距离的差值为 Δy_1 , 最远位置和最近位置之间的距离 $\Delta y_1 = y_{\max} - y_{\min}$

所以打在荧光屏上的电子束的宽度为

$$\Delta y = \Delta y_1 = \frac{U_0 e}{dm} t_0^2$$

4. (1) $3 \times 10^2 \text{ m/s}$

(2) $1.3 \text{ m} \quad -0.2 \text{ m}$

(3) $(n-0.8)\sqrt{3} \text{ m} (n=1, 2, 3, \dots)$ 或 $(n-0.3)\sqrt{3} \text{ m} (n=1, 2, 3, \dots)$

【解析】(1) 带电粒子在电场中做类平抛运动, 则有 $\tan 60^\circ = \frac{v_y}{v_0}$

$$\text{其中 } v_y = \sqrt{2ay} = \sqrt{2 \frac{qE}{m} y} = 3\sqrt{3} \times 10^2 \text{ m/s}$$

$$\text{联立解得 } v_0 = 3 \times 10^2 \text{ m/s}$$

(2) 进入磁场的速度为 $v =$

$$\frac{v_0}{\cos 60^\circ} = 2v_0 = 6 \times 10^2 \text{ m/s}$$

进入磁场后从图乙可知在 $0 \sim \frac{\pi m}{qB_0}$ 时间内, 由洛伦兹力提供向心力得

$$qvB_0 = m \frac{v^2}{R_1}$$

$$\text{解得轨迹半径为 } R_1 = \frac{mv}{qB_0} = 0.4 \text{ m}$$

$$\text{运动周期为 } T_1 = \frac{2\pi R_1}{v} = \frac{2\pi m}{qB_0}$$

$$\text{则运动时间为 } t_1 = \frac{\pi m}{qB_0} = \frac{T_1}{2}$$

在 $\frac{\pi m}{qB_0} \sim 3 \frac{\pi m}{qB_0}$ 时间内, 由洛伦兹力提供

$$\text{向心力得 } qv \cdot \frac{2}{3} B_0 = m \frac{v^2}{R_2}$$

$$\text{解得轨迹半径为 } R_2 = \frac{3mv}{2qB_0} = 0.6 \text{ m}$$

$$\text{运动周期为 } T_2 = \frac{2\pi R_2}{v} = \frac{3\pi m}{qB_0}$$

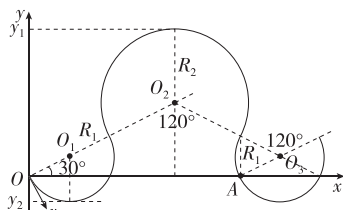
$$\text{则运动时间为 } t_2 = 2 \cdot \frac{\pi m}{qB_0} = \frac{2T_2}{3}$$

在 $3 \frac{\pi m}{qB_0} \sim 4 \frac{\pi m}{qB_0}$ 时间内, 运动半径

$$\text{仍为 } R_1, \text{ 运动时间为 } t_3 = \frac{4}{3} \cdot$$

$$\frac{\pi m}{qB_0} = \frac{2T_1}{3}$$

所以进入磁场后的运动轨迹如图所示



要形成完整的轨迹, 从轨迹图中可看出磁场区域的上限坐标 $y_1 = (2R_1 + R_2) \sin 30^\circ + R_2 = 1.3 \text{ m}$

磁场区域的下限坐标 $y_2 = -(R_1 - R_1 \sin 30^\circ) = -0.2 \text{ m}$

(3) 若在 $y < 0$ 区域垂直打在荧光屏上

$$x_1 = R_1 \cos 30^\circ = 0.2\sqrt{3} \text{ m}$$

由上图可知轨迹圆心 O_1 到 O_3 之间的距离 $\Delta x = 2(R_1 + R_2) \cos 30^\circ = \sqrt{3} \text{ m}$

$$\text{所以 } x_2 = x_1 + \Delta x, x_3 = x_1 + 2\Delta x$$

$$x_n = x_1 + (n-1)\Delta x = (n-0.8)\sqrt{3} \text{ m}$$

$$(n=1, 2, 3, \dots)$$

若在 $y > 0$ 区域垂直打在荧光屏上

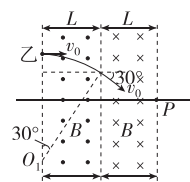
$$x_1' = (2R_1 + R_2) \cos 30^\circ = 0.7\sqrt{3} \text{ m}$$

根据对称轨迹圆心 O_2 到 O_4 之间的距离 $\Delta x = 2(R_1 + R_2) \cos 30^\circ = \sqrt{3} \text{ m}$

$$\text{所以 } x_n' = x_1' + (n-1)\Delta x = (n-0.3)\sqrt{3} \text{ m} (n=1, 2, 3, \dots)$$

$$5. (1) \frac{mv_0}{2qL} \quad (2) \frac{3}{2} \pi L \quad (3) F = \frac{\omega q \Delta x}{3v_0}$$

【解析】(1) 乙粒子在 I 区的运动轨迹如图所示



由洛伦兹力提供向心力有

$$qv_0 B = m \frac{v_0^2}{r_1}$$

$$\text{由几何关系得 } \sin 30^\circ = \frac{L}{r_1}$$

$$\text{联立解得磁感应强度的大小 } B = \frac{mv_0}{2qL}$$

(2) 根据对称性可知, 乙在磁场中运动

$$\text{的时间为 } t_1 = 2 \times \frac{30^\circ}{360^\circ} \times \frac{2\pi m}{qB}$$

根据对称性可知, 甲粒子到 P 点时的速度方向沿 x 轴正方向, 甲粒子在 III 区电场中沿着直线从 P 点到 O 点, 由

$$\text{运动学公式有 } d = \frac{3}{2} v_0 t_1 + \frac{1}{2} a t_1^2$$

$$\text{由牛顿第二定律有 } a = \frac{qE_0}{m}$$

$$\text{其中 } E_0 = \frac{9mv_0^2}{4\pi qL}$$

$$\text{联立解得 III 区宽度 } d = \frac{3}{2} \pi L$$

(3) 甲粒子经过 O 点时的速度为 $v_{\text{甲}} =$

$$\frac{3}{2} v_0 + a t_1$$

因为甲在 IV 区始终做匀速直线运动, 则甲的位置坐标为 $x_1 = v_{\text{甲}} t$

同时甲所在处的电场强度 $E_1 = 0$, 即

$$\omega t = kx_1$$

$$\text{联立解得 } v_{\text{甲}} = 3v_0, k = \frac{\omega}{3v_0}$$

设乙粒子经过 III 区的时间为 t_2 , 乙粒子在 IV 区运动的时间为 t_0 , 则 $t = t_0 + t_2$

乙所在处的电场强度 $E_2 = \omega t - kx_2$, 即

$$\frac{F}{q} = \omega(t_0 + t_2) - kx_2$$

$$\text{整理可得 } x_2 = 3v_0(t_0 + t_2) - \frac{3v_0 F}{q\omega}$$

对甲有 $x_1 = 3v_0(t_0 + t_2)$

$$\text{则 } \Delta x = x_1 - x_2 = \frac{3v_0 F}{q\omega}$$

化简可得乙追上甲前 F 与 Δx 间的关系式为 $F = \frac{\omega q \Delta x}{3v_0}$

微专题 5 电磁场中的空间立体问题和摆线问题

$$1. (1) \frac{mv_0^2}{2q} \quad (2) \left(-\frac{L}{5}, -\frac{L}{5}, 0\right)$$

$$\frac{3\sqrt{2}}{5} v_0, \text{ 速度方向跟 } x \text{ 轴负方向的夹角为 } 45^\circ$$

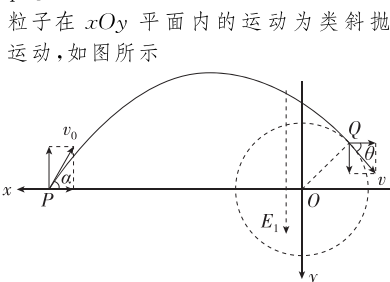
$$(3) \left(\frac{L}{5}, \frac{L}{5}, \frac{L}{2}\right)$$

【解析】(1) 在加速电场中, 对带电粒子由动能定理得 $qU = \frac{1}{2} mv_0^2 - 0$

$$\text{解得 } U = \frac{mv_0^2}{2q}$$

(2) 对带电粒子, 根据牛顿第二定律得 $qE_1 = ma$

粒子在 xOy 平面内的运动为类斜抛运动, 如图所示



设粒子到达 Q 点时的速度大小为 v, 跟 x 轴负方向的夹角为 θ , 根据运动的合成与分解, Q 点的位置坐标为

$$x = -v_0 \cos \alpha \cdot \Delta t + L = -\frac{L}{5}$$

$$y = -v_0 \sin \alpha \cdot \Delta t + \frac{1}{2} a (\Delta t)^2 = -\frac{L}{5}$$

$$v_x = -v_0 \cos \alpha$$

$$v_y = -v_0 \sin \alpha + a \Delta t$$

$$\text{则有 } v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \frac{3\sqrt{2}}{5} v_0$$

$$\tan \theta = \left| \frac{v_y}{v_x} \right| = 1, \text{ 可知速度方向跟 } x$$

轴负方向的夹角为 45°

(3) 根据第(2)问计算结果可知, 带电粒子到达 Q 点时的速度与 OQ 连线垂直, 电场变化后粒子的运动可以看成

xOy 平面内的匀速圆周运动与 z 轴方向的变速直线运动的合成, 由洛伦兹

$$\text{力提供向心力得 } qvB = m \frac{v^2}{R}$$

$$\text{解得 } R = \frac{\sqrt{2}}{5} L$$

与 OQ 的距离相等, 即 O 点为圆心位置, 设粒子运动的周期为 T, 则有 $T =$

$$\frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi L}{3v_0}$$

$$\text{由于 } t = \frac{3\pi L}{v_0} = 4T + \frac{1}{2} T$$

可知该时刻粒子位置的 x、y 坐标值均为 $\frac{L}{5}$; 在 z 轴方向, 设加速度大小

为 a_z , 根据牛顿第二定律得 $qE_z = ma_z$

该方向的坐标值为 $z = \frac{1}{2} a_z$

$$\left(\frac{T}{2}\right)^2 \times 5 + a_z \cdot \frac{T}{2} \cdot T = \frac{9a_z T^2}{8}$$

$$\text{解得 } z = \frac{L}{2}$$

$$\text{则当 } t = \frac{3\pi L}{v_0} \text{ 时带电粒子的位置坐标为 } \left(\frac{L}{5}, \frac{L}{5}, \frac{L}{2}\right)$$

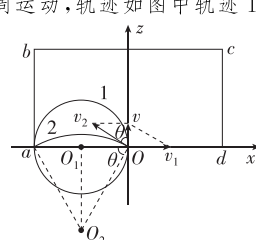
$$2. (1) \frac{2mv}{qL} \quad (2) \frac{8mv^2}{\pi^2 qL} \quad (3) \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{6}\right) L$$

【解析】(1) 粒子在 $aOzb$ 平面内做匀速圆周运动, 轨迹如图中轨迹 1 所示

由洛伦兹力提供向心力可得 $qvB = m \frac{v^2}{r}$

$$\text{由几何关系可得 } r = \frac{1}{2} L$$

$$\text{解得 } B = \frac{2mv}{qL}$$



由洛伦兹力提供向心力可得

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

$$\text{由几何关系可得 } r = \frac{1}{2} L$$

$$\text{解得 } B = \frac{2mv}{qL}$$

(2) 粒子在长方体中运动的时间为 $t = \frac{\pi r}{v}$

在 y 轴方向上做初速度为零的匀加速直线运动, 则有 $L = \frac{1}{2}at^2$

又 $qE_1 = ma$

$$\text{解得 } E_1 = \frac{8mv^2}{\pi^2 qL}$$

(3) 将初速度 v 分解为 v_1 、 v_2 , 使 v_1 对应的洛伦兹力恰好与电场力平衡, 即 $qv_1 B = qE_2$

$$\text{其中 } E_2 = \frac{2\sqrt{3}mv^2}{qL}$$

解得 $v_1 = \sqrt{3}v$, $v_2 = \sqrt{v^2 + v_1^2} = 2v$
易知 v_2 与 z 轴正方向的夹角为 $\theta = 60^\circ$

若仅在 v_2 对应的洛伦兹力作用下做匀速圆周运动, 即 $qv_2 B = m \frac{v_2^2}{R}$

$$\text{则轨道半径 } R = \frac{mv_2}{qB}$$

解得 $R = L$

该分运动的情况如图中轨迹 2 所示,

$$\text{粒子在磁场中运动的时间为 } t_2 = \frac{\frac{\pi}{3}R}{v_2}$$

由于粒子也参与速度大小为 v_1 、方向沿 x 轴正方向的匀速运动, 粒子射出磁场时与 O 点的距离 $s = L - v_1 t_2$

$$\text{解得 } s = \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{6}\pi\right)L$$

$$3. (1) \frac{3mv_0}{5qd} \quad (2) \frac{24mv_0^2}{25qd} \quad (3) 1.4v_0$$

【解析】(1) 离子在匀强磁场中做匀速圆周运动, 根据牛顿第二定律有

$$qv_0 B_0 = m \frac{v_0^2}{R}$$

根据几何关系有 $R \sin \theta = d$

$$\text{联立解得 } B_0 = \frac{3mv_0}{5qd}$$

(2) 离子在匀强电场中做类平抛运动, 在 x 轴方向上有 $\frac{4}{3}d = v_0 \cos \theta \cdot t$

在 y 轴方向上(以 y 轴负方向为正)有 $y = -v_0 \sin \theta \cdot t + \frac{1}{2}at^2$

由牛顿第二定律有 $qE = ma$

由几何关系有 $y = R - R \cos \theta$

$$\text{联立解得 } E = \frac{24mv_0^2}{25qd}$$

(3) 离子进入 II 区时, 洛伦兹力沿 y 轴方向的分量

$$F_{\text{洛}y} = Bqv_x = Bqv_0 \cos \theta = Eq$$

$$\text{洛伦兹力沿 } x \text{ 轴方向的分量 } F_{\text{洛}x} = Bqv_y = Bqv_0 \sin \theta$$

因此离子在 II 区的运动可看成水平方向的匀速直线运动和逆时针方向的匀速圆周运动的合运动, 当离子在最低点时, 两个分运动速度同向, 离子有速度的最大值为 $v_m = v_0 \cos \theta + v_0 \sin \theta$
解得 $v_m = 1.4v_0$

$$4. (1) \frac{2mv_0}{qL} \quad \frac{\pi L}{6v_0} \quad (2) \left(\frac{L}{5}, 0, 0\right) \text{ 和 } \left(\frac{2L}{5}, 0, 0\right) \quad (3) \frac{\pi L}{6}$$

【解析】(1) 粒子在磁场中做圆周运动, 由洛伦兹力提供向心力, 则有

$$qv_0 B = m \frac{v_0^2}{r_1}$$

根据几何关系有 $r_1 = \frac{L}{2}$

$$\text{解得 } B = \frac{2mv_0}{qL}$$

粒子在匀强磁场运动的周期为 $T = \frac{2\pi r_1}{v_0} = \frac{\pi L}{v_0}$

$$\text{由题意可知, 粒子从原点 } O \text{ 轴射出, 弦长最短为 } \frac{L}{2}, \text{ 粒子的运动时间最短, 此时圆心角为 } 60^\circ, \text{ 运动的最短时间为 } t = \frac{T}{6} = \frac{\pi L}{6v_0}$$

(2) 根据题中给出的电场强度与磁感应强度的关系有

$$Eq = Bq \frac{4v_0}{5}$$

所以粒子的运动可看成沿 x 轴正方向、大小为 $\frac{4}{5}v_0$ 的匀速直线运动和 xOz 平面内线速度大小为 $\frac{v_0}{5}$ 的匀速圆周运动的合运动, 其做匀速圆周运动的半径为 $r_0 = \frac{m \frac{v_0}{5}}{Bq} = \frac{L}{40\pi}$

一个周期时与原速度方向相同, 此时沿 x 轴方向的位移为 $x_0 = \frac{4v_0}{5} \cdot \frac{2\pi m}{Bq} = \frac{L}{5}$

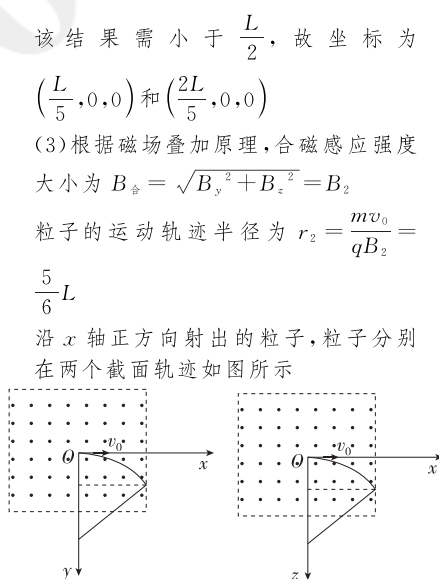
由于 $x = nx_0 = n \frac{L}{5}$

该结果需小于 $\frac{L}{2}$, 故坐标为 $\left(\frac{L}{5}, 0, 0\right)$ 和 $\left(\frac{2L}{5}, 0, 0\right)$

$$(3) \text{ 根据磁场叠加原理, 合磁感应强度大小为 } B_{\text{合}} = \sqrt{B_y^2 + B_z^2} = B_2$$

粒子的运动轨迹半径为 $r_2 = \frac{mv_0}{qB_2} = \frac{5}{6}L$

沿 x 轴正方向射出的粒子, 粒子分别在两个截面轨迹如图所示



设粒子射出点距 x 的距离分别为 y 和 z , 由几何关系可知 $(r_2 - y)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2 = r_2^2$, $(r_2 - z)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2 = r_2^2$

$$\text{解得 } y = \frac{L}{6}, z = \frac{L}{6}$$

故可得痕迹圆的半径为 $r = \frac{L}{6}$

故粒子打在荧光屏上落点的痕迹长度为 $s = \pi r = \frac{\pi L}{6}$

第 8 讲 恒定电流和交变电流

1. BD 【解析】单块电池充满电后储存的电荷量是 $q = 200 \text{ A} \cdot \text{h} = 200 \text{ A} \cdot 3600 \text{ s} = 7.2 \times 10^5 \text{ C}$, 故 A 错误; 单块电池充满电后储存的电能为 $E_1 = Uq = 3.2 \text{ V} \times 200 \text{ A} \cdot \text{h} = 640 \text{ W} \cdot \text{h}$, 故 B 正确; 该车充满电后储存的电能为 $E = 120E_1 = 120 \times 0.64 \text{ kW} \cdot \text{h} = 76.8 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 则其续航里程是 $s = \frac{76.8}{13} \times 100 \text{ km} \approx 591 \text{ km}$, 故 C 错误; 若某块电池充电电流是 200 A , 则经过 30 min 可给该电池充的电荷量 $Q = 200 \text{ A} \times 30 \text{ min} = 100 \text{ A} \cdot \text{h} = \frac{1}{2}q$, 即为总容量的 50% , 可将该电池从其容量的 30% 充到 80% , 故 D 正确。

2. C 【解析】根据题意可知, 太阳能电池的电动势为 U_0 , 路端电压为 U_1 时, 太阳能电池的总功率为 $P_{\text{总}} = U_0 I_1$, 太阳能电池内阻的功率为 $P_{\text{内}} = P_{\text{总}} - P_1$, 根据 $P_{\text{内}} = I_1^2 r$ 可得 $r = \frac{U_0 I_1 - P_1}{I_1^2}$, 故 C 正确。

3. B 【解析】设 R_1 、 R_2 的阻值均为 R , 根据题中所给信息, 由电流的热效应

$$\text{可得 } Q_1 = \frac{\left(\frac{U_0}{\sqrt{3}}\right)^2}{R} \cdot \frac{T}{2} + \frac{U_0^2}{R} \cdot \frac{T}{2} = \frac{2U_0^2}{3R} T, Q_2 = \frac{\left(\frac{U_0}{\sqrt{2}}\right)^2}{R} T = \frac{U_0^2}{2R} T, \text{ 则 } Q_1 : Q_2 = 4 : 3, \text{ B 正确。}$$

4. C 【解析】由串、并联电路的基本规律可知, R_1 与 R_3 是并联关系, R_1 消耗的功率 $P_{R_1} = \frac{U_{R_1}^2}{R_1}$, 由闭合电路欧姆定律可得 $U_{R_1} = E - Ir$, P_{R_1} 最大时, 干路中电流最小, 电路中总电阻最大, R_3 为 6Ω , A 错误; 当 R_3 减小时, R_2 消耗的功率增大, 可知 R_2 消耗的功率最大时, R_3 为 0Ω , B 错误; 电源的输出功率 $P_{\text{出}} = I^2 R_{\text{外}} = \frac{E^2}{R_{\text{外}} + \frac{r^2}{R_{\text{外}}} + 2r}$, 当 $R_{\text{外}} = r = 1 \Omega$ 时电源输出功率最大, 电源内阻为 1Ω , 而外电阻小于 1Ω , 所以 R_3 越大, 电源的输出功率越大, 输出功率最大时, R_3 为 6Ω , C 正确; 当等效电源内阻 $r' = \frac{rR_1}{r+R_1} + R_2 = R_3$ 时, R_3 消耗的功率最大, 此时 R_3 为 1.5Ω , 故 D 错误。

5. C 【解析】两个二极管正向电阻为 0 , 反向电阻无穷大, 则二极管导通

时短路并联的灯泡,此时另一个灯泡与电源串联,根据电路图可知,在一个完整的周期内,两个灯泡有电流通过的时间相等,都为半个周期,电压有效值也相等,根据 $P = \frac{U^2}{R}$,可知

$P_1 : P_2 = R_{L2} : R_{L1} = 1 : 2$,故 C 正确.

6. A 【解析】 R_T 为热敏电阻,其阻值随温度的升高而减小,欲使 S 在温度更低时报警,则需要温度更低时,报警装置两端电压超过设定值而发出警报,若仅将滑片 P_1 左移,则滑动变阻器的阻值变小,由于副线圈电压不变,因此副线圈电流增大,故可以在温度更低时,报警装置两端电压超过设定值而发出警报,故 A 正确;若仅将滑片 P_1 右移,则滑动变阻器的阻值变大,由于副线圈电压不变,因此副线圈电流减小,故在温度更高时,报警装置两端电压才能达到设定值,故 B 错误;若将滑片 P_1 左移,同时将滑片 P_2 下移,则滑动变阻器的阻值调小,而副线圈电压变小,因此副线圈电流不一定变化,故 C 错误;若将滑片 P_1 右移,同时将滑片 P_2 上移,则滑动变阻器的阻值调大,而副线圈电压变大,因此副线圈电流不一定变化,故 D 错误.

7. C 【解析】在原线圈回路中,根据欧姆定律有 $U_1 = U_{ab} - I_1 R_1$,则 $\frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} = R_1 = 5 \Omega$,故 A、B 错误;由理想变压器电压、电流与匝数的关系,可得 $\frac{U_1}{U_2} = k, \frac{I_2}{I_1} = k$,联立解得 $U_2 = \frac{U_{ab} - I_2 \frac{R_1}{k^2}}{k}$,则 $\frac{\Delta U_2}{\Delta I_2} = \frac{R_1}{k^2} = \frac{1}{5} \Omega$,故 C 正确, D 错误.

8. B 【解析】导体棒切割磁感线产生的感应电动势的瞬时值 $e = Bdv = 2 \times 1 \times \frac{\sqrt{2}}{2} \sin(\sqrt{2}t) \text{ V} = \sqrt{2} \sin(\sqrt{2}t) \text{ V}$,则感应电动势的峰值为 $\sqrt{2} \text{ V}$,电压表示数为感应电动势的有效值,有 $U_V = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 1 \text{ V}$,电压表示数一直为 1 V 不变, A 错误;变压器原线圈电压 $U_1 = U_V = 1 \text{ V}$,变压器副线圈电压 $U_2 = 2 \text{ V}$,理想变压器的匝数比为 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{1}{2}$, B 正确;由速度随时间变化的关系式可知,圆盘转动的角速度 $\omega = \sqrt{2} \text{ rad/s}$, D 错误;变压器输出电流的周期 $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \text{ s} = \sqrt{2}\pi \text{ s}$,变

压器输出电流的频率为 $f = \frac{1}{T} =$

$\frac{1}{\sqrt{2}\pi} \text{ Hz} = \frac{\sqrt{2}}{2\pi} \text{ Hz}$, C 错误.

9. A 【解析】由图可知,滑动变阻器 R 与定值电阻 R_0 串联,滑动变阻器的电阻全部连入电路,电压表测量滑片上

半部分电阻两端的电压,当滑动变阻器的滑片 P 向下移动时,电路中的电阻不变,由欧姆定律可知,电路中的电流 I 不变,电压表的示数 $U = IR'$,又

$R' = \rho \frac{l}{S}, mg = kl$,解得 $U = \frac{l\rho g}{kS}m$,即电压表的示数与待测物体的质量成正

比关系,故 D 错误;由 $U = \frac{l\rho g}{kS}m$ 可知,弹簧的劲度系数 k 越小,则质量 m 的最大值越小,即电子秤的量程越小,故 C 错误;由 $U = \frac{l\rho g}{kS}m$ 可知,电子秤的

灵敏度 $\left| \frac{\Delta U}{\Delta m} \right| = \frac{l\rho g}{kS}$,仅更换阻值更大的定值电阻 R_0 ,则电路中的电流 I 会减小,电子秤的灵敏度会下降,电子秤的灵敏度与待测物体的质量无关,故 A 正确, B 错误.

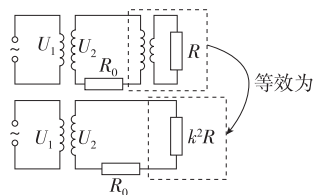
10. A 【解析】设降压变压器原、副线圈的匝数比为 k,则原、副线圈中的电流之比 $\frac{I_3}{I_4} = \frac{1}{k}$,将降压变压器及其所连负载等效成升压变压器副线圈所连电路中的一个电阻 $R_{\text{等效}}$,研究 $R_{\text{等效}}$ 与输电线路总电阻 R_0 串联接在升压变压器副线圈两端形成的闭合回路,如图所示,根据理想变压器的输出功率等于输入功率,即 $I_3^2 R_{\text{等效}} = I_4^2 R$,解得 $R_{\text{等效}} = k^2 R$,则

流过 R_0 的电流 $I_2 = \frac{U_2}{R_{\text{等效}} + R_0} =$

$\frac{U_2}{k^2 R + R_0}$. 转子产生的感应电动势 $e = NBS\omega \sin \omega t$,若风速增加,转子角速度增加一倍,则发电机产生的电动势有效值变为原来的 2 倍,由于整个电路结构不变,故各部分的电压都变为原来的 2 倍,即 R_0 上的电压 U_0 也变为原来的 2 倍,根据 $P = \frac{U_0^2}{R_0}$

可知, R_0 上消耗的功率变为原来的 4 倍,即变为 $4P$,故 A 正确;若升压变压器的副线圈匝数增加一倍,则升压变压器副线圈两端电压 U_2 变为原来的 2 倍,由于升压变压器副线圈所连的电路结构不变,故升压变压器副线圈所连的电路中各部分电压都变为原来的 2 倍,即 R_0 上的电压 U_0 也变为原来的 2 倍,根据 $P = \frac{U_0^2}{R_0}$ 可知,

R_0 上消耗的功率变为原来的 4 倍,即变为 $4P$,故 C 错误;若输电线路距离增加, R_0 阻值增加一倍,则流过 R_0 的电流 I_2 变小,根据 $P = I_2^2 R_0$ 可知, R_0 上消耗的功率小于原来的 2 倍,即小于 $2P$,故 B 错误;若在用用户端再串联一个完全相同的电阻 R,则流过 R_0 的电流 I_2 变大,但小于原来电流的 2 倍,根据 $P = I_2^2 R_0$ 可知, R_0 上消耗的功率小于原来的 4 倍,即小于 $4P$,故 D 错误.



11. BD 【解析】线框绕 P、Q 连线以角速度 ω 匀速转动,产生正弦式交变电流,故 A 错误;原、副线圈匝数的比值为 $\frac{1}{n}$,根据原、副线圈电压之比等于原、副线圈匝数之比,所以 $U_1 = \frac{U_2}{n}$,

设流过电阻 R_0 的电流为 I_0 ,则有 $I_0 = \frac{U_1}{R_0}$,设流过原线圈的电流为 I_1 ,理想变压器的输入功率为 P_1 ,则有 $I_1 = \frac{P_1}{U_1}$,设线框产生的电动势为 E,

则有 $\frac{E - U_1}{r} = I_0 + I_1 = \frac{U_1}{R_0} + \frac{P_1}{U_1}$,理

想变压器输出功率 $P_2 = \frac{U_2^2}{R_1}$,理想变压器的输出功率等于输入功率,即 $P_1 = P_2$,联立可得 $U_1 = \frac{R_1 R_0}{R_1 R_0 + R_1 r + n^2 R_0 r} E = \frac{R_0}{R_0 + r + \frac{n^2 R_0 r}{R_1}} E$,其中 R_0 、 r 、 E 、 n

为定值,当电阻 R_1 增大时,原线圈两端电压增大,通过电阻 R_0 的电流 I_0 增大,线圈匝数比不变,滑动变阻器两端的电压与原线圈两端电压成正比,故 B 正确, C 错误;感应电动势的最大值为 $E_m = NBS\omega = B \frac{1}{2} \pi r^2 \omega = \frac{1}{8} \pi d^2 B \omega$,有效值为 $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} =$

$\frac{\sqrt{2}}{16} \pi d^2 B \omega$,由于线框作为电源有内阻, R_0 端电压 U 满足 $U < E = \frac{\sqrt{2}}{16} \pi d^2 B \omega$,故 D 正确.

第 9 讲 电磁感应

1. A 【解析】线圈从图示位置开始,以直径为轴转过 90° 的过程中,穿过线圈的磁通量变化量为 $\Delta \Phi = BS \cos \alpha - BS \sin \alpha = B \pi r^2 (\cos \alpha - \sin \alpha)$,根据法拉第电磁感应定律可知 $E = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$,

根据闭合电路欧姆定律得 $I = \frac{E}{R}$,通

过线圈的电荷量为 $q = I \Delta t$,联立上式

有 $q = N \frac{\Delta \Phi}{R} = \frac{B \pi r^2 (\cos \alpha - \sin \alpha)}{R}$,

故 A 正确.

2. A 【解析】将线圈 a 从磁场中匀速拉出的过程中,穿过线圈 a 的磁通量垂直于纸面向外且在减小,根据楞次定律可知线圈 a 中产生的感应电流方向为顺时针,由于线圈 a 从磁场中匀

速拉出,则线圈 a 中产生的电流为恒定电流,在线圈 a 靠近线圈 b 的过程中,穿过线圈 b 的磁通量垂直于纸面向外且在增大,根据楞次定律可知线圈 b 中产生的感应电流方向为顺时针,故 A 正确。

3. BD 【解析】小球带正电,其沿逆时针运动,所以电流方向为逆时针,由楞次定律可知,其磁场的磁感应强度增加,故 A 错误;细管所处的场强为 E ,由动能定理有 $qE \cdot \theta R = E_k - 0$,整理有 $E_k = qER\theta$,结合题图可知,其图像的斜率 $k = \frac{E_0}{\pi} = qER$,解得 $E = \frac{E_0}{\pi qR}$,

故 B 正确;感生电动势 $E_{\text{感}} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$,则 $\Delta\Phi = \Delta BS = \Delta B \cdot \pi R^2$,由题图可知,当 $\theta = 2\pi$ 时,其动能 $E_{k1} = 2E_0$,从 0 到 2π 有 $qE_{\text{感}} = E_{k1} - 0$,整理有 $\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{2E_0}{\pi qR^2}$,故 C 错误;小球在绕一圈过程中受到的电场力大小不变,有 $qE = ma$,则 $a = \frac{E_0}{m\pi R}$,绕行一圈对粒子有 $2\pi R = \frac{1}{2}at^2$,解得 $t = 2\pi R\sqrt{\frac{m}{E_0}}$,故 D 正确。

4. ABD 【解析】由楞次定律结合左手定则可知,安培力与 MN 的运动方向的夹角始终大于 90° ,则安培力始终做负功, MN 最终一定静止于 OO' 位置, A、B 正确;根据楞次定律可知,从释放到第一次到达 OO' 位置过程中, MN 中电流方向由 M 到 N , D 正确;从释放到第一次到达 OO' 位置过程中,在即将到达 OO' 位置的瞬间, MN 所受安培力水平向左,沿速度方向的分力一定大于 MN 所受重力沿速度方向的分力,处于减速状态, C 错误。

5. D 【解析】上滑过程中,有 $mg\sin\theta + \frac{B^2L^2v}{R} = ma$,解得 $a = g\sin\theta + \frac{B^2L^2v}{mR}$,则金属杆 ab 做加速度逐渐减小的减速运动,直到速度为 0 ,下滑过程,有 $mg\sin\theta - \frac{B^2L^2v}{R} = ma'$,解得 $a' = g\sin\theta - \frac{B^2L^2v}{mR}$,则金属杆 ab 做加速度逐渐减小的加速运动,直到加速度为 0 时,速度达到最大值,最后做匀速运动。根据速度与时间图像的斜率表示加速度,则能正确描述金属棒 ab 的速度与时间关系的是 D 选项图。

6. BD 【解析】导体棒到达 cd 时刚好达到平衡状态,设导体棒此时的速度为 v ,由平衡条件得 $F = mg + \frac{B^2L^2v}{R+r}$,其中 $F = 10 + \frac{1}{8}x$, $x = 2\text{ m}$,代入解得

$v = 0.5\text{ m/s}$, B 正确;通过电阻 R 的电荷量 $q = \frac{\Delta\Phi}{R+r} = \frac{BLx}{R+r} = 1\text{ C}$, A 错误;离开磁场时导体棒产生的电动势 $E = BLv$,导体棒两端电压为 $U = \frac{R}{R+r}E$,联立解得 $U = 0.25\text{ V}$, C 错误;由于 F 随位移线性变化,则 F 做功为 $W_F = 10 + 10 + \frac{1}{8} \times 2 \times 2 = 20.25\text{ J}$,根据功

能关系有 $Q = W_F - \frac{1}{2}mv^2 - mgh = 0.125\text{ J}$,电阻 R 产生焦耳热 $Q_R = \frac{1}{2}Q = 0.0625\text{ J}$, D 正确。

7. (1) 0.2 A 方向由 c 流向 d
(2) 0.4 m/s 方向沿斜面向上
(3) 0.923 J

【解析】(1)由 F_T-t 图像可知, $t = 4\text{ s}$ 时, $F_T = 0.3\text{ N}$
因 ab 棒不动, F_T 随 t 减小, ab 受到的安培力方向向上,由左手定则可判定其电流方向由 b 流向 a
对 ab 棒,由平衡条件知 $ILB + F_T = m_1g\sin\theta$
解得 $I = 0.2\text{ A}$
 ab 棒与 cd 棒构成回路,则 cd 棒的电流也为 $I = 0.2\text{ A}$,方向由 c 流向 d
(2) cd 棒切割磁感线产生感应电流,电流方向和磁场方向用右手定则判定, cd 棒的运动方向沿斜面向上

由 $E = BLv$, $I = \frac{E}{R_1 + R_2}$
解得 $v = \frac{I(R_1 + R_2)}{BL}$
将 $I = 0.2\text{ A}$ 代入得 $v = 0.4\text{ m/s}$
所以 cd 棒的运动方向沿斜面向上, $t = 4\text{ s}$ 时,其速度大小为 0.4 m/s
(3)在 $0 \sim 4\text{ s}$, cd 棒做匀加速直线运动,有 $x = \frac{v}{2}t = 0.8\text{ m}$

由功能关系有 $W_F = \frac{1}{2}m_2v^2 + m_2gx\sin\theta + Q$
而回路产生焦耳热 Q 与 ab 棒的焦耳热关系为 $Q = \frac{R_1 + R_2}{R_1}Q_{ab}$
将 $Q_{ab} = 0.08\text{ J}$ 代入,解得 $W_F \approx 0.923\text{ J}$

8. (1) $\frac{B^2L^3\omega}{R}$ $\frac{B^2L^3\omega}{2R}$ (2) $\frac{a}{g\cos\theta} - \frac{1}{3}\tan\theta$

【解析】(1)当 OA 棒转动到正方形细框对角线瞬间,切割磁感线的有效长度最大,为 $L_{\text{max}} = \sqrt{2}L$,此时感应电流最大, CD 棒所受的安培力最大,根据法拉第电磁感应定律得 $E_{\text{max}} = BL_{\text{max}}\bar{v}_{\text{max}}$
其中 $\bar{v}_{\text{max}} = \frac{1}{2}L_{\text{max}}\omega$

根据闭合电路欧姆定律得 $I_{\text{max}} = \frac{E_{\text{max}}}{R}$

CD 棒所受的安培力最大值为 $F_{\text{max}} = BI_{\text{max}}L$

联立解得 $F_{\text{max}} = \frac{B^2L^3\omega}{R}$

当 OA 棒转动到与细框一边平行瞬间,切割磁感线的有效长度最小,为 $L_{\text{min}} = L$,此时感应电流最小, CD 棒受到的安培力最小,根据法拉第电磁感应定律得 $E_{\text{min}} = BL_{\text{min}}\bar{v}_{\text{min}}$

其中 $\bar{v}_{\text{min}} = \frac{1}{2}L_{\text{min}}\omega$

根据闭合电路欧姆定律得 $I_{\text{min}} = \frac{E_{\text{min}}}{R}$

CD 棒所受的安培力最小值为 $F_{\text{min}} = BI_{\text{min}}L$

联立解得 $F_{\text{min}} = \frac{B^2L^3\omega}{2R}$

(2)当 CD 棒受到的安培力最小时,根据平衡条件得 $mg\sin\theta - F_{\text{fm}} = F_{\text{min}}$
当 CD 棒受到的安培力最大时,根据平衡条件得 $mg\sin\theta + F_{\text{fm}} = F_{\text{max}}$
根据(1)中可知 $F_{\text{max}} = 2F_{\text{min}}$

联立解得 $F_{\text{max}} = \frac{4}{3}mg\sin\theta$

撤去推力瞬间,根据牛顿第二定律得 $F_{\text{max}} + \mu mg\cos\theta - mg\sin\theta = ma$

解得 $\mu = \frac{a}{g\cos\theta} - \frac{1}{3}\tan\theta$

微专题 6 电磁感应中的单杆模型

1. CD 【解析】导体棒刚进入磁场时,由乙图可得加速度大小为 $a_1 = 30\text{ m/s}^2$,由 $F_1 = Bi_1L$, $i_1 = \frac{E_1}{R}$, $E_1 = BLv_1$,由牛顿第二定律 $F_1 = ma_1$,可得 $\frac{B^2L^2v_1}{R} = ma_1$,解得 $v_1 = 3\text{ m/s}$,故 A 错误;导体棒刚要离开磁场时的加速度大小为 $a_2 = 10\text{ m/s}^2$,由 $\frac{B^2L^2v_2}{R} = ma_2$,可得 $v_2 = 1\text{ m/s}$,克服

安培力的功率为 $P_2 = \frac{B^2L^2v_2}{R}v_2 = 1\text{ W}$,故 B 错误;设导体棒在磁场中的运动时间为 Δt ,由动量定理可得 $-B\bar{I}\Delta t = mv_2 - mv_1$,由 $\bar{E} = BL\bar{v}$, $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{R}$,整理可得 $-\frac{B^2L^2\bar{v}}{R}\Delta t = mv_2 - mv_1$,解得 $\Delta t = \frac{1}{8}\text{ s}$,故 C 正确;导体棒在穿过磁场的过程中的平均加速度为 $\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} = -16\text{ m/s}^2$,故 D 正确。

2. BD 【解析】单刀双掷开关接 1 后,金属棒 MN 在导轨上运动,电容器的充电电流为 $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$,电容器所带电荷量的变化量 $\Delta Q = C \cdot \Delta U$,感应电动势 $E = U = BLv$,则可知 $I = \frac{C\Delta(BLv)}{\Delta t} = \frac{CBL\Delta v}{\Delta t}$,而金属棒的加速度 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$,由此可知 $I = CBLa$,而

根据牛顿第二定律有 $mg - BIL = ma$, 可得 $a = \frac{mg}{m + B^2 L^2 C} = 2 \text{ m/s}^2$, 故 A 错误; 在 $t_1 = 5 \text{ s}$ 时, 金属棒的速度为 $v_1 = at = 2 \times 5 \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$, 电容器两端的电压为 $U_1 = BLv_1 = 10 \text{ V}$, 则可知电容器的电荷量为 $Q_1 = CU_1 = 4 \times 10 \text{ C} = 40 \text{ C}$, 故 B 正确; 单刀双掷开关接 2 瞬间, 金属棒与电阻串联构成闭合回路, 由牛顿第二定律有 $mg - BIL = ma_1$, 而 $I = \frac{U_1}{R} = \frac{BLv_1}{R}$, 联立解得 $a_1 = 5 \text{ m/s}^2$, 故 C 错误; 设金属棒最后做匀速直线运动的速度为 v_2 , 则由平衡条件有 $mg = \frac{B^2 L^2 v_2}{R}$, 解得 $v_2 = 20 \text{ m/s}$, 故 D 正确。

3. A 【解析】设金属棒运动的距离为 x , 可知金属棒产生的感应电流 $I = \frac{E}{R} = \frac{2Bv_0 x \tan 30^\circ}{\frac{2x}{\cos 30^\circ} \cdot R_0} = \frac{Bv_0}{2R_0}$, 可知金属棒产生的感应电流为定值, 故 A 正确; 根据右手定则可知感应电流方向为逆时针方向, 故 B 错误; 金属棒的上端为等效电源的正极, 下端为负极, 始终有 $\varphi_A > \varphi_C$, 故 C 错误; 整个过程中通过金属棒的电荷量 $q = It = \frac{Bv_0}{2R_0} \cdot$

$$\frac{d \cos 30^\circ}{v_0} = \frac{\sqrt{3} Bd}{4R_0}, \text{ 故 D 错误.}$$

4. (1) $\frac{mgR}{B^2 d^2}$ (2) $\frac{m + CB^2 d^2}{2mgB^2 d^2} U_0^2$
(3) $\frac{g \sqrt{mL}}{Bd}$

【解析】(1) 对金属棒受力分析, 当受力平衡时, 具有最大速度, 即 $mg = F_{\text{安}}$

$$\text{又 } F_{\text{安}} = BId, I = \frac{E}{R} = \frac{Bdv_1}{R}$$

$$\text{联立解得 } v_1 = \frac{mgR}{B^2 d^2}$$

$$(2) \text{ 由能量守恒定律, 可得 } mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}CU_0^2$$

$$\text{又 } U_0 = Bdv$$

$$\text{联立解得 } h = \frac{m + CB^2 d^2}{2mgB^2 d^2} U_0^2$$

$$(3) \text{ 设金属棒下落速度为 } v, \text{ 根据题意有 } Bdv = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\text{设金属棒速度达到最大值 } v_2 \text{ 时, 电流为 } I_0, \text{ 有 } mg = BI_0 d$$

$$\text{设该过程金属棒下落的高度为 } x_0, \text{ 根据能量守恒定律有 } mgx_0 = \frac{1}{2}mv_2^2 +$$

$$\frac{1}{2}LI_0^2$$

$$\text{又 } Bdv\Delta t = L\Delta I$$

$$\text{可得 } Bdx_0 = LI_0$$

$$\text{联立解得 } v_2 = \frac{g \sqrt{mL}}{Bd}$$

5. (1) $mgd_1 \sin \theta$
(2) $mg(d_1 + d_2) \sin \theta$

$$(3) \frac{4mgRd_2}{B^2 l^2 d_1} \sin \theta - \frac{B^2 l^2 d_1}{8mR}$$

【解析】(1) 分析可知回路中电流为 0, a 和 b 不受安培力作用, 由机械能守恒知 $\Delta E_k = mgd_1 \sin \theta$

(2) 设导体棒刚进入无磁场区域时的速度为 v_1 , 刚离开无磁场区域时的速度为 v_2 , 由能量守恒知

$$\text{在磁场区域中, 有 } \frac{1}{2}mv_1^2 + Q = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgd_1 \sin \theta$$

$$\text{在无磁场区域中, 有 } \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgd_2 \sin \theta$$

$$\text{解得 } Q = mg(d_1 + d_2) \sin \theta$$

(3) 有磁场区域, 棒 a 受到合力 $F = mg \sin \theta - BIl$

$$\text{感应电动势 } \varepsilon = Blv$$

$$\text{感应电流 } I = \frac{\varepsilon}{2R}$$

$$\text{解得 } F = mg \sin \theta - \frac{B^2 l^2 v}{2R}$$

$$\text{根据牛顿第二定律, 在 } \Delta t \text{ 时间内, 有 } \sum \Delta v = \sum \frac{F}{m} \Delta t$$

$$\text{即 } \sum \Delta v = \sum \left[g \sin \theta - \frac{B^2 l^2 v}{2mR} \right] \Delta t$$

$$\text{解得 } v_1 - v_2 = gt \sin \theta - \frac{B^2 l^2 v}{2mR} d_1$$

又在无磁场区域, 根据匀变速直线运动规律有 $v_2 - v_1 = gt \sin \theta$

$$\text{且平均速度 } \bar{v} = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{d_2}{t}$$

$$\text{联立解得 } v_1 = \frac{4mgRd_2}{B^2 l^2 d_1} \sin \theta - \frac{B^2 l^2 d_1}{8mR}$$

$$\text{由题意知 } v = v_1 = \frac{4mgRd_2}{B^2 l^2 d_1} \sin \theta - \frac{B^2 l^2 d_1}{8mR}$$

$$6. (1) \text{ 负电 } (2) \frac{m\omega_0 r - ft}{(m + n^2 B^2 L^2 C)r}$$

$$(3) \frac{n^2 B^2 L^2 C(m\omega_0 r - ft)^2}{m\omega_0^2 r^2 (m + n^2 B^2 L^2 C)^2}$$

【解析】(1) 薄板旋转方向为逆时针, 则线圈相对于薄板的运动方向为顺时针方向, 根据右手定则可知, d 点电势低于 c 点电势, 故极板 M 带负电

(2) 薄板旋转, 充电初、末时刻线圈相对薄板的线速度分别为 $v_0 = \omega_0 r$, $v_1 = \omega_1 r$

充电结束时, 两极板间的电压为 $U_1 = nBLv_1$

在充电过程中, 对薄板, 根据动量定理得 $-ft - nBI\bar{L}t = mv_1 - mv_0$

充电的电荷量 Q 满足 $Q_1 = \bar{I}t$, $Q_1 = CU_1$

$$\text{联立解得 } \omega_1 = \frac{m\omega_0 r - ft}{(m + n^2 B^2 L^2 C)r}$$

(3) 整个过程中, 薄板损失的机械能为

$$\Delta E_{\text{损}} = \frac{1}{2}mv_0^2$$

充电过程中的 $Q-U$ 图像如图所示, 利用微元法, 结合充电过程中克服电场力做功的公式 $W = qU$, 可得到阴影面积为电容器充电过程中获得的能量,

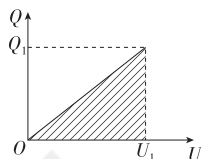
$$\text{即 } \Delta E_{\text{电}} = \frac{1}{2}U_1 Q_1$$

薄板运动的整个过程中该系统的能量

$$\text{回收率为 } \eta = \frac{\Delta E_{\text{电}}}{\Delta E_{\text{损}}}$$

联立解得

$$\eta = \frac{n^2 B^2 L^2 C(m\omega_0 r - ft)^2}{m\omega_0^2 r^2 (m + n^2 B^2 L^2 C)^2}$$



微专题 7 电磁感应中的双杆模型和线框模型

1. D 【解析】先将开关 S 拨到 1, 电源给电容器充电, 稳定后, 再将开关 S 拨到 2 的瞬间, 电容器相当于电源并和导体棒 L_1 、 L_2 组成闭合电路, 由于导体棒 L_1 的电阻大于 L_2 的电阻, 所以导体棒 L_1 中的电流小于 L_2 中的电流, 根据 $F = BIL$ 可知, 导体棒 L_1 受到的安培力小于 L_2 受到的安培力, 因为两棒质量相等, 根据牛顿第二定律 $F = ma$ 可知, 导体棒 L_1 的加速度小于 L_2 的加速度, A、B 错误; 导体棒 L_1 和 L_2 受到安培力作用而运动, 产生感应电动势, 当产生的感应电动势等于电容器两端的电压时, 两棒运动稳定, 此时电容器 C 带的电荷量不为零, C 错误; 因为导体棒 L_1 的加速度小于 L_2 的加速度, 因此先是导体棒 L_2 产生的感应电动势和电容器两端的电压相同, 此时导体棒 L_1 加速而导体棒 L_2 不再加速, 最后两棒达到共速, 共速前导体棒 L_2 的速度一直大于 L_1 的速度, 则导体棒 L_1 的位移小于 L_2 的位移, 所以两棒运动稳定后, 两棒之间的距离大于 d , D 正确。

2. BC 【解析】金属棒 CD 刚开始运动时受到的摩擦力大小为 $F_f = \mu mg = 0.1 \times 0.5 \times 10 \text{ N} = 0.5 \text{ N}$, 方向水平向右, 故 A 错误; 金属棒 CD 刚开始运动时受力平衡, 满足 $F_{\text{安}} = B \frac{I}{2} L = F_f$, 又 $E = BLv$, $I = \frac{E}{R_{\text{总}}}$, $R_{\text{总}} = 1.5 \Omega$, 联立解得 $v = 1.5 \text{ m/s}$, 所以水平拉力 F 的瞬时功率为 $P = Fv = 3.5 \times 1.5 \text{ W} = 5.25 \text{ W}$, 故 B 正确; 从金属棒 MN 开始运动到金属棒 CD 开始运动的过程中, 对金属棒 MN 运用动量定理, 得 $(F - \mu mg)t - B\bar{I}L \cdot t = mv - 0$, $q = \bar{I} \cdot t$, 联立解得 $q = 2.25 \text{ C}$, 所以流过电阻 R 的电荷量为 $q_1 = \frac{1}{2}q = 1.125 \text{ C}$, 故 C 正确; 从金属棒 MN 开始运动到金属棒 CD 开始运动的过程中, $\bar{E} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} =$

$\frac{B \cdot \Delta S}{\Delta t} = \frac{BLx}{t}, \bar{I} = \frac{\bar{E}}{R_{\text{总}}}, q = \bar{I} \cdot t$, 解得 $x = \frac{27}{8} \text{ m}$, 对金属棒 MN 运用动能定理, 得 $(F - \mu mg)x - Q = \frac{1}{2}mv^2 - 0$, 解得 $Q = \frac{153}{16} \text{ J}$, 所以电路中电阻 R 产生的焦耳热为 $Q_1 = \frac{1}{6}Q = \frac{51}{32} \text{ J}$, 故 D 错误。

3. CD **【解析】** P 棒到达曲面导轨最低点时速度大小设为 v_0 , 根据机械能守恒定律得 $mgR = \frac{1}{2}mv_0^2$, 根据牛顿第二定律得 $F_N - mg = \frac{mv_0^2}{R}$, 解得 $F_N = 3mg$, 由牛顿第三定律可得, P 棒到达曲面导轨最低点瞬间对曲面导轨压力的大小为 $3mg$, 故 A 错误; 设 Q 棒第一次稳定运动时的速度为 v_Q , P 棒的速度为 v_P , 则有 $BLv_P = B \cdot \frac{L}{2} \cdot v_Q$, Q 棒从开始运动到第一次速度达到稳定过程中, 对 P、Q 棒分别分析, 由动量定理可得 $B\bar{I}t = mv_0 - mv_P$, $B\bar{I} \cdot \frac{L}{2} \cdot t = mv_Q$, 又因 $q = \bar{I}t$, 解得 $v_P = \frac{1}{5} \sqrt{2gR}$, $v_Q = \frac{2}{5} \sqrt{2gR}$, $q = \frac{4m \sqrt{2gR}}{5BL}$, 故 B 错误, C 正确; 从 P 棒进入导轨 II 到两棒速度稳定时, 设稳定速度为 v , 由动量守恒定律得 $mv_P + mv_Q = 2mv$, 由能量守恒定律得 P、Q 棒中产生的总热量为 $Q = \frac{1}{2}mv_P^2 + \frac{1}{2}mv_Q^2 - \frac{1}{2} \cdot 2mv^2$, 解得 $Q = \frac{1}{50}mgR$, 故 D 正确。

4. (1) 2 m/s (2) 4 m/s (3) 0.4 m

【解析】 (1) 根据题意可知, 当 b 棒开始运动时, 对 b 棒有 $BI_1L + mg \sin \theta - \mu_2 mg \cos \theta = 0$

设 a 棒的速度大小为 v_1 , 则有 $E_1 = BLv_1, I_1 = \frac{E_1}{2R}$

联立解得 $v_1 = 2 \text{ m/s}$

(2) 根据题意可知, 当两棒的速度差最大时, 两棒做加速度相同的匀加速直线运动, 由牛顿第二定律, 对 a 棒有 $mg \sin \theta - \mu_1 mg \cos \theta - BI_2L = ma$ 对 b 棒有 $BI_2L + mg \sin \theta - \mu_2 mg \cos \theta = ma$

又有 $E_2 = BL(v_a - v_b), I_2 = \frac{E_2}{2R}$

联立解得 $v_a - v_b = 4 \text{ m/s}$

(3) a 棒恰好与 b 棒发生弹性碰撞, 则有 $mv_1 = mv_1' + mv_2, \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_1'^2 + \frac{1}{2}mv_2^2$

解得 $v_1' = 0, v_2 = 2 \text{ m/s}$

a 棒与 b 棒之间距离最大时, a 棒与 b

棒的速度相等, 设为 $v_{\text{共}}$, 由动量定理, 对 a 棒有 $(mg \sin \theta - \mu_1 mg \cos \theta)t + \sum BiL \Delta t = mv_{\text{共}} - 0$

对 b 棒有 $(mg \sin \theta - \mu_2 mg \cos \theta)t - \sum BiL \Delta t = mv_{\text{共}} - mv_2$

又有 $\sum i \Delta t = q = \frac{\bar{E}}{2R} \Delta t = \frac{BLd}{2R}$

联立解得 $d = 0.4 \text{ m}$

5. (1) 0.15 V (2) 7.5 N (3) 20.28 J
(4) 当 $0.2 \text{ m} \leq x \leq 0.6 \text{ m}$ 或 $0.8 \text{ m} \leq x \leq 1.2 \text{ m}$ 时, $F = 20.5x + 6 \text{ (N)}$; 当 $0.6 \text{ m} < x < 0.8 \text{ m}$ 时, $F = 20x + 6 \text{ (N)}$

【解析】 (1) 由图像可知, 当 ab 边刚进入磁场时, 位移 $x_1 = 0.2 \text{ m}$, 速度 $v_1 = 1 \text{ m/s}$, 有 $E_1 = BLv_1, I_1 = \frac{E_1}{R}$

又 $U = E_1 - I_1 \cdot \frac{R}{4}$
解得 $U = 0.15 \text{ V}$

(2) ab 边进入磁场前, 对 m, 有 $F_{T1} - mg = ma_1$
又 $v_1^2 - 0 = 2a_1x_1$
解得 $F_{T1} = 7.5 \text{ N}$

(3) 从金属框开始进入到完全穿出磁场的过程中, 对 M 和 m 系统由动能定理得

$$W_F + W_{\text{安}} - mg(d + L) = \frac{1}{2}(M + m)v_1^2 - \frac{1}{2}(M + m)v_1^2$$

由图像可知 $v = kx$

即 $v = 5x \text{ (m/s)}$

则当 cd 边刚好进入磁场时, 速度 $v_2 = 3 \text{ m/s}$; 当 ab 边刚好要离开磁场时, 速度 $v_3 = 4 \text{ m/s}$; 当 cd 边刚好离开磁场时, 速度 $v_4 = 6 \text{ m/s}$, ab 边进出磁场的过程中, 有 $E = BLv, I = \frac{E}{R}$

又 $F_{\text{安}} = BIL$

$$\text{解得 } F_{\text{安}} = \frac{B^2 L^2 v}{R} = \frac{k B^2 L^2 x}{R}$$

即安培力 $F_{\text{安}}$ 大小与位置 x 成正比, 故线框进入磁场的过程中, 安培力所做的功为

$$W_{\text{安}1} = -\frac{1}{2} \left(\frac{B^2 L^2 v_1}{R} + \frac{B^2 L^2 v_2}{R} \right) \cdot L$$

故线框穿出磁场的过程中, 安培力所做的功为

$$W_{\text{安}2} = -\frac{1}{2} \left(\frac{B^2 L^2 v_3}{R} + \frac{B^2 L^2 v_4}{R} \right) \cdot L$$

且 $W_{\text{安}} = W_{\text{安}1} + W_{\text{安}2}$

解得 $W_F = 20.28 \text{ J}$

(4) 由图像可知 $v = kx$

$$\text{则 } a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta(kx)}{\Delta t} = k \frac{\Delta x}{\Delta t} = kv = k^2 x$$

ab 边进入磁场的过程中, 对 M 和 m 系统有 $F - F_{\text{安}} - mg = (M + m)a$

可得 $F = 20.5x + 6 \text{ (N)}$ ($0.2 \text{ m} \leq x \leq 0.6 \text{ m}, 0.8 \text{ m} \leq x \leq 1.2 \text{ m}$)

cd 边刚好进入磁场到 ab 边刚好离开磁场的过程中, 对 M 和 m 系统

有 $F - mg = (M + m)a$

可得 $F = 20x + 6 \text{ (N)}$ ($0.6 \text{ m} < x < 0.8 \text{ m}$)

$$6. (1) \frac{2Fr}{B_0^2 d^2} \quad (2) \frac{2Fr}{B_0^2 d^2} - \frac{B_0^2 d^3}{2mr} \quad (3) \frac{4mFr^2}{B_0^2 k^2 d^6} - \frac{B_0^2}{k^2 d}$$

【解析】 (1) 当 ab 棒匀速运动时, 加速度为零, 此时速度最大, ab 棒受力平衡, 有 $B_0 Id = F$

其中 $I = \frac{B_0 d v_m}{r + r}$

$$\text{联立解得 } v_m = \frac{2Fr}{B_0^2 d^2}$$

(2) ab 棒在到达 $N_1 M_1$ 之前做减速运动, 由动量定理得

$$-B_0 \bar{I}_1 dt = mv_1 - mv_m$$

其中 $\bar{I}_1 = \frac{\bar{E}_1}{2r}, \bar{E}_1 = B_0 d \bar{v}_1, d = \bar{v}_1 t$

联立解得 ab 棒到达 $N_1 M_1$ 的速度为

$$v_1 = \frac{2Fr}{B_0^2 d^2} - \frac{B_0^2 d^3}{2mr}$$

此后 ab 棒匀速运动与金属棒相碰。

(3) ab 棒与金属框相碰, 据动量守恒定律可得 $mv_1 = (m + m)v_2$ 进入绝缘部分后, 棒和金属框构成回路, ed 边处的磁场总是比 fc 边的磁场大。

$$\Delta B = kd$$

$$\text{回路中的电流 } I_2 = \frac{\Delta B dv}{r + r}$$

全框架受到的安培力合力 $F_{\text{安}} = \Delta BI_2 d$

由动量定理可得

$$-\sum F_{\text{安}} \cdot t = 0 - (m + m)v_2$$

金属框前进的位移 $x = \sum v \cdot t$

联立以上方程得金属框静止时 f 端的位置坐标 $x = \frac{4mFr^2}{B_0^2 k^2 d^6} - \frac{B_0^2}{k^2 d}$

第 10 讲 热学 (A)

1. A **【解析】** 土壤中存在一系列毛细管, 水分通过毛细管能够上升到地面蒸发, 夏季天旱时, 给庄稼松土是为了破坏土壤中的毛细管, 防止水分蒸发, A 正确; 晶体分为单晶体与多晶体, 单晶体在导热性能、导电性能与光学性质上表现出各向异性, 即沿不同方向上的物理性质不相同, 多晶体在导热性能、导电性能与光学性质上表现出各向同性, 即沿不同方向上的物理性质相同, B 错误; 由于液体表面层分子间距离小于液体内部分子间距离, 所以液体表面存在表面张力, 而出现浸润现象则是由于液体和与之接触的固体间的相互作用力比液体分子之间的相互作用强, C 错误; 油烟颗粒是宏观粒子, 油烟颗粒的运动不是热运动, D 错误。

2. A **【解析】** 气泡从湖底上升到湖面的过程中温度保持不变, 则气体分子的平均动能不变, 而气体分子的平均速率不变, 气体压强减小, 根据玻意耳

定律 $pV=C$ 可知气体体积增大,故 A 正确,B、C 错误;气体分子间的距离比较大,分子间的作用力表现为引力,且随着分子间距离的增大而减小,故 D 错误。

3. A **【解析】** 泄漏的原油体积为 $V = \frac{m}{\rho} = \frac{9 \times 10^3}{9 \times 10^2} \text{ m}^3 = 10 \text{ m}^3$, 泄漏的原油在海面近似形成单层分子油膜, 油分子的直径数量级为 10^{-10} m , 所以污染的海洋面积 $S = \frac{V}{d} = \frac{10}{10^{-10}} \text{ m}^2 = 10^{11} \text{ m}^2$, 故 A 正确。

4. AD **【解析】** 对 f 加热, 则 f 中气体温度升高, 体积增加, 此时 f 挤压 g 、 h , 而 g 、 h 绝热, 故 g 、 h 体积均减小, 压强增大, 弹簧弹力增大。当 f 右侧活塞向右移动时, 对 g 、 h 均做正功, 故 g 、 h 中的气体温度升高, 内能增加, 故 A 正确; 当系统稳定时, 满足 $p_f S = p_g S + F = p_h S$, 则此时 f 与 h 中的气体压强相等, 故 D 正确; 由于 h 体积变小, 温度升高, 可知 $V_h < V_f$, 由理想气体状态方程可知 $\frac{p_f V_f}{T_f} = \frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_h V_h}{T_h}$, 所以 $T_h < T_f$, 故 C 错误; 由理想气体状态方程可知 $\frac{p_g V_g}{T_g} = \frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_f V_f}{T_f}$, 由于 $p_g < p_f$, $V_g < V_f$, 故 $T_g < T_f$, 故 B 错误。

5. AC **【解析】** 由理想气体状态方程 $\frac{pV}{T} = C$, 变形可得 $V = \frac{C}{p} \cdot T$, V - T 图线中, 各点和原点连线的斜率与气体的压强成反比, 则图线的斜率越大, 压强越小, 故 $p_a < p_b = p_c$, $b \rightarrow c$ 过程为等压变化, 气体体积减小, 外界对气体做功, 故 A 正确; 由 A 选项可知, $c \rightarrow a$ 过程气体压强减小, 故 B 错误; $a \rightarrow b$ 过程为等温变化, 故气体内能不变, 即 $\Delta U = 0$, 气体体积减小, 外界对气体做功, 故 $W > 0$, 根据热力学第一定律 $\Delta U = Q + W$, 解得 $Q < 0$, 故 $a \rightarrow b$ 过程气体放出热量, 故 C 正确; $c \rightarrow a$ 过程, 气体温度升高, 内能增大, 故 D 错误。

6. B **【解析】** 根据理想气体状态方程 $\frac{pV}{T} = C$, 可知 p - V 图像的横纵坐标值的乘积反映温度, 状态 a 和状态 c 的横纵坐标值的乘积相等, 而中间状态的横纵坐标值的乘积更大, 可知 $a \rightarrow c$ 过程的温度先升高后降低, 且状态 b 的温度最高, C 错误; 由于 $a \rightarrow b$ 过程中气体温度升高, 体积增大, 所以气体内能增加, 气体对外界做功, 即 $\Delta U > 0$, $W < 0$, 由热力学第一定律 $\Delta U = W + Q$, 可知 $Q > 0$, 即 $a \rightarrow b$ 过程中气体吸热, A 错误, B 正确; $a \rightarrow c$ 过程中气体体积增大, 外界对气体做负功, D 错误。

7. D **【解析】** 由理想气体状态方程

$\frac{pV}{T} = C$, 变形可得 $p = \frac{C}{V} \cdot T$, p - V 图线中, 各点和原点连线的斜率与气体的体积成反比, 即斜率越大, 体积越小, 故 $V_d < V_c < V_a = V_b$ 。气体在 $b \rightarrow c$ 过程是等温压缩, c 状态压强增大到 b 状态压强的 1.5 倍, 则 c 状态体积变为 b 状态体积的 $\frac{2}{3}$, 气体在 $d \rightarrow a$ 过程是等温膨胀, a 状态压强变为 d 状态压强的 $\frac{1}{2}$, 则 a 状态体积变为 d 状态体积的 2 倍, 因 a 、 b 两状态体积相等, 设为 V , 则 c 状态体积为 $\frac{2}{3}V$, d 状态体积为 $\frac{1}{2}V$, $\Delta V_{bc} = \frac{1}{3}V$, $\Delta V_{ad} = \frac{1}{2}V$, 即气体在 $b \rightarrow c$ 过程中体积的变化量小于 $d \rightarrow a$ 过程中体积的变化量, 选项 A 错误; 气体在 $a \rightarrow b$ 过程中温度的增加量等于 $c \rightarrow d$ 过程中温度的减少量, 则 $\Delta U_{ab} = -\Delta U_{cd}$, 即气体在 $a \rightarrow b$ 过程中内能的增加量等于 $c \rightarrow d$ 过程中内能的减少量, 选项 B 错误; 气体在 $a \rightarrow b$ 过程中体积不变, 则 $W_{ab} = 0$, 由热力学第一定律得 $\Delta U_{ab} = Q_{ab} + W_{ab} = Q_{ab}$, 即气体在 $a \rightarrow b$ 过程中吸收的热量 $Q_{ab} = \Delta U_{ab}$, 气体在 $c \rightarrow d$ 过程中体积减小, 则 $W_{cd} > 0$, 由热力学第一定律得 $\Delta U_{cd} = Q_{cd} + W_{cd} > Q_{cd}$, 则 $c \rightarrow d$ 过程中放出的热量 $|Q_{cd}| > |\Delta U_{cd}|$, 其中 $\Delta U_{ab} = -\Delta U_{cd}$, 所以气体在 $a \rightarrow b$ 过程中吸收的热量小于 $c \rightarrow d$ 过程中放出的热量, 选项 C 错误, D 正确。

8. B **【解析】** 释放瞬间, 对水银有 $mg + p_0 S = p_1 S$, 水银的运动状态不变, 加速度为零, 故 A 错误; 释放瞬间, 对玻璃管, 根据牛顿第二定律有 $mg + p_1 S - p_0 S = ma$, 联立解得 $a = 2g$, 故 B 正确; 释放瞬间, 水银内部各处压强不相等, 故 C 错误; 释放后, 由于玻璃管和水银的加速度不同, 所以二者运动的速度不相同, 故 D 错误。

9. (1) $\frac{\rho ghL}{L-L_0}$ (2) $\frac{(2L+h)T_0}{2L_0}$
【解析】 (1) 设玻璃管横截面积为 S , 两管内液面高度差变为 h 时, 封闭气体的压强为 p_1 , 由平衡条件可知 $p_1 + \rho gh = p_0$ 。两管内液面高度差变为 h 的过程中, 封闭气体做等温变化, 由玻意耳定律可得 $p_0 L_0 S = p_1 L S$ 。解得 $p_1 = \frac{\rho ghL}{L-L_0}$ 。

(2) 两管中液面再次相平时, 对甲、丙两图对应的状态来说, 封闭气体做等压变化, 由盖-吕萨克定律得 $\frac{L_0 S}{T_0} = \frac{L_1 S}{T}$ 。其中 $L_1 = L + \frac{h}{2}$ 。

$$\text{解得 } T = \frac{(2L+h)T_0}{2L_0}$$

10. (1) 330 K (2) $\frac{9}{7} p_0$

【解析】 (1) 设汽缸的横截面积为 S , 锁定活塞 A 前, 上、下两部分气体的压强相等, 设未加沙子前两部分气体的压强为 p , 在活塞 A 上缓慢地加入沙子的过程, 活塞 A 导热性能良好, 则上部分气体做等温变化, 根据玻意耳定律有

$$p_0 Sh = p \times S \left(h - \frac{h}{4} + \frac{h}{12} \right)$$

活塞 B 绝热, 则对下部分气体, 根据理想气体状态方程有

$$\frac{p_0 Sh}{T_0} = \frac{p \times S \left(h - \frac{h}{12} \right)}{T}$$

其中 $T_0 = (273 + 27) \text{ K} = 300 \text{ K}$

$$\text{联立解得 } p = \frac{6}{5} p_0, T = 330 \text{ K}$$

(2) 锁定活塞 A 后, 用电阻丝给活塞 B 以下的气体缓慢加热到活塞 B 恰好上升至卡口的过程, 对未加沙子前的状态和此时状态来说, 上部分气体做等温变化, 根据玻意耳定律有

$$p_0 Sh = p_1 \times S \left(h - \frac{h}{4} \right)$$

$$\text{解得 } p_1 = \frac{4}{3} p_0$$

下部分气体做等容变化, 根据查理定律有

$$\frac{p_0}{T_0} = \frac{p_1}{T_1}$$

解得 $T_1 = 400 \text{ K}$

由于 $T_1 > 375 \text{ K}$, 所以给活塞 B 以下的气体缓慢加热到 375 K 时, 活塞 B 未到达卡口处, 设此时两部分气体的压强为 p_2 , A、B 两活塞相距为 h' , 对上部分气体, 根据玻意耳定律有

$$p_0 Sh = p_2 Sh'$$

对下部分气体, 根据理想气体状态方程有

$$\frac{p_0 Sh}{T_0} = \frac{p_2 \times S \left(2h - \frac{h}{4} - h' \right)}{T_2}$$

其中 $T_2 = 375 \text{ K}$

$$\text{联立解得 } p_2 = \frac{9}{7} p_0$$

第 10 讲 热学 (B)

1. (1) 21 cm (2) 562.5 K

【解析】 (1) 左管气柱初态压强 $p = p_0 - p_H = (75 - 15) \text{ cmHg} = 60 \text{ cmHg}$ 左、右两管内的水银面相平时气柱压强 $p_0 = 75 \text{ cmHg}$

若仅在管口缓慢注入水银, 则封闭气体做等温变化, 根据玻意耳定律有

$$pLS = p_0 L_0 S$$

解得 $L_0 = 12 \text{ cm}$

所以需要注入的水银高度 $h = H + 2(L - L_0) = 21 \text{ cm}$

(2) 若仅缓慢升高左管气柱的温度, 则左、右两管内的水银面相平时, 左管中

$$\text{气体长度 } L_1 = L + \frac{H}{2} = 22.5 \text{ cm}$$

根据理想气体状态方程有

$$\frac{pLS}{T_0} = \frac{p_0 L_1 S}{T}$$

$$\text{解得 } T = 562.5 \text{ K}$$

$$2. (1) \frac{6}{5} T_0 \quad (2) \frac{1}{5} h (p_0 S + mg) + \frac{1}{5} CT_0$$

【解析】 (1) 容器内气体进行等压变化, 则由盖-吕萨克定律得 $\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T_1}$

$$\text{即 } \frac{hS}{T_0} = \frac{(h + \frac{1}{5}h)S}{T_1}$$

$$\text{解得 } T_1 = \frac{6}{5} T_0$$

(2) 此过程中容器内气体内能增加量 $\Delta U = C(T_1 - T_0)$

$$\text{容器内气体压强 } p = p_0 + \frac{mg}{S}$$

气体体积增大, 则气体对外做功,

$$W = -pS \cdot \frac{1}{5}h$$

根据热力学第一定律得 $\Delta U = W + Q$

$$\text{联立解得 } Q = \frac{1}{5} h (p_0 S + mg) + \frac{1}{5} CT_0$$

$$3. (1) 9 \times 10^4 \text{ Pa} \quad (2) 3.6 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \quad (3) 110 \text{ kg}$$

【解析】 (1) 当环境温度降低到 $T_2 = 270 \text{ K}$ 时, B 内气体压强降低. 若此时差压阀没打开, 设 p_{B2}' 为差压阀未打开时 B 内气体的压强, B 内气体体积不变, 由查理定律得

$$\frac{p_0}{T_1} = \frac{p_{B2}'}{T_2}$$

$$\text{解得 } p_{B2}' = 9 \times 10^4 \text{ Pa}$$

由于 A 、 B 内气体压强差 $p_0 - p_{B2}' < \Delta p$, 故差压阀未打开, 则 $p_{B2} = p_{B2}'$

$$\text{即 } p_{B2} = 9 \times 10^4 \text{ Pa}$$

(2) 差压阀未打开时, A 内气体的压强不变, 由盖-吕萨克定律得

$$\frac{V_{A1}}{T_1} = \frac{V_{A2}}{T_2}$$

$$\text{解得 } V_{A2} = 3.6 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

(3) 倒入铁砂后, B 内气体的温度和体积都不变, 但压强增加, 故可知 A 中气体通过差压阀进入 B 中, 当 B 内气体压强为 p_0 时, A 内气体压强比 B 内气体压强高 Δp , 再根据 A 的活塞受力平衡可知

$$(p_0 + \Delta p)S = p_0 S + mg$$

$$\text{解得 } m = 110 \text{ kg}$$

$$4. (1) 55 \quad (2) \left(\frac{5}{6}\right)^{10}$$

【解析】 (1) 设能分装 n 个氧气瓶, 以容器内开始时的气体为研究对象, 由玻意耳定律得 $p_0 V_0 = p(nV + V_0)$

$$\text{解得 } n = 55$$

(2) 第 1 个氧气瓶充满气体后, 由玻意

$$\text{耳定律有 } p_0 V_0 = p_1 (V + V_0)$$

$$\text{解得 } p_1 = p_0 \frac{V_0}{V + V_0}$$

同理, 第 2 个氧气瓶充满气体后, 由玻意耳定律有 $p_1 V_0 = p_2 (V + V_0)$

$$\text{解得 } p_2 = p_0 \left(\frac{V_0}{V + V_0}\right)^2$$

同理, 第 3 个氧气瓶充满气体后, 由玻意耳定律有 $p_2 V_0 = p_3 (V + V_0)$

$$\text{解得 } p_3 = p_0 \left(\frac{V_0}{V + V_0}\right)^3$$

由此可推出第 10 个氧气瓶充满气体后, 由玻意耳定律有 $p_9 V_0 = p_{10} (V + V_0)$

$$\text{解得 } p_{10} = p_0 \left(\frac{V_0}{V + V_0}\right)^{10}$$

$$\text{则 } \frac{p_{10}}{p_0} = \left(\frac{V_0}{V + V_0}\right)^{10}$$

$$\text{代入数据解得 } \frac{p_{10}}{p_0} = \left(\frac{5}{6}\right)^{10}$$

$$5. (1) 2 \text{ cm} \quad (2) 8.92 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

【解析】 (1) 在缓慢地将汲液器竖直提出液面的过程中, 封闭气体发生等温变化, 根据玻意耳定律有

$$p_1 (H - x) S_1 = p_2 H S_1$$

$$\text{根据题意可知 } p_1 = p_0, p_2 + \rho g h = p_0$$

$$\text{联立解得 } x = 2 \text{ cm}$$

(2) 对新进入的气体和原有的气体整体分析, 由玻意耳定律有

$$p_0 V + p_2 H S_1 = p_3 \left(H S_1 + \frac{h}{2} S_2\right)$$

$$\text{又 } p_3 + \rho g \cdot \frac{h}{2} = p_0$$

$$\text{联立解得 } V = 8.92 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

第 11 讲 机械振动和机械波、电磁振荡和电磁波

1. A **【解析】** 根据图像可知要使振幅增大需要使偏心轮的频率接近固有频率, 可以提高偏心轮的频率, 或者增大筛子质量减小筛子的固有频率, 使驱动力频率接近固有频率, 故 A 正确.

2. C **【解析】** 设地球表面的重力加速度为 g , 球状天体表面的重力加速度为 g' , 弹簧的劲度系数为 k , 根据简谐运动的对称性有 $k \cdot 4A - mg = mg, k \cdot 2A - mg' = mg'$, 解得 $\frac{g}{g'} = 2$.

设球状天体的半径为 R , 则地球的半径为 nR , 在地球表面有

$$G \frac{\rho_1 \cdot \frac{4}{3} \pi (nR)^3 \cdot m}{(nR)^2} = mg, \text{ 在球状天}$$

$$\text{体表面有 } G \frac{\rho_2 \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot m}{R^2} = mg', \text{ 联}$$

$$\text{立解得 } \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{2}{n}, \text{ 故 C 正确.}$$

3. C **【解析】** 由图乙可知, $t = 2 \text{ s}$ 时, 质点 P 正沿 y 轴负方向运动, 在图甲中, 根据微平移法可知, 波沿 x 轴负方向传播, A 错误; 由图甲可知, 波长 $\lambda = 2 \text{ m}$, 由图乙可知, 周期 $T = 4 \text{ s}$, 则

$$\text{波传播的速度大小为 } v = \frac{\lambda}{T} =$$

$$\frac{2}{4} \text{ m/s} = 0.5 \text{ m/s}, \text{ B 错误; } P、Q \text{ 两质}$$

$$\text{点的平衡位置间的距离 } \Delta x_{PQ} = 2.75 \text{ m} - 1.5 \text{ m} = 1.25 \text{ m} = \frac{5}{8} \lambda, \text{ 两者}$$

$$\text{的相位差 } \Delta \varphi = \frac{5}{8} \times 2\pi = \frac{5}{4} \pi, \text{ 所以当}$$

$$\text{质点 } P \text{ 在波谷时, 质点 } Q \text{ 的位移为 } y = 6 \times \sin \left(\frac{3}{2} \pi + \frac{5}{4} \pi\right) \text{ cm} =$$

$$3\sqrt{2} \text{ cm}, \text{ C 正确; 由于质点 } P、Q \text{ 的平衡位置间的距离并不等于半波长的奇数倍, 因此两质点的振动方向并不一定相反, D 错误.}$$

4. C **【解析】** 在 $t = 0$ 时刻, 回路中电容器的上极板 (M 极) 带正电, 尘埃处于静止状态, 受力平衡, 重力向下, 则电场力向上, 即尘埃带负电, A 错误; 在 $0 \sim t_1$ 时间里, 电容器放电, 电场能减小, 回路的磁场能在增大, B 错误; 在 $t_1 \sim t_2$ 时间里, 电容器充电, 根据 $C = \frac{Q}{U}$, 两板电压在增加, C 正确;

在 t_3 时刻, 电容器放电完毕, 尘埃受电场力为零, 尘埃的加速度为重力加速度, D 错误.

5. B **【解析】** 因为 $A、B$ 两点连线与水平面夹角为 α ($\alpha < 5^\circ$), 故可以看成小球做单摆运动, 由单摆运动的周期公式可得 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{a}}$, 又因为整个装置置于方向竖直向下、电场强度为 $E = \frac{mg}{q}$ 的匀强电场中, 所以, 小球的等效

$$\text{重力加速度为 } a = g + \frac{qE}{m} = 2g, \text{ 则小}$$

$$\text{球由 } A \text{ 运动到 } B \text{ 的时间为 } t = \frac{T}{4} =$$

$$\frac{1}{4} \times 2\pi \sqrt{\frac{R}{2g}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{R}{2g}}, \text{ A、C、D 错误, B 正确.}$$

6. B **【解析】** 由波形图可知, 波长 $\lambda = 8 \text{ m}$, 根据速度范围可以得到周期范围 $2 \text{ s} \leq T \leq 4 \text{ s}$, 若横波沿 x 轴正向传播, $x = 2 \text{ m}$ 处的质点在 0.5 s 时由平衡位置向 y 轴正方向运动, 由 $\frac{5}{8} T_1 = 1.5 \text{ s}$, 解得 $T_1 = 2.4 \text{ s}$, 结合题于实线波形图可得, 0.5 s 时, 若波向右传播, $x = 2 \text{ m}$ 处的质点向上振动, 则 A 错误, B 正确; 若横波沿 x 轴负向传播, $x = 2 \text{ m}$ 处的质点在 0.5 s 时由平衡位置向 y 轴负方向运动, 由 $\frac{3}{8} T_2 = 1.5 \text{ s}$, 解得 $T_2 = 4 \text{ s}$, C、D 错误.

7. BD **【解析】** 由丙图可知超声波的波长 $\lambda = 1 \text{ cm} = 0.01 \text{ m}$, 超声波悬浮仪所发出的超声波信号频率为 $f = \frac{v}{\lambda}$, 代入数据得 $f = 3.4 \times 10^4 \text{ Hz}$, A 错误; 波源 $P、Q$ 振动步调相反, 当波程

差为波长的整数倍时,该点是振动减弱点,设波源 P 、 Q 之间某一点坐标为 x ,悬浮点为振动减弱点,满足 $|(2-x) - [x - (-2.5)]| = |2x + 0.5| = n\lambda$ (n 为自然数),解得 $x = \pm 0.25$ 、 ± 0.75 、 ± 1.25 、 ± 1.75 、 ± 2.25 ,故两列波叠加稳定后,波源 P 、 Q 之间小水珠共有 9 个悬浮点, B 正确;由平衡可知,小水珠在悬浮状态点所受声波压力的合力竖直向上, C 错误;拔出图乙线圈中的铁芯, LC 振荡回路的振荡周期减小,超声波频率变大,波长变短,相同空间距离内节点个数变多, D 正确。

8. BC 【解析】由于两波的波速均为 2 m/s ,故 $t=0.5 \text{ s}$ 时,两波均传播了 $\Delta x = v\Delta t = 2 \times 0.5 \text{ m} = 1 \text{ m}$,题图所示平衡位置在 $x=1 \text{ m}$ 处和 $x=3 \text{ m}$ 处两质点的振动形式传到 P 点处,由波的叠加原理可知, $t=0.5 \text{ s}$ 时, P 偏离平衡位置的位移为 -2 cm , A 错误, B 正确;同理, $t=1 \text{ s}$ 时,题图所示平衡位置在 $x=0$ 处和 $x=4 \text{ m}$ 处两质点的振动形式(均向 y 轴正方向运动)传到 P 点处,根据波的叠加原理可知, $t=1 \text{ s}$ 时, P 向 y 轴正方向运动, C 正确, D 错误。

9. A 【解析】根据题图乙可知,超声波的传播周期 $T = 2 \times 10^{-7} \text{ s}$,又波速 $v = 6300 \text{ m/s}$,则超声波在机翼材料中的波长 $\lambda = vT = 1.26 \times 10^{-3} \text{ m}$,结合题图乙和题图丙可知,两个反射信号传播到探头处的时间差为 $\Delta t = 1.5 \times 10^{-6} \text{ s}$,故两个反射信号的路程差为 $2d = v\Delta t = 9.45 \times 10^{-3} \text{ m} = \frac{15}{2}\lambda$,解得 $d = 4.725 \times 10^{-3} \text{ m}$;由题图乙和题图丙可知,这两个反射信号的起振方向相同,振动周期相同,传播到探头处的路程差为半波长的奇数倍,则这两个反射信号发生干涉且在探头处振动方向相反,故这两个反射信号在探头处振动减弱, A 正确。

10. (1) 2 s 1 m/s (2) 94 cm

【解析】(1)由题目所给 M 点振动图像可知 $T = 2 \text{ s}$

A 先振动 $t_0 = 7 \text{ s}$ 后 B 开始振动, B 振动 $t = 9 \text{ s}$ 后两波同时到达 M 点,设波速为 v ,则 $v(t_0 + t) + vt = x_B$ 解得 $v = 1 \text{ m/s}$

(2)两列波的波长 $\lambda = vT = 2 \text{ m}$

由几何关系有 $x_{AM} = 16 \text{ m}$, $x_{BM} = 9 \text{ m}$, $x_{AN} = 20 \text{ m}$, $x_{BN} = 15 \text{ m}$

N 从 $t = 13 \text{ s}$ 时开始振动,从 13 至 15 s , $s_1 = 4 \text{ cm}$

因 A 、 B 波源振动反相,则 $\Delta x = x_{AN} - x_{BN} = 5 \frac{\lambda}{2}$,故 N 为加强点

从 15 至 30 s , $s_2 = 90 \text{ cm}$

从 $t = 0$ 至 $t = 30 \text{ s}$,质点 N 的路程为 $s = s_1 + s_2 = 94 \text{ cm}$

第 12 讲 光学

1. D 【解析】黑体辐射、光电效应、康普

顿效应都说明光具有粒子性,能用光的粒子性解释,故 A、B、C 错误;电子束衍射说明电子具有波动性,不能用光的粒子性解释,故 D 正确。

2. A 【解析】根据爱因斯坦的光子说,可得 $E_0 = h\nu = 5.17 \times 10^{-19} \text{ J}$,则紫光光子能量可表示为 $E_0 = \frac{5.17 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ eV} = 3.2 \text{ eV}$,故 A 正确。

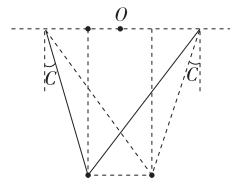
3. B 【解析】滑片 P 向 b 端滑动,微安表中的电流会增大或保持不变,故 A 错误;设材料的逸出功为 W ,由光电效应方程可得 $eU_1 = h\nu_1 - W$, $eU_2 = h\nu_2 - W$,解得 $h = \frac{e(U_1 - U_2)}{\nu_1 - \nu_2}$,故 B 正确;用频率为 ν_1 的光照射阴极 K ,微安表中有电流,说明发生了光电效应,降低光照强度,仍然能发生光电效应,只是电流会变小,光电子的最大初动能不变,遏止电压不变,故 C 错误;滑动变阻器的滑片位于 b 端时, A 端电势高,光电子做加速运动,光电子从 K 端到 A 端,微安表中电流方向向上,故 D 错误。

4. A 【解析】假设双缝间距为 d ,双缝到光屏的距离为 L , O 、 P 间距为 x ,两种激光干涉条纹间距分别为 $\Delta x_1 = \frac{x}{3}$, $\Delta x_2 = \frac{x}{4}$,由 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$ 可得 $\frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{\Delta x_2}{\Delta x_1} = \frac{3}{4}$,所以该激光的波长为 $\lambda = \frac{3}{4}\lambda_0$,故选 A。

5. C 【解析】根据爱因斯坦光电效应方程可知 $U_c = \frac{h}{e}\nu - \frac{W_0}{e} = \frac{hc}{e} \cdot \frac{1}{\lambda} - \frac{W_0}{e}$, D 错误;由题可知 $\frac{hc}{e} = \frac{b}{a} \cdot \frac{W_0}{e} = b$,解得 $h = \frac{be}{ac}$, $W_0 = be$,截止频率为 $\nu_c = \frac{W_0}{h} = ac$, A、B 错误, C 正确。

6. D 【解析】已知圆盘半径和 AC 距离相等,则 $\triangle AOC$ 为等边三角形,而 $\angle ACB = 90^\circ$,由几何知识得 $\angle ABC = \angle OCB = 30^\circ$,而入射角 i 与 $\angle AOC$ 相等,由几何知识得 $i = \angle AOC = 60^\circ$,由折射定律得 $n = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{3}$,故 D 正确。

7. B 【解析】根据题意可知,当小鱼反射的光在木板边缘水面上发生全反射时,则在水面上看不到小鱼,如图所示,根据全反射的临界角公式可得 $\sin C = \frac{1}{n} = \frac{3}{4}$,则 $\tan C = \frac{3\sqrt{7}}{7}$,在水面之上看不到小鱼时小鱼运动的位移 $x = vt = 0.5 \text{ m}$,结合几何关系可知 $\tan C = \frac{\frac{d}{2} - \frac{x}{2}}{h}$,解得 $d = 1.41 \text{ m}$,故 B 正确。



8. BCD 【解析】画出光路图如图所示,在界面 AC 恰好发生全反射,由几何关系可知全反射临界角 $C = i = 60^\circ$,则

$$\text{折射率 } n = \frac{1}{\sin C} = \frac{2\sqrt{3}}{3}, \text{ 故 A 错误, B}$$

正确;又 $n = \frac{c}{v}$,则光在透明介质中的

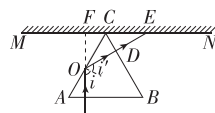
传播速度为 $v = \frac{c}{n} = \frac{\sqrt{3}}{2}c$,故 C 正确;

由几何关系可得光在透明介质中的路程 $s_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 2 \times \frac{1}{2}l = \frac{\sqrt{3}}{2}l$,光在空气

中的路程 $s_2 = \frac{\sqrt{3}}{4}l$,光从射入 AB 面开

始到射到 E 点的时间为 $t = \frac{s_1}{v} + \frac{s_2}{c} =$

$$\frac{(4 + \sqrt{3})l}{4c}, \text{ 故 D 正确。}$$



9. B 【解析】不同频率的光在同种介质中的相互作用不同,因此它们的折射率也会有所差异,一般情况下,同种介质中的折射率与光的频率呈正相关关系,即频率越高,折射率越大,由于蓝光的频率高于红光的频率,所以该玻璃砖对红光的折射率为 1.5 ,则玻璃砖对蓝光的折射率大于 1.5 ,故 A 错误;红、蓝两单色光穿过玻璃砖自下表面射出的光路图如图所示,由几何关系可知红光、蓝光在玻璃砖中上下界面与法线的夹角相同,设折射角为 α ,

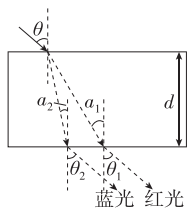
由折射定律 $n = \frac{\sin \theta}{\sin \alpha}$ 可知蓝光满

足 $n_1 = \frac{\sin \theta}{\sin \alpha_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \alpha_2}$,红光满足 $n_2 =$

$\frac{\sin \theta}{\sin \alpha_1} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \alpha_1}$,即有 $\theta = \theta_1 = \theta_2$,所以

红光、蓝光两单色光通过平行玻璃砖后出射方向不变,只是发生一定程度的侧移,且侧移距离随折射率的增大而增大,所以从下表面射出时,红光、蓝光的折射角应是相等的,即从下表面射出的红光、蓝光一定平行,故 B 正确;由于光路是可逆的,根据 B 选项可知红光、蓝光两单色光通过平行玻璃砖后出射方向不变,只是发生一定程度的侧移,若要红光有在下表面发生全反射,则上表面入射光入射角应增大至 90° ,即与上表面平行,此时光线不能到达下表面,也就不能发生全反射,故 C 错误;设折射角为 α ,由折

定律 $n = \frac{\sin \theta}{\sin \alpha}$ 及 $n = \frac{c}{v}$, 在玻璃砖中
的时间为 $t = \frac{d}{v \cos \alpha} = \frac{2d \sin \theta}{c \sin 2\alpha}$, 因为玻
璃砖对红光的折射率小于对蓝光的折
射率, 则红光的折射角大于蓝光的折
射角, 根据题意可知, 玻璃砖对红光的
折射率为 1.5, 可知红光的折射角
 $\alpha_2 < 45^\circ$, 可知两种光线在 θ 从 0° 增
大至 90° 的过程中, 折射角的 2 倍都小
于 90° , 则在 θ 从 0° 增大至 90° 的过
程中, t_2 始终小于 t_1 , 故 D 错误。



10. D 【解析】 P_0 是单位时间从太阳单
位面积辐射的电磁波的能量, 所以单
位为 $\text{J}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$, $\sigma = \frac{P_0}{T^4}$, 则常量 σ 的
单位为 $\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^4} = \frac{\text{kg}}{\text{s}^3 \cdot \text{K}^4}$, 故 A 错
误; t 时间内探测器在 r 处太阳帆受
到太阳辐射的能量 $E = \frac{4\pi R^2 t P_0}{4\pi r^2} S =$
 $\frac{R^2 t P_0 S}{r^2}$, 故 B 错误; 辐射到太阳帆的
光子的总数 $n = \frac{E}{h\nu} = \frac{E\lambda}{hc} = \frac{R^2 t P_0 S \lambda}{hcr^2}$,
一半光子被吸收, 一半反射, 则
有 $F_{\text{总}} t = \frac{n}{2} p + \frac{n}{2} \cdot 2p = \frac{3n}{2} p$, 其
中 $F_{\text{总}} \geq \frac{GMm}{r^2}$, 联立可得 $S \geq$
 $\frac{2cGMm}{3R^2 P_0}$, 故 C 错误; 若照射到太阳帆
上的光全部被太阳帆吸收, 则有
 $F_{\text{总}} t = np$, 可得探测器在 r 处太
阳帆受到的太阳光对光帆的压
力 $F_{\text{总}} = \frac{R^2 P_0 S}{cr^2}$, 故 D 正确。

11. (1) 1.5 (2) 0.4 mm

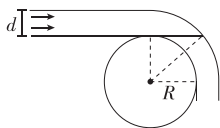
【解析】(1) 光在长直光纤中传输, 有
 $v = \frac{l}{t}$

解得 $v = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$

光纤的折射率 $n = \frac{c}{v}$

解得 $n = 1.5$

(2) 如图所示, 当光纤中最下面的光
线发生全反射, 则平行光在弯曲处全
部发生全反射



由几何关系可知 $\sin C = \frac{R_{\min}}{R_{\min} + d}$

又 $\sin C = \frac{1}{n} = \frac{1}{1.5}$

解得 $R_{\min} = 0.4 \text{ mm}$

12. (1) $\frac{\sqrt{10}}{2}$ (2) $\frac{\sqrt{2}}{2} R$

【解析】(1) 当光线经球心 O 入射时,
光路图如图甲所示

根据折射定律得 $n = \frac{\sin i}{\sin r}$

其中 $\sin r = \frac{AB}{\sqrt{OA^2 + AB^2}}$

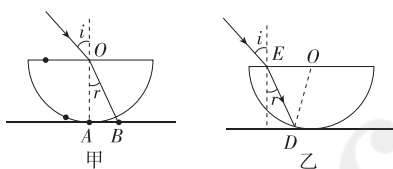
解得 $n = \frac{\sqrt{10}}{2}$

(2) 如图乙所示, 平移到 E 点, 在 D
点发生全反射, 则 $\sin \angle EDO = \frac{1}{n}$

在 $\triangle EDO$ 内, 有 $\frac{OD}{\sin(90^\circ - r)} =$

$\frac{OE}{\sin \angle EDO}$

联立得 $OE = \frac{\sqrt{2}}{2} R$



第 13 讲 原子物理

- D 【解析】卢瑟福的 α 粒子散射实
验, 证明了原子是可以再分的, 故 A 错
误; 卢瑟福用 α 粒子散射实验的数据
否定了汤姆孙的“西瓜模型”, 并估算
了原子核的大小, 故 B 错误; 从绝大多
数 α 粒子几乎不发生偏转, 可以推测
使 α 粒子受到排斥力的核积极小,
表明原子中心有一个极小的核, 它占
有原子体积的极小部分, 故 C 错误; 在
相同的条件下, 改变金箔的厚度对实
验结果有影响, 故 D 正确。
- D 【解析】原子吸收频率为 ν_0 的光
子从基态能级 I 跃迁至激发态能级 II
时有 $E_{\text{II}} - E_{\text{I}} = h\nu_0$, 且从激发态能级
II 向下跃迁到基态 I 的过程有 $E_{\text{II}} -$
 $E_{\text{I}} = h\nu_1 + h\nu_2 + h\nu_3$, 联立解得 $\nu_2 =$
 $\nu_0 - \nu_1 - \nu_3$, 故选 D。
- C 【解析】由核反应过程的质量数守
恒和电荷数守恒可知 X 的质量数为
 $A = 239 - 4 = 235$, 电荷数为 $Z =$
 $94 - 2 = 92$, 则 X 原子核中含有中子
为 $n = 235 - 92 = 143$, 故 A 错误; 根据
 γ 射线的特点可知, γ 射线不带电, 其
电离能力很弱, 故 B 错误; γ 光子照射
到逸出功为 W_0 的金属上, 逸出光电
子的最大初动能为 E_{k0} , 由光电效应方
程得 $E_{k0} = h\nu - W_0$, γ 光子的频率为
 $\nu = \frac{W_0 + E_{k0}}{h}$, 故 C 正确; 钚 (Pu) 核的
比结合能小于 X 原子核的比结合能,
故 D 错误。
- C 【解析】根据氢原子能级图可得
 $E_2 - E_1 = -3.40 \text{ eV} - (-13.6) \text{ eV} =$
 10.2 eV , 可知此谱线来源于太阳中氢原
子 $n=2$ 和 $n=1$ 能级之间的跃迁, 故 C

正确。

- BD 【解析】由于四条谱线中, H_δ 谱
线光子波长最小, 其频率最大, 所以
 H_δ 是氢原子从 $n=6$ 能级向 $n=2$
能级跃迁时产生的, 故 A 错误, B 正
确; 由于 H_γ 谱线光子波长小于 H_δ 谱
线的波长, 则 H_γ 光子频率大于 H_δ 的
光子频率, 若用 H_γ 照射某种金属能发
生光电效应, 则用 H_δ 照射这种金属不
一定能发生光电效应, 但若用 H_δ 照射
某种金属能发生光电效应, 则用 H_γ 照
射这种金属一定能发生光电效应, 故
C 错误, D 正确。
- A 【解析】太阳内部的两个轻核结
合成质量较大的核, 可在瞬间产生大
量热能, 发生的反应是热核反应, 核反
应方程为 ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$, 故 A
正确。
- B 【解析】 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 有 92 个质子, 143 个
中子, A 错误; 原子序数越大的原子核
的结合能越大, 所以铀原子核 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 的
结合能大于钡原子核 ${}_{56}^{144}\text{Ba}$ 的结合能,
B 正确; 重核裂变成中等大小的核, 中
等大小的核更稳定, 核的比结合能变
大, C 错误; 根据质量数和电荷数守恒
可知裂变反应方程为 ${}_{92}^{235}\text{U} +$
 ${}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{56}^{144}\text{Ba} + {}_{36}^{89}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$, D 错误。
- A 【解析】根据反应过程满足质量
数和电荷数守恒可知, 衰变方程
为 ${}_{90}^{233}\text{Th} \rightarrow {}_{91}^{233}\text{Pa} + {}_{-1}^0\text{e}$, A 正确; ${}_{90}^{233}\text{Th}$ 核
含有 90 个质子和 143 个中子, B 错
误; 衰变放出的电子来自原子核内, C
错误; 衰变后, ${}_{91}^{233}\text{Pa}$ 核比 ${}_{90}^{233}\text{Th}$ 核更稳
定, 所以 ${}_{91}^{233}\text{Pa}$ 核的平均结合能大
于 ${}_{90}^{233}\text{Th}$ 核的平均结合能, D 错误。
- B 【解析】根据 $p = \frac{h}{\lambda}$, $\lambda = \frac{c}{\nu}$, 可得
频率为 ν_{31} 的光, 其光子动量为 $p_{31} =$
 $\frac{h\nu_{31}}{c} = \frac{E_3 - E_1}{c}$, A 错误; 根据光电效
应方程 $E_{k\text{m}} = h\nu - W_0$, 对于同一光电
效应装置来说, 逸出功 W_0 相同, 两种光
射入时逸出光电子最大初动能之差
 $\Delta E_{k\text{m}} = h\Delta\nu = h(\nu_{31} - \nu_{21}) = h\nu_{32}$, B 正
确; 根据双缝干涉条纹间距 $\Delta x = \frac{l}{d}\lambda$
可知, 两种光分别发生干涉时的条纹
间距之差为 $\Delta x_{21} - \Delta x_{31} = \frac{l}{d}(\lambda_{21} -$
 $\lambda_{31}) = \frac{l}{d} \left(\frac{c}{\nu_{21}} - \frac{c}{\nu_{31}} \right) = \frac{lc}{d} \left(\frac{1}{\nu_{21}} -$
 $\frac{1}{\nu_{31}} \right) = \frac{lc\nu_{32}}{d\nu_{21}\nu_{31}}$, C 错误; 因为入射的是
光子, 所以跃迁时氢原子吸收的能量
必为两能级的差值, 则对应入射光的
频率为 $\nu_{34} = \frac{E_4 - E_3}{h}$, D 错误。
- C 【解析】该装置通入大电流后使
金属套筒迅速汽化, 该过程中一定有
热能散失, 则该装置不可能将电能全
部转化成聚变反应的核能, 故 A 错
误; 汽化后的等离子体速度方向各不

相同,则外加磁场不一定保证汽化后的等离子体都受到轴向洛伦兹力的作用,故 B 错误;根据 $p_m = \frac{\mu_0 I^2}{8\pi^2 r^2}$,施加在套筒上的电流越大,大电流产生的磁场提供给套筒侧面的压强越大,越有利于聚变的发生,故 C 正确;套筒的厚度越大,汽化后的等离子体越不容易向轴向运动,不利于聚变的发生,故 D 错误。

11. D **【解析】** 根据核反应中质量数守恒、电荷数守恒,可知核反应方程式为 ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$,选项 A 错误;生成物比反应物更稳定,因此生成物的比结合能更大,即氦核的比结合能比氘核的大,选项 B 错误;发生轻核聚变的条件是原子核之间距离达到原子核的尺度,即达到 10^{-15} m ,选项 C 错误;根据核反应可知,每次核聚变反应后质量亏损为 $\Delta m = n_{\text{氦}} + n_{\text{中}} - n_{\text{氘}} - n_{\text{氚}} = 0.0189\text{ u}$,4 g 氦参加反应,含有氦核个数 $N = \frac{m}{M}N_A = \frac{4}{2} \times 6 \times 10^{23} = 1.2 \times 10^{24}$,质量亏损产生的核能为 $\Delta E = N\Delta m \times 931.5\text{ MeV} = 1.2 \times 10^{24} \times 0.0189 \times 931.5\text{ MeV} = 2.11 \times 10^{25}\text{ MeV}$,选项 D 正确。

12. (1) ${}_{94}^{238}\text{Pu} \rightarrow {}_{92}^{234}\text{U} + {}_2^4\text{He}$ (2) $\frac{117\pi m}{46Bq}$

$$\frac{2116Bq^2}{117\pi m} \quad (3) \mu = \frac{mv^2}{117B}$$

【解析】 (1) 衰变方程为 ${}_{94}^{238}\text{Pu} \rightarrow {}_{92}^{234}\text{U} + {}_2^4\text{He}$

(2) 衰变时,根据动量守恒定律得 $mv - Mv' = 0$

在磁场中,根据牛顿第二定律得

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

$$\text{解得 } r = \frac{mv}{qB}$$

所以铀核在磁场中运动的轨道半径

$$\text{为 } R = \frac{Mv'}{QB} = \frac{mv}{46qB}$$

$$\text{根据 } T = \frac{2\pi R}{v}, M = \frac{234}{4}m = \frac{117}{2}m$$

$$\text{解得 } T = \frac{117\pi m}{46Bq}$$

$$\text{环形电流大小 } I = \frac{Q}{T} = \frac{46q}{117\pi m} = \frac{46q}{46Bq}$$

$$\frac{2116Bq^2}{117\pi m}$$

(3) 根据题意可得 $\mu = I \cdot \pi R^2$

$$\text{解得 } \mu = \frac{mv^2}{117B}$$

第 14 讲 力学实验

1. (1) 98 (2) 14.7 (3) 不变 (4) 越小

【解析】 (1) 由图甲可知指示针指示的刻度尺刻度为 4.50 cm,以钩码为对象,根据受力平衡可得 $kx_1 = mg$,解得该弹簧的劲度系数为 $k = \frac{mg}{x_1} =$

$$\frac{0.2 \times 9.8}{(6.50 - 4.50) \times 10^{-2}} \text{ N/m} = 98 \text{ N/m}.$$

(2) 已知该装置中使用的弹簧在从原长到拉伸 5.00 cm 范围内能较好的满足胡克定律,则最大弹力为 $F_m = kx_m = 98 \times 5 \times 10^{-2} \text{ N} = 4.9 \text{ N}$;该“竖直加速度测量仪”可较准确测量的竖直向上的加速度的最大值为 $a_m = \frac{F_m - mg}{m} = \frac{4.9 - 0.2 \times 9.8}{0.2} \text{ m/s}^2 = 14.7 \text{ m/s}^2$.

(3) 当测加速度时磁铁处于稳定状态,磁铁和铝块之间没有作用力,则磁铁只受到重力和弹簧弹力作用,与不加铝块相比,此种情况下测得的加速度值不变。

(4) 弹簧下端悬挂钩码的质量越大,弹簧的最大弹力不变,根据 $a_m = \frac{F_m - mg}{m} = \frac{F_m}{m} - g$,可知该测量仪可较准确测量的竖直向上的加速度的最大值越小。

2. (1) $\frac{d^2}{2L} \left(\frac{1}{t_2^2} - \frac{1}{t_1^2} \right)$
(2) $\frac{(M+m)d^2}{2mL} \left(\frac{1}{t_2^2} - \frac{1}{t_1^2} \right)$ (3) $\ll$
(4) 9.8

【解析】 (1) 滑块经光电门 1 时的速度

$$v_1 = \frac{d}{t_1}, \text{ 滑块经光电门 2 时的速度}$$

$$v_2 = \frac{d}{t_2}, \text{ 由速度位移关系公式,可得滑}$$

$$\text{块的加速度 } a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2L} =$$

$$\frac{d^2}{2L} \left(\frac{1}{t_2^2} - \frac{1}{t_1^2} \right).$$

(2) 设轻绳上的拉力为 F ,根据牛顿第二定律,对悬挂物有 $mg - F = ma$,对滑块则有 $F = Ma$,联立解得 $g = \frac{(M+m)a}{m} = \frac{(M+m)d^2}{2mL} \left(\frac{1}{t_2^2} - \frac{1}{t_1^2} \right).$

(3) 由以上分析可得轻绳上的拉力为 $F = \frac{mg}{1 - \frac{m}{M}}$,由上式可知,当悬挂物

的质量 m 远小于滑块的质量 M 时,即 $m \ll M$,可认为轻绳的拉力等于悬挂物受到的重力。

(4) 若 $t_1 = 1\text{ ms}$, $t_2 = 0.5\text{ ms}$, $d = 1\text{ mm}$, $L = 1.68\text{ m}$, $m = 0.1\text{ kg}$, $M = 1\text{ kg}$,则 $g = \frac{(M+m)d^2}{2mL} \left(\frac{1}{t_2^2} - \frac{1}{t_1^2} \right) \approx 9.8\text{ m/s}^2$.

3. (1) ABD (2) 自由落体运动 A 球相邻两位置水平距离相等 (3) 10

$$(4) \frac{|x_2 - 2x_1|}{y_2 - 2y_1}$$

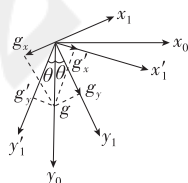
【解析】 (1) 用频闪照相记录平抛小球在不同时刻的位置,选择体积小质量大的小球可以减小空气阻力的影响, A 正确;本实验需要借助重垂线确定

竖直方向, B 正确;实验过程中应先打开频闪仪,再水平抛出小球, C 错误, D 正确。

(2) 根据任意时刻 A、B 两球的竖直高度相同,可以判断出 A 球竖直方向做自由落体运动;根据 A 球相邻两位置水平距离相等,可以判断 A 球水平方向做匀速直线运动。

(3) 小球从高度为 0.8 m 的桌面水平抛出,根据运动学公式 $h = \frac{1}{2}gt^2$,解得 $t = 0.4\text{ s}$,频闪仪每秒频闪 25 次,频闪周期 $T = \frac{1}{25}\text{ s} = 0.04\text{ s}$,故最多可以得到小球在空中运动位置的个数为 $\frac{t}{T} = 10$ 个。

(4) 如图 x_0 、 y_0 分别表示水平和竖直方向,设该同学作出的 y 轴与 y_0 轴间的夹角为 θ ,建立坐标系存在两种情况,如图所示。



当建立的坐标系为 x_1 、 y_1 时,则沿 x_1 轴方向做匀减速运动,根据逐差法计算加速度有 $x_2 - 2x_1 = -g \sin \theta (2T)^2$,沿 y_1 轴方向有 $y_2 - 2y_1 = g \cos \theta (2T)^2$,联立解得 $\tan \theta = \frac{2x_1 - x_2}{y_2 - 2y_1}$,当建立的坐标系为 x_1' 、 y_1' 时,则沿 x_1' 轴方向做匀加速运动,根据逐差法计算加速度有 $x_2' - 2x_1' = g \sin \theta (2T)^2$,沿 y_1' 轴方向有 $y_2' - 2y_1' = g \cos \theta (2T)^2$,联立解得 $\tan \theta = \frac{x_2' - 2x_1'}{y_2' - 2y_1'}$,综上所述,重垂线方向与 y 轴间夹角的正切值为 $\tan \theta = \frac{|x_2 - 2x_1|}{y_2 - 2y_1}$.

4. (1) 80.0 (2) 70.0 (69.0 ~ 72.0 均可) 59.0 (3) b 2k

【解析】 (1) 由题图乙中纸带的相关数据可知 $\Delta x_{AD} = 6.60\text{ cm} + 8.00\text{ cm} + 9.40\text{ cm} = 24.00\text{ cm}$,由平均速度的定义可知 $\bar{v}_{AD} = \frac{\Delta x_{AD}}{3t} = \frac{24.00}{0.3}\text{ cm/s} = 80.0\text{ cm/s}$.

(2) 斜率 $k = \frac{101.0 - 59.0}{0.6}\text{ cm/s}^2 = 70.0\text{ cm/s}^2$,截距 $b = 59.0\text{ cm/s}$.

(3) 小车做匀变速直线运动,有 $x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$,变形可得 $\frac{x}{t} = \bar{v} = v_0 + \frac{1}{2}at$,故小车在 $t = 0$ 时,即打出 A 点时小车的速度大小 $v_A = b$,小车的加速度大小 a 满足 $\frac{1}{2}a = k$,即 $a = 2k$.

5. (1) $\frac{t}{30}$ (2) $l_0 + \frac{gT^2}{4\pi^2}$

(3) 9.59 (9.56~9.62 均可) (4) AC

【解析】 (1) 30 次全振动所用时间为 t , 则振动周期 $T = \frac{t}{30}$.

(2) 弹簧振子的振动周期 $T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{k}}$, 可得振子的质量 $M = \frac{kT^2}{4\pi^2}$, 振子平衡时, 根据平衡条件有

$Mg = k\Delta l$, 可得 $\Delta l = \frac{gT^2}{4\pi^2}$, 则 l 与 g 、 l_0 、 T 的关系式为 $l = l_0 + \Delta l = l_0 + \frac{gT^2}{4\pi^2}$.

(3) 根据 $l = l_0 + \frac{gT^2}{4\pi^2}$, 整理可得 $l = l_0 + \frac{g}{4\pi^2} \cdot T^2$, 则 $l-T^2$ 图像的斜率 $k' = \frac{g}{4\pi^2}$, 由图像可知 $k =$

$\frac{0.542-0.474}{0.58-0.3} \text{ m/s}^2$, 解得 $g \approx 9.59 \text{ m/s}^2$.

(4) 实验时光电门应对齐弹簧振子振动过程中的平衡位置, 这样托盘通过平衡位置时遮光条挡光时间才最短, 计时才最准确, 若光电门的位置稍微偏离托盘的平衡位置, 则计时准确度变低, 造成测量弹簧振子振动周期出现偶然误差, C 正确; 光电门是固定的, 它对齐的是弹簧振子未振动时振子所在的平衡位置, 若存在空气阻力, 则会导致弹簧振子向上振动和向下振动过程中平衡位置发生变化, 所以光电门记录的不再是平衡位置, 造成测量弹簧振子振动周期出现系统误差, A 正确; 根据第(2)问解析中的公式可知, 质量 M 是联系弹簧振子的振动周期 T 和系统静止时弹簧伸长量 Δl 的中间量, 建立起 T 和 Δl 的关系后就与 M 无关了, 所以弹簧质量不为零导致 M 变化时, T 和 Δl 两者都会相应变化, 但两种之间满足的关系式不变, 不会对实验造成误差, B 错误.

6. (2) 7.884 (7.882~7.885 均可)

(3) B (4) $\frac{1}{2}m \left[\left(\frac{d}{t_1} \right)^2 - \left(\frac{d}{t_2} \right)^2 \right]$

(5) 增大

【解析】 (2) $d = 7.5 \text{ mm} + 0.384 \text{ mm} = 7.884 \text{ mm}$.

(3) 小球下落时间极短, 所以应先接通数字计时器, 后释放小球.

(4) 落下时经过光电门的速度 $v_1 = \frac{d}{t_1}$, 反弹后经过光电门的速度 $v_2 = \frac{d}{t_2}$, 同一位置重力势能相同, 故机械能

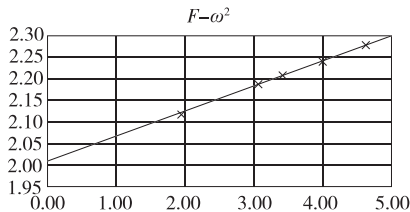
损失 $\Delta E = \frac{1}{2}m \left[\left(\frac{d}{t_1} \right)^2 - \left(\frac{d}{t_2} \right)^2 \right]$.

(5) 调高光电门会增大空气阻力的做

功距离, 故会增大因空气阻力引起的测量误差.

7. (1) AC (2) 如图所示

(3) 0.21 0.28



【解析】 (1) 分析可知, 当手机通过最低点时角速度达到最大值, 而由图乙可知, 在 $0 \sim t_0$ 时间内手机 20 次通过最低点, 故 A 正确, B 错误; 根据图乙可知, 手机的角速度随着时间在衰减, 可知手机在做阻尼振动, 故 C 正确; 阻尼振动的周期不变, 其周期由系统本身的性质决定, 故 D 错误.

(2) 由于手机在做圆周运动, 短时间内在不考虑其振动衰减的情况下, 在最低点对手机由牛顿第二定律有 $F - mg = m\omega^2 L$, 可得 $F = mL\omega^2 + mg$, 式中 L 为悬点到手机重心的距离, 根据上式可知, 手机运动到最低点时的拉力和角速度的平方成线性变化, 作图时应用平滑的直线将各点迹连接起来, 不能落在图像上的点迹应使其均匀的分布在图线的两侧, 有明显偏差的点迹直接舍去.

(3) 根据图像结合其函数关系可得 $mg = 2.01 \text{ N}$, $mL = \frac{2.30-2.01}{5} \text{ kg} \cdot \text{m} = 0.058 \text{ kg} \cdot \text{m}$, 解得 $m \approx 0.21 \text{ kg}$, $L \approx 0.28 \text{ m}$.

8. (1) C (2) D

(3) $m_1 \sqrt{x_3 - x_0} + m_2 \sqrt{x_2 - x_0}$
 $m_1(x_3 - x_0) + m_2(x_2 - x_0)$

【解析】 (1) 倾斜轨道不一定必须光滑, 只要滑块 A 到达底端的速度相同即可, A 错误; 因为两滑块的材料相同, 表面的粗糙程度相同, 则由牛顿第二定律 $mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = ma$, 得 $a = g \sin \theta - \mu g \cos \theta$, 可知无论轨道是否水平, 则两滑块在轨道上运动的加速度都相同, 所以平直轨道不一定必须水平, B 错误; 为防止滑块 A 与滑块 B 碰后反弹, 则滑块 A 的质量必须大于滑块 B 的质量, C 正确; 为保证滑块 A 每次到达底端的初速度相同, 则同一组实验中, 滑块 A 静止释放的位置要相同, D 错误.

(2) 对滑块 A, 由动能定理 $-\mu m_1 g(x_1 - x_0) = 0 - \frac{1}{2}m_1 v_0^2$ 可得, 滑块 A 碰撞前的速度大小为 $v_0 = \sqrt{2\mu g(x_1 - x_0)}$, 即 $v_0 \propto \sqrt{x_1 - x_0}$, 故 D 正确.

(3) 若滑块 A、B 碰撞过程中动量守恒, 则有 $m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$, 又因为

$$v_0 = \sqrt{2\mu g(x_1 - x_0)}, v_1 = \sqrt{2\mu g(x_3 - x_0)}, v_2 = \sqrt{2\mu g(x_2 - x_0)}, \text{联立可得}$$

$$m_1 \sqrt{x_1 - x_0} = m_1 \sqrt{x_3 - x_0} + m_2 \sqrt{x_2 - x_0};$$

若滑块 A、B 发生弹性碰撞, 则由机械能守恒定律知

$$\frac{1}{2}m_1 v_0^2 = \frac{1}{2}m_1 v_1^2 + \frac{1}{2}m_2 v_2^2, \text{联立可得}$$

$$m_1(x_1 - x_0) = m_1(x_3 - x_0) + m_2(x_2 - x_0).$$

9. (1) 减少 (2) $11.3 \frac{d^2}{2h(\Delta t)^2}$ (3) 2.50

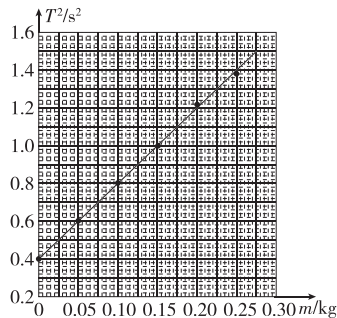
【解析】 (1) A 与 B 是由绳子相连的连接体, 当 A 下降时 B 上升, 它们具有相同的速率, 可知当 A 下落至 F 处的过程中, B 的重力势能增加, 动能增加, 而机械能为动能与势能之和, 则可知 B 的机械能增加, 整个系统的机械能守恒, 故 A 的机械能减少.

(2) 游标卡尺的分度值为 0.1 mm, 则遮光条的宽度 d 的读数为 $d = 1.1 \text{ cm} + 3 \times 0.1 \text{ mm} = 11.3 \text{ mm}$, 遮光条通过光电门的速度为 $v = \frac{d}{\Delta t}$, 由运动学公式有 $v^2 = 2ah$, 则下落过程中的加速度大小为 $a = \frac{d^2}{2h(\Delta t)^2}$.

(3) 对 A、B 及砝码组成的系统由牛顿第二定律有 $[(m_A + m) - (m_B + m_0 - m)]g = (m_A + m_B + m_0)a$, 整理可得 $a = \frac{2g}{m_A + m_B + m_0} m + \frac{(m_A - m_B - m_0)g}{m_A + m_B + m_0}$, 斜率为 $k = \frac{2g}{m_A + m_B + m_0} = \frac{2.5}{0.5}$, 纵截距为 $b = \frac{(m_A - m_B - m_0)g}{m_A + m_B + m_0} = 2.5$, 将 $m_0 = 0.5 \text{ kg}$ 代入上式解得 $m_A = 2.50 \text{ kg}$.

10. (4) 如图所示 (5) 线性的

(6) 0.120 (7) 负方向



【解析】 (4) 根据表中数据描点, 各点几乎在一条直线上, 作出 T^2-m 关系图线如图所示.

(5) 图线是一条倾斜的直线, 说明弹簧振子振动周期的平方与砝码质量为线性关系.

(6) 在图线上寻找 $T^2 = 0.880 \text{ s}^2$ 的

点,对应横坐标为 $m=0.120\text{ kg}$.

(7)换一个质量较小的滑块重做上述实验,则滑块和砝码的总质量比原来的小,要得到相同的周期,应放质量更大的砝码,即同一纵坐标对应的横坐标偏右,相当于同一横坐标对应的纵坐标偏下,则所得图线与原图线相比下移,即沿纵轴负方向移动.

第15讲 电学实验

1. (1)正极 (2)C (3) R_2 电荷量

【解析】(1)多用电表应满足电流“红进黑出”,因此红表笔与电池的正极相接触.

(2)电容器放电过程中,电流由大逐渐变小,则小灯泡迅速变亮,然后亮度逐渐减小至熄灭.

(3)实线所表示的过程初始电流较小,故接入的电阻应该为大的电阻,即 R_2 ,因此实线表示电阻箱阻值为 R_2 ;根据公式 $I = \frac{Q}{t}$,则 $I-t$ 图像与坐标轴所围面积表示电荷量.

2. (1)B (2)①9 ②b 150 ③140

【解析】(1)图中多用电表指针偏转较大,说明待测电阻较小,若该读数是选用欧姆挡“ $\times 100$ ”倍率得到的,应该更换“ $\times 10$ ”倍率,欧姆调零后再次进行测量,故 A 正确;多用电表作欧姆表使用时,是靠内部电源提供电流,中值刻度对应的电阻等于这个倍率下欧姆表的内阻,若选用的是“ $\times 10$ ”的倍率测电阻,则欧姆表内阻约为 $R = 15 \times 10\ \Omega = 150\ \Omega$,故 B 错误;测直流电流时,应该让电流从红表笔流进,从黑表笔流出,以保证表盘指针能够正偏,故必须让红表笔接外电路的正极,黑表笔接外电路负极,故 C 正确.测二极管正向电阻时,多用电表内部电源与黑表笔相连,为保证电流从红表笔流进,从黑表笔流出,应让红表笔接二极管的负极,黑表笔接二极管的正极,故 D 正确.

(2)①当 S 接 a 时,对应电流表量程是 $0 \sim 0.1\text{ A}$,则有 $I_g(R_3 + R_g) = (I_1 - I_g)R_2$,其中 $I_1 = 0.1\text{ A}$,解得 $R_3 = 9\ \Omega$.

②当 S 接 a 时,对应电流表量程是 $0 \sim 0.1\text{ A}$,则欧姆表内阻为 $R_{\text{内}} = \frac{E}{I_1} = 15\ \Omega$,当 S 接 b 时,对应电流表量程为 $I_2 = I_g + \frac{I_g R_g}{R_2 + R_g} = 10\text{ mA} =$

0.01 A ,则欧姆表内阻为 $R_{\text{内}} = \frac{E}{I_2} = 150\ \Omega$,故当开关 S 拨向 b 时,欧姆表的倍率是“ $\times 10$ ”,欧姆调零后,欧姆表内阻为 $150\ \Omega$.

③电动势下降到 1.4 V ,调零后,则欧姆表内阻为 $R_{\text{内}}' = \frac{E'}{I_2} = 140\ \Omega$,欧姆表读数为 $150\ \Omega$,对应的电流为 $\frac{1}{2}I_2 =$

$\frac{E'}{R_{\text{内}}' + R_{\text{真}}}$,解得 $R_{\text{真}} = 140\ \Omega$.

3. (1)2.450 (2)1 (3)1.92 (4)大于

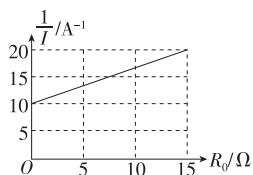
【解析】(1)根据螺旋测微器的读数规则可知,其读数为 $d = 2\text{ mm} + 45.0 \times 0.01\text{ mm} = 2.450\text{ mm}$.

(2)由于电压表示数变化更明显,说明电流表分压较多,因此电流表应采用外接法,即测量铅笔芯电阻时应将 K 掷到 1 端.

(3)根据题图丙结合欧姆定律可得 $R_Y = \frac{2.5\text{ V}}{1.3\text{ A}} = 1.92\ \Omega$.

(4)根据电阻定律 $R = \rho \frac{l}{S}$ 可得 $\rho = \frac{RS}{l}$,分别代入数据可知 $\rho_X > \rho_Y$.

4. (1)5 (4)1.5 10 (5)如图所示



【解析】(1)由图甲根据并联电路电流的关系有 $\frac{I_1 R_{A1}}{R_0} + I_1 = I_2$,结合图乙中

数据解得 $R_{A1} = \frac{I_2 - I_1}{I_1} R_0 = 5\ \Omega$.

(4)由闭合电路的欧姆定律得 $E = I(R_0 + R_{A1} + r)$,解得 $IR_0 = E - I(R_{A1} + r)$, $IR_0 - I$ 图像的纵截距表示电源电动势,由图丁知 $E = 1.5\text{ V}$; $IR_0 - I$ 图像的斜率的绝对值表示 $R_{A1} + r$,则 $R_{A1} + r = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right| = \frac{1.5}{100} \times 10^3\ \Omega = 15\ \Omega$,解得内阻 $r = 10\ \Omega$.

(5)由 $E = I(R_0 + R_{A1} + r)$ 得 $\frac{1}{I} = \frac{1}{E} R_0 + \frac{R_{A1} + r}{E} = \frac{2}{3} R_0 + 10$.

5. (1)M (2)4000 (3) $\frac{U}{I} - R_1 - R_2$
(4)A (5)0.86

【解析】(1)由图可知,该滑动变阻器采用分压式接法,为了保护仪表安全,在开关 S_1 闭合前,滑片 P 应移到 M 端;

(2)当开关 S_2 接 b 时,电压表量程为 $0 \sim 1\text{ V}$,根据欧姆定律有 $U_1 = I_g(R_g + R_1)$,当开关 S_2 接 a 时,电压表量程为 $0 \sim 3\text{ V}$,根据欧姆定律有 $U_2 = I_g(R_g + R_1 + R_2)$,其中 $R_1 = 1200\ \Omega$,联立解得 $R_2 = 4000\ \Omega$;

(3)当开关 S_2 接 a 时,根据欧姆定律有 $U = I(R_g + R_1 + R_2)$,则电流表 G 的内阻可表示为 $R_g = \frac{U}{I} - R_1 - R_2$;

(4)校准电表时,发现改装后电压表的读数始终比标准电压表的读数偏大,可知电流表 G 内阻的真实值小于铭牌标示值,根据闭合电路的欧姆定律知,可以增大两电阻箱的阻值,故选 A.

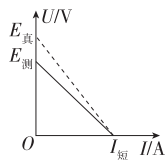
(5)根据闭合电路欧姆定律可得 $U_V = I_A(R_g + R_1) = 430 \times 10^{-6} \times (800 + 1200)\text{ V} = 0.86\text{ V}$.

6. (1)1.49 0.25 (2)小于 (3) kS

没有

【解析】(1)由图甲的电路图可知,路端电压 $U = E - I(r + R_0)$,由图乙的 $U-I$ 图像可知,电池的电动势 $E = 1.49\text{ V}$,图像斜率的绝对值 $k = r + R_0 = \frac{\Delta U}{\Delta I} = 1.45\ \Omega$,内阻 $r = 0.25\ \Omega$.

(2)根据题图甲可知,伏安法测电阻相对于电源来说采用电流表外接法,由于电压表分流作用,电流表测量值偏小,当外电路短路时,电流测量值等于真实值,电源的 $U-I$ 图像如图所示,由图可知,电动势测量值小于真实值.



(3)根据题图甲的电路图可知, $R + R_A = \frac{U}{I} = \rho \frac{x}{S} + R_A$,由 $\frac{U}{I} - x$ 图像可知,图像的斜率 $k = \frac{\rho}{S}$,解得 $\rho = kS$,考虑电表内阻,图像的斜率不变,对电阻率的测量没有影响.

7. (1)红 (2)B (4)1.33 133 等于

【解析】(1)由图甲所示可知,图中的 A 端与欧姆表内置电源负极相连, A 端应与红表笔连接.

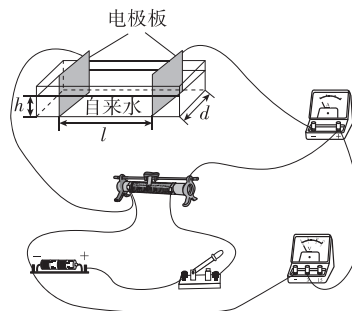
(2)由并联电路电流关系可知 R_x 的电流为 $I_{R_x} = I - I_A = 9.75\text{ mA}$,根据并联电路电阻与电流的关系可知 $\frac{I_{R_x}}{I_A} = \frac{R_A}{R_x}$,解得 $R_x \approx 30.8\ \Omega$,故为满足要求且方便调节,滑动变阻器 R_x 的规格应选最大电阻 $50\ \Omega$ 的,故 B 正确.

(4)根据闭合电路欧姆定律有 $R = \frac{E}{I} - r$,根据图像的斜率与截距可知 $E = \frac{200}{(0.250 - 0.100) \times 10^{-3}}\text{ V} \approx$

1.33 V ,由 $R = 0$ 时, $\frac{1}{I} = 0.100\text{ mA}^{-1}$,代入可得欧姆表总内阻为 $r = \frac{E}{I} = 133\ \Omega$,考虑电流传感器有

内阻 R_A ,则有 $I = \frac{E}{R + R_A + r}$,可得 $R = \frac{E}{I} - (R_A + r)$,可知不影响 $R - \frac{1}{I}$ 图像的斜率,故通过这种方法测得的电源电动势等于它的真实值.

8. (2)如图所示 (4) kdh 高 (5)0.46



【解析】(2) 由于电流表阻值已知, 因此电流表采用内接法时, 水的电阻 $R = \frac{U}{I} - R_A$, 可消除伏安法测电阻的系统误差; 因电源电动势为 3 V, 则电压表选用 0~3 V 量程, 实物连线如图所示。

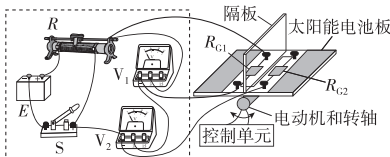
(4) 根据电阻定律有 $R_x = \rho \frac{l}{S}$, 又 $S = dh$, 联立可得 $R_x = \frac{\rho}{dh} l$, 故 R_x-l

图像的斜率 $k = \frac{\rho}{dh}$, 解得 $\rho = kdh$; 根据题图 2 可知, 65 °C 水的 R_x-l 图像的斜率比 26 °C 水的 R_x-l 图像的斜率小, 说明温度高的水的电阻率较小, 更容易导电。

(5) 根据欧姆定律和电阻定律有 $R = \frac{U}{I} = \rho \frac{l'}{\frac{\pi D^2}{4}}$, 其中 $\rho = kdh$, 由题图 2

可知, 65 °C 水的 R_x-t 图像的斜率 $k = \frac{8}{0.7} \times 10^3 \Omega/\text{m}$, 代入数据解得 $l' \approx 0.46 \text{ m}$, 故该水管长度的最小值为 0.46 m。

9. (1) 如图所示 (2) ① b ② 1.63 (1.61~1.65 均可) 较大 (3) ② 逆时针 $U_1 = U_2$ (或 $R_{G1} = R_{G2}$)



【解析】(1) 由题图甲可知, V_1 测 R_{G1} 两端电压, V_2 测 R_{G2} 两端电压, 滑动变阻器采用分压式接法, 由题图乙可知, 此时 V_2 已并联在 R_{G2} 两端, V_1 未并联在电路中, 故应将 V_1 的“3”接线柱连到滑动变阻器右上接线柱处, 滑动变阻器分压式接入电路中。

(2) ① 从安全性角度考虑, 一开始应将题图甲中 R 的滑片置于 b 端, 使两个电压表的示数均为零。② 由题图丙知电压表的分度值为 0.1 V, 根据读数原则需估读到 0.1 V 的下一位, 读数为 1.63 V。由串联电路中电流相等, 电阻之比等于电压之比, 可知电压较大时对应的电阻较大。由题图甲知, V_1 测 R_{G1} 两端电压, V_2 测 R_{G2} 两端电压, 且 $U_1 > U_2$, 则 $R_{G1} > R_{G2}$, 由 ① 可知 R_{G1} 表面的光照强度比 R_{G2} 表面的小, 说明表面光照强度较小的光敏电阻的阻值较大。

(3) ② $U_1 < U_2$, 说明 R_{G1} 电阻小, 对应光照强度大, 而 R_{G2} 电阻大, 对应光照强度小, 因此光是从左上方斜向右下方照射, 所以应逆时针转动电池板, 使光线和太阳能电池板垂直, 直至 $U_1 = U_2$ 时停止转动, 此时 $R_{G1} = R_{G2}$, 两板对应光照强度相同, 电池板正对手电筒发出的光。

第 16 讲 热学和光学实验

1. (2) 偏大 偶然误差 (3) $\frac{V_1 V_0}{N n V_2 a^2}$

(4) B

【解析】(2) 油膜未充分散开时描下轮廓, 导致面积的测量值偏小, 所以直径测量值偏大, 读数误差为偶然误差。

(3) 根据 $d = \frac{V}{S}$, 又 $V = \frac{V_0}{n} \times \frac{V_1}{V_2}$, $S = N a^2$, 可得 $d = \frac{V_1 V_0}{N n V_2 a^2}$ 。

(4) 由题给数据计算轮廓面积, 若选 B, 则 $S = \frac{0.02 \times 10^{-6} \times \frac{1}{500}}{6 \times 10^{-10}} = 667 \text{ cm}^2$, 若选 A, 则 $S = 1667 \text{ cm}^2$, 因方形浅盘的面积为 1600 cm^2 , 所以选 B。

2. (1) ABD (2) C (3) $\frac{m}{V_0}$ (4) 偏大

【解析】(1) 保证注射器内封闭气体的温度不发生明显变化, 要尽可能保持环境温度不变, 故 A 正确; 为防止漏气, 实验前要在活塞与注射器壁间涂适量的润滑油, 故 B 正确; 实验过程中要用手握紧注射器并快速推拉活塞, 气体温度将升高, 故 C 错误; 实验过程中应缓慢地推动活塞, 使气体温度始终与环境温度相同, 故 D 正确。

(2) 根据理想气体状态方程 $\frac{pV}{T} = C$, 整理得 $p = CT \cdot \frac{1}{V}$, 可知为直观地反映

实验过程, 应采用 $p-\frac{1}{V}$ 图像, 图像的斜率为 $k = CT$, 则温度越高, 对应的 $p-\frac{1}{V}$ 图线的斜率越大, 故 C 正确。

(3) 设石块的体积为 V' , 根据理想气体状态方程 $\frac{p(V-V')}{T} = C$, 整理得 $V =$

$CT \cdot \frac{1}{p} + V'$, 石头的体积为 $V' = V_0$, 石头的密度为 $\rho = \frac{m}{V_0}$ 。

(4) 由于软管的存在, V_0 偏小, 根据 $\rho = \frac{m}{V_0}$, 可知求出的石头密度偏大。

3. (1) B (2) 1.57 (1.56~1.58 均可) (3) 不变

【解析】(1) 本实验中入射角越小, 则折射角越小, MM' 、 PP' 的长度也越小, 测量的误差会变大, 故 A 错误; 激光的平行度好, 确定光线方向更准确, 比用插针法测量更有利于减小误差, 故 B 正确; 相同的材料在各点的折射效果都一样, 选择圆心 O 作为入射点,

是为了利用 $n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{PP'}{MM'} = \frac{PP'}{MM'}$

进行计算时约去半径 R , 减少要测量的长度个数, 故 C 错误。

(2) 设半圆柱体玻璃砖的半径为 R , 根据几何关系可得入射角的正弦值为 $\sin i = \frac{y}{R}$, 折射角的正弦值为

$\sin r = \frac{x}{R}$, 折射率 $n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{y}{x}$, 可知 $y-x$ 图像的斜率表示折射率, 即 $n = \frac{44}{28} \approx 1.57$ 。

(3) 根据(2)中数据处理方法可知, 圆的半径在中间环节已约去, 所以若描画的半圆弧轮廓线半径略大于玻璃砖的实际半径, 则折射率的测量结果不变。

4. 绿光

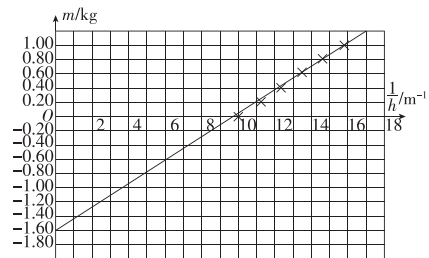
【解析】 根据 $\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$, 可得 $\lambda =$

$\frac{d \Delta x}{L}$, 由表中数据可知, $\Delta x_1 = \frac{18.64 - 10.60}{5} \text{ mm} = 1.608 \text{ mm}$,

$\Delta x_2 = \frac{18.08 - 8.44}{5} \text{ mm} = 1.928 \text{ mm}$,

因 $\Delta x_1 < \Delta x_2$, 可知 $\lambda_1 < \lambda_2$, 由于绿光波长小于红光波长, 故单色光 1 为绿光。

5. (1) 如图所示 (2) 1.0×10^5 (3) 大于 (4) 大于



【解析】(2) 分析封闭气体, 依题意, 做等温变化, 由玻意耳定律, 可得 $p S_0 h = C$, 系统稳定后, 对活塞和重物受力分析, 有 $p_0 S_0 + (m + m_0) g = p S_0$, 联立, 解得 $m = \frac{C}{g} \cdot \frac{1}{h} - \left(\frac{p_0 S_0}{g} + m_0 \right)$, 结合图线中数据, 可得 $-\left(\frac{p_0 S_0}{g} + m_0 \right) = -1.60$, 解得 $p_0 \approx 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

(3) 根据前面推导出的函数表达式, 若该小组同学在处理实验数据时忘记考虑活塞质量, 他们测量的大气压强大于大气压强的实际值。

(4) 图线的斜率 $k = \frac{C}{g}$, 与封闭气体热力学温度有关, 温度越高, C 越大, 所以若使用该实验装置在 37 °C 下进行实验, 得到的 $m-\frac{1}{h}$ 图像的斜率大于 23 °C 下得到的 $m-\frac{1}{h}$ 图像的斜率。