



浙江省

作业手册

全品
选考专题

参考答案

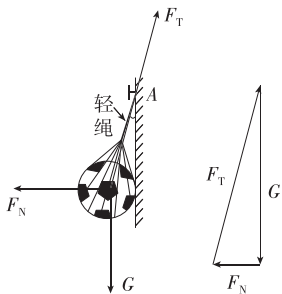
物理



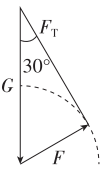
第一部分

第1讲 物体的平衡

1. C 【解析】关于足球的受力分析如图所示,设拉力与竖直方向夹角为 θ ,根据共点力平衡条件可知 $F_N = G \tan \theta$, $F_T = \frac{G}{\cos \theta}$,因此 $F_T > G$, $F_T > F_N$,故C正确。



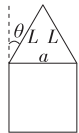
2. D 【解析】沙袋受到重力 G 、绳的拉力 F_T 和运动员施加的作用力 F ,如图所示为三个力构成的矢量三角形,根据力的三角形中 G 的大小和方向都不变, F 的大小不变而方向可变, F_T 的大小和方向都可变,可知当运动员的施力方向与绳子垂直时,绳偏离竖直方向的夹角最大,由于最大夹角为 30° ,所以沙袋的重力为 $G = \frac{F}{\sin 30^\circ} = 600 \text{ N}$,故D正确。



3. C 【解析】化立体图为平面图,可得主视图如图所示,由平衡条件可知,四段细绳中张力沿水平方向的分力两两抵消,沿竖直方向的分力之和与盒子重力平衡,有 $4F \cos \theta = mg$,斜向的细绳长度为 $L = \frac{12a - 6a - 2a}{4} = a$,由几何关系知 $\frac{1}{2}a = L \sin \theta$,解得 $\theta = 30^\circ$,

则 $F = \frac{\sqrt{3}}{6} mg$,C正确,D错误;

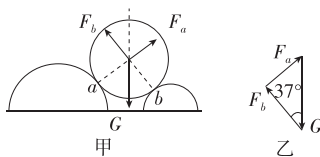
打结用去的绳越多,则 L 越小, θ 越大,绳中张力 F 越大,A、B错误。



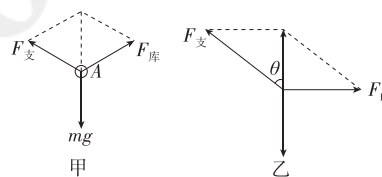
4. C 【解析】物块恰好能静止在斜面上时,对物块受力分析,可得 $F_{\text{阻}} = mg \sin \theta = \mu mg \cos \theta$,物块沿斜面匀速上滑时,对物块受力分析,可得物块受到的支持力大小为 $F_N = mg \cos \theta$,物块受到的摩擦力大小为 $F_f = \mu mg \cos \theta = mg \sin \theta$,故A、B错误;对物块受力分析,可得 $F = \mu mg \cos \theta + mg \sin \theta = 2mg \sin \theta$,对物块和斜面体整体分析,可得地面对斜

面体的摩擦力大小为 $F_{f1} = F \cos \theta = mg \sin 2\theta$,地面对斜面体的支持力大小为 $F_{N1} = (m+M)g - F \sin \theta = (m+M)g - 2mg \sin^2 \theta$,故C正确,D错误。

5. D 【解析】根据题意,圆柱体的受力分析如图甲所示,并得到力的矢量三角形如图乙所示,根据几何关系可知 $F_a = G \sin 37^\circ = 0.6G$, $F_b = G \cos 37^\circ = 0.8G$,选项D正确。

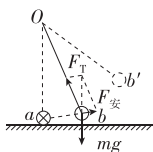


6. C 【解析】对A球进行受力分析,如图甲所示,根据动态平衡的分析方法,A球受到的重力大小和方向均不变,支持力的方向不变,库仑力的方向在改变,由于B球向左移动,假若A球不动,则库仑力与竖直方向的夹角减小,由矢量三角形可知A受到的库仑力和支持力都要减小,根据库仑定律的表达式可得A、B之间的距离应变大,A球应下移,最终A球再次达到受力平衡,故A、B错误;对A、B整体受力分析,如图乙所示,根据平衡条件可得B所受的摩擦力 $F_f = F_{\text{支}} \sin \theta$,由于 $F_{\text{支}}$ 变小,所以 F_f 变小,故C正确,D错误。



7. C 【解析】对b导线受力分析,只有a、b导线间的安培力为斥力时b导线才能平衡,根据“同向电流吸引,反向电流排斥”,可知b导线中的电流方向为垂直于纸面向外,故A错误;对b导线受力分析如图所示, $\triangle Oab$ 与力的矢量三角形相似,有 $\frac{mg}{Oa} = \frac{F_T}{Ob} =$

$\frac{F_{\text{安}}}{ab}$,由于 $\frac{mg}{Oa}$ 不变, Ob 长度也不变,所以拉力 F_T 的大小也不变,同时 $F_{\text{安}}$ 与 Ob 方向不会垂直,故B、D错误;将a、b导线看作一个整体,在竖直方向上,整体所



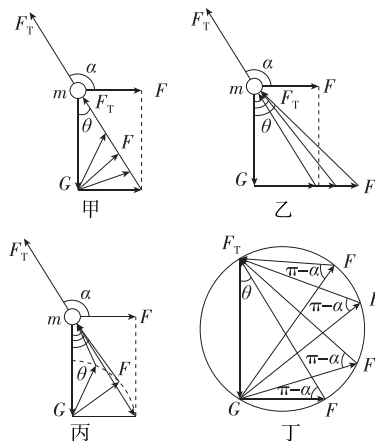
受的重力不变,细线的拉力大小不变,但拉力与竖直方向的夹角变大,则拉力的竖直分力变小,所以地面的支持力变大,由牛顿第三定律可得,a导线对地面的压力变大,故C正确。

8. C 【解析】对A球受力分析,受到重力 mg 、轻绳的拉力 F_T 和库仑力 $F_{\text{库}}$,由平衡条件得 $F_T \sin 60^\circ = F_{\text{库}} = k \frac{q^2}{r^2}$, $F_T \cos 60^\circ = mg$,解得 $F_{\text{库}} =$

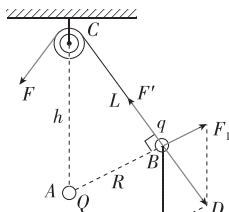
$\sqrt{3} mg$, $F_T = 2mg$, $r = \sqrt{\frac{kq^2}{\sqrt{3} mg}}$,故A、B错误;

对B球受力分析,受到重力 mg 、库仑力 $F_{\text{库}}$ 和轻杆的作用力 F ,由平衡条件得 $F = \sqrt{F_{\text{库}}^2 + (mg)^2} = \sqrt{(\sqrt{3} mg)^2 + (mg)^2} = 2mg$,根据牛顿第三定律可知,B球对轻杆的作用力大小为 $2mg$,故C正确;若B球的电荷量变为原来的2倍,则稳定后,A球会绕O点转动使得轻绳与竖直方向的夹角变大,A、B间的距离变小,A、B间的库仑力大小会大于原来的2倍,故D错误。

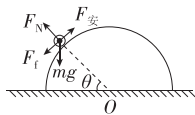
9. D 【解析】小球受到重力 G 、细线的拉力 F_T 和外力 F ,根据三角形定则进行动态分析,如图甲所示,保持小球位置及 θ 角不变,缓慢减小 α 角直至 $\alpha = \theta$,则 F 先减小后增大,A错误;如图乙所示,保持 F 水平,缓慢增大 θ 角,则 F 逐渐增大, F_T 逐渐增大,B错误;如图丙所示,保持 F 大小不变,方向沿逆时针缓慢转到竖直,则 θ 角先增大后减小,C错误;如图丁所示,保持 α 角不变,缓慢增大 θ 角,直至悬线水平,则 F 一直增大,D正确。



10. C **【解析】** 对 B 进行受力分析, 如图所示, 由几何关系可知, 几何三角形 ABC 和力的三角形 GDB 相似, 由对应边成比例可得 $\frac{G}{h} = \frac{F'}{L}$, 由于同一根细线上的拉力相等, 故 $F = F'$, 则 $F = F' = \frac{GL}{h}$, 由于在缓慢拉线的过程中, G 、 h 不变, L 逐渐减小, 所以 F 逐渐减小, A 、 B 错误; 库仑力 $F_1 = k \frac{Qq}{R^2}$, 在 B 球缓慢移动过程中, 始终满足 $\frac{G}{h} = \frac{F_1}{R} = \frac{kQq}{R^3}$, 可知 R 的大小不变, 即小球 B 与 A 点的距离不变, 所以小球 B 受到的库仑力大小不变, D 错误, C 正确。



11. A **【解析】** 导体棒在上升至某位置时的受力分析如图所示, 根据平衡条件可知 $F_N = mg \sin \theta$, $F_f = mg \cos \theta + F_t$, 其中导体棒 A 所受摩擦力 $F_t = \mu F_N$, 解得导体棒 A 所受的安培力 $F_f = mg \sqrt{1 + \mu^2} \sin(\theta + \varphi)$, 其中 $\sin \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \mu^2}}$, θ 在 $0 \sim 90^\circ$ 范围内增大, 可知安培力先增大后减小, 当 $\theta + \varphi = 90^\circ$ 时, 导体棒 A 所受的安培力最大, 此时 $\sin \varphi = \cos \theta$, 解得 $\tan \theta = \mu$, 故 A 正确; 在到达顶端前的过程中, θ 一直增大, 根据前面的表达式可知 F_N 一直增大, F_t 一直增大, 故 B 错误; 根据平衡条件可知, 重力与支持力的合力 $F_{\text{合}} = F_f - F_t = mg \cos \theta$, 其大小随 θ 增大而减小, 故 C 错误; 令支持力和滑动摩擦力的合力方向与摩擦力方向的夹角为 β , 则有 $\tan \beta = \frac{F_N}{F_t} = \frac{F_N}{\mu F_N} = \frac{1}{\mu}$, 即支持力和摩擦力的合力方向与摩擦力方向的夹角始终不变, 由于支持力、摩擦力、重力与安培力的合力为零, 则重力和安培力的合力与支持力和摩擦力的合力等大反向, 而摩擦力与安培力位于同一直线上, 所以重力和安培力的合力方向与安培力方向的夹角始终不变, 故 D 错误。



12. B **【解析】** 由法拉第电磁感应定律可知, ab 棒中产生的感应电流大小恒定, 方向由 b 到 a , 由左手定则可判断, ab 棒受到的安培力 F 方向向左下方, $F = BIL$, 由于 B 均匀变大, 所以 F 变大, F 的水平分量 F_x 也变

大, 故静摩擦力 $F_f = F_x$ 变大, 方向向右, B 正确。

13. B **【解析】** 导线 D 在截面中心产生的磁场的磁感应强度 $B_D = k \frac{2\sqrt{2}I_0}{L}$, 导线 D 对导体棒的安培力 $F_D = B_D I_0 L = 2\sqrt{2}kI_0^2$, C 、 D 对导体棒的安培力的合力 $F_1 = \sqrt{2}F_D = 4kI_0^2$, 方向竖直向上, 同理, A 、 B 对导体棒的安培力的合力 $F_2 = 2kI_0^2$, 方向竖直向下, 由平衡条件可知 $G = F_1 - F_2 = 2kI_0^2$, A 错误, B 正确; 导体棒中电流加倍后, 四根导线对导体棒的安培力的合力加倍, 大于重力, 所以导体棒不能静止, C 错误; 导线 A 、 B 、 C 、 D 中的电流同时加倍后, 四根导线对导体棒的安培力的合力加倍, 大于重力, 所以导体棒不能静止, D 错误。

第2讲 力与直线运动

1. D **【解析】** 观看火箭起飞过程, 火箭的大小和形状不可忽略, 不能把火箭看成质点, 选项 A 错误; 固定在发射架上的摄像机拍摄到火箭正在向上运动, 选项 B 错误; 火箭对高压气体的力和高压气体对火箭的力是一对相互作用力, 二者同时产生、同时消失, 选项 C 错误; 火箭加速上升, 是因为受到向上的合力, 即高压气体对火箭的作用力大于火箭的重力, 选项 D 正确。
2. C **【解析】** 一个质点做直线运动, 它在任意时刻都只能对应一个速度和一个位置, 故 C 正确, A 、 B 、 D 错误。
3. A **【解析】** 此系统预设的安全距离 $x = \frac{v_0^2}{2a} = 10 \text{ m}$, 故 A 正确; 使汽车完全停下所需时间 $t = \frac{v_0}{a} = 2 \text{ s}$, 故 B 错误; 在 $t = 2 \text{ s}$ 时, 汽车速度减为零, 则此系统启动 3 s 后汽车速度为零, 故 C 错误; 由 $x = \frac{v_0^2}{2a}$ 知, 若减小刹车加速度, 则系统预设的安全距离变大, 故 D 错误。
4. A **【解析】** 由图片可知, 相邻相等时间间隔内距离越来越大, 由 $v = \frac{\Delta x}{T}$ 可定性判断出泡沫球下落的速度逐渐增大, 故 B 错误; 由图片可知, 相邻相等时间间隔内距离差值依次为 1.00 m 、 0.95 m 、 0.75 m 、 0.50 m , 由 $a = \frac{\Delta x}{T^2}$ 可定性判断出加速度逐渐减小, 但不能根据 $\Delta x = aT^2$ 求出泡沫球匀加速下落过程中加速度大小, 故 A 正确, D 错误; 图片尺寸不是实际下落位移, 故不能求出泡沫球下落过程中平均速度大小, 故 C 错误。
5. C **【解析】** 加速阶段的位移 $x_1 = \frac{v}{2}t_1$, 匀速阶段的位移 $x_2 = vt_2 = 18 \times 6 \text{ m} = 108 \text{ m}$, 减速阶段的位移 $x_3 =$

$\frac{v}{2}t_3$, 总位移 $x = x_1 + x_2 + x_3 = 549 \text{ m}$, 其中 $v = 18 \text{ m/s}$, 小明从底层到观光平台需要的时间 $t = t_1 + t_2 + t_3$, 联立解得 $t = 55 \text{ s}$, 故 C 正确。

6. C **【解析】** 由于碰撞前后冰壶的速率相等, 可等效看成冰壶做速度大小均匀减小的减速运动, 设加速度大小为 a , 根据位移速度公式得 $0 - v_a^2 = 2a \cdot 4l$, $0 - v_b^2 = 2a \cdot 3l$, $0 - v_c^2 = 2a \cdot 2l$, $0 - v_d^2 = 2a \cdot l$, 可得 $v_a = 2v_d$, $v_b = \sqrt{3}v_d$, $v_c = \sqrt{2}v_d$, 冰壶由 d 运动到 c 的时间为 t , 有 $v_d = at$, $l = \frac{v_d}{2}t$, 则冰壶经过 ab 段的时间为 $t_{ab} = \frac{v_a - v_b}{a} = \frac{2v_d - \sqrt{3}v_d}{a} = (2 - \sqrt{3})t$, 冰壶运动全过程的时间为 $t_{\text{总}} = \frac{v_a}{a} = \frac{2v_d}{a} = 2t$, 冰壶在全过程中的平均速度为 $\bar{v} = \frac{x_{\text{总}}}{t_{\text{总}}} = \frac{2l}{2t} = \frac{l}{t}$, 冰壶通过 b 点的速度大小为 $v_b = \sqrt{3}v_d = \frac{2\sqrt{3}l}{t}$, 故 A 、 B 错误, C 正确; 从 a 到 d , 冰壶的加速度方向水平向左, 由 d 到 c , 冰壶的加速度方向水平向右, 即冰壶在全过程中的加速度发生变化, 不是做匀减速直线运动, 故 D 错误。
7. B **【解析】** 物体在 AB 段和 BC 段分别做匀减速直线运动, 由 $\bar{v}_1 = 4\bar{v}_2$, 即 $\frac{v_0 + v_B}{2} = 4 \times \frac{v_B}{2}$, 解得 $v_B = \frac{1}{3}v_0$, 选项 B 正确; 由 $\bar{v}_1 = 4\bar{v}_2$, 即 $\frac{x_{AB}}{t_{AB}} = 4 \times \frac{x_{BC}}{t_{BC}}$, 解得 $\frac{t_{AB}}{t_{BC}} = \frac{1}{4} \times \frac{x_{AB}}{x_{BC}} = \frac{3}{2}$, 选项 A 错误; 根据匀变速直线运动的速度—位移关系式可得 $\left(\frac{1}{3}v_0\right)^2 - v_0^2 = -2\mu_1 g x_{AB}$, $0 - \left(\frac{1}{3}v_0\right)^2 = -2(g \sin 37^\circ + \mu_2 g \cos 37^\circ) x_{BC}$, 又知 $\mu_1 = 6\mu_2$, 联立解得 $\mu_2 = \frac{6}{37}$, 选项 C 错误; 由于 $\mu_2 < \tan 37^\circ$, 则 $\mu_2 mg \cos 37^\circ < mg \sin 37^\circ$, 故物体不可能在 C 处静止, 选项 D 错误。
8. C **【解析】** t_1 时刻, 加速度 $a_1 = -20 \text{ m/s}^2 = -2g$, 根据牛顿第二定律得 $-F + mg = ma_1$, 解得 $F = 3mg$, 即手掌对手机的作用力为 $3mg$, 故 A 错误; t_2 时刻, 加速度为零, 手掌对手机的作用力大小等于重力, 手机没有离开手掌, 故 B 错误; t_3 时刻, 加速度刚好等于重力加速度, 手机刚好离开手掌, 故 C 正确; t_4 时刻以及后面一段时间, 加速度仍等于重力加速度, 手机没有落到手掌上, 故 D 错误。
9. B **【解析】** 苹果刚好碰伤, 可知苹果接触该材料过程中所受的平均合力为 $F_{\text{合}} = F_N - mg = 2mg$, 由牛顿第二

定律得平均加速度为 $a = \frac{F_{\text{合}}}{m} = 2g$, 由

加速度大小公式 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v-0}{t}$, 可知

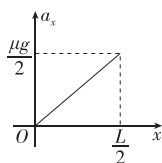
苹果刚接触材料时的速率约为 $v = at = 2gt = 2 \times 10 \times 0.1 \text{ m/s} = 2 \text{ m/s}$, A 错误; 设苹果从静止状态下落的最大高度为 h , 有 $v^2 = 2gh$, 解得 $h = 0.2 \text{ m} = 20 \text{ cm}$, B 正确; 由上述推导可知, 苹果在该材料上的碰伤阈值与苹果质量无关, C 错误; 苹果从静止状态竖直跌落到减速为 0 的过程中位移不为 0, 故平均速度不为 0, D 错误。

10. D 【解析】由图像可知, 质点 P 在 $0 \sim t_0$ 时间内从静止出发, 速度方向一直为正, 位移一直增大, t_0 时 P 到原点的距离最远; $t_0 \sim 2t_0$ 时间内速度反向, 位移反向, 由于图像与横轴所围的面积表示位移大小, 可知此段时间内发生的位移大小等于 $0 \sim t_0$ 时间内的位移大小, 所以 P 在 $2t_0$ 时回到原点, A、B 错误。由于图像的斜率表示加速度, 可知 $t = \frac{1}{2}t_0$ 时, P 的加速度为 0, C 错误。由于图像与横轴所围的面积表示位移大小, t 轴以上取正, t 轴以下取负, 可知 $t = \frac{3}{2}t_0$ 与 $t = \frac{1}{2}t_0$ 时, 质点 P 的位移相等, P 运动到同一位置, D 正确。

11. C 【解析】根据 $x = \frac{v}{2}t$, 解得每发炮弹在炮管中运动时间 $t = 0.016 \text{ s}$, 则炮管在其使用寿命中可以发射的炮弹数 $n = \frac{\tau}{t} = \frac{8}{0.016} = 500$ 发; 根据 $v = at$, 解得炮弹在炮管中的加速度 $a \approx 6.25 \times 10^4 \text{ m/s}^2$, C 正确。

12. C 【解析】设匀质长方体物块进入粗糙面长度为 $x (x < L)$ 时其加速度大小为 a_x , 由牛顿第二定律可得 $\mu \frac{x}{L}mg = ma_x$, 即 $a_x = \frac{\mu g}{L}x$, 加速度与进入长度成正比, 其图像如图所示, 若把物块从开始进入粗糙面到恰好有一半进入粗糙面的过程均匀分成 n 段, n 趋向无穷大, 则每一小段都可看成匀减速直线运动, 有 $v_n^2 - v_{n-1}^2 = 2(-a_{n-1})x_{n-1}$, 可得 $a_{n-1}x_{n-1} = \frac{v_{n-1}^2 - v_n^2}{2}$, 即每一小段的加速度和位移的乘积(即图像对应的面积)等于该段的初、末速度的平方差, 所有段的 a_x 乘积累加起来刚好等于图像与横轴围成的面积, 即 $\frac{1}{2} \times \frac{L}{2} \times \frac{\mu g}{2} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + \frac{v_2^2 - v_3^2}{2} + \dots + \frac{v_{n-1}^2 - v_n^2}{2} = \frac{v_1^2 - v_n^2}{2}$, 解得 $v_n = \sqrt{v_1^2 - \frac{1}{4}\mu gL} =$

$\sqrt{v_0^2 - \frac{1}{4}\mu gL}$, 故 C 正确。



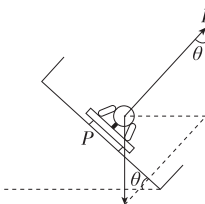
第3讲 力与曲线运动(A)

1. B 【解析】河水在 A、D 两处近似做直线运动, 在 B、C 处拐弯, 河水所受的作用力指向轨迹凹侧, 所以河水将受到 B 处河床对其的作用力, 由牛顿第三定律知河水冲击最严重的是 B 处。

2. B 【解析】忽略月球自转的情况下, 在月球表面行走时, 巡视器受到的重力大小等于其受到的月球引力, 而月球表面的重力加速度小于在地球表面的重力加速度, 所以巡视器受到月球的引力小于 1350 N, 选项 A 错误; 巡视器在 AB 段做曲线运动, 即其速度方向发生变化, 一定有加速度, 选项 B 正确; 根据平均速度公式 $\bar{v} = \frac{x}{t}$ 可知, 平均速度方向与位移方向相同, 由于在 OA 段、AB 段的位移方向不同, 则平均速度方向不同, 选项 C 错误; 由图可知 OAB 的轨迹长度大于从 O 到 B 的位移大小, 选项 D 错误。

3. AD 【解析】将运动员从 C 到 D 的运动沿倾斜直滑道方向和垂直于倾斜直滑道方向分解, 运动员在垂直于倾斜直滑道方向上做加速度与初速度方向相反的匀变速直线运动, 在沿倾斜滑道方向上做匀加速直线运动, 根据对称性可知, 运动员运动至相对斜面最高点 E 所用的时间恰好为运动全程所用时间的一半, 所以 $t_1 = t_2$, A 正确, B 错误; 由于从 C 到 E 的时间和从 E 到 D 的时间相等, 则 CF 和 FD 相当于连续相等时间内的两段位移, 但因沿斜面方向的初速度不为零, 所以 $\frac{CF}{FD} > \frac{1}{3}$, C 错误, D 正确。

4. C 【解析】对人和车受力分析, 如图所示, 根据几何关系有 $F_N = \frac{mg}{\cos \theta} = 1500 \text{ N}$, 根据牛顿第三定律可知, 车对弯道的压力大小为 1500 N, 故 A 错误; 由于不知道人的质量, 所以无法确定人对车的压力大小, 故 B 错误; 根据牛顿第二定律可得 $mg \tan \theta = m \frac{v^2}{r} = ma$, 解得 $r = 67.5 \text{ m}$, $a = 13.33 \text{ m/s}^2$, 故 C 正确, D 错误。



5. C 【解析】炮弹在最高点时, 竖直方向的分速度为零, 水平方向的分速度

不为零, 故炮弹在最高点时的速度不为零, A 错误; 在最高点时, 炮弹受到空气阻力和重力作用, 二力合力不为零, 故加速度不为零, B 错误; 由于空气阻力恒做负功, 所以炮弹飞行过程中机械能减少, 因炮弹经过 a、c 两点时的重力势能相同, 故炮弹经过 a 点时的动能大于经过 c 点时的动能, 则经过 a 点时的速度大于经过 c 点时的速度, C 正确; 炮弹从 O 点到 b 点的过程中, 在竖直方向上, 受到重力和阻力沿竖直方向向下的分力, 即 $mg + F_{\text{阻}}$, 解得 $a_y = \frac{mg + F_{\text{阻}}}{m}$, 从 b 点到 d 点的过程中, 在竖直方向上, 受到重力和阻力沿竖直方向向上的分力, 即 $mg - F_{\text{阻}} = ma_y'$, 解得 $a_y' = \frac{mg - F_{\text{阻}}}{m}$, 故 $a_y > a_y'$, 两个阶段的竖直位移大小相同, 加速度越大, 则所用时间越短, 所以炮弹由 O 点运动到 b 点的时间小于由 b 点运动到 d 点的时间, 故 D 错误。

6. B 【解析】4 条水柱中, ①中的水上升最高, 则水在空中的运动时间最大, 出射时的竖直分速度最大, 但出射速度不一定最大, 故 A 错误; ②中的水的高度大于③中的水的高度, 所以②中的水在空中运动的时间比③中的长, 故 B 正确; 在最高点时, 水的速度只有水平方向的分量, 而②中的水比③中的水水平速度小, 所以在最高点时, ②中的水比③中的水速度小, 故 C 错误; 水的射程为 $x = v_0 \cos \theta \cdot t = v_0 \cos \theta \cdot 2 \frac{v_0 \sin \theta}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$, 当喷口的倾角为 45° 时, 水的射程最远, 故 D 错误。

7. C 【解析】在地面上做此实验, 忽略空气阻力, 小球受到重力和细绳拉力的作用, 拉力始终和小球的速度垂直, 不做功, 重力会改变小球的速度大小; 在“天宫”上, 小球处于完全失重的状态, 小球仅在细绳拉力作用下做匀速圆周运动, 细绳拉力仍然不做功, A 错误, C 正确。在地面上, 小球运动的速度大小改变, 可知小球的向心加速度大小和细绳的拉力大小均发生改变; 在“天宫”上, 小球的向心加速度大小和细绳的拉力大小均不发生改变, B、D 错误。

8. C 【解析】A、B 有相同的角速度, 根据 $\omega = \frac{2\pi}{T}$, 可得 $T_A = T_B$, 即 A 的周期等于 B 的周期, D 错误; 水平桌面光滑, 所以杆对 A 的作用力提供了 A 做圆周运动的向心力, 即 $F_A = m_A \omega^2 r_A$, 杆对 B 的作用力提供了 B 做圆周运动的向心力, 即 $F_B = m_B \omega^2 r_B$, 联立解得 $F_A = 2F_B$, 由牛顿第三定律可知, A 对杆的作用力大小不等于 B 对杆的作用力大小, A 错误; 根据 $a = \omega^2 r$, 可得 $a_A : a_B = r_A : r_B = 1 : 2$, 即 A 的

向心加速度大小小于 B 的向心加速度大小, B 错误; 根据 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 r^2$, 可得 $E_{kA} : E_{kB} = (m_A r_A^2) : (m_B r_B^2) = 1 : 1$, 即 A 的动能等于 B 的动能, C 正确。

9. BD 【解析】小球受到竖直向下的重力 mg 和水平向右的电场力 $F = Eq = \frac{\sqrt{3}mg}{3}$, 小球所受的合力为 $F_{\text{合}} = \sqrt{(mg)^2 + F^2} = \frac{2\sqrt{3}mg}{3}$, 设合力方向与电场线方向夹角为 θ , 有 $\tan \theta = \frac{mg}{F} = \sqrt{3}$, 解得 $\theta = 60^\circ$, 若将小球从 A 点由静止开始释放, 则小球将沿合力方向做匀加速直线运动, C 错误; 若小球恰能在竖直平面内绕 O 点做匀速圆周运动, 设它运动的最小速度为 v , 则由牛顿第二定律有 $F_{\text{合}} = m \frac{v^2}{d}$, 解得

$$v = \sqrt{\frac{2\sqrt{3}gd}{3}}, A \text{ 错误; 小球运动过程中机械能的增加量等于除重力、弹力外其他力做的功, 要想使机械能最小, 电场力应做负功且做功最多, 所以若小球在竖直平面内绕过 } O \text{ 点做圆周运动, 则小球运动到 } A \text{ 点时, 电场力做的负功最多, 机械能最小, } B \text{ 正确; 若将细线剪断, 再将小球在 } A \text{ 点以大小为 } \sqrt{gd} \text{ 的速度竖直向上抛出, 在竖直方向上小球做竖直上抛运动, 在水平方向上小球做匀加速直线运动, 当竖直方向上的位移为 } 0 \text{ 时, 所用时间 } t = \frac{2\sqrt{gd}}{g}, \text{ 此过程的水平位移 } x = \frac{1}{2}at^2, \text{ 其中 } a = \frac{F}{m} = \frac{\sqrt{3}}{3}g, \text{ 联立解得 } x = \frac{2\sqrt{3}}{3}d, \text{ 由于 } x < 2d, \text{ 所以小球将不能到达 } B \text{ 点, } D \text{ 正确。}$$

10. (1) $\frac{2qEl^2}{mD^2\omega^2}$ (2) $\sqrt{\frac{\pi^2 qE}{2m(H-h)}} < \omega < \sqrt{\frac{2\pi^2 qE}{mH}}$

【解析】(1) Q 点所在竖直线上收集到的微粒中, 入射速率最大的微粒下落的过程中, 圆筒转过的角度为 $\theta = \frac{l}{R} = \frac{2l}{D}$

对应的时间为 $t = \frac{\theta}{\omega}$

微粒下落的加速度为 $a = \frac{qE}{m}$

下落的高度为 $y_0 = \frac{1}{2}at^2$

联立解得 $y_0 = \frac{2qEl^2}{mD^2\omega^2}$

(2) 要确保收集板上任一竖直线上收集到的微粒速率相同, 应控制圆筒不能转得太快, 使圆筒转动一周时沿狭

缝上端射入的微粒能越过收集板下边界, 即微粒沿电场方向的位移 $y_1 = H$ 时对应的运动时间 $t_1 < \frac{2\pi}{\omega}$

其中 $y_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qE}{m} t_1^2$

联立解得 $\omega < \sqrt{\frac{2\pi^2 qE}{mH}}$

要确保收集板上收集到所有该速率的粒子, 应控制圆筒不能转得太慢, 使圆筒转动半周时沿狭缝下端射入的微粒不会越过收集板下边界, 即微粒沿电场方向的位移 $y_2 = H - h$ 时

对应的时间 $t_2 > \frac{\pi}{\omega}$

其中 $y_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qE}{m} t_2^2$

联立解得 $\omega > \sqrt{\frac{\pi^2 qE}{2m(H-h)}}$

所以 $\sqrt{\frac{\pi^2 qE}{2m(H-h)}} < \omega < \sqrt{\frac{2\pi^2 qE}{mH}}$

因为 $H > \frac{4}{3}h$, 所以

$\sqrt{\frac{\pi^2 qE}{2m(H-h)}} < \sqrt{\frac{2\pi^2 qE}{mH}}$ 自动满足, 结果合理。

第3讲 力与曲线运动(B)

1. A 【解析】 b 卫星的运行轨道半径为地球同步卫星的一半, 根据开普勒第三定律可知 $\frac{r_b^3}{T_b^3} = \frac{r_0^3}{T_0^3}$, 解得 $T_b = 6\sqrt{2}h > 8h$, A 正确; 两卫星的质量关系未知, 无法分析机械能和向心力大小, B 、 D 错误; 轨道卫星受指向地球球心的万有引力, c 轨道不可能成为地球卫星的运行轨道, C 错误。

2. C 【解析】因为在需要对接时, CSST 先变轨至 II 轨道, II 轨道的半长轴小于 I 轨道的半径, 则 CSST 在 II 轨道上运行的周期更小, 角速度更大, 因此是 CSST 在追及空间站, 所以正常工作时空间站位于 CSST 轨迹前方, A 错误; 在 I 轨道上 P 点时, $F_{\text{万}} = ma_1$, 在 II 轨道上 P 点时, $F_{\text{万}} = ma_2$, 在 P 点时万有引力大小和方向均相同, 因此 $a_1 = a_2$, B 错误; 设 II 轨道的半长轴为 R' , CSST 在 II 轨道上运行的周期为 T' , 空间站运行的周期为 T , 因为 CSST 在 II 轨道上运动一圈后, 与空间站恰好对接, 则有 $\frac{T'}{T} = \frac{2\pi - \theta}{2\pi}$, 根据开普勒第三定律有 $\frac{R'^3}{T'^3} = \frac{R^3}{T^3}$, 解得 II 轨道的半长轴为 $R' = \sqrt[3]{\left(\frac{2\pi - \theta}{2\pi}\right)^2} \cdot R$, C 正确; 完成补给后, CSST 需要以更大的周期运行才能回到空间站后方, 因此需要先加速后

变轨到更高轨道, 然后再减速变轨到 I 轨道, D 错误。

3. D 【解析】根据题意可知, “遥感四十一号”卫星的轨道半径大于“神舟十七号”载人飞船的轨道半径, 由万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{r^2} = ma_n$, 解得 $a_n = \frac{GM}{r^2}$, 可知“神舟十七号”载人飞船的向心加速度更大, 故 A 错误; 由于“遥感四十一号”卫星和“神舟十七号”载人飞船的质量关系未知, 所以无法判断谁的动能更大, 故 B 错误; 卫星的轨道越高, 则机械能越大, 发射速度越大, 所以“遥感四十一号”卫星的发射速度更大, 故 C 错误; 由万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 解得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 卫星与中心天体连线扫过的扇形面积 $S = \frac{\omega t}{2\pi} \cdot \pi r^2 = \frac{1}{2} \omega t r^2 = \frac{t}{2} \sqrt{GM} r$, 可知轨道半径越大, 则卫星与中心天体连线扫过的扇形面积越大, 所以相等时间内“遥感四十一号”卫星与地球的连线扫过的面积大于“神舟十七号”飞船与地球的连线扫过的面积, 故 D 正确。

4. B 【解析】根据万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 解得 $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$, 由于地球同步卫星的轨道半径大于组合体的轨道半径, 所以同步卫星的周期大于组合体的周期, 而同步卫星的周期与地球自转的周期相同, 所以组合体的周期小于地球自转的周期, 根据 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 可知, 组合体的角速度大于地球自转的角速度, 故 A 错误; 根据万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 解得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 由于地球同步卫星的轨道半径大于组合体的轨道半径, 所以组合体的线速度大于地球同步卫星的线速度, 故 B 正确; 根据万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$, 解得 $a = \frac{GM}{r^2}$, 由于地球同步卫星的轨道半径大于组合体的轨道半径, 所以组合体的向心加速度大于地球同步卫星的向心加速度, 故 C 错误; 货物在发射前位于地面上, 此时重力 $F_1 = \frac{GMm}{R^2}$, 对接后, 重力 $F_2 = \frac{GMm}{r^2}$, 由于 $r > R$, 所以 $F_1 > F_2$, 即“天舟七号”携带的一未开封货物, 在发射前的重力大于对接后的重力, 故 D 错误。

5. A 【解析】已知月球的公转周期为 T , 地表的重力加速度为 g , 地球半径为 R , 对地表物体有 $\frac{GMm}{R^2} = mg$, 月

球所受的万有引力提供向心力,有 $\frac{GMm_1}{r^2} = m_1 \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 联立可得月球公转

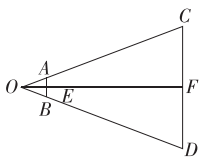
的轨道半径为 $r = \left(\frac{gR^2 T^2}{4\pi^2} \right)^{\frac{1}{3}}$, 根据

题意可作出视线刚刚遮住整个月亮的光路如图所示, 则 $AB = d$, $OE = x$, 月球的直径为 $d_1 = CD$, 而 OF 为地球到月球的距离, 约等于月球公转的轨道

半径 r , 由两三角形相似可知 $\frac{\frac{d}{2}}{x} =$

$\frac{d_1}{\frac{2}{r}}$, 联立解得月球直径为 $d_1 =$

$\frac{d}{x} \left(\frac{gR^2 T^2}{4\pi^2} \right)^{\frac{1}{3}}$, 故 A 正确.



6. C 【解析】由开普勒第一定律可知, 月球处于“鹊桥二号”椭圆轨道的一个焦点上, A 错误; “鹊桥二号”在近月点时距离月球最近, 受到的万有引力最大, 加速度最大, 而在远月点时距离月球最远, 受到的万有引力最小, 加速度最小, 故“鹊桥二号”在近月点和远月点的加速度大小不相等, B 错误; “鹊桥二号”在远月点的速度小于圆轨道与远月点相切的卫星的线速度, 圆轨道与远月点相切的卫星的线速度又小于第一宇宙速度, 故“鹊桥二号”在远月点的运行速度小于月球第一宇宙速度, C 正确; 由开普勒第二定律可知, 同一颗卫星与月球的连线在相同时间扫过的面积相等, 但是“鹊桥二号”与“嫦娥四号”是两颗轨道不同的卫星, 所以两者与月球的连线在相同时间内分别扫过的面积不相等, D 错误.

7. D 【解析】卫星在轨道 1 上运行时做匀速圆周运动, 则向心力大小始终不改变, 但是方向不断变化, 选项 A 错误; 根据 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2}$, 解得 $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$, 由于轨道 1 的半径小于轨道 3 的半径, 所以卫星在轨道 1 上的运行周期小于其在轨道 3 上的运行周期, 选项 B 错误; 卫星在轨道 2 上从 P 点运动到 Q 点的过程中, 引力做负功, 则速度越来越小, 选项 C 错误; 根据 $a = \frac{GM}{r^2}$ 可知, 不论在轨道 2 上运行还是在轨道 3 上运行, 卫星在 Q 点的加速度都相同, 选项 D 正确.

8. B 【解析】地球同步静止轨道卫星一定在赤道的上方, 离地面高度一定, 只能在赤道上方一个确定的轨道上, 而不是可以在地球赤道上方的任何一点运行, 故 A 错误; 根据 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$, 可

得 $a = \frac{GM}{r^2}$, 由于两种同步卫星的轨道

半径相同, 所以两种同步卫星的向心加速度大小一定相等, 故 B 正确; 倾斜地球同步轨道卫星的周期为 24 h, 与地球自转的周期相同, 所以倾斜地球同步轨道卫星在一天内经过地球赤道平面的同一点上方两次, 故 C 错误; 由于不清楚倾斜同步轨道卫星的质量与静止同步轨道卫星的质量关系, 所以无法判断两者的机械能关系, 故 D 错误.

9. A 【解析】空间站在 P 点变轨前、后所受到的万有引力不变, 根据牛顿第二定律可知 $F_{\text{万}} = ma_{\text{向}}$, 则空间站变轨前、后在 P 点的加速度相同, 故 A 正确; 空间站的圆轨道运动可以看作特殊的椭圆轨道运动, 因为变轨后其轨道半长轴大于原轨道半径, 根据开普勒第三定律可知 $\frac{a^3}{T^2} = k$, 则空间站变轨后的运动周期比变轨前的大, 故 B 错误; 变轨后在 P 点获得方向沿径指向地球的反弹速度, 与原来做圆周运动的速度合成, 合速度大于原来的速度, 故 C 错误; 由于空间站变轨后在 P 点的速度比变轨前的大, 但变轨后在 P 点的速度比同一轨道上在近地点的速度小, 所以空间站变轨前的速度比变轨后在近地点的小, 故 D 错误.

10. B 【解析】由万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$, 可得 $a = \frac{GM}{r^2}$, 由图可知“樊锦诗星”的轨道半径大于地球的轨道半径, 所以“樊锦诗星”的绕行加速度小于地球的绕行加速度, 故 A 错误; 由万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 可得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 由图可知“樊锦诗星”的轨道半径大于地球的轨道半径, 所以“樊锦诗星”的绕行速度小于地球的绕行速度, 故 D 错误; 由开普勒第三定律得 $\frac{r^3}{T^2} = \frac{R_0^3}{T_{\text{地}}^2}$, 解得“樊锦诗星”到太阳的距离约为 $r = \sqrt[3]{\frac{5.7^2}{1^2}} R_0 \approx \sqrt[3]{32.5} R_0$, 故 B 正确; 设从图示位置起, 地球与“樊锦诗星”下次相距最近需要的时间为 t , 则 $\frac{2\pi}{T_{\text{地}}} t - \frac{2\pi}{T} = \frac{360^\circ - 120^\circ}{360^\circ} \times 2\pi$, 解得 $t = \frac{114}{141}$ 年, 故 C 错误.

11. ABC 【解析】航天器围绕行星做匀速圆周运动, 由万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 其中 $r = \frac{R}{\sin \theta}$, 解得 $M = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2 \sin^3 \theta}$, 故 A 正确; 由 $\rho = \frac{M}{V}$, $V = \frac{4}{3} \pi R^3$, 联立解得行星的

平均密度为 $\rho = \frac{3\pi}{GT^2 \sin^3 \theta}$, 故 B 正

确; 由 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$, 联立解得行星表

面的重力加速度 $g = \frac{4\pi^2 R}{T^2 \sin^3 \theta}$, 故 C

正确; 由 $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v_1^2}{R}$, 联立解得行

星的第一宇宙速度 $v_1 =$

$\frac{2\pi R}{T} \sqrt{\frac{1}{\sin^3 \theta}}$, 故 D 错误.

12. C 【解析】该卫星与地球同步绕太阳运动, 可知该卫星绕太阳运动的周期等于地球公转的周期, 根据 $a = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ 可知, 该卫星绕太阳运动的向心加速度大于地球绕太阳运动的向心加速度, 选项 A 错误, C 正确; 该卫星绕太阳做匀速圆周运动, 可知在 L_2 点不是处于平衡状态, 选项 B 错误; 该卫星在拉格朗日点处所受太阳和地球引力的合力等于卫星绕太阳做圆周运动的向心力, 根据 $F = m\omega^2 r$, 因在 L_2 点的运动半径大于在 L_1 的运动半径, 可知卫星在 L_2 处所受太阳和地球引力的合力比在 L_1 处大, 选项 D 错误.

第 4 讲 功、功率、动能定理

1. A 【解析】列车在三个路段均做匀速直线运动, 在 ab 段, 由平衡条件得 $\frac{P_1}{v} + mg \sin \theta - F_f = 0$, 在 bc 段, 由平衡条件得 $\frac{P_2}{v} - F_f = 0$, 在 cd 段, 由平衡条件得 $\frac{P_3}{v} - mg \sin \theta - F_f = 0$, 联立解得 $P_3 = 2P_2 - P_1$, 故 A 正确.
2. C 【解析】动能表达式为 $E_k = \frac{1}{2} mv^2$, 使小车水平离开甲板时的动能变为调整前的 4 倍, 则小车离开甲板时的速度变为调整前的 2 倍; 小车离开甲板后做平抛运动, 根据 $h = \frac{1}{2} gt^2$ 可知, 从离开甲板至到达海面所用的时间不变, 根据 $x = vt$ 可知, 小车在海面上的落点与其离开甲板处的水平距离为调整前的 2 倍, 故 C 正确.
3. B 【解析】地面附近的雨滴下落过程中做匀速直线运动, 根据动能定理得 $mgh - W_f = 0$, 故雨滴克服空气阻力做功为 mgh , 故 B 正确.
4. B 【解析】对无人机和包裹整体, 由动能定理可得 $P_0 t - (m_{\text{机}} + m_{\text{物}}) gh = \frac{1}{2} (m_{\text{机}} + m_{\text{物}}) v^2$, 对包裹, 由动能定理可得 $P t - m_{\text{物}} gh = \frac{1}{2} m_{\text{物}} v^2$, 已知 $\frac{m_{\text{机}}}{m_{\text{物}}} = k$, 联立解得 $P = \frac{P_0}{k+1}$, 故 B 正确.
5. D 【解析】由图可知, $0 \sim 1$ s 物体做匀加速直线运动, 则电动机牵引力大

小不变,物体速度增大,则 $0 \sim 1 \text{ s}$ 电动机的输出功率变大,A 错误;由图可知, $1 \sim 5 \text{ s}$ 内物体的加速度逐渐减小,则电动机牵引力逐渐减小,B 错误;由图可知, $0 \sim 1 \text{ s}$ 内物体的加速度为 $a = \frac{4}{1} \text{ m/s}^2 = 4 \text{ m/s}^2$,由牛顿第二定律可得, $0 \sim 1 \text{ s}$ 内电动机牵引力大小为 $F = ma + mg \sin \theta = 45 \text{ N}$,C 错误; 1 s 后电动机的输出功率不变,等于 1 s 时的输出功率,则有 $P = Fv = 45 \times 4 \text{ W} = 180 \text{ W}$,D 正确。

6. D 【解析】 $F-x$ 图像与横坐标轴所围面积表示功,由图像可知,物体从 A 到 B 过程中,拉力 F 做功为 $W = \frac{1}{2} \times 40 \times 2 \text{ J} - 10 \times 1 \text{ J} = 30 \text{ J}$,故 A 错误;物体从 B 到 C 过程中,做圆周运动,所受的合外力不为 0,故 B 错误;物体从 A 到 B 过程中,由动能定理有 $W = \frac{1}{2}mv_B^2$,解得 $v_B = 2\sqrt{15} \text{ m/s}$,由于光滑轨道 ABC 在水平面内,物体从 B 到 C 做匀速圆周运动,所以物体能够到达 C 点,且到 C 点时速度为 $2\sqrt{15} \text{ m/s}$,故 C 错误,D 正确。

7. D 【解析】 40 层楼高约为 $h = 120 \text{ m}$,设水泵的功率为 P ,水泵在时间 Δt 内使质量为 Δm 的水以速度 v 通过喷水口,由动能定理得 $P\Delta t = \frac{1}{2}\Delta mv^2$,由运动学公式得 $v^2 = 2gh$,其中 $\Delta m = \rho Sv\Delta t$, $S = \frac{1}{4}\pi D^2$,联立可得 $P = \frac{1}{4}\pi D^2 \rho gh \sqrt{2gh} \approx 5 \times 10^5 \text{ W}$,故 D 正确。

8. (1) 10 m/s (2) 5 m/s (3) 0.6
【解析】 (1) 货物由 A 点运动到 B 点过程,根据动能定理
可得 $mgL_1 \sin 53^\circ - \mu_1 mgL_1 \cos 53^\circ = \frac{1}{2}mv_B^2$

解得 $v_B = 10 \text{ m/s}$
(2) 货物在长木板上做匀减速直线运动,由牛顿第二定律可得 $\mu_1 mg = ma_{\text{货}}$
根据匀变速直线运动规律得 $-2a_{\text{货}}L_2 = v_C^2 - v_B^2$
联立解得 $v_C = 5 \text{ m/s}$

(3) 长木板进入反弹装置时的速度 $v_1 = v_C$
设长木板的质量为 M ,则长木板刚进入反弹装置时的能量为 $E = \frac{1}{2}Mv_1^2$
设长木板反弹后右端回到 C 点时的速度为 v_2 ,长木板从右端反弹回到 C 点至左端回到 B 点的过程中,由动能定理可得 $-\mu_2 Mg(L_2 - d) = 0 - \frac{1}{2}Mv_2^2$
长木板在反弹的过程中损失的能量为 $\Delta E = \frac{1}{2}Mv_1^2 - \frac{1}{2}Mv_2^2$

所以长木板在反弹过程中损失的能量与长木板刚接触反弹装置时的能量的比值 $\eta = \frac{\Delta E}{E}$

联立解得 $\eta = 0.6$
9. (1) 5 N ,方向竖直向下 (2) 1.6 N
(3) $v = \sqrt{40x - 9} \text{ (m/s)}$,其中 $0.4 \text{ m} \leq x < 0.45 \text{ m}$

【解析】 (1) 若滑块恰能过圆管道的最高点,则滑块在圆管道的最高点时的速度为零。

滑块由 B 点运动到圆管道的最高点的过程,由机械能守恒定律得 $2mgR = 0 - \frac{1}{2}mv_B^2$

滑块在 B 点时,根据牛顿第二定律有 $F_{NB} - mg = m\frac{v_B^2}{R}$

联立解得 $F_{NB} = 5 \text{ N}$
根据牛顿第三定律可知,滑块刚到 B 点时对圆管道的压力大小为 $F_{NB压} = F_{NB} = 5 \text{ N}$,方向竖直向下。

(2) 若滑块恰能过圆管道的最高点,则滑块由 A 点运动到圆管道的最高点的过程,由动能定理得 $F_1 \frac{L_1}{2} - 2mgR = 0$

解得 $F_1 = 1.6 \text{ N}$
若滑块恰能到 D 点,则滑块由 A 点运动到 D 点的过程,由动能定理得 $F_2 \frac{L_1}{2} - \mu_1 mgl_2 = 0$

解得 $F_2 = 1.4 \text{ N}$
综上所述, F 的最小值为 1.6 N 。
(3) 滑块一定过圆管道的最高点,由动能定理得 $Fx_1 - 2mgR = 0$

解得 $x_1 = 0.4 \text{ m}$
滑块到 D 点后一直在传送带上加速运动,且到 E 点时速度小于 3 m/s ,由动能定理得 $Fx - \mu_1 mgl_2 + \mu_2 mgl_3 = \frac{1}{2}mv^2$

且 $v < 3 \text{ m/s}$
解得 $v = \sqrt{40x - 9} \text{ (m/s)}$, $x < 0.45 \text{ m}$
综上所述, $v = \sqrt{40x - 9} \text{ (m/s)}$,其中 $0.4 \text{ m} \leq x < 0.45 \text{ m}$ 。

第 5 讲 能量守恒、功能关系

微专题 1 传送带模型综合问题

1. ABD 【解析】 匀速时 $F_{\text{牵}} = F_f$,在 MN 段 $F_{\text{牵}} = \frac{P}{v} = 40 \text{ N}$,故 A 正确; $W_{\text{牵}} = F_f \overline{MN} = 800 \text{ J}$,B 正确;从 P 到 Q, $\Delta E_p = mg\Delta h$, $\Delta E_p = 5 \times 10^3 \text{ J}$,故 C 错误;从 P 到 Q, $F_{\text{牵}}' = \frac{P'}{v} = 285 \text{ N}$, $F_{\text{牵}}' = F_f' + mg \sin \theta$,解得 $F_f' = 35 \text{ N}$, $W_{\text{牵}}' = F_f' \overline{PQ} = 700 \text{ J}$,D 正确。

2. C 【解析】 运动员下落 h 高度,则重力做功为 $W_G = mgh$,选项 A 错误;根据牛顿第二定律得 $mg - F_f = ma$,其中 $a = \frac{4}{5}g$,解得 $F_f = \frac{1}{5}mg$,则运

员克服阻力做功为 $W_{\text{克f}} = F_f h = \frac{1}{5}mgh$,选项 B 错误;运动员的动能增加量等于合外力做的功,则 $\Delta E_k = mah = \frac{4}{5}mgh$,选项 C 正确;运动员的机械能减少量等于克服阻力做的功,即 $\Delta E = W_{\text{克f}} = \frac{1}{5}mgh$,选项 D 错误。

3. D 【解析】 当小球 q 固定在 C 正下方某处时, Q 在 B 处时所受的合力为零,在此处时速率最大,故 A 错误; Q 的机械能 E 等于 Q 的动能与重力势能之和,由功能关系有 $\Delta E = W_{\text{弹}} + W_{\text{电}}$, Q 从 A 处运动到 C 处的过程中,由于弹簧从原长一直在伸长,故弹簧的弹力一直做负功,即 $W_{\text{弹}} < 0$,且库仑力也一直做负功,即 $W_{\text{电}} < 0$,则 $\Delta E < 0$,即 Q 的机械能不断减小,故 C 错误;因小球 q 固定不动,则其机械能不变,因 Q 的机械能不断变小,故 Q 、 q 两球组成的系统机械能不断减小,故 B 错误; Q 在 B 处时加速度为零,则 Q 从 A 处运动到 B 的过程中,加速度一直减小到零,而 Q 从 B 处运动到 C 处的过程中,加速度反向增大,故 D 正确。

4. BD 【解析】 设 O 点到斜面底端的距离为 x_0 ,物块释放点的高度为 h ,物块从释放到停止运动的过程中,当水平位移 $x \leq x_0$ 时,克服摩擦力做功 $W_{\text{克f}} = \mu mg \cos 53^\circ \cdot \frac{x}{\cos 53^\circ} = \mu mgx$,当 $x > x_0$ 时,克服摩擦力做功 $W_{\text{克f}} = \mu mg \cos 53^\circ \cdot \frac{x_0}{\cos 53^\circ} + \mu mg \cdot (x - x_0) = \mu mgx$,所以全程都有 $W_{\text{克f}} = \mu mgx = \frac{2}{3}mgx$,根据功能关系可知摩擦产生的热量 $Q = W_{\text{克f}} = \mu mgx$,而物块在该过程中机械能的减少量始终等于克服摩擦力所做的功,则物块的机械能 $E = mgh - \frac{2}{3}mgx$,所以 $E-x$ 图像是纵轴截距为 mgh 、斜率为 $-\frac{2}{3}mg$ 的倾斜直线,而其 $Q-x$

图像是过原点、斜率为 $\frac{2}{3}mg$ 的倾斜直线,故 A 错误,D 正确;物块的重力势能 $E_p = mgh - mg \tan 53^\circ \cdot x = mgh - \frac{4}{3}mgx \left(x \leq x_0 = \frac{3}{4}h \right)$,所以 E_p-x 图像是纵轴截距为 mgh 、斜率为 $-\frac{4}{3}mg$ 的倾斜直线,且当 $x > x_0$ 时,重力势能始终为 0,故 B 正确;物块从最高点下滑至斜面最低点的过程中,物块的动能 $E_{k1} = mgx \tan 53^\circ - \mu mg \cos 53^\circ \cdot \frac{x}{\cos 53^\circ} = \frac{2}{3}mgx (x \leq x_0)$,当物块下滑至斜面

底端时,其动能 $E_{k1} = \frac{2}{3}mgx_0$,此后在水平面上克服摩擦力做功,物块的动能 $E_{k2} = \frac{2}{3}mgx_0 - \mu mg(x - x_0) = \frac{4}{3}mgx_0 - \frac{2}{3}mgx (x_0 \leq x \leq 2x_0)$,所以动能达到最大值前, E_k-x 图像是过原点的倾斜直线,斜率为 $\frac{2}{3}mg$,动能达到最大后, E_k-x 图像仍是倾斜直线,斜率为 $-\frac{2}{3}mg$,图像具有对称性,故 C 错误。

5. B 【解析】由动能定理得 $F_{\text{合}}x = \Delta E_k$,故 E_k-x 图像的斜率表示合外力,由图像可知,图中①对应过程汽车所受合力不变, $F_{\text{合}} = \frac{200 \times 10^3 - 100 \times 10^3}{200} \text{ N} = 500 \text{ N}$,故 A 错误;由图中①可知,汽车自由下滑 200 m 过程,有 $W_G + W_f = (200 - 100) \times 10^3 \text{ J}$,由图中②可知,开启能量回收模式下滑 200 m 过程,有 $W_G + W_f + W_F = (64 - 100) \times 10^3 \text{ J}$,则回收的电能为 $E = -W_F \times 90\% = 1.224 \times 10^5 \text{ J}$,故 B 正确;图中②对应过程下滑 100 m 后动能不变,但是重力势能减少,机械能减少,所以还是继续回收能量,故 C 错误;由图中①可知, $F_{\text{合}} = mgsin 15^\circ - \mu mgcos 15^\circ = 500 \text{ N}$,由于不知道车与斜坡间的动摩擦因数,故无法由题中及图像信息求出电动车的质量,故 D 错误。

6. BCD 【解析】根据几何关系可知 OM 与 ON 长度相等,则小球在 M 处和在 N 处时弹性绳的弹性势能相等,小球从 M 到 N 的过程中,由动能定理有 $mgL - W_{\text{克f}} = 0$,说明小球运动过程中受到摩擦力的作用,小球在 P 点时,由牛顿第二定律可知,其加速度 $a = gsin 45^\circ - \frac{F_t}{m} < \frac{\sqrt{2}}{2}g$,故 A 错误;根据小球受力及对称性可知,当小球位于关于 P 点对称的任意两个位置时,弹性绳的弹力大小相等,由于沿杆方向合力为零,所以在这两个位置时杆对小球的支持力大小相等,其所受滑动摩擦力大小也相等,因此从 M 到 P 的过程中小球克服摩擦力做的功 $W_{\text{克f1}}$ 等于从 P 到 N 的过程中小球克服摩擦力做的功 $W_{\text{克f2}}$,则有 $W_{\text{克f1}} = W_{\text{克f2}} = \frac{1}{2}W_{\text{克f}} = \frac{1}{2}mgL$,故 B 正确;从 M 到 P 的过程中,重力对小球做的功 $W_{G1} = \frac{1}{2}mgL$,小球克服摩擦力做的功 $W_{\text{克f1}} = \frac{1}{2}mgL$,由于 $W_{G1} = W_{\text{克f1}}$,由动能定理有 $W_{G1} - W_{\text{克f1}} + W_{\text{弹1}} = E_{kP}$,由功能关系有 $W_{\text{弹1}} = -\Delta E_{\text{弹1}}$,所以有 $-\Delta E_{\text{弹1}} = E_{kP}$,即弹性绳减小的弹性势能等于小

球在 P 点的动能,故 C 正确;小球从 M 到 P 的过程中动能增大,而从 P 到 N 的过程中动能减小,两个过程中重力势能减少量相等,因此小球从 M 到 P 的过程损失的机械能小于从 P 到 N 的过程中损失的机械能,故 D 正确。

7. B 【解析】由动能定理得,作用在金属棒上的合力做的功为 $W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$,故 A 错误;金属棒下滑过程中,重力势能减少了 mgh ,动能减少了 $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2$,所以金属棒机械能的减少量为 $\Delta E = mgh + \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2$,故 B 正确;设金属棒下滑过程中,因摩擦产生的热为 Q_1 ,系统产生的电能为 Q_2 ,根据能量守恒定律有 $mgh + \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2 = Q_1 + Q_2$,则 $Q_2 = mgh + \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv^2 - Q_1$,因不能确定动能减少量和摩擦产生的热的关系,所以不能确定金属棒重力势能的减少量和系统产生的电能的关系,故 D 错误;由功能关系可知,金属棒克服安培力做的功等于电路中产生的焦耳热,由于导轨和金属棒的电阻都不计,则电路中只有电阻 R 上会产生焦耳热,所以金属棒克服安培力做的功等于电阻 R 上产生的焦耳热,故 C 错误。

8. (1)0.3 (2)14:3 (3)1.4 mgH

【解析】(1)当滑块 A 由斜面滑到水平面时,由能量守恒定律得 $mg \times 2H - \mu mg \cos \alpha \times \frac{2H}{\sin \alpha} = \frac{1}{2}mv_1^2$ 两滑块碰撞过程,由动量守恒定律得 $mv_1 = 2mv_{\text{共}}$ 当滑块再次滑上斜面时,由能量守恒定律得 $\frac{1}{2} \times 2mv_{\text{共}}^2 = 2mgH' +$

$$2\mu mg \cos \alpha \times \frac{H'}{\sin \alpha}$$

$$\text{其中 } H' = \frac{3}{14}H$$

$$\text{联立解得 } \mu = 0.3$$

(2)滑块第一次从斜面上滑下过程,由牛顿第二定律得 $mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha = ma_1$

$$\text{由运动学公式得 } v_1 = a_1 t_1$$

滑块第一次滑上斜面的过程,由牛顿第二定律得 $2mg \sin \alpha + \mu \times 2mg \cos \alpha = 2ma_2$

$$\text{由运动学公式得 } 0 - v_{\text{共}} = -a_2 t_2$$

$$\text{联立解得 } t_1 : t_2 = 14 : 3$$

(3)从滑块 A 由静止释放到滑块最终静止的整个过程,由能量守恒定律得 $mg \times 2H = \left(\frac{1}{2}mv_1^2 - 2 \times \frac{1}{2}mv_{\text{共}}^2 \right) + W_{\text{克f}}$

由功能关系可知 $Q = W_{\text{克f}}$

$$\text{联立解得 } Q = 1.4mgH$$

9. (1)2 m/s (2)1.2 J

$$(3)s = \begin{cases} 4 \text{ m} (\mu_3 \geq 0.025) \\ \frac{0.9}{0.25 - \mu_3} \text{ m} (0 < \mu_3 < 0.025) \end{cases}$$

【解析】(1)物块进入光滑半圆轨道最高点并恰好做圆周运动,由牛顿第二定律得 $mg = m \frac{v_B^2}{R}$

$$\text{解得 } v_B = 2 \text{ m/s}$$

(2)设物块到达 A 点时的速度为 v_A ,物块被弹簧弹出过程中,物块和弹簧组成的系统机械能守恒,有 $E_p = \frac{1}{2}mv_A^2$

由于 $v_B > v_0 = 1 \text{ m/s}$,可知物块在传送带上一直做匀减速运动,则物块在传送带上滑行过程,由动能定理可得 $-\mu_1 mgL = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$

$$\text{联立解得 } E_p = 1.2 \text{ J}$$

(3)滑块从 B 到 C 过程中,由机械能守恒定律有 $\frac{1}{2}mv_B^2 + mg \cdot 2R = \frac{1}{2}mv_C^2$

$$\text{解得 } v_C = 2\sqrt{5} \text{ m/s}$$

当 $\mu_2 mg \leq \mu_3 (m + M)g$,即 $\mu_3 \geq 0.025$ 时,长木板静止不动,要使小物块恰好不会从长木板上掉下,则物块在长木板上滑行过程,由动能定理得 $\mu_2 mgs = \frac{1}{2}mv_C^2$

$$\text{解得 } s = 4 \text{ m}$$

当 $\mu_3 < 0.025$ 时,长木板在小物块带动下做匀加速运动,小物块做匀减速运动,对物块有 $\mu_2 mg = ma_1$

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

对长木板有 $\mu_2 mg - \mu_3 (m + M)g = Ma_2$

$$\text{共速时有 } v_C - a_1 t = a_2 t$$

$$\text{木板的长度为 } s = \frac{v_C + v}{2} t - \frac{v}{2} t = \frac{v_C t}{2}$$

$$\text{联立可得 } s = \frac{0.9}{0.25 - \mu_3} \text{ m} (0 < \mu_3 < 0.025)$$

综上所述,要使小物块恰好不会从长木板上掉下,木板长度 s 与木板和地面之间的动摩擦因数 μ_3 的关系为

$$s = \begin{cases} 4 \text{ m} (\mu_3 \geq 0.025) \\ \frac{0.9}{0.25 - \mu_3} \text{ m} (0 < \mu_3 < 0.025) \end{cases}$$

第 6 讲 冲量与动量

微专题 2 滑块——木板模型综合问题

1. C 【解析】设 AC 杆长度为 $5l$,则 BC 杆长度为 $5l \cos 37^\circ = 4l$,P 球沿 AC 杆做自由落体运动,设下落的时间为 t_P ,有 $5l = \frac{1}{2}gt_P^2$,Q 球沿 BC 杆做匀加速直线运动,加速度为 $a_Q = g \cos 37^\circ = 0.8g$,设下滑的时间为 t_Q ,

- 有 $4l = \frac{1}{2} a_Q t_Q^2$, 联立得 $\frac{t_P}{t_Q} = \frac{1}{1}$, 由冲量的定义 $I = Ft$ 可得, 两球的重力的冲量之比 $\frac{I_P}{I_Q} = \frac{m_P g t_P}{m_Q g t_Q} = \frac{m_P}{m_Q} = \frac{1}{2}$, 故 A、B 错误. 由速度公式 $v = at$ 可得, 两球在 C 点时的速度大小之比 $\frac{v_P}{v_Q} = \frac{gt_P}{0.8gt_Q} = \frac{1}{0.8}$, 由动量定理 $I_{\text{合}} = \Delta p = m\Delta v$ 可知, 两球的合力的冲量之比 $\frac{I_{P\text{合}}}{I_{Q\text{合}}} = \frac{m_P v_P}{m_Q v_Q} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{0.8} = \frac{5}{8}$, 故 C 正确, D 错误.
2. B 【解析】如果发生的是完全非弹性碰撞, 则由动量守恒定律得 $mv_0 = (150m + m)v_{\text{共}}$, 解得 $v_{\text{共}} = \frac{1}{151}v_0$, 如果发生的是弹性碰撞, 则由动量守恒定律得 $mv_0 = 150mv_1 + mv_2$, 由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2} \times 150mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2$, 联立解得 $v_1 = \frac{2}{151}v_0$, 故撞击后大石块的速度与铁锤碰撞前的速度的比值 k 的取值范围为 $\frac{1}{151} \leq k \leq \frac{2}{151}$, A、C、D 错误, B 正确.
3. B 【解析】由于除雪车匀速行驶, 所以除雪车前进时受到的阻力为 $F_f = F = \frac{P}{v_{\text{车}}}$, 由于不知除雪车牵引力的功率, 故不能求出阻力, A 错误; 以热空气为研究对象, 根据动量定理有 $F\Delta t = \Delta mv$, 其中 $\Delta m = \rho \cdot \frac{1}{4}\pi d^2 v \Delta t$, 解得反冲力的大小为 $F = \rho \cdot \frac{1}{4}\pi d^2 v^2 \approx 63.6 \text{ N}$, B 正确; 计算除雪车进行除雪作业时消耗的功率的途径有两种, 一种是根据燃料放热公式 $Q = mq$, 可得 $P = q \frac{\Delta m}{\Delta t}$, 另一种是根据能量守恒定律, 有 $P = P_{\text{热}} + P_{\text{机}}$, 第一种途径中消耗的功率和单位时间内消耗燃油质量均不知道, 故不能采用此途径, 第二种途径中机械功率(牵引力的功率)不知道, 传给汽缸的热功率也不知道, 甚至排出的气体的热功率也因不知比热容而无法求出, 故也不能采用这种途径, C、D 错误.
4. AD 【解析】老鹰捕猎前、后的一小段运动近似为圆周运动, 圆周运动是曲线运动, 所以合外力不为 0, 老鹰处于非平衡状态, 故 A 正确; 捕猎前、后瞬间, 老鹰和鱼组成的系统在水平方向上动量守恒, 有 $m_1 v_0 = (m_1 + m_2)v_{\text{共}}$, 解得捕猎后瞬间老鹰的速度大小 $v_{\text{共}} = 144 \text{ km/h} = 40 \text{ m/s}$, 加速度 $a = \frac{v^2}{R}$, 由于捕猎后瞬间老鹰的速度减小了, 而圆周运动半径不变, 所以捕猎后瞬间

老鹰的加速度变小, 故 B、C 错误; 设捕猎前瞬间空气对老鹰的作用力为 F , 捕猎后瞬间空气对老鹰的作用力为 F' , 分别对捕猎前瞬间的老鹰及捕猎后瞬间的老鹰和鱼组成的系统进行受力分析, 有 $F - m_1 g = m_1 \frac{v_0^2}{R}$, $F' - (m_1 + m_2)g = (m_1 + m_2) \frac{v_{\text{共}}^2}{R}$, 解得 $F = 70 \text{ N}$, $F' = 65 \text{ N}$, 则 $F - F' = 5 \text{ N}$, 即捕猎后瞬间老鹰所受空气作用力比捕猎前瞬间减少 5 N , 故 D 正确.

5. C 【解析】子弹射入物块 A 的过程中, 子弹与物块 A 组成的系统动量守恒, 有 $kmv_0 = (m + km)v_1$, 解得 $v_1 = \frac{k}{k+1}v_0$, 子弹的动量变化量 $\Delta p = kmv_1 - kmv_0 = -\frac{kmv_0}{k+1}$, 物块 A 的动能增加量为 $\Delta E_{\text{KA}} = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{k^2mv_0^2}{2(k+1)^2}$, 选项 A、B 错误; 当弹簧第一次压缩到最短时, 物块 B 的动量最大, 弹簧的弹性势能也最大, 子弹与物块 A、B、弹簧组成的系统动量守恒, 有 $kmv_0 = (2m + km)v_2$, 解得 $v_2 = \frac{k}{k+2}v_0$, 物块 B 的动量最大值为 $p_{\text{Bm}} = \frac{kmv_0}{k+2}$, 弹簧具有的最大弹性势能为 $\Delta E_p = \frac{1}{2}(m + km)v_1^2 - \frac{1}{2}(2m + km)v_2^2 = \frac{k^2mv_0^2}{2(k+1)(k+2)}$, 选项 C 正确, D 错误.

6. 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 $p = nmv = \frac{3n}{6+2n}m\sqrt{gR} = \frac{3}{6}m\sqrt{gR}$, 当 n 取 1 时, 动量取最小值, 为 $p_{\text{min}} = \frac{3}{8}m\sqrt{gR}$, 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 $\frac{1}{2} \times 3mv_B^2 = \frac{1}{2} \times 3mv_B'^2 + \frac{1}{2} \times nmv_C'^2$, 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 $p' = nmv_C' = \frac{3n}{3+n}m\sqrt{gR} = \frac{3}{3}m\sqrt{gR}$, 当 n 取 1 时, 动量取最小值, 为 $p_{\text{min}}' = \frac{3}{4}m\sqrt{gR}$, 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.

7. AB 【解析】B 脱离弹簧时, 对系统, 由动量守恒定律得 $Mv_1 - mv_2 = 0$, 由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}Mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2 = E_p$, 联立解得 A 的速度大小为 $v_1 = 1 \text{ m/s}$, B 的速度大小为 $v_2 = 3 \text{ m/s}$, 选项 A 正确; B 碰到 A 右壁前瞬间, A 与 B 的动量大小相等, 方向相反, 选项 D 错误; B 和 A 右壁碰撞并被粘住时, 由动量守恒定律得 $mv_2 - Mv_1 = (m + M)v$, 解得 A、B 的共同速度 $v = 0$, 由动量定理得 A 右壁对 B 的冲量大小为 $I = |mv - mv_2| = 3 \text{ N} \cdot \text{s}$, 选项 B

正确;整个过程中,由动量守恒定律得 $Ml_1 - ml_2 = 0$, 其中 $l_1 + l_2 = l$, 解得 B 移动的距离 $l_2 = 0.75l$, 选项 C 错误。

8. 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 $mv_0 = (m+M)v$,解得 $v = \frac{m}{m+M}v_0$,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 $a_2 = \frac{F_f}{M} = \frac{kv_0}{M}$,由位移关系得 $\frac{v_{0m}^2 - v_m^2}{2a_1} - \frac{v_m^2}{2a_2} = L$,联立解得 $v_{0m} = \frac{2kL(m+M)}{mM}$;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 $v_0 \geq \frac{2kL(m+M)}{mM}$,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 $2a_1x_1 = v_1^2 - v_0^2$,对木块有 $2a_2x_2 = v_2^2$,又知 $x_1 - x_2 = L$,联立解得 $v_2 = \frac{m}{m+M} \left[v_0 - \sqrt{v_0^2 - \frac{2kL(m+M)}{mM}v_0} \right]$,研究函数 $f(v_0) = v_0 - \sqrt{v_0^2 - \frac{2kL(m+M)}{mM}v_0}$,对此函数变形得 $f(v_0) = \frac{\frac{2kL(m+M)}{mM}v_0}{v_0 + \sqrt{v_0^2 - \frac{2kL(m+M)}{mM}v_0}} = \frac{\frac{2kL(m+M)}{mM}}{1 + \sqrt{1 - \frac{2kL(m+M)}{mMv_0}}}$,当 $1 - \frac{2kL(m+M)}{mMv_0} = 0$,即 $v_0 = \frac{2kL(m+M)}{mM}$ 时, $f(v_0)$ 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 $v_0 = \frac{2kL(m+M)}{mM}$ 代入上面各式,可

得 $F_f = \frac{2k^2L(m+M)}{mM}$, $a_2 = \frac{2k^2L(m+M)}{mM^2}$, $v_2 = \frac{2kL}{M}$,子弹在木块中运动的时间 $t = \frac{v_2}{a_2} = \frac{mM}{k(m+M)}$,木块在加速过程中运动的距离 $x_2 = \frac{v_2^2}{2a_2} = \frac{mL}{m+M}$,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 $\Delta E_k = F_f L = \frac{2k^2L^2(m+M)}{mM}$,故 B 、 C 错误, D 正确。

9. (1) 4.5 N (2) $4\sqrt{2} \text{ m/s} < v < 2\sqrt{14} \text{ m/s}$ (3) $19.2 \text{ J} < E_p < 33.6 \text{ J}$

【解析】 (1)若游戏能获奖,则小球2必须要通过 C 点.小球2恰好通过 C 点时,由牛顿第二定律得

$$m_2 g \sin(\theta - 90^\circ) = m_2 \frac{v_C^2}{R}$$

小球2从 B 运动到 C 过程,根据动能定理得

$$-m_2 g [R + R \sin(\theta - 90^\circ)] = \frac{1}{2} m_2 v_C^2 - \frac{1}{2} m_2 v_B^2$$

联立解得 $v_B = 2\sqrt{7} \text{ m/s}$

小球2经过 B 点时,由牛顿第二定律

$$F_N - m_2 g = m_2 \frac{v_B^2}{R}$$

解得轨道 BC 对小球2的最小弹力 $F_N = 4.5 \text{ N}$

(2)当小球2恰好到达与 O' 等高处时,根据动能定理得 $-m_2 g [R + 2R \sin(\theta - 90^\circ)] = 0 - \frac{1}{2} m_2 v_{B1}^2$

解得 $v_{B1} = 4\sqrt{2} \text{ m/s}$

当小球2恰好运动到 D 点时,由牛顿第二定律得

$$m_2 g = m_2 \frac{v_D^2}{R}$$

小球2从 B 运动到 D 过程,由动能定理得 $-m_2 g [2R + 2R \sin(\theta - 90^\circ)] = \frac{1}{2} m_2 v_D^2 - \frac{1}{2} m_2 v_{B2}^2$

联立解得 $v_{B2} = 2\sqrt{14} \text{ m/s}$

由于 $v_{B1} > v_B$,故小球2碰后的速度 v 满足 $4\sqrt{2} \text{ m/s} < v < 2\sqrt{14} \text{ m/s}$ 时,游戏能获二等奖。

(3)小球1被弹簧弹出后,根据机械能守恒定律得 $E_p = \frac{1}{2} m_1 v_0^2$

小球1和小球2发生弹性碰撞,根据动量守恒定律和能量守恒定律得

$$m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_0^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

小球1的速度 v_1 需满足 $4\sqrt{2} \text{ m/s} < v_1 < 2\sqrt{14} \text{ m/s}$,游戏才能获得一等奖

联立解得 $19.2 \text{ J} < E_p < 33.6 \text{ J}$

微专题3 力学三大观点的综合运用

1. (1) 1 m/s 4 m/s (2) 0.2 (3) 4.4 J 或 15.6 J

【解析】 (1) A 、 B 物块被弹簧弹开的过程中,由动量守恒定律得 $m_A v_A - m_B v_B = 0$

由能量守恒定律得 $E_p = \frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2$

联立解得 $v_A = 1 \text{ m/s}$, $v_B = 4 \text{ m/s}$

(2)要使两物块能在水平面 MN 上发生碰撞,小物块 B 不能在传送带的 Q 端掉下,则小物块 B 在传送带上最多减速运动到 Q 端时速度减为零。

设减速过程加速度大小至少为 a ,动摩擦因数至少为 μ ,由牛顿第二定律得 $\mu m_B g = m_B a$

由运动学公式得 $0 - v_B^2 = -2aL$

联立解得 $\mu = 0.2$

(3)因为物块 B 第一次冲上传送带的速度 $v_B = 4 \text{ m/s}$ 大于传送带的速度 $v = 2 \text{ m/s}$,所以物块 B 在传送带上返回水平面 MN 上过程先加速运动后匀速运动,到达水平面 MN 上时的速度等于传送带速度,即 $v_B' = v = 2 \text{ m/s}$ 。

①若两物块 A 、 B 在水平面 MN 上相向碰撞结合成整体,设碰后共同速度为 v_1 ,根据动量守恒定律得 $m_A v_A - m_B v_B' = (m_A + m_B) v_1$

解得 $v_1 = 0.4 \text{ m/s}$,方向向右

两物块整体第一次滑上传送带到第一次减速至零的过程,所用时间为 $t_1 = \frac{0 - v_1}{-a}$

两物块整体与传送带的相对位移为 $\Delta x_1 = vt_1 + \frac{1}{2} v_1 t_1$

两物块与传送带间因摩擦产生的热量为 $Q_1 = \mu(m_A + m_B)g \cdot \Delta x_1$

联立解得 $Q_1 = 4.4 \text{ J}$

②若两物块 A 、 B 在水平面 MN 上同向碰撞结合成整体,设碰后共同速度为 v_2 ,根据动量守恒定律得

$$m_A v_A + m_B v_B' = (m_A + m_B) v_2$$

解得 $v_2 = 1.2 \text{ m/s}$,方向向左

两物块整体与弹性挡板 P 碰撞无能量损失,碰后速度大小仍为 $v_2 = 1.2 \text{ m/s}$,方向向右

两物块整体第一次滑上传送带到第一次减速至零的过程,所用时间为 $t_2 = \frac{0 - v_2}{-a}$

两物块整体与传送带的相对位移为 $\Delta x_2 = vt_2 + \frac{1}{2} v_2 t_2$

两物块与传送带间因摩擦产生的热量为 $Q_2 = \mu(m_A + m_B)g \cdot \Delta x_2$

联立解得 $Q_2 = 15.6 \text{ J}$

综上可知,两物块整体与传送带间因摩擦产生的热量是 4.4 J 或 15.6 J 。

2. (1) 2 m/s (2) 22.5 N

$$(3) Q = \begin{cases} \frac{3(\alpha^2 + 24)}{32} \text{ J}, 2 \text{ m/s} \leq v < 4 \text{ m/s} \\ \frac{15}{4} \text{ J}, 4 \text{ m/s} \leq v \leq 6 \text{ m/s} \end{cases}$$

【解析】 (1) 若物块进入圆弧轨道BCD后恰好不脱轨,则物块在B点

时,由牛顿第二定律得 $mg = m \frac{v_{B0}^2}{R}$

解得 $v_{B0} = 2 \text{ m/s}$

物块在传送带上运动过程,根据牛顿第二定律得 $\mu_1 mg = ma$

若传送带速度较大,物块在传送带上能一直加速运动到B端,则由运动学公式得 $v_1^2 = 2aL$

解得 $v_1 = 4 \text{ m/s}$

由于 $v_1 > v_{B0} = 2 \text{ m/s}$,所以物块的运动不是一直加速运动,而是先加速到与传送带共速再与传送带一起匀速运动,传送带的速度为 2 m/s

(2) 传送带速度为 5 m/s 时,由于 $v_1 < 5 \text{ m/s}$,所以物块在传送带上匀加速运动到B端,物块在圆弧轨道BCD上运动过程,根据动能定理得 mg

$[R + R \sin(\theta - 90^\circ)] = \frac{1}{2} m v_D^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$

物块经过D点时,由牛顿第二定律得 $F_{ND} - mg \sin(\theta - 90^\circ) = m \frac{v_D^2}{R}$

联立解得 $F_{ND} = 22.5 \text{ N}$

(3) 在不脱轨的情况下,物块从B点运动到G点的过程,根据动能定理得 $mg[2R + 2R \sin(\theta - 90^\circ)] = \frac{1}{2} m v_G^2 - \frac{1}{2} m v_B^2$

物块在木板上运动过程中,物块和木板组成的系统动量守恒,有 $m v_G = (M + m) v$

由能量守恒定律得 $Q = \frac{1}{2} m v_G^2 - \frac{1}{2} (m + M) v^2$

联立可得 $Q = \frac{3(v_B^2 + 24)}{32} (\text{J})$

当传送带的速度 v 的取值范围为 $2 \text{ m/s} \leq v < 4 \text{ m/s}$ 时,滑块到达B时速度为 $v_B = v$,产生的热量为 $Q = \frac{3(v^2 + 24)}{32} (\text{J})$

当传送带的速度 v 的取值范围为 $4 \text{ m/s} \leq v \leq 6 \text{ m/s}$ 时,滑块到达B时速度为 $v_B = 4 \text{ m/s}$,产生的热量为 $Q = \frac{15}{4} \text{ J}$

综上所述,

$Q = \begin{cases} \frac{3(v^2 + 24)}{32} (\text{J}), & 2 \text{ m/s} \leq v < 4 \text{ m/s} \\ \frac{15}{4} \text{ J}, & 4 \text{ m/s} \leq v \leq 6 \text{ m/s} \end{cases}$

3. (1) 3 m/s (2) 3 m/s (3) 2.5 N
(4) $0 < h \leq 0.75 \text{ m}$ 或 $1.2 \text{ m} \leq h \leq 1.4 \text{ m}$

【解析】 (1) 物块甲与乙碰撞前向右做匀减速直线运动,根据动能定理有 $-\mu m_1 g s = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 - \frac{1}{2} m_1 v_0^2$

解得 $v_1 = 3 \text{ m/s}$

(2) 物块甲与乙发生完全非弹性碰撞,根据动量守恒定律有 $m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v_2$

碰撞后,组合体做平抛运动,在C点时,对速度分解,有 $v_C \cos \theta = v_2$

联立解得 $v_C = 3 \text{ m/s}$

(3) 组合体从C点运动到钉子正下方时,根据动能定理有 $(m_1 + m_2) g (L - L \cos \theta) = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_3^2 - \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_C^2$

解得 $v_3 = \sqrt{15} \text{ m/s}$

细线被钉子挡住后的瞬间,对盒子(含物块组合体),由牛顿第二定律有 $F_T - (m_1 + m_2) g = (m_1 + m_2) \frac{v_3^2}{L - h}$

解得 $F_T = 2.5 \text{ N}$

(4) 当盒子刚好能摆到钉子等高处时,对盒子整体,由动能定理得 $-(m_1 + m_2) g (L - h_1) = 0 - \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_3^2$

解得 $h_1 = 0.75 \text{ m}$

当盒子能绕钉子做完整的圆周运动且刚好通过最高点时,对盒子整体,由动能定理得

$-(m_1 + m_2) g \cdot 2(L - h_2) = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v^2 - \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_3^2$

在最高点时,由牛顿第二定律得

$(m_1 + m_2) g = (m_1 + m_2) \frac{v^2}{L - h_2}$

联立解得 $h_2 = 1.2 \text{ m}$

在该条件下同时需满足在最低点绳子不断裂,由牛顿第二定律得 $F_{\max} - (m_1 + m_2) g = (m_1 + m_2) \frac{v_3^2}{L - h_3}$

解得 $h_3 = 1.4 \text{ m}$

综上所述, h 的可调范围为 $0 < h \leq 0.75 \text{ m}$ 或 $1.2 \text{ m} \leq h \leq 1.4 \text{ m}$

4. (1) $\frac{34}{3} \text{ N}$ (2) 在I点左侧距离为 0.1 m 处 (3) $4.6 \text{ J} \leq E_p \leq 5.5 \text{ J}$

【解析】 (1) 当小振同学的滑块以最大弹性势能弹出时,滑块经过与圆心 O_1 等高的B处时对轨道的压力最大.

从弹出到B处,根据动能定理有

$E_{\text{pm}} - m_3 g R_1 = \frac{1}{2} m_3 v_B^2$

经过B处时,由牛顿第二定律得

$F_N = m_3 \frac{v_B^2}{R_1}$

由牛顿第三定律可知,滑块经过与圆心 O_1 等高的B处时对轨道的最大压力 $F_N' = F_N$

联立解得 $F_N' = \frac{34}{3} \text{ N}$

(2) 当小张同学的滑块刚好经过C时,

由牛顿第二定律得 $m_1 g = m_1 \frac{v_{C1}^2}{R_1}$

解得 $v_{C1} = \sqrt{6} \text{ m/s}$

假设滑块在C点不脱离轨道,则由能量守恒定律得 $E_{\text{pl}} = 2m_1 g R_1 + \frac{1}{2} m_1 v_{C1}^2$

解得 $v_C = 4 \text{ m/s}$

由于 $v_C > v_{C1}$,所以假设成立.

假设滑块能运动到平台上,则由能量守恒定律得 $E_{\text{pl}} = 2m_1 g (R_1 + R_2) + \frac{1}{2} m_1 v_1^2$

解得 $v_1 = 2\sqrt{3} \text{ m/s}$

所以假设成立,且滑块到达摆渡车左端时速度为 $2\sqrt{3} \text{ m/s}$

由于凹槽足够长,故摆渡车与侧壁IH相撞前滑块与摆渡车已经共速,设共速时滑块与摆渡车的相对位移为 s ,则根据动量守恒定律有 $m_1 v_1 = (m_1 + m) v_{\text{共1}}$

根据功能关系有 $\mu m_1 g s = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 - \frac{1}{2} (m_1 + m) v_{\text{共1}}^2$

联立解得 $s = 0.6 \text{ m}$

之后滑块与摆渡车一起匀速运动,摆渡车与侧壁IH相撞后会立即停止不动,滑块继续向前滑行,滑块速度减小到零的过程,由动能定理得

$\mu m_1 g s' = 0 - \frac{1}{2} m_1 v_{\text{共1}}^2$

联立解得 $s' = 0.3 \text{ m}$

由于 $s + s' < L_1$,所以滑块未滑出摆渡车.滑块所停位置离车右端距离为 $L' = L_1 - s - s' = 0.1 \text{ m}$,即在I点左侧距离为 0.1 m 处.

(3) 当小杨的滑块刚好经过C时,由牛顿第二定律得 $m_2 g = m_2 \frac{v_{C2}^2}{R_1}$

所以他发射时的弹性势能应满足

$E_p \geq 2m_2 g R_1 + \frac{1}{2} m_2 v_{C2}^2$

滑块从弹出至运动到平台上,根据动能定理有 $E_p - 2m_2 g (R_1 + R_2) = \frac{1}{2} m_2 v^2$

由于凹槽足够长,所以滑块与摆渡车能达到共速,由动量守恒定律得 $m_2 v = (m_2 + m) v_{\text{共2}}$

对整个过程中,由能量守恒定律得

$E_p = 2m_2 g (R_1 + R_2) + \frac{1}{2} m v_{\text{共2}}^2 + \mu m_2 g s_1$

要使得滑块停在目标区,应满足

$L_1 + L_2 \leq s_1 \leq L_1 + L_2 + L_3$

联立解得 $4.6 \text{ J} \leq E_p \leq 5.5 \text{ J}$,且 $0 \leq E_p \leq 5.8 \text{ J}$

故当小杨同学游戏能成功时,他发射时的弹性势能 E_p 的取值范围为

$4.6 \text{ J} \leq E_p \leq 5.5 \text{ J}$

第7讲 静电场

1. C **【解析】** 由于沿电场线方向电势降低,可知 $\varphi_a < \varphi_b$, A 错误;电场线分布的疏密程度表示电场的强弱,根据等量异种点电荷的电场线分布特征可

知, c 、 d 两点的电场强度大小相等, 但方向不同, 即 c 、 d 两点的电场强度不相同, B 错误; 由于沿电场线方向电势降低, 可知 $\varphi_d < \varphi_c$, 移动单位负电荷从 d 到 c , 根据 $W_{dc} = -qU_{dc} = -q(\varphi_d - \varphi_c) > 0$, 可知电场力做正功, C 正确; 电场力做功只与移动的电荷量和初、末位置的电势差有关, 与移动的路径无关, 所以移动单位正电荷从 b 到 d , 电场力沿 $b \rightarrow c \rightarrow d$ 做功与直接沿对角线做功相等, D 错误。

2. C 【解析】开关接 1, 则平行板间的电压 U 不变, x 增大时, ϵ_r 减小, 由 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知电容器的电容 C 减小, 由 $Q = CU$ 可知平行板电容器带的电荷量 Q 减小, 电容器放电, 由电路图可知, 电路中的电流沿逆时针方向, A、B 错误; 开关接 2, 则电容器带的电荷量保持不变, x 减小时, ϵ_r 增大, 由 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知电容器的电容增大, 由 $U = \frac{Q}{C}$ 可知平行板间的电压减小, 则静电

计的指针偏角减小, 由 $E = \frac{U}{d}$ 可知平行板间的电场强度减小, 故 C 正确, D 错误。

3. D 【解析】根据等势线与电场线垂直, 可知 a 、 d 两点的电场强度方向不同, 故 a 、 d 两点的电场强度不同, 故 A 错误; 电子从 a 点运动到 b 点过程中, 电势升高, 所以电场力做正功, 故 B 错误; 电子从 c 点运动到 d 点过程中, 电势降低, 所以电势能逐渐增大, 故 C 错误; a 、 d 两点的电势相等, 故电子从 a 点运动到 d 点, 电场力做功为 0, 所以电子在经过等势线 d 点时的动能为 60 eV, 故 D 正确。

4. C 【解析】设电荷均匀分布的带正电球体所带的电荷量为 Q , 带负电的绝缘小球所带的电荷量为 q , 根据牛顿第二定律, 小球在 A 点时, 有 $k \frac{Qq}{R^2} = ma$, 则小球在 A 点时加速度为 $a = k \frac{Qq}{mR^2}$, C 点以内的带正电球体

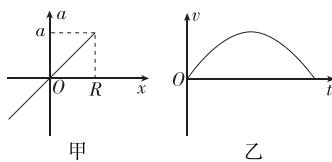
所带的电荷量为 $Q_1 = \frac{\frac{4}{3}\pi x^3}{\frac{4}{3}\pi R^3} Q = \frac{x^3}{R^3} Q$, 根据牛顿第二定律, 带电小球在

C 点时, 有 $k \frac{Q_1 q}{x^2} = ma_1$, 解得带电小球在 C 点时加速度为 $a_1 = k \frac{Qq}{mR^2} \cdot$

$\frac{x}{R} = a \cdot \frac{x}{R}$, 故 A 错误; 根据 A 项分析可知, 小球在通道内任一点的加速度大小与该点到 O 点的距离成正比, 故带电小球在通道内先做加速度减小的加速运动后做加速度增大的减速运

动, 故 B 错误; 取 A 点为坐标原点, AB 方向为正方向, 建立 a - x 坐标系, 如图甲所示, 图线与横轴所围面积乘上质量 m 即表示合外力做的功, 根据 B 项分析可知, 在 O 点时小球的加速度为零, 速度最大, 根据动能定理得 $\frac{1}{2} ma \cdot R = \frac{1}{2} mv_m^2$, 解得带电小球

的最大速度为 $v_m = \sqrt{aR}$, 故 C 正确; 画出带电小球由 A 点运动到 B 点的 v - t 图像, 如图乙所示, 由图像可知, 小球从 A 点运动到 B 点过程中的平均速度大于 $\frac{v_m}{2}$, 根据运动学规律可知, 带电小球从 A 点运动到 B 点的时间 $t < \frac{2R}{\frac{v_m}{2}} = \frac{4R}{v_m} = 4\sqrt{\frac{R}{a}}$, 故 D 错误。



5. C 【解析】撤去电场前, 小球运动过程中, 电场力对小球做正功, 小球的电势能逐渐减小, 故 A 错误; 设撤去电场时小球的位移大小为 x , 速度大小为 v_0 , 撤去电场前小球的加速度大小为 a_1 , 撤去电场后小球的加速度大小为 a_2 , 根据位移与时间的关系可得 $x = \frac{1}{2} a_1 t^2$, $-x = v_0 \cdot 2t - \frac{1}{2} a_2 (2t)^2$, 根据速度与时间的关系可得 $v_0 = a_1 t$, 联立解得 $\frac{a_1}{a_2} = \frac{4}{5}$, 故 B 错误; 撤去电场后小球上升到最高点的时间 $t_1 = \frac{v_0}{a_2}$, 联立解得 $t_1 = \frac{4}{5} t$, 所以小球从底端 A 沿斜面上升到最高点的时间为 $t' = t + t_1 = \frac{9}{5} t$, 故 C 正确; 撤去电场后, 由牛顿第二定律得 $mg \sin 30^\circ = ma_2$, 解得 $a_2 = \frac{g}{2}$, 则 $a_1 = \frac{4}{5} a_2 = \frac{2}{5} g$, $v_0 = a_1 t = \frac{2}{5} gt$, $x = \frac{1}{2} a_1 t^2 = \frac{1}{5} gt^2$, 撤去电场前, 根据动能定理有 $-U_{AB} q - mgx \sin 30^\circ = \frac{1}{2} mv_0^2$, 解得

$U_{AB} = -\frac{9mg^2 t^2}{50q}$, 故 D 错误。

6. C 【解析】小球在竖直方向上上升和下落的时间相同, 小球在水平方向上做初速度为零的匀加速运动, 由比例关系可知, 水平位移之比 $x_1 : x_2 = 1 : 3$, 选项 A、B 错误; 设小球在 M 点时的水平分速度为 v_x , 则小球在 B 点时的水平分速度为 $2v_x$, 根据题意有 $\frac{1}{2} mv_0^2 = 8 \text{ J}$, $\frac{1}{2} mv_x^2 = 6 \text{ J}$, 因而小球在 B 点时的动能为 $E_{kb} = \frac{1}{2} m[v_0^2 +$

$(2v_x)^2] = 32 \text{ J}$, 选项 C 正确; 小球受到重力与静电力, 合力为恒力, 方向斜向右下, 小球在 A 点时合力方向与速度方向之间的夹角为钝角, 小球在 M 点时合力方向与速度方向之间的夹角为锐角, 则小球从 A 点运动到 N 点的过程中, 合力对小球先做负功后做正功, 由动能定理知, 小球从 A 点运动到 M 点的过程中, 动能先减小后增大, 同理, 小球从 M 点运动到 B 点的过程中, 由于合力方向与速度方向的夹角始终为锐角, 所以合力一直做正功, 动能一直增大, 故小球从 A 点运动到 B 点的过程中, 最小动能一定小于 6 J, 选项 D 错误。

7. D 【解析】若保持极板带电荷量 Q 不变, 只将下极板向上平移一小段距离, 则根据 $E = \frac{U}{d} = \frac{Q}{Cd} = \frac{4\pi k Q}{\epsilon_r S}$, 可知两板间场强不变, 电子再次以同一速度从 O 点水平射入, 在电场中受力情况不变, 所以飞出时的位置仍在 P 点, 因下极板上移, 则此时 P 点的电势降低, 电子的电势能增加, 即电势能大于 E_p , 故选项 A、B、C 错误, D 正确。

8. B 【解析】离子在加速电场中做匀加速直线运动, 加速度为 $a_1 = \frac{qU_1}{dm}$, 由运动学公式得 $d = \frac{1}{2} a_1 t_1^2$, 联立解得离子在加速电场中运动的时间为 $t_1 = d \sqrt{\frac{2m}{qU_1}}$, 故 A 错误; 设离子进入偏转电场时速度为 v_0 , 由动能定理得 $qU_1 = \frac{1}{2} mv_0^2$, 离子在 M 、 N 板间运动的时间为 $t_2 = \frac{L}{v_0}$, 联立解得 $t_2 = L \sqrt{\frac{m}{2qU_1}}$, 故 B 正确; 当离子沿 M 或 N 板飞出时, 离子到达探测器时动能最大, 由动能定理得最大动能 $E_{km} = qU_1 + q \frac{U_2}{2}$, 故 C 错误; 为保证离子不打在 M 、 N 极板上, 粒子在竖直方向的偏转位移应小于 $\frac{L}{2}$, 有 $\frac{1}{2} \cdot \frac{qU_2}{Lm} t_2^2 < \frac{L}{2}$, 联立解得 $U_2 < 2U_1$, 故 D 错误。

9. (1) $2\sqrt{\frac{eU}{m}}$ (2) $\frac{1}{\cos \varphi} \sqrt{\frac{2eU}{m}} \leq v_p \leq 2\sqrt{\frac{eU}{m}}$ $\varphi \leq 45^\circ$ (3) $2.2eU$

【解析】(1) 根据题意, $0 \sim 0.5T$ 内, 由动能定理有 $-eU = 0 - \frac{1}{2} mv^2$, $0.5T \sim T$ 内, 由动能定理有 $eU = \frac{1}{2} mv_m^2 - \frac{1}{2} mv^2$, 联立解得 $v_m = 2\sqrt{\frac{eU}{m}}$

(2) 设电子离开 O_1 时的水平速度最小值为 $v_{\min}$, 由动能定理有 $eU = \frac{1}{2}mv_{\min}^2 - 0$

$$\text{解得 } v_{\min} = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

则电子落在位置 P 时的最小速度为

$$v_{P1} = \frac{v_{\min}}{\cos \varphi} = \frac{1}{\cos \varphi} \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

电子离开 O_1 后落在位置 P 时的最大

$$\text{速度为 } v_{P2} = v_m = 2\sqrt{\frac{eU}{m}}$$

由于 $v_{P2} \geq v_{P1}$

$$\text{故 } \cos \varphi \geq \frac{\sqrt{2}}{2}$$

即 $\varphi \leq 45^\circ$

电子落在 P 处的速率 v_P 的取值范围

$$\text{为 } \frac{1}{\cos \varphi} \sqrt{\frac{2eU}{m}} \leq v_P \leq 2\sqrt{\frac{eU}{m}}$$

(3) 当 $\varphi = 37^\circ$ 时, 电子到达屏 K_1 时的

$$\text{速度 } v \text{ 的取值范围为 } v_1 = \frac{5}{4}\sqrt{\frac{2eU}{m}} \leq$$

$$v \leq v_2 = 2\sqrt{\frac{eU}{m}}$$

0 时刻打开阀门 a , T 时刻恰好有电子穿过阀门 a , 说明 $0.5T$ 时刻从 O_1 射出的速率为 v_2 的电子在 T 时刻到达阀门 a , 有 $l_{O_1a} = v_2(T - 0.5T)$

该电子运动到阀门 b 过程, 有 $l_{O_1b} = v_2(t - 0.5T)$

又知 $l_{O_1a} = 2l_{O_1b}$

解得 $t = 1.5T$

即该电子在 $1.5T$ 时刻运动到阀门 b . 设 $1.52T$ 时刻能穿过阀门 b 的电子最小速率 v_3 , 则该电子是在 $0.5T$ 时刻从 O_1 射出, 有 $l_{O_1b} = v_3(1.52T - 0.5T)$

$$\text{解得 } v_3 = \frac{50}{51}v_2 = \frac{100}{51}\sqrt{\frac{eU}{m}}$$

由 $l_{O_1a} = v_3(t' - 0.5T)$

$$\text{解得 } t' = \frac{101}{100}T$$

由于 $t' < 1.5T$, 说明 $1.5T$ 时刻该电子已经穿过阀门 a .

则 $1.52T$ 时刻穿过阀门 b 的电子速率 v_b 在 $v_3 \sim v_2$ 之间, 电子在 K_2 与 GH 间电场中运动时, 水平方向有

$$x = v_b t \cos \theta$$

竖直方向有

$$y = v_b t \sin \theta - \frac{1}{2}at^2$$

$$eE = ma$$

其中 $x = l_{O_1a} \cos \theta = v_2(T - 0.5T) \cos \theta$

$$E = \frac{5}{T} \sqrt{\frac{mU}{e}}$$

电子通过虚线 GH 时的动能 $E_k = \frac{1}{2}mv_b^2 - eEy$

$$\text{联立得 } E_k = \frac{1}{2}mv_b^2 + \frac{(5eU)^2}{2mv_b^2} - 3eU$$

$$\text{当 } \frac{1}{2}mv_b^2 = \frac{(5eU)^2}{2mv_b^2}, \text{ 即 } v_b =$$

$$\sqrt{\frac{5eU}{m}} = \frac{\sqrt{5}}{2}v_2 \text{ 时, } E_k \text{ 最小, 由于}$$

$\frac{\sqrt{5}}{2}v_2 > v_2$, 所以 v_b 在 $v_3 \sim v_2$ 之间时, E_k 随 v_b 增大而减小, 因此当 $v_b = v_3$ 时, 电子通过虚线 GH 的动能最大, 为 $E_{k\max} \approx 2.2eU$.

第8讲 磁场

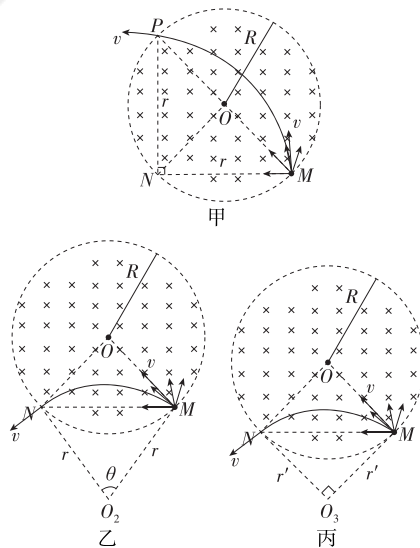
1. D 【解析】因磁感线是闭合曲线, 所以铁质圆柱内部有磁场, 没有将磁场屏蔽, 故 A 错误; 铁质圆柱和磁极间的磁场是均匀地辐向分布, 线圈转动过程中各个位置的磁感应强度大小相等, 但方向不同, 所以不是匀强磁场, 故 B 错误; 若更换更强的磁场, 则电流相同时安培力增大, 指针偏转到最大时对应的电流减小, 即电流表的量程将减小, 故 C 错误; 运输过程中把电表正负接线柱用导线相连, 则电流表内部的线圈形成闭合回路, 指针摆动时线圈中产生感应电流, 线圈受到与转动方向相反的安培力作用, 可减缓表针摆动幅度, 故 D 正确.

2. C 【解析】由右手螺旋定则可知, a 点处的电流在 c 点产生的磁场方向由 b 指向 c , 故 A 错误; 由右手螺旋定则可知, a 、 b 两点处的电流在 d 点产生的磁场方向相同, 则 d 点的磁感应强度大小为 $B_d = k \frac{4I}{2.5L} + k \frac{3I}{2.5L} = \frac{14kI}{5L}$, 故 B 错误; 设 b 、 e 两点之间的距离为 L_0 , 若 e 点的磁感应强度为 0, 则有 $k \frac{4I}{5L+L_0} - k \frac{3I}{L_0} = 0$, 解得 $L_0 = 15L$, 故 C 正确; a 点处的电流在 c 点产生的磁场的磁感应强度为 $B_1 = k \frac{4I}{4L} = k \frac{I}{L}$, b 点处的电流在 c 点产生的磁场的磁感应强度为 $B_2 = k \frac{3I}{3L} = k \frac{I}{L}$, 由右手螺旋定则可知, B_1 、 B_2 互相垂直, 则 c 点的磁感应强度大小为 $B_c = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \frac{\sqrt{2}kI}{L}$, 故 D 错误.

3. BC 【解析】带电粒子从 M 点进入磁场, 在磁场中做匀速圆周运动, 运动的周期 $T = \frac{2\pi m}{qB}$, 由于在磁场中运动时

间最长的粒子运动时间 $t_1 = \frac{\pi m}{2qB} = \frac{T}{4}$, 所以该粒子运动的圆弧为 $\frac{1}{4}$ 圆周, 其对应的弦应是磁场圆的直径, 如图甲所示, 设粒子从 M 点进入磁场时的速率为 v , 运动的半径为 r , 由几何关系得 $r = 2R \sin 45^\circ = \sqrt{2}R$, 由洛伦兹力提供向心力可得 $qvB = m \frac{v^2}{r}$, 解得 $v = \frac{\sqrt{2}qBR}{m}$, A 错误; 从 N 点离开磁场

的粒子运动轨迹如图乙所示, 设该粒子运动的圆弧所对的圆心角为 θ , 由几何关系可知 $MN = 2r \sin \frac{\theta}{2}$, 解得 $\theta = 60^\circ$, 则从 N 点离开磁场的粒子运动时间为 $t_2 = \frac{\theta}{360^\circ} T = \frac{1}{6} \cdot \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\pi m}{3qB}$, B 正确; 若将磁感应强度的大小增加到 $\sqrt{2}B$ 时, 则粒子运动轨迹如图丙所示, 由洛伦兹力提供向心力可得 $qv \cdot \sqrt{2}B = m \frac{v^2}{r'}$, 解得 $r' = \frac{mv}{\sqrt{2}qB} = R$, 由图可知 $O_3N \perp ON$, 即会有粒子沿 ON 方向从 N 点射出磁场, C 正确; 若将磁感应强度的大小增加到 $2\sqrt{2}B$, 则粒子运动的轨迹半径为 $r'' = \frac{mv}{2\sqrt{2}qB} = \frac{R}{2}$, 由于轨迹圆半径小于磁场圆半径, 所以当粒子运动轨迹对应的弦为轨迹圆直径时, 粒子射出磁场的点离入射点 M 最远, 设该点为 A 点, 则弦长 $AM = 2r'' = R$, 设弦 AM 对应磁场圆的圆心角为 θ' , 由几何关系得 $AM = 2R \sin \frac{\theta'}{2}$, 解得 $\theta' = 60^\circ$, 因此劣弧 MN 上只有从 M 点开始的 $\frac{1}{6}$ 圆周上的点会有粒子射出, D 错误.



4. (1) 速度方向与 y 轴正向夹角为 53° 0.2 T (2) 1.0×10^6 m/s $\left(\frac{37}{3000}\pi + 9.6 \times 10^{-3}\right) \text{ m}^2$ (3) 2.4×10^{-5} N

【解析】(1) 离子在匀强磁场中做匀速圆周运动, 根据对称性可知, 该离子从 A 点射出磁场时的速度方向与 y 轴正向夹角为 53° . 设该离子做圆周运动的轨迹半径为 r_0 , 由几何关系可知 $2r_0 \cos 37^\circ = \overline{OA}$ 根据洛伦兹力提供向心力得 $qv_0B = m \frac{v_0^2}{r_0}$ 联立解得 $B = 0.2$ T (2) 根据洛伦兹力提供向心力得

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

$$\text{解得 } v = \frac{qBr}{m}$$

可知发射速度最大对应的轨迹半径最大。

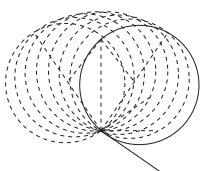
当沿 x 轴正方向发射的离子运动轨迹恰好与上边界相切时,其轨迹半径 $r_m = 0.1 \text{ m}$

以与 x 轴正向成 37° 角向第四象限入射的粒子做圆周运动的半径为 r_m 时其轨迹在 x 轴下方部分离 x 轴的最大距离为 $y_m = r_m - r_m \cos 37^\circ = 0.02 \text{ m} < 4 \text{ cm}$

故离子运动的最大半径为 $r_m = 0.1 \text{ m}$
发射离子的最大速度 $v_m = \frac{qBr_m}{m} =$

$$1.0 \times 10^6 \text{ m/s}$$

如图所示



以最大速度发射的离子能到达的区域面积等于半径为 0.1 m 的一个圆的面积加上顶角为 74° 、半径为 0.2 m 的一个扇形的面积再减去两个顶角为 106° 、半径为 0.1 m 的扇形各自的圆弧与弦所围区域的面积之和,即

$$S = \pi r_m^2 + \frac{74^\circ}{360^\circ} \pi (2r_m)^2 - 2 \left(\frac{106^\circ}{360^\circ} \pi r_m^2 - \frac{1}{2} r_m^2 \cdot \sin 106^\circ \right) = \left(\frac{37}{3000} \pi + 9.6 \times 10^{-3} \right) \text{ m}^2$$

(3) 设离子运动过程中某时刻沿 x 方向的分速度为 v_x , 沿 y 方向的分速度为 v_y , 通过 A 点时沿 x 方向的分速度为 v_{Ax} , 在水平方向上, 对单个离子从 O 到 A 点过程, 由动量定理得

$$-\sum k v_x \Delta t = \sum q v_y B \Delta t = m v_{Ax} - m v_0$$

$$\text{由于 } \sum v_x \Delta t = 0, \sum v_y \Delta t = \overline{OA}$$

$$\text{所以上式化简为 } -qB \cdot \overline{OA} = m(v_{Ax} - v_0)$$

$$\text{解得 } v_{Ax} = -7.5 \times 10^5 \text{ m/s}$$

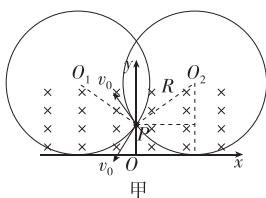
在 x 方向上, 对单位时间内收集板收集到的离子, 由动量定理得 $F_x = Nm(0 - v_{Ax})$

$$\text{解得 } F_x = 2.4 \times 10^{-5} \text{ N}$$

由牛顿第三定律得, 离子束对收集板的作用力沿 x 轴方向的分力大小为 $F_x' = F_x = 2.4 \times 10^{-5} \text{ N}$

$$5. (1) \frac{mv_0}{aq} \quad (2) \frac{\sqrt{15} + \sqrt{3}}{2} a \quad (3) \frac{Nm v_0^2}{6\pi a}$$

【解析】(1) 如图甲所示, 左、右两个与 x 轴相切的圆为临界圆。



由于放射源所发出的所有粒子中有 $\frac{1}{3}$ 不能到达 x 轴, 所以图中两个速度 v_0 的方向间夹角为 $\frac{1}{3} \times 2\pi = \frac{2\pi}{3}$, 则

$$\angle O_1 P O_2 = \frac{2\pi}{3}$$

由几何关系可知

$$R - R \sin \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{3} \right) = \frac{1}{2} a$$

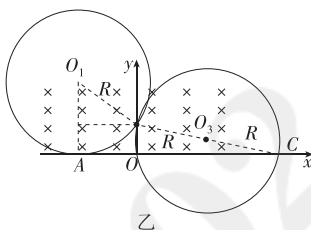
解得 $R = a$

由洛伦兹力提供向心力得

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

$$\text{解得 } B = \frac{mv_0}{aq}$$

(2) 粒子打 x 轴上的范围对应的两个临界圆如图乙所示。



OC 的长度为

$$L_1 = \sqrt{(2R)^2 - \left(\frac{1}{2} a \right)^2} = \frac{\sqrt{15}}{2} a$$

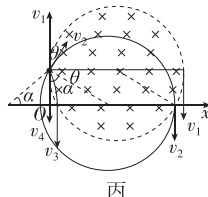
OA 的长度为

$$L_2 = \sqrt{R^2 - \left(R - \frac{1}{2} a \right)^2} = \frac{\sqrt{3}}{2} a$$

所以 x 轴上能接收到粒子的区域长

$$\text{度 } L = L_1 + L_2 = \frac{\sqrt{15} + \sqrt{3}}{2} a$$

(3) 粒子源所发出的部分粒子恰好垂直打在挡板上, 粒子做圆周运动的轨迹半径仍为 $R = a$, 轨迹如图丙所示。



粒子能垂直打在挡板上的区域有两部分:

右侧速度 v_1 与 v_2 之间区域对应的入

$$\text{射方向夹角 } \theta \text{ 满足 } \sin \theta = \frac{1}{2} \frac{a}{R}, \text{ 解得 } \theta = \frac{\pi}{6}$$

左侧速度 v_3 与 v_4 之间区域对应的入

$$\text{射方向夹角 } \alpha \text{ 满足 } \sin \alpha = \frac{1}{2} \frac{a}{R}, \text{ 解得 } \alpha = \frac{\pi}{6}$$

$$\text{得 } \alpha = \frac{\pi}{6}$$

粒子源所发出的能恰好垂直打在挡板上的所有粒子总动量的变化量大小

$$\Delta p = \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{6} Nm v_0 = \frac{Nm v_0}{6}$$

这部分粒子打在挡板上时运动的最短

$$\text{时间 } t_1 = \frac{a}{v_0} = \frac{a}{2v_0}$$

这部分粒子打在挡板上时运动的最长

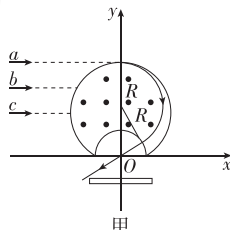
$$\text{时间 } t_2 = \frac{\pi a}{v_0} + \frac{1}{2} \frac{a}{v_0} = \frac{2\pi a + a}{2v_0}$$

设这部分粒子在先后到达板上的时间内对挡板的平均作用力大小为 $\overline{F}$, 由动量定理得 $\overline{F}(t_2 - t_1) = \Delta p$

$$\text{联立解得 } \overline{F} = \frac{Nm v_0^2}{6\pi a}$$

$$6. (1) 2 \text{ T} \quad (2) \frac{9}{40} \text{ m} \quad (3) \text{ 见解析}$$

【解析】(1) a 束粒子刚好能沿小圆半径方向穿过坐标原点, 则其运动的轨迹如图甲所示



设粒子在磁场中做圆周运动的轨迹半径为 R , 根据几何关系有 $(y_a - R)^2 = r_1^2 + R^2$

其中 $y_a = 0.9 \text{ m}$

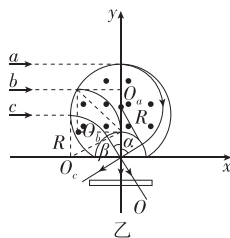
$$\text{解得 } R = 0.4 \text{ m}$$

根据洛伦兹力提供向心力, 有

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

$$\text{解得 } B = 2 \text{ T}$$

(2) 由于各束粒子相同, 所以每束粒子进入磁场后做圆周运动的轨迹半径都是 $R = 0.4 \text{ m}$, 三束粒子运动的轨迹如图乙所示



由几何关系可知 $y_c = y_a - y_{ab} - y_{bc} = 0.9 \text{ m} - 0.2 \text{ m} - 0.3 \text{ m} = 0.4 \text{ m} = R$, 故 c 束粒子做圆周运动的圆心刚好位于 x 轴上, 则其也能沿小圆半径方向穿过坐标原点, b 束粒子做圆周运动的圆心纵坐标为 $y_{ob} = y_a - y_{ab} - R = 0.3 \text{ m}$, 横坐标为 $x_{ob} = -\sqrt{r_2^2 - (r_1 - y_{ab})^2} = -0.4 \text{ m}$, 即圆心坐标为 $(-0.4 \text{ m}, 0.3 \text{ m})$, 由几何关系可知, b 粒子刚好从小圆与 y

轴交点处沿 y 轴负方向穿过坐标原点,由几何关系可得

$$\tan \alpha = \frac{R}{r_1}$$

$$\tan \beta = \frac{r_1}{R}$$

$$\text{解得 } \alpha = 53^\circ, \beta = 37^\circ$$

设电子屏能同时探测到三束粒子时与 x 轴的最大距离为 y_m ,由几何关系

$$\text{得 } \tan \alpha = \frac{r_1}{y_m}$$

$$\text{解得 } y_m = \frac{9}{40} \text{ m}$$

(3)当恰好只有 b 处的粒子击中电子屏时,设电子屏的纵坐标为 y' ,由几何关系得 $-y' \tan 37^\circ = 0.3 \text{ m}$

$$\text{解得 } y' = -0.4 \text{ m}$$

所以当电子屏的纵坐标 $y \geq -\frac{9}{40} \text{ m}$ 时,电子屏能探测到三束粒子,当

$-0.4 \text{ m} \leq y < -\frac{9}{40} \text{ m}$ 时,电子屏只能探测到 b 、 c 两束粒子,当 $y < -0.4 \text{ m}$ 时,电子屏只能探测 b 束粒子。

$$\text{由动量定理可得 } F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$\text{当 } y < -0.4 \text{ m 时, } F = Nmv = 0.768 \text{ N}$$

$$\text{当 } -0.4 \text{ m} \leq y < -\frac{9}{40} \text{ m 时, } F = Nmv + Nmv \cos 37^\circ = 1.3824 \text{ N}$$

$$\text{当 } y \geq -\frac{9}{40} \text{ m 时, } F = Nmv + Nmv \cos 53^\circ + Nmv \cos 37^\circ = 1.8432 \text{ N}$$

微专题 4 质谱仪、回旋加速器等组合场问题

1. (1) $\frac{E}{B_1} \quad \frac{2E}{B_1 B_2 d_1} \quad (2) \frac{20\pi B_2 d_1}{B_1}$
(3) $\frac{B_2}{3B_1} d_1$

【解析】(1)离子在速度选择器中沿直线运动,则电场力与洛伦兹力平衡,有 $qv_0 B_1 = qE$

$$\text{解得 } v_0 = \frac{E}{B_1}$$

由几何关系可知,打在感光区域中心 P 点的离子在分离器中做圆周运动的半径 $r_1 = \frac{d_1}{2}$

由洛伦兹力提供向心力,有 $qv_0 B_2 = m \frac{v_0^2}{r_1}$

$$\text{联立解得 } \frac{q}{m} = \frac{2E}{B_1 B_2 d_1}$$

(2)离子在加速电场中加速过程,根据动能定理得 $qU = \frac{1}{2}mv_0^2$

离子在分离器中做匀速圆周运动,由洛伦兹力提供向心力,有

$$qv_0 B_2 = m \frac{v_0^2}{r}$$

$$\text{联立可得 } r = \frac{1}{B_2} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$$

三种离子的电荷量相同,则质量最小的 ${}^3_2\text{He}$ 做圆周运动的轨迹半径最小,所以(1)中所解比荷对应 ${}^3_2\text{He}$ 、 ${}^4_2\text{He}$ 和 ${}^5_2\text{He}$ 三种离子在速度选择器内的磁场中做圆周运动的周期分别为

$$T_1 = \frac{2\pi m}{qB_1} = \frac{\pi B_2 d_1}{E}$$

$$T_2 = \frac{2\pi \cdot \frac{4}{3}m}{qB_1} = \frac{4\pi B_2 d_1}{3E}$$

$$T_3 = \frac{2\pi \cdot \frac{5}{3}m}{qB_1} = \frac{5\pi B_2 d_1}{3E}$$

要使感光板上出现 3 个有一定宽度的感光区域,三种离子应都能通过速度选择器,三种离子在速度选择器中都应运动整数个周期,则运动时间最小为 $t_0 = 20T_1$

$$\text{所以速度选择器极板的最小长度 } L = v_0 t_0 = \frac{20\pi B_2 d_1}{B_1}$$

(3)离子在速度选择器中做圆周运动这一分运动的最大半径为 $\frac{d}{4}$,对三种离子都有 $\frac{d}{4} = \frac{m\Delta v_1}{qB_1} = \frac{4m\Delta v_2}{3qB_1} =$

$$\frac{5m\Delta v_3}{3qB_1}$$

${}^3_2\text{He}$ 在分离器中做匀速圆周运动的最大直径为

$$D_{m1} = \frac{2m(v_0 + \Delta v_1)}{qB_2} = d_1 + \frac{2m\Delta v_1}{qB_2} =$$

$$d_1 + \frac{2m\Delta v_1}{qB_1} \times \frac{B_1}{B_2} = d_1 + \frac{d}{2} \times \frac{B_1}{B_2}$$

同理, ${}^4_2\text{He}$ 在分离器中做匀速圆周运动的最小直径为 $D_{m2} =$

$$2 \times \frac{4}{3}m(v_0 - \Delta v_2) \frac{B_1}{qB_2} = \frac{4}{3}d_1 - \frac{d}{2} \times \frac{B_1}{B_2}$$

${}^4_2\text{He}$ 在分离器中做匀速圆周运动的最大直径为 $D_{m2}' = \frac{4}{3}d_1 + \frac{d}{2} \times \frac{B_1}{B_2}$

${}^5_2\text{He}$ 在分离器中做匀速圆周运动的最小直径为 $D_{m3} =$

$$2 \times \frac{5}{3}m(v_0 - \Delta v_3) \frac{B_1}{qB_2} = \frac{5}{3}d_1 - \frac{d}{2} \times \frac{B_1}{B_2}$$

为能区分 3 种离子,应满足

$$D_{m1} < D_{m2}$$

$$D_{m2}' < D_{m3}$$

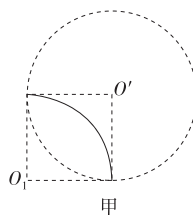
$$\text{联立解得 } d < \frac{B_2}{3B_1} d_1$$

因此该速度选择器的极板间最大间距为 $\frac{B_2}{3B_1} d_1$ 。

2. (1) $\frac{2U}{B^2 R^2} \quad (2) D$ 点右侧距离为 $\frac{\sqrt{3}}{3}R$

$$\text{处 } (3) \frac{\Delta B}{B} \leq 2 - \sqrt{3}$$

【解析】(1)当粒子打在记录板上 D 点时,如图甲所示



根据几何关系可知,粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动的半径 $r = R$

粒子在加速电场中加速过程,根据动能定理得 $qU = \frac{1}{2}mv^2$

粒子在磁场中做匀速圆周运动,根据洛伦兹力提供向心力可得 $qvB = m \frac{v^2}{r}$

$$\text{联立解得 } \frac{q}{m} = \frac{2U}{B^2 R^2}$$

(2)设 ${}^1_1\text{H}$ 在磁场中做匀速圆周运动的半径为 r_1 ,在加速电场中加速过程,根据动能定理得 $q_1 U = \frac{1}{2}m_1 v_1^2$

在磁场中做匀速圆周运动,根据洛伦兹力提供向心力得 $q_1 v_1 B = m_1 \frac{v_1^2}{r_1}$

$$\text{联立解得 } r_1 = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m_1 U}{q_1}}$$

同理, ${}^3_1\text{H}$ 在磁场中做匀速圆周运动的

$$\text{半径 } r_2 = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m_2 U}{q_2}}$$

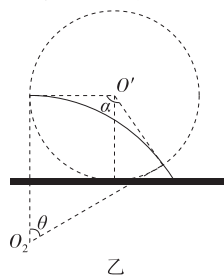
$$\text{由于 } q_2 = q_1, m_2 = 3m_1$$

$$\text{所以 } \frac{r_2}{r_1} = \sqrt{3}$$

${}^1_1\text{H}$ 恰好打在记录板上 D 点,由几何关系可知 $r_1 = R$

$$\text{则 } r_2 = \sqrt{3}R$$

${}^3_1\text{H}$ 在磁场中的运动轨迹如图乙所示



$$\text{由几何关系可知 } \tan \frac{\theta}{2} = \frac{R}{r_2}$$

$$\text{解得 } \theta = 60^\circ$$

$$\text{则 } \alpha = 180^\circ - \theta = 120^\circ$$

${}^3_1\text{H}$ 打在 D 点右侧与 D 点的距离为

$$x = R \tan(\alpha - 90^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{3}R$$

(3)若 ${}^1_1\text{H}$ 在磁感应强度为 $B - \Delta B$ 时与 ${}^3_1\text{H}$ 在磁感应强度为 $B + \Delta B$ 时打在记录板上同一位置,则两粒子的轨迹恰好重合,此时做匀速圆周运动的半径相等,有

$$\frac{1}{B - \Delta B} \sqrt{\frac{2m_1 U}{q_1}} = \frac{1}{B + \Delta B} \sqrt{\frac{2m_2 U}{q_2}}$$

$$\text{解得 } \Delta B = (2 - \sqrt{3})B$$

$$\text{所以 } \frac{\Delta B}{B} \text{ 应满足的条件为 } \frac{\Delta B}{B} \leq 2 - \sqrt{3}$$

$$3. (1) \frac{\sqrt{2mE_k}}{eR} \quad (2) d \sqrt{\frac{eU+E_k}{E_k}}$$

$$(3) \frac{E_k(L^2-d^2)}{eUd^2}$$

【解析】(1)电子在磁场中做匀速圆周运动,由洛伦兹力提供向心力,

$$evB = m \frac{v^2}{R}$$

$$\text{又知 } E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{联立解得 } B = \frac{\sqrt{2mE_k}}{eR}$$

(2)某次电子束被加速前长度 $d = v_0 \Delta t$

$$\text{其中 } \frac{1}{2}mv_0^2 = E_k$$

加速一次过程,由动能定理有 $eU = \frac{1}{2}mv_1^2 - E_k$

电子束被加速一次后长度为 $d_1 = v_1 \Delta t$

$$\text{联立解得 } d_1 = d \sqrt{\frac{eU+E_k}{E_k}}$$

(3)注入初动能为 E_k 、长度为 d 的电子束,可以被加速腔加速 n 次,由动能

$$\text{定理有 } neU = \frac{1}{2}mv_n^2 - E_k$$

加速后的长度 $d_n = v_n \Delta t$

应满足 $d_n \leq L$

$$\text{联立解得 } n \leq \frac{E_k(L^2-d^2)}{eUd^2}$$

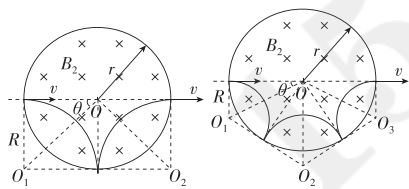
即最多可以被加速腔加速次数为 $\frac{E_k(L^2-d^2)}{eUd}$

$$4. (1) \frac{eB_2 r}{m} \tan \frac{\pi}{2(n+1)} (n=1,2,3,\dots)$$

$$(2) B_1 = \frac{B_2 r}{R_0} \tan \frac{\pi}{2(n+1)} (n=1,2,3,\dots)$$

$$\frac{\sqrt{3}B_2 r}{3R_0} \quad (3) \frac{\sqrt{3}\pi B_2 r R_0}{6t}$$

【解析】(1)电子在圆筒中既碰撞又做圆周运动的情形呈现周期性和对称性,作出两种情况为例,如图所示



电子做圆周运动的一个单元夹角 $\theta =$

$$\frac{\pi}{2(n+1)} (n=1,2,3,\dots)$$

由几何关系可知,电子做圆周运动的半径 $R = r \tan \theta$

$$\text{由洛伦兹力提供向心力有 } evB_2 = m \frac{v^2}{R}$$

联立解得电子与下圆筒壁碰撞 n ($n=1,2,3,\dots$) 次的电子的速率为

$$v = \frac{eB_2 r}{m} \tan \frac{\pi}{2(n+1)} (n=1,2,3,\dots)$$

(2)电子在回旋加速器中运动刚离开时,由洛伦兹力提供向心力,有 $eB_1 v = m \frac{v^2}{R_0}$

$$\text{解得 } B_1 = \frac{B_2 r}{R_0} \tan \frac{\pi}{2(n+1)} (n=1,2,$$

3,...

$$\text{当 } n=2 \text{ 时, } B_1 = \frac{\sqrt{3}B_2 r}{3R_0}$$

(3)电子在回旋加速器中做匀速圆周

$$\text{运动的周期 } T = \frac{2\pi m}{eB_1}$$

$$\text{加速的次数为 } N = \frac{t}{\frac{1}{2}T}$$

加速 N 次过程中,由动能定理

$$\text{得 } N \cdot eU = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{当 } n=2 \text{ 时, } v = \frac{\sqrt{3}eB_2 r}{3m}, B_1 = \frac{\sqrt{3}B_2 r}{3R_0}$$

$$\text{联立解得加速电压为 } U = \frac{\sqrt{3}\pi B_2 r R_0}{6t}$$

微专题 5 速度选择器、霍尔效应等叠加场问题

1. D 【解析】根据左手定则可,正、负

离子进入平行板 M 、 N 间时,正离子受到向下的洛伦兹力,负离子受到向上的洛伦兹力,所以正离子打到 N 板,负离子打到 M 板, N 板电势高于 M 板,则 Q 板电势高于 P 板,放射源 S 释放的粒子受到向上的电场力,电场力方向与场强方向相同,说明粒子带正电,故 A 错误;根据平衡条件可

$$\text{得 } q_0 v_0 B = q_0 \frac{U}{d}, \text{放射源 } S \text{ 释放的粒子加速过程,由动能定理有 } qU = \frac{1}{2}mv^2, \text{联立可得 } v = \sqrt{\frac{2qBv_0 d}{m}}, \text{由}$$

此可知,粒子射出的速度 v 与 q_0 及 P 、 Q 间距无关,当 v_0 和 B 同时变为原来的 2 倍时,可使 v 变为原来的 2 倍,故 B、C 错误, D 正确。

2. D 【解析】将通电导电液看成导体棒,受到的安培力 $F = BIl$,根据左手

定则可,磁场对导电液的作用力方向为水平向左,故 A 错误;电源输出的电功率一部分转化为安培力的功率 $P_1 = Fv = BIlv$,另一部分转化为导电液产生的热功率,所以电源的输出功率大于 $BIlcv$,故 B 错误;由安培力做功的特点可知,电磁泵的机械功率等于安培力的功率,即 $P_{机} = P_1$, Δt 时间内被抽至泵体中的液体的质量为 $\Delta m = Dbcv \Delta t$,这部分液体的动能增加量为 $\Delta E_k = \frac{1}{2} \Delta mv^2 = \frac{1}{2} Dbcv^3 \Delta t$,

这部分液体的重力势能增加量为 $\Delta E_p = \Delta mgh = Dbcvgh \Delta t$,电磁泵的机械功率等于单位时间内被抽至泵内的液体的动能增加量和重力势能增加量之和,即 $P_{机} = \frac{\Delta E_k}{\Delta t} + \frac{\Delta E_p}{\Delta t}$,联立可

$$\text{得 } BIlcv = \frac{1}{2} Dbcv^3 + Dbcvgh, \text{解得}$$

$$v = \sqrt{\frac{2BI}{Db} - 2gh}, \text{当 } v=0, \text{即导电液的流速为零时,上式中的 } h \text{ 最大,为}$$

$$h_{\max} = \frac{BI}{Dbg}, \text{故 C 错误, D 正确。}$$

3. B 【解析】设霍尔片前、后侧面间的电压为 U ,根据洛伦兹力与电场力平衡可得 $qvB = qE_1$,又知 $I = neSv = nebcv$,

$$E_1 = \frac{U}{b}, \text{联立解得 } U = \frac{BI}{nec}, \text{故 A 错}$$

误;霍尔片内沿前后侧面的电场强度大小为 $E_1 = \frac{U}{b} = \frac{BI}{necb}$,沿电流方向的

$$\text{恒定电场的场强为 } E = \frac{v}{\mu} = \frac{I}{\mu n e b c}, \text{则}$$

$$\text{霍尔片内的电场强度为 } E_{\text{霍}} =$$

$$\sqrt{E_1^2 + E^2} = \frac{I}{n e b c} \sqrt{B^2 + \frac{1}{\mu^2}}, \text{故 B 正}$$

确;由于光电管所加的电压为正向电压,所以调节滑动变阻器时,不能使电流表的示数减为零,故 C 错误;若 I 为光电效应达到的饱和电流,则当滑动变阻器的滑片右移后,电流 I 保持不变,单位时间内到达光电管阳极的光电子数仍等于 $\frac{I}{e}$,故 D 错误。

4. C 【解析】能够进入圆形区域的粒子在平行板间必须沿直线运动,应满足

$$qvB_1 = qE, \text{解得 } v = \frac{E}{B_1}, \text{则粒子在极}$$

$$\text{板间运动的时间为 } t = \frac{L}{v} = \frac{B_1 L}{E}, \text{故}$$

A 错误;要使进入圆形区域的粒子都从 D 点离开电场,还应使粒子在磁场中做匀速圆周运动的半径 $R = \frac{d}{2}$,由

$$\text{洛伦兹力提供向心力得 } qvB_2 = m \frac{v^2}{R},$$

$$\text{联立解得 } \frac{q}{m} = \frac{2E}{B_1 B_2 d}, \text{所以若 } \frac{q}{m} =$$

$$\frac{2E}{B_1 B_2 d}, \text{则粒子都将由 } D \text{ 点离开圆形}$$

磁场,设分别从距上、下极板 $\frac{d}{4}$ 处射出

极板的两粒子在圆形磁场中转过的心角分别为 α 、 β ,如图所示,由几何关系可知 $R \cos(180^\circ - \alpha) = \frac{d}{4}$, $R -$

$$R \cos \beta = \frac{d}{4}, \text{解得 } \alpha = 120^\circ, \beta = 60^\circ, \text{由}$$

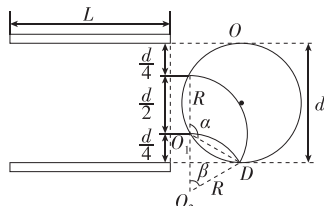
于两粒子在磁场中做匀速圆周运动的

$$\text{周期均为 } T = \frac{2\pi m}{qB_2} = \frac{\pi B_1 d}{E}, \text{即周期相}$$

同,故粒子在圆形磁场区域中运动时间之比 $t_1 : t_2 = \alpha : \beta = 2 : 1$,紧贴上极板的带电粒子从进入电容器到离开右侧圆形磁场区域运动的总时间 $t =$

$$L + \frac{d}{2} + \frac{\pi}{2} d = \left(\frac{\pi d}{2} + L + \frac{d}{2} \right) \frac{B_1}{E}, \text{故}$$

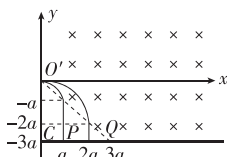
B、D 错误, C 正确。



5. (1) $y = -x$ (2) $\frac{v_0}{Ba}$

(3) $\frac{3}{2}N_0mv_0$ (4) $4a$

【解析】(1) N 个粒子从 O' 沿 x 轴方向进入磁场, 经磁场偏转后, 均垂直打在探测板上 P 、 Q 之间, 则运动轨迹如图所示



由几何关系可知, 第四象限磁场下边界的函数关系式为 $y = -x$

(2) 对打在 P 的粒子, 有

$$qv_0B = m \frac{v_0^2}{a}$$

解得粒子的比荷 $\frac{q}{m} = \frac{v_0}{Ba}$

(3) 对于落在 P 、 Q 之间的粒子, 当落点到 y 轴距离为 x 时, 有

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

联立可得 $v = \frac{v_0}{a}x$

由于 $a \leq x \leq 2a$, 故 $v_0 \leq v \leq 2v_0$

对于 Δt 时间内打在探测板上的所有粒子, 由动量定理得

$$0 - N_0 \Delta t \cdot \frac{mv_0 + 2mv_0}{2} = -F \Delta t$$

解得 $F = \frac{3}{2}N_0mv_0$

根据牛顿第三定律可知, 探测板受到粒子的总作用力大小 $F' = F = \frac{3}{2}N_0mv_0$

(4) 能从 O' 点射出的粒子在速度选择器中的运动可以看成匀速直线运动和圆周运动的合运动。

速度为 v_0 的粒子在速度选择器中只做匀速直线运动, 有

$$qv_0B = Eq$$

利用“配速法”, 将速度为 $2v_0$ 的粒子的运动拆分成以速度 $v_1 = v_0$ 做匀速直线运动和以速度 $v_2 = 2v_0 - v_0$ 做匀速圆周运动, 则轨迹圆的直径等于速度选择器两板间的间距 L 的一半,

$$\text{即 } 2r = \frac{1}{2}L$$

由洛伦兹力提供向心力, 有

$$q(2v_0 - v_0)B = m \frac{(2v_0 - v_0)^2}{r}$$

解得速度选择器两极板的间距 $L = 4a$

6. (1) $\frac{mg}{q}$ (2) $\frac{qB_0R}{m}$ (3) $\frac{2\sqrt{2}}{3}R$

【解析】(1) 带电微粒在复合场中做匀速圆周运动, 则微粒在复合场中所受的重力与电场力平衡, 有 $qE = mg$

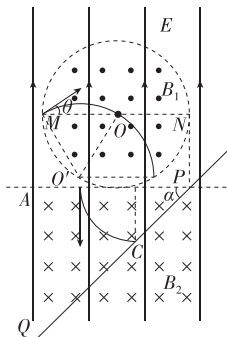
$$\text{解得 } E = \frac{mg}{q}$$

(2) 作出微粒运动的轨迹如图所示, 轨迹的圆心为 O' , 轨迹又经过圆心

O , 所以 $\triangle O'MO$ 是等边三角形, 微粒做匀速圆周运动的半径与圆形磁场的半径相等, 也是 R , 设微粒的速度大小为 v_0 , 由合力提供向心力得

$$qv_0B_1 = m \frac{v_0^2}{R}$$

$$\text{解得 } v_0 = \frac{qB_0R}{m}$$



(3) 由于微粒做匀速圆周运动的半径与圆形磁场的半径相等, 根据磁聚焦的知识可知, 微粒射出圆形磁场的速度方向都向下, 微粒进入 AP 下方复合场中仍做匀速圆周运动, 由合力提供向心力得 $qv_0B_2 = m \frac{v_0^2}{r}$

$$\text{解得 } r = \frac{2mv_0}{3qB_0} = \frac{2}{3}R$$

微粒在 AP 下方磁场中运动 $\frac{1}{4}$ 圆弧并刚好交于收集板 PQ 的 C 点, 则 C 点就是收集板 PQ 上有微粒能打到的点中离 P 点最远的点, PC 是收集板 PQ 上有微粒打到的长度, 由几何关系得

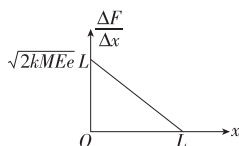
$$PC = \frac{r}{\sin \alpha} = \frac{2\sqrt{2}}{3}R$$

微专题 6 电磁场中的空间立体问题和摆线问题

1. (1) $Ee(L-x)$ (2) $\frac{eB(R_2^2 - R_1^2)}{2R_2m}$

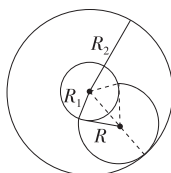
(3) $\frac{\Delta F}{\Delta x} = \sqrt{2kMEe}(L-x)$ 如图所示

(4) $\frac{1}{2}L^2 \sqrt{2kMEe}$



【解析】(1) 在 x 处的一个氦原子被电离后从右侧栅极射出时, 电场力作用的距离为 $L-x$, 由动能定理可知其射出时的动能 $E_k = Ee(L-x)$

(2) 电子在筒内垂直于 x 轴方向上做圆周运动, 要使电子不碰到外筒壁, 电子沿径向发射速度最大时, 电子源应在内圆筒处, 则电子运动轨迹如图所示



由几何关系可知 $(R_2 - R)^2 = R^2 + R_1^2$

$$\text{解得 } R = \frac{R_2^2 - R_1^2}{2R_2}$$

根据洛伦兹力提供向心力, 有

$$ev_mB = m \frac{v_m^2}{R}$$

解得电子沿径向发射的最大初速度

$$v_m = \frac{eB(R_2^2 - R_1^2)}{2R_2m}$$

(3) Δt 时间内在 $x \sim x + \Delta x$ 的微小区域内被电离的氦离子个数 $\Delta n = \lambda \Delta t \Delta x = \sqrt{k(L-x)} \Delta t \Delta x$

这些氦离子从右侧栅极射出时所产生的推力 $\Delta F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\Delta n M v}{\Delta t}$

$$\text{每个氦离子的动能 } E_k = \frac{1}{2}Mv^2$$

$$\text{由 (1) 知 } E_k = Ee(L-x)$$

$$\text{联立解得 } \frac{\Delta F}{\Delta x} = \sqrt{2kMEe}(L-x)$$

$\frac{\Delta F}{\Delta x} - x$ 图像如图所示

(4) 由图像可知, 推进器所受的推力 $F = \frac{1}{2} \times \sqrt{2kMEe} L \times L =$

$$\frac{1}{2}L^2 \sqrt{2kMEe}$$

2. (1) $\frac{2U}{R}$ (2) $\frac{2U}{L}$ (3) $\frac{1}{L} \sqrt{\frac{Um}{2q}} \leq B \leq$

$$\frac{2}{L} \sqrt{\frac{Um}{2q}} \quad (4) \left(\frac{27 + 2\pi^2}{27} L, \sqrt{3}L, 0 \right)$$

【解析】(1) 粒子经过加速电场加速, 根据动能定理有

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

$$\text{解得 } v_0 = \sqrt{\frac{2Uq}{m}}$$

粒子在辐向电场中做匀速圆周运动,

由电场力提供向心力, 有 $m \frac{v_0^2}{R} = E_0q$

$$\text{解得 } E_0 = \frac{2U}{R}$$

(2) 若仅在正方体区域中加上沿 MN 方向的匀强电场, 则粒子在电场中做类平抛运动, 只要从 MJ 边入射的粒子能够恰好通过 PP_1 边, 所有粒子就都能到达平面 NPP_1N_1 , 由类平抛运动规律可得

$$qE_1 = ma$$

$$2L = \frac{1}{2}at^2$$

$$2L = v_0t$$

$$\text{联立解得 } E_1 = \frac{2U}{L}$$

(3) 若仅在正方体区域中加上沿 MN 方向的匀强磁场, 则粒子在磁场中做匀速圆周运动, 当从 MH 边射入的粒子恰好到达 P_1Q_1 边时, 所加的磁场的磁感应强度对应最小值 $B_{\min}$.

根据几何关系可得 $r_1 = 2L$

由洛伦兹力提供向心力, 有

$$qv_0B_{\min} = m \frac{v_0^2}{r_1}$$

联立解得 $B_{\min} = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{Um}{2q}}$

当从 MH 边射入的粒子恰好到达 M_1N_1 边时,所加的磁场的磁感应强度对应最大值 $B_{\max}$.

根据几何关系可得 $r_2 = L$

由洛伦兹力提供向心力,有

$$qv_0 B_{\max} = m \frac{v_0^2}{r_2}$$

联立解得 $B_{\max} = \frac{2}{L} \sqrt{\frac{Um}{2q}}$

所以磁感应强度 B 的大小范围是

$$\frac{1}{L} \sqrt{\frac{Um}{2q}} \leq B \leq \frac{2}{L} \sqrt{\frac{Um}{2q}}$$

(4) 若在正方体区域中同时加上沿 MN 方向的匀强电场和匀强磁场,则粒子的运动可分解为在平行于 yM_1z 的平面内做圆周运动和在 x 方向做匀加速直线运动.

如果不考虑 x 方向的匀加速运动,则粒子在正方体区域中做匀速圆周运动的

$$\text{周期 } T = \frac{2\pi m}{qB_{\min}}$$

设运动的轨迹对应的圆心角为 θ ,由几何关系可知 $r_1 - r_1 \cos \theta = L$

$$\text{解得 } \theta = \frac{\pi}{3}$$

$$\text{所以运动的时间 } t = \frac{\theta}{2\pi} T$$

$$\text{联立解得 } t = \frac{\pi L}{3} \sqrt{\frac{2m}{Uq}}$$

如果不考虑平面内的圆周运动,则粒子在正方体区域中做类平抛运动,有

$$L = \frac{1}{2} a' t'^2$$

$$q \cdot \frac{E_1}{3} = ma'$$

$$\text{联立解得运动的时间 } t' = L \sqrt{\frac{3m}{Uq}}$$

因为 $t < t'$,故粒子会从平面 $M_1N_1P_1Q_1$ 离开正方体区域.

粒子离开正方体区域时,其 x 坐标为

$$x_0 = L + \frac{1}{2} a' t'^2 = \frac{27 + 2\pi^2}{27} L$$

根据几何关系可知,其 y 坐标为

$$y_0 = 2L \sin \frac{\pi}{3} = \sqrt{3} L$$

其 z 坐标为 $z_0 = 0$

所以粒子离开时的坐标

$$\text{为 } \left(\frac{27 + 2\pi^2}{27} L, \sqrt{3} L, 0 \right)$$

3. (1) $\frac{mv_0}{2qd}$ (2) $\frac{2mv_0^2}{\pi^2 qd}$
(3) $(0, -3d, 4d)$

【解析】(1) 由几何关系可知,粒子在 yOz 平面左侧磁场中做匀速圆周运动的

$$\text{半径 } r_1 = \frac{\sqrt{3}d}{\sin 60^\circ} = 2d$$

根据洛伦兹力提供向心力得

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

$$\text{联立解得 } B = \frac{mv_0}{2qd}$$

(2) 粒子第一次经过 y 轴后,沿 y 方向在电场力作用下做匀加速直线运动,同时沿垂直于 y 轴的平面在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动,因轨迹上离 yOz 平面最远的点恰好落在 xOz 平面上,可知粒子到达 xOz 平面上时恰好做 $\frac{1}{4}$ 个圆周运动,则运动的时间

$$t = \frac{T}{4}$$

由于 yOz 左右两侧匀强磁场的磁感应强度大小相等,粒子在左右两侧都是初速度方向垂直于磁场方向,所以粒子在右侧磁场中做圆周运动的半径

$$\text{也为 } r_1, \text{ 周期 } T = \frac{2\pi r_1}{v_0}$$

$$\text{沿 } y \text{ 方向有 } r_1 - r_1 \cos 60^\circ = \frac{1}{2} \cdot$$

$$\frac{qE}{m} t^2$$

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

(3) 粒子第二次经过 yOz 平面时在右侧磁场中运动了半个圆周,则所用时间为 $t' = 2t$

粒子沿 y 方向做匀加速直线运动,因在 O 点上方和下方所用时间相等,可知沿 y 轴的坐标

$$y = -3(r_1 - r_1 \cos 60^\circ) = -3d$$

$$\text{沿 } z \text{ 轴的坐标 } z = 2r_1 = 4d$$

所以粒子第二次经过 yOz 平面时的位置坐标为 $(0, -3d, 4d)$.

4. (1) $\frac{qBR}{m}$ (2) $\frac{12\pi m}{qB} + \frac{15\pi m}{2qB_0}$
(3) $5mv_1^2 - \frac{5p^2}{6m}$ (4) $\frac{4\sqrt{3}nq^2BR}{21\pi m}$

【解析】(1) 当氦核的轨迹恰好与容器相切时,氦核恰好不与容器相碰,设氦核做匀速圆周运动的半径为 r ,由几何关系得 $\sqrt{r^2 + R^2} + r = R_0$

$$\text{其中 } R_0 = (\sqrt{2} + 1)R$$

$$\text{联立解得 } r = R$$

根据洛伦兹力提供向心力得

$$qv_{01} B = m \frac{v_{01}^2}{r}$$

$$\text{解得 } v_{01} = \frac{qBR}{m}$$

(2) 设氦核做匀速圆周运动的半径为 r' ,根据洛伦兹力提供向心力得

$$qv_{02} B = \frac{3}{2} m \frac{v_{02}^2}{r'}$$

$$\text{其中 } v_{02} = \frac{2\sqrt{3}qBR}{9m}$$

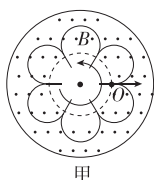
$$\text{联立解得 } r' = \frac{\sqrt{3}}{3} R$$

$$\text{根据几何关系可知 } \tan \frac{\theta}{2} = \frac{r'}{R}$$

$$\text{解得 } \theta = 60^\circ$$

即氦核再次回到内圆边界时,其出射点与入射点对应内圆的圆心角为 60° . 氦核沿径向进入内圆,在内圆磁场作用下沿轴向运动半个周期后再次回到

内圆边界沿径向飞出,进入外环磁场,然后做周期性的运动,粒子在垂直于轴线的平面内的运动轨迹如图甲所示



甲

粒子沿轴线方向的运动轨迹如图乙所示



乙

氦核在外环中运动的周期

$$T_1 = \frac{2\pi \cdot \frac{3}{2}m}{qB} = \frac{3\pi m}{qB}$$

氦核在内圆中运动的周期

$$T_2 = \frac{2\pi \cdot \frac{3}{2}m}{qB_0} = \frac{3\pi m}{qB_0}$$

所以氦核第一次回到 D 点所在的轴线上需要的时间为 $t = 6 \times \frac{2}{3} T_1 + 5 \times$

$$\frac{1}{2} T_2 = \frac{12\pi m}{qB} + \frac{15\pi m}{2qB_0}$$

(3) 氦核与氦核的动能分别为 $E_{k2} =$

$$\frac{p^2}{2m}, E_{k3} = \frac{p^2}{3m}$$

$$\text{由动量守恒定律得 } 2mv_1 = \frac{1}{2}mv_n$$

$$\text{解得 } v_n = 4v_1$$

该过程释放的核能 $\Delta E =$

$$\left(\frac{1}{2} \times 2mv_1^2 + \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}mv_n^2 \right) - \left(\frac{p^2}{2m} + \frac{p^2}{3m} \right) = 5mv_1^2 - \frac{5p^2}{6m}$$

$$(4) \text{ 根据电流的定义式得 } I = \frac{Q}{t} =$$

$$\frac{nvtq}{t}$$

氦核沿轴线方向的平均速度为 $\bar{v} =$

$$\frac{2r_0}{t_1 + t_2}$$

$$\text{其中 } t_1 = \frac{2}{3} T_1, t_2 = \frac{1}{2} T_2$$

氦核在内圆中做匀速圆周运动,根据洛伦兹力提供向心力得

$$qv_{02} B_0 = \frac{3}{2} m \frac{v_{02}^2}{r_0}$$

$$\text{又知 } v_{02} = \frac{2\sqrt{3}qBR}{9m}, B_0 = B$$

$$\text{联立解得 } I = \frac{4\sqrt{3}nq^2BR}{21\pi m}$$

第9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】设电源的内阻为 r , 根据闭合电路的欧姆定律有 $I =$

$\frac{E}{r + R_1 + R_2}$, 当飞行高度过低时, 对气压传感器的压力增大, 气压传感器的电阻减小, 回路中总电阻减小, 电流增大, 根据题意, a 、 b 两端的电压即 R_1 两端的电压要减小到小于一个定值 U_2 , 控制开关才会自动开启低位预警, 由于电源内电压和定值电阻两端电压都增大, 只有气压传感器两端电压减小, 所以 R_1 为气压传感器、 R_2 为定值电阻才能满足控制要求, 同理, 当飞行高度过高时, 对气压传感器的压力减小, 气压传感器的电阻增大, 电路中总电阻增大, 电流减小, 电源内电压和定值电阻两端电压都减小, 只有气压传感器两端电压增大, a 、 b 两端电压超过一个定值 U_1 , 控制开关自动开启高位预警, 因此 $U_1 > U_2$, 故 A、B 错误, C 正确; 根据闭合电路的欧姆定律有

$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_2 + r}$, 则 $U_{ab} = E - I_1(R_2 + r) = E - \frac{E(R_2 + r)}{R_1 + R_2 + r} = E - \frac{E}{\frac{R_1}{R_2 + r} + 1}$, 当 U_{ab} 达到能够自动开启高位预警的电压值 U_1 时, 定值电阻 R_2 的阻值越大, 则气压传感器 R_1 的阻值越大, 飞行高度越高, 即开启高位预警时的位置越高, 故 D 错误。

3. A 【解析】设该交变电流的有效值为 I , 由电流的热效应有 $I^2 RT =$

$\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 R \cdot \frac{T}{6} + (\sqrt{2})^2 R \cdot \frac{T}{2} + \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 R \cdot \frac{T}{3}$, 解得 $I = \frac{\sqrt{51}}{6} \text{ A}$, 故 A 正确。

4. D 【解析】根据题图可知, 当 LED 两端电压为 2.0 V 以下时, LED 的电流几乎为零, 其电阻近似无穷大, 故 A 错误; 根据题图可知, 当 LED 两端电压为 3.0 V 时, 通过的电流为 50 mA, 则其消耗的功率为 $P = UI = 0.15 \text{ W}$, 故 B 错误; 根据题图可知, 如果把电压 3.0~3.5 V 段近似看作直线, 那么在这一电压范围内, 图像上的点与原点连线的斜率随着电压的增大而增大, 根据部分电路的欧姆定律有 $I = \frac{U}{R}$, 可知该斜率大小表示电阻的倒数, 斜率增大, 则电阻减小, 说明 LED 的电阻随接

入两端电压的增大而减小, 故 C 错误, D 正确。

5. C 【解析】根据题图可知, 图甲产生的是正弦交流电, 图乙中, 由于电刷的原因, 线圈中电流方向不变, 大小随时间正弦变化。由于两图中其他部件均完全相同, 两线圈以相同的角速度在匀强磁场中旋转, 则感应电动势的最大值相同, R 两端的电压有效值、流过 R 的电流有效值大小相等, 在 $0 \sim \frac{T}{4}$ 时间内, 两图中流过 R 的电荷量相等, 在 $0 \sim T$ 时间内, 两图中电阻 R 上产生的焦耳热相等, 故 A、B、D 正确。由图示位置开始转动时, 两图中流过 R 的电流方向相同, 在 $t = \frac{T}{4}$ 时, 图甲中流过 R 的电流方向改变, 图乙中流过 R 的电流方向不变, 故 C 错误。

6. A 【解析】由电路图可知, 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, 电路的总电阻不变, 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 $R' = \rho \frac{l}{S}$, $mg = kl$, 联立可得

$U = \frac{I \rho g}{kS} m$, 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 $U = \frac{I \rho g}{kS} m$ 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 $U = \frac{I \rho g}{kS} m$ 可知, 电子秤的灵敏度 $\left| \frac{\Delta U}{\Delta m} \right| = \frac{I \rho g}{kS}$, 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。

7. C 【解析】由 $v-t$ 图像可知, 发电机产生正弦式交流电, 产生的电动势的最大值为 $E_m = Bn \cdot 2\pi r v_0$, 由于线圈 a 的电阻不计, 所以变压器原线圈两端电压最大值 $U_{1m} = E_m = 2n\pi Br v_0$, 因理想变压器原、副线圈匝数之比为 k , 则副线圈两端电压最大值即 L_1 两端电压最大值为 $U_{2m} = \frac{2n\pi Br v_0}{k}$, A 错误; 副线圈两端电压有效值为 $U_2 = \frac{2n\pi Br v_0}{\sqrt{2}k} = \frac{\sqrt{2}n\pi Br v_0}{k}$, 两

灯泡并联的总电阻为 $\frac{R}{2}$, 则电流表 A 的读数为 $I = \frac{U_2}{\frac{R}{2}} = \frac{2\sqrt{2}n\pi Br v_0}{kR}$, B 错误; 线圈 a 的输出功率为 $P = U_2 I = \frac{4n^2 \pi^2 B^2 r^3 v_0^2}{k^2 R}$, C 正确; 若断开开关 S,

则副线圈两端电压不变, 所以 L_1 中电流不变, 但副线圈中电流减半, 因此原线圈中电流减半, D 错误。

8. D 【解析】设电源输出电压为 U , 根据 $U = U_1 + I_1 R_1$, $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$, $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$,

$R_{\text{副}} = \frac{U_2}{I_2}$, 解得 $I_1 = \frac{U}{R_1 + \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 R_{\text{副}}}$,

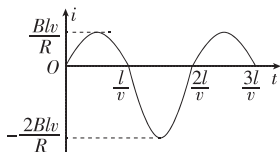
$U_1 = \frac{U}{1 + \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \cdot \frac{R_1}{R_{\text{副}}}}$, 滑动变阻器 R 的滑片向下滑动少许, 则 R 接入电路的阻值增大, 副线圈电路的总电阻 $R_{\text{副}}$ 增大, 由上式可知, I_1 减小, U_1 增大, 所以灯泡 L_1 变暗, 电压表 V 的示数增大, 选项 A、B 错误。根据 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$, 因 U_1 增大, 故 U_2 增大, I_{L_2} 增大, 灯泡 L_2 变亮, D 正确。根据 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$, $I_2 = I_{L_2} + I_{R_0}$, $P_{R_0} = I_{R_0}^2 R_0$, 因 I_1 减小, 故 I_2 减小, 又因 I_{L_2} 增大, 则 I_{R_2} 减小, 定值保护电阻 R_0 的电功率减小, 选项 C 错误。

9. D 【解析】根据理想变压器原、副线圈的电压与匝数关系有 $\frac{U_3}{U_4} = \frac{n_3}{n_4} =$

$\frac{450}{11}$, 解得 $U_3 = 9000 \text{ V}$, 理想变压器无能量损失, 则 $P_3 = P_4 = 450 \text{ kW}$, 根据 $P_3 = U_3 I_2$, 解得 $I_2 = 50 \text{ A}$, 故输电线损失的电压 $\Delta U = I_2 r = 1000 \text{ V}$, 输电线损失的电功率 $\Delta P = I_2^2 r = 50 \text{ kW}$, A、B 错误; 输电电压 $U_2 = U_3 + \Delta U = 10 \text{ kV}$, 则升压变压器原、副线圈的匝数比 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{1}{20}$, C 错误; 发电机输出的电功率 $P_1 = P_3 + \Delta P = 500 \text{ kW}$, 单位时间内水流的机械能对应功率 $P_0 = \frac{mgh}{t} = \rho Qgh = 750 \text{ kW}$, 故机械能转化为电能的效率 $\eta = \frac{P_1}{P_0} \times 100\% \approx 67\%$, D 正确。

10. BC 【解析】线框向右匀速运动过程中, 当线框的 PN 边到达 $x = \frac{3}{2}l$ 处时, 线框的 PN 边和 QM 边均在切割磁感线, 产生的感应电动势同向相加, 线框中感应电动势最大, 感应电流最大, 为 $I_m = \frac{2Blv}{R}$, 故 A 错误, B 正确; 线框向右匀速运动过程中, 回路中产生的感应电流随时间变化的图像如图所示 (规定逆时针方向为正), 穿越磁场的整个过程中, 线框中产生的焦耳热为 $Q = 2 \left(\frac{Blv}{\sqrt{2}R} \right)^2 \cdot R \cdot \frac{l}{v} + \left(\frac{2Blv}{\sqrt{2}R} \right)^2 \cdot R \cdot \frac{l}{v} = \frac{3B^2 l^3 v}{R}$, 由功能关系得外力所

做的功为 $W = Q = \frac{3B^2 L^3 v}{R}$, 故 C 正确, D 错误。



第 10 讲 电磁感应

1. B 【解析】根据法拉第电磁感应定律可知 $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B}{\Delta t} S = 10^3 \times (1.0^2 + 1.2^2 + 1.4^2) \times 10^{-4} \text{ V} = 0.44 \text{ V}$, 故 B 正确。

2. C 【解析】根据安培定则可知, 环 A 上的电流在其内部产生的磁场均向里, 在环 B 左半圆环内磁场垂直于纸面向里, 右半圆环内磁场垂直于纸面向外, 因为小圆环 B 在环 A 内部的磁场比外部的强, 根据磁通量的概念可知, 小圆环 B 在环 A 内部分的磁通量(向内)大于在环 A 外部分的磁通量(向外), 所以穿过小圆环 B 的磁通量不为 0, 且磁通量指向纸面内, 故 A 错误; 由于环 A 中通有恒定电流 I , 则环 B 中磁通量不变, 无感应电流, 故 B 错误; 若增大环 A 内的电流, 则环 B 内的磁通量向里增加, 根据楞次定律, 为了阻碍磁通量的增加, 环 B 会向右移动, 故 C 正确; 若减小环 A 内的电流, 则环 B 内的磁通量向里减小, 根据楞次定律可判断出, 环 B 会产生顺时针方向的感应电流, 故 D 错误。

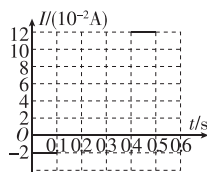
3. D 【解析】金属棒 ab 做平抛运动, 竖直方向的分速度与磁感线垂直, 根据右手定则可知 a 点电势高于 b 点电势, 即 $\varphi_a > \varphi_b$, 根据法拉第电磁感应定律得 $U_{ab} = BLv_y = BLgt$, 即 U_{ab} 逐渐增大, 故 A、B 错误; 圆盘转动过程中, 根据右手定则可知 D 点电势高于 C 点电势, 即 $\varphi_C < \varphi_D$, 由法拉第电磁感应定律可得圆盘产生的感应电动势为 $E = \frac{1}{2} Br^2 \omega$, 通过 R 的电流大小为 $I = \frac{E}{R+R} = \frac{Br^2 \omega}{4R}$, C 、 D 两端电势差为 $U_{CD} = -IR = -\frac{1}{4} Br^2 \omega$, 故 C 错误, D 正确。

4. C 【解析】由楞次定律可判断出, 当磁场增强时, 会产生顺时针方向的涡旋电场, 电场力对小球做正功, 使其沿顺时针方向做加速运动, 根据牛顿第二定律可知, 未加磁场时, 圆环对小球的压力 $F_N = m \frac{v_0^2}{R}$, 加磁场后, 根据左手定则可知, 小球所受的洛伦兹力方向指向圆心, 圆环对小球的压力与洛伦兹力的合力提供向心力, 由于不确定洛伦兹力与向心力的大小关系, 所以小球与圆环之间的弹力变化情况不明, 故 A、B 错误; 根据 $F_{\text{洛}} = qvB$, 由于

v 与 B 都增大, 所以小球所受的磁场力一定不断增大, 故 C 正确; 由动能定理可得 $W_{\text{电}} = \Delta E_k$, 小球每运动一周, 电场力做功为 $W_{\text{电}} = qU$, 其中 $U = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot \pi R^2 = k \pi R^2$, 联立解得 $\Delta E_k = k \pi q R^2$, 故 D 错误。

5. C 【解析】根据右手定则可知, 检流计中电流方向从 P 向 Q , 若铜盘旋转方向和磁场方向同时反向, 则检流计中电流方向不变, 故 A、B 错误; 铜盘产生的感应电动势为 $E = Ba \frac{(r-a)\omega + r\omega}{2} = \frac{\pi a(2r-a)B}{T}$, 故 C 正确, D 错误。

6. (1) 0.01 V 0.02 A 负方向
(2) 1 m/s (3) 如图所示



【解析】(1) 由图乙可知, $0 \sim 0.1 \text{ s}$ 内, $\frac{\Delta B_1}{\Delta t_1} = 0.5 \text{ T/s}$

则回路中的感生电动势 $E_1 = \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t_1} = L_1 d \frac{\Delta B_1}{\Delta t_1} = 0.01 \text{ V}$

回路中的感应电流 $I_1 = \frac{E_1}{2R} = 0.02 \text{ A}$

由楞次定律可知, 回路中的感应电流方向为顺时针, 即负方向。

(2) 设 a 、 b 棒的质量均为 m , 轻绳拉直后瞬间两棒的共同速度为 v , 由动量守恒定律得 $mv_0 = 2mv$

b 棒在磁场区域 II 中运动产生的动生电动势 $E_2 = B_2 dv$

由于 a 棒带动 b 棒共同运动并匀速通过磁场区域 II, 故 b 棒不受安培力, 回路中无电流, 说明感生电动势与动生电动势相互抵消, 即 $E_1 = E_2$

联立解得 $v = 0.5 \text{ m/s}$, $v_0 = 1 \text{ m/s}$

(3) 由(1)可知, 在 $0 \sim 0.1 \text{ s}$ 内, 回路中电流 $I_1 = 0.02 \text{ A}$, 方向为负方向。

b 棒通过磁场区域 II 所用的时间 $t_1 =$

$\frac{L_2}{v} = 0.3 \text{ s}$

因此 0.4 s 时 b 棒到达 PP_1 边界, 此时 $B_1 = 0.3 \text{ T}$, 故在 $0.1 \sim 0.4 \text{ s}$ 内, 回路中电流 $I_2 = 0$

在 $0.4 \sim 0.5 \text{ s}$ 内, 回路中的感生电动势 $E_3 = \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t_2} = L_1 d \left| \frac{\Delta B_2}{\Delta t_2} \right| = 0.06 \text{ V}$

回路中电流 $I_3 = \frac{E_3}{2R} = 0.12 \text{ A}$, 方向为

正方向。

由于 b 棒未进入磁场区域 I, $t = 0.5 \text{ s}$ 后 $B_1 = 0$, 所以在 $0.5 \sim 0.6 \text{ s}$ 内, 回路中电流 $I_4 = 0$

综上所述, $0 \sim 0.6 \text{ s}$ 内回路中电流如图所示

7. (1) 35 m/s^2 方向水平向左 (2) 不能 1.2 m (3) $\frac{111}{13} \text{ m}$

【解析】(1) P 环的初速度为 $v_0 = \frac{I}{m_1}$

P 环刚弹射入磁场时产生的感应电动势为 $E_0 = BLv_0$

P 环中的感应电流为 $I_0 = \frac{E_0}{R}$

根据牛顿第二定律可得 $BI_0 L = m_1 a_0$

联立解得 P 环刚弹射入磁场时的加速度为 $a_0 = 35 \text{ m/s}^2$

加速度方向水平向左。

(2) P 环在磁场中向右运动过程中, 由动量定理可得

$-B\bar{I}L\Delta t = m_1 v - m_1 v_0$

其中 $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{R}$, $\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, $\Delta\Phi = BLx_1$

联立解得 $v = 9 \text{ m/s}$

P 、 Q 两环发生弹性碰撞, 由动量守恒定律可得

$m_1 v = m_1 v_1 + m_2 v_2$

由机械能守恒定律得

$\frac{1}{2} m_1 v^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2$

联立解得 $v_1 = -3 \text{ m/s}$, $v_2 = 6 \text{ m/s}$

设 P 环向左运动的最大距离为 x_1' , 根据动量定理可得

$-B\bar{I}'L\Delta t' = 0 - m_1 |v_1|$

其中 $\bar{I}' = \frac{\bar{E}'}{R}$, $\bar{E}' = \frac{\Delta\Phi'}{\Delta t'}$, $\Delta\Phi' = BLx_1'$

联立解得 $x_1' = 1.2 \text{ m}$

由于 $x_1' < x_1 = 2 \text{ m}$, 所以 P 环不能返回弹射器, P 环停止时与 MN 的距离为 1.2 m 。

(3) P 、 Q 两环碰后, Q 环向右运动直到与挡板第一次相碰, 根据动能定理

可得 $(qE - F_f)x_2 = E_{k2}' - \frac{1}{2} m_2 v_2^2$

第一次碰后动能变为 $E_{k3} = (1 - k)E_{k2}'$

第一次碰后 Q 反弹至速度减为零的过程, 根据动能定理可得

$-(qE + F_f)x_{Q1} = 0 - E_{k3}$

联立解得 $x_{Q1} = \frac{9}{4} \text{ m}$

Q 环第二次向右运动到与挡板相撞, 根据动能定理可得

$(qE - F_f)x_{Q1} = E_{k3}' - 0$

第二次碰后动能变为 $E_{k4} = (1 - k)E_{k3}'$

第二次碰后 Q 反弹至速度减为零的过程, 根据动能定理可得

$-(qE + F_f)x_{Q2} = 0 - E_{k4}$

联立解得 $x_{Q2} = \frac{27}{64} \text{ m} = \frac{3}{16} x_{Q1}$

依次类推, 自 Q 环第一次碰挡板后, 每次 Q 反向运动的位移按等比规律

变化, 有 $x_{Qn} = \left(\frac{3}{16}\right)^{n-1} x_{Q1}$

自 Q 环第一次碰挡板后到 Q 环停止运动, Q 环运动的总路程 $x_3 =$

$$\frac{2x_{Q1}}{1-\frac{3}{16}} = \frac{72}{13} \text{ m}$$

则 Q 环在电场中运动的总路程为 $s =$

$$x_2 + x_3 = \frac{111}{13} \text{ m}$$

微专题 7 电磁感应中的单杆模型

1. B 【解析】题图甲中,导体棒向右运动切割磁感线,产生感应电流,使电容器充电,当电容器极板间的电压与导体棒产生的感应电动势相等时,电路中不再有电流,导体棒不受安培力,导体棒向右做匀速运动,匀速运动的速度 $v_1 = \frac{q}{CBL}$;题图乙中,导体棒向右运动切割磁感线,产生感应电流,通过电阻 R 转化为内能,导体棒速度减小,当导体棒的动能全部转化为内能时,导体棒静止;题图丙中,导体棒先受到向左的安培力作用而向右做减速运动,速度减为零后再在安培力作用下向左做加速运动,当导体棒产生的感应电动势与电源的电动势相等时,电路中不再有电流,导体棒向左做匀速运动,匀速运动的速度 $v_3 = \frac{E}{BL}$,故 A、C 错误, B 正确. 根据动量定理有 $-B\bar{I}L\Delta t = mv - mv_0$, 其中 $\bar{I}\Delta t = q$, 可得 $q = \frac{mv_0 - mv}{BL}$, 图甲、图乙中,导体棒的动量变化量不同,则通过定值电阻 R 的电荷量不同,故 D 错误.

2. B 【解析】在水平向右的恒力作用下,设 t 时刻导体棒的速度为 v_t , 此时导体棒产生的感应电动势为 $E = Bdv_t$, 电容器充电,电容器两端的电压 $U = E$, 对导体棒,由动量定理得 $Ft - B\bar{I}dt = mv_t - 0$, 其中 $\bar{I}t = q = CU$, 联立得 $\frac{v_t}{t} = \frac{F}{m + CB^2d^2}$ (定值), 故加速度大小为 $a = \frac{F}{m + CB^2d^2}$ (定值), 即导体棒做匀加速直线运动, 同理, 在恒力方向变为向左后, 电容器放电, 安培力与恒力 F 均反向, 故导体棒做匀减速运动, 加速度大小仍为 $a = \frac{F}{m + CB^2d^2} = 4 \text{ m/s}^2$, 恒力方向改变后导体棒向右运动的最大距离为 $x = \frac{v^2}{2a} = 2 \text{ m}$, 故 B 正确.

3. CD 【解析】由图像可知,金属杆先做加速度减小的加速运动, 2 s 后做匀速直线运动, 当 $t = 2 \text{ s}$ 时, $v = 3 \text{ m/s}$, $a = 0$, 此时感应电动势为 $E = BLv$, 感应电流为 $I = \frac{E}{R+r}$, 安培力为 $F' = BIL = \frac{B^2L^2v}{R+r}$, 根据平衡条件有 $F - F' - mg\sin\theta = 0$, 联立解得 $B = 1 \text{ T}$, A 错误; 当金属杆的速度为 $v_1 = 1 \text{ m/s}$ 时, 安培力为 $F_1 =$

$\frac{B^2L^2v_1}{R+r} = \frac{1}{3} \text{ N}$, 根据牛顿第二定律有 $F - F_1 - mg\sin\theta = ma_1$, 解得 $a_1 = \frac{10}{3} \text{ m/s}^2$, C 正确; 前 2 s 内, 根据动量定理有 $(F - mg\sin\theta)t - B\bar{I}L\Delta t = mv - 0$, 而 $\bar{I}\Delta t = q$, 解得 $q = 1.4 \text{ C}$, B 错误; 前 2 s 内, $q = \bar{I}\Delta t = \frac{\bar{E}}{R+r}\Delta t = \frac{BLv\Delta t}{R+r} = \frac{BLx_1}{R+r}$, 解得前 2 s 的位移为 $x_1 = \frac{q(R+r)}{BL} = 4.2 \text{ m}$, 2~4 s 内的位移为 $x_2 = vt = 6 \text{ m}$, 前 4 s 内, 由能量守恒定律得 $F(x_1 + x_2) = \frac{1}{2}mv^2 + mg(x_1 + x_2)\sin\theta + Q_r + Q_R$, 其中 $Q_r : Q_R = r : R = 1 : 2$, 解得 $Q_R = 6.2 \text{ J}$, D 正确.

$$4. (1) \frac{BIU_m}{R} \quad (2) \frac{TU_m}{2\pi Bl} \quad (3) \frac{U_m^2 T}{4R} + \frac{mgTU_m}{2\pi Bl}$$

【解析】(1) 由电压图像可知, 0.25 T 时刻导体棒两端电压为 U_m . 由闭合电路欧姆定律可知, 0.25 T 时刻通过导体棒的电流 $I = \frac{U_m}{R}$. 导体棒在 0.25 T 时刻所受的安培力大小为 $F_{\text{安}} = BIL = \frac{BIU_m}{R}$. (2) 导体棒做简谐运动, 则导体棒所受的合力等于回复力, 即 $F_{\text{合}} = -kx$. 由电压图像可知, $t = 0$ 时刻定值电阻 R 两端的电压为 0, 说明导体棒是从 $x = -x_0$ 处由静止开始做简谐运动, 平衡位置在坐标原点, 则在坐标原点处导体棒速度最大, 有 $E_m = Blv_m = U_m$. 导体棒由 $x = -x_0$ 处运动到坐标原点处, 由动能定理得 $\bar{F}_{\text{合}} x_0 = \frac{1}{2}mv_m^2$.

$$\text{其中 } \bar{F}_{\text{合}} = \frac{kx_0 + 0}{2}$$

$$\text{则有 } \frac{1}{2}kx_0^2 = \frac{1}{2}mv_m^2$$

$$\text{又 } T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$\text{联立解得 } x_0 = \frac{TU_m}{2\pi Bl}$$

(3) 在 0 至 0.5 T 时间内, 由能量守恒定律得

$$W_F - Q = mg\sin 30^\circ \cdot 2x_0$$

$$\text{其中 } Q = \frac{U_m^2}{2R} \times \frac{T}{2}$$

$$\text{联立解得 } W_F = \frac{U_m^2 T}{4R} + \frac{mgTU_m}{2\pi Bl}$$

5. (1) 0.75 s (2) 15 J 7.5 N (3) 见解析

【解析】(1) 由于磁场变化导致导体棒做匀速直线运动, 说明此时回路中的磁通量保持不变, 有 $BLx_1 = B'Lx_0$.

解得 $x_0 = 6 \text{ m}$

金属棒做匀速直线运动时的速度 $v' = v_0 + kx_1 = 4 \text{ m/s}$

则磁场变化的时间为

$$t = \frac{x_0 - x_1}{v'} = 0.75 \text{ s}$$

(2) 金属棒做“另类匀加速”运动时, 产生的感应电动势

$$E = BLv = BL(v_0 + kx)$$

金属棒中的电流

$$I = \frac{E}{R} = \frac{BL(v_0 + kx)}{R}$$

金属棒所受安培力为

$$F_A = BIL = \frac{B^2L^2(v_0 + kx)}{R}$$

即 F_A 随 x 线性变化

初始时金属棒受到的安培力

$$F_{A0} = \frac{B^2L^2v_0}{R} = 2 \text{ N}$$

金属棒运动到 $x_1 = 3 \text{ m}$ 处时, 受到的

$$\text{安培力 } F_{A1} = \frac{B^2L^2(v_0 + kx_1)}{R} = 8 \text{ N}$$

这一运动过程中, 克服安培力做的功等于定值电阻(回路总电阻)上产生的焦耳热, 即

$$Q = W_{F_A} = \frac{F_{A0} + F_{A1}}{2} \cdot x_1 = 15 \text{ J}$$

由 $v = v_0 + kx$, 可得 $\frac{\Delta v}{\Delta t} = k \frac{\Delta x}{\Delta t}$,

即 $a = kv$, 则 $a = k(v_0 + kx)$

由牛顿第二定律得 $F - F_A = ma$

$$\text{联立解得 } F = \left(\frac{B^2L^2}{R} + mk \right) (v_0 + kx)$$

当 $x = 1.5 \text{ m}$ 时, $F = 7.5 \text{ N}$

(3) 金属棒向右运动过程, 在 $x = 0 \text{ m}$ 到 $x = 3 \text{ m}$ 间, 有

$$E = BLv = BL(v_0 + kx) = 0.2(1 + x) \text{ (V)}$$

在 $x = 3 \text{ m}$ 到 $x = 6 \text{ m}$ 间, 磁场发生变化, 有

$$B_x Lx = BLx_1$$

$$\text{即 } B_x = \frac{0.6}{x} \text{ (T)}$$

$$\text{则 } E = B_x Lv' = \frac{2.4}{x} \text{ (V)}$$

金属棒在水平向左的恒力 $F_T = 5 \text{ N}$ 作用 $\Delta t = 1.4 \text{ s}$ 过程中, 由动量定理得

$$F_T \Delta t + \frac{B'^2L^2\bar{v}}{R}\Delta t = mv' - (-mv)$$

其中 $\bar{v}\Delta t = 0$

解得 $v'' = 3 \text{ m/s}$

之后金属棒从 $x = 6 \text{ m}$ 处向左运动到 $x = 0$ 处过程中, 由动量定理得

$$\frac{B'^2L^2\bar{v}'}{R}\Delta t' = mv - mv''$$

其中 $\bar{v}'\Delta t' = x - x_0$

解得 $v = 0.5x$

则 $E = B'Lv = 0.05x$

6. (1) $\frac{2}{3} \text{ A}$, 方向为从 N 到 M

(2) ① 26.25 J ② 47.5 J

【解析】(1) 由图像可知, 0~ t_0 时间内

磁感应强度的变化率为

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{B_0}{t_0}$$

根据法拉第电磁感应定律有 $E =$

$$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = S \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

$$\text{电路的总电阻 } R_{\text{总}} = R + \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R}}$$

$$\text{由闭合电路欧姆定律得 } I = \frac{E}{R_{\text{总}}}$$

$$\text{联立解得 } I = \frac{2}{3} A$$

根据楞次定律可知,流过 MN 的电流方向为从 N 到 M 。

(2)①导体棒进入磁场的瞬间,由牛顿第二定律得

$$mg + B_0 I' L = 2mg$$

$$\text{电路的总电阻 } R_{\text{总}}' = R + \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R}}$$

$$\text{由闭合电路欧姆定律得 } I' = \frac{E'}{R_{\text{总}}'}$$

由法拉第电磁感应定律得 $E' = B_0 L v$
设导体棒运动到 HG 时弹簧的弹性势能为 E_p ,由弹性势能与形变量的平方成正比,可知释放导体棒时弹簧的弹性势能为 $4E_p$,对导体棒由 AB 位置上升至 EF 位置这一过程,由能量守恒定律得

$$4E_p = 2mgd + \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{解得 } E_p = 26.25 \text{ J}$$

②导体棒运动到 HG 时压力传感器示数恰好为 0,说明此时导体棒速度为 0。对导体棒从 AB 位置上升到 HG 位置这一过程,由能量守恒定律得

$$4E_p = E_p + 3mgd + Q_{\text{焦}}$$

导体棒向上运动过程中产生的焦耳热

$$Q = \frac{2}{3} Q_{\text{焦}}$$

$$\text{联立解得 } Q = 47.5 \text{ J}$$

微专题 8 电磁感应中的双杆和线框模型

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,此时电容器两端的电

压和导体棒 L_2 产生的感应电动势均大于导体棒 L_1 产生的感应电动势,电流都流向导体棒 L_1 ,即导体棒 L_1 加速而导体棒 L_2 减速,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. CD 【解析】线框刚进入第一个磁场区域时,产生的感应电动势为 $E = Blv_0 = 4 \text{ V}$,线框受到的安培力大小为 $F_{\text{安}} = BIl = B \frac{E}{R} l = 2 \text{ N}$,根据牛顿第二定律可得加速度大小为 $a = \frac{F_{\text{合}}}{m} = \frac{\sqrt{(F_{\text{安}})^2 + (mg)^2}}{m} = 10\sqrt{2} \text{ m/s}^2$,故 A 错误;线框进入第一个磁场区域的过程中,通过线框的电荷量为 $q = \bar{I} \Delta t = \frac{\bar{E}}{R} \Delta t = \frac{\Delta \Phi}{R} = \frac{Bl^2}{R} = 0.25 \text{ C}$,同理,线框离开第一个磁场区域的过程中,通过线框的电荷量也为 $q = 0.25 \text{ C}$,这两个过程中,通过线框的电流方向相反,所以线框穿过第一个磁场区域的过程中,通过线框的电荷量为零,故 B 错误;线框从开始进入磁场到竖直下落的过程中,由于线框上、下两边总是同时处在磁场中,则上、下两边受到的安培力相互抵消,即线框在竖直方向上只受到重力作用,可认为线框在竖直方向上做自由落体运动,而在水平方向上则在安培力作用下做减速运动,当水平方向上的分速度减为零时,线框开始竖直下落,则线框从开始进入磁场到竖直下落的过程中产生的焦耳热为 $Q = \frac{1}{2}mv_0^2 = 6.4 \text{ J}$,故 C 正确;线框从开始进入磁场到竖直下落的过程中,在水平方向上,根据动量定理可得 $-\bar{F}_{\text{安}} \cdot t = 0 - mv_0$,又 $\bar{F}_{\text{安}} \cdot t = Bl \frac{\bar{Blv}}{R} \cdot t = \frac{B^2 l^2}{R} x$,联立解得 $x = 6.4 \text{ m}$,线框穿过 1 个完整的磁场区域过程中,有安培力作用的水平距离为 $2l$,由于 $\frac{x}{2l} = \frac{6.4}{2 \times 0.5} = 6.4$,所以线框从开始进入磁场到竖直下落的过程中能穿过 6 个完整的磁场区域,故 D 正确。

3. (1) 4 A 1 N (2) 3 C 3.75 J (3) 2 m

【解析】(1)金属圆盘 G 转动切割磁感线,产生的感应电动势为

$$E = \frac{1}{2} B \omega r^2 = 2 \text{ V}$$

由闭合电路欧姆定律可得通过 ab 的

$$\text{电流为 } I = \frac{E}{R} = 4 \text{ A}$$

由功能关系和能量守恒定律可得

$$EI = F \omega \cdot \frac{1}{2} r$$

$$\text{解得 } F = 1 \text{ N}$$

(2)对金属杆,由动量定理可得

$$B \bar{I} d \Delta t = mv - 0$$

$$\text{其中 } \bar{I} \Delta t = q$$

$$\text{解得 } q = 3 \text{ C}$$

$$\text{由能量守恒定律得 } Eq = \frac{1}{2}mv^2 + Q$$

$$\text{解得 } Q = 3.75 \text{ J}$$

(3)对金属杆和电感线圈,任意时刻都有

$$Bd v_i = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\text{则 } \Delta I = \frac{Bd}{L} v_i \Delta t$$

$$\text{求和,有 } \sum \Delta I = \frac{Bd}{L} \sum v_i \Delta t$$

$$\text{即 } I = \frac{Bd}{L} x$$

说明金属杆开始运动后,杆上电流与杆的位移成正比

对金属杆通过绝缘材料后第一次向左运动至最远处过程,由动能定理得

$$-F_i s - B \bar{I} d s = 0 - \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{其中 } \bar{I} = \frac{1}{2} \left(\frac{Bd}{L} s + 0 \right)$$

$$\text{解得 } s = 2 \text{ m}$$

4. (1) $\frac{3mgR}{2B_0^2 L^2}$ (2) $\frac{mgR}{2B_0 L}$
(3) $\frac{3mgR}{5B_0^2 L^2}$ $\frac{3mgR}{10B_0^2 L^2}$
(4) $\frac{3m^2 g^2 R t}{4B_0^2 L^2} - \frac{27m^3 g^2 R^2}{20B_0^4 L^4}$

【解析】(1)当导体棒 CD 达到最大速度时,其受力平衡,有

$$mg = B_0 I_1 L + \mu mg$$

根据闭合电路欧姆定律有 $I_1 =$

$$\frac{E_1}{R + 2R}$$

$$\text{根据法拉第电磁感应定律有 } E_1 = B_0 L v_1$$

$$\text{联立解得 } v_1 = \frac{3mgR}{2B_0^2 L^2}$$

(2)当导体棒 AB 两端达到最大电压时,导体棒 AB 达到最大速度,此时导体棒 AB 受力平衡,有

$$2mg \sin \theta = B_0 I_2 \cdot 2L$$

根据闭合电路欧姆定律有 $I_2 =$

$$\frac{E_2}{R + 2R}$$

导体棒 AB 两端的最大电压为 $U_m =$

$$\frac{R}{R + 2R} E_2$$

$$\text{联立解得 } U_m = \frac{mgR}{2B_0 L}$$

(3)对导体棒 AB ,由牛顿第二定律得

$$2mg \sin 30^\circ - 2B_0 IL = 2ma_{AB}$$

对导体棒 CD 和物块整体,由牛顿第二定律得

$$mg - \mu mg - B_0 IL = 2ma_{CD}$$

联立可得 $a_{AB} = 2a_{CD}$ 始终成立

因而任意时刻都有 $v_{AB} = 2v_{CD}$
最终两导体棒能同时达到最大速度,
其时两导体棒均受力平衡,对导体棒
CD,有

$$mg - \mu mg = B_0 I_3 L$$

根据闭合电路欧姆定律有 $I_3 = \frac{E_3}{R + 2R}$

根据法拉第电磁感应定律有 $E_3 = B_0 L v_{CDm} + B_0 \cdot 2L v_{ABm}$

又知 $v_{ABm} = 2v_{CDm}$

联立解得 $v_{CDm} = \frac{3mgR}{10B_0^2 L^2}$, $v_{ABm} =$

$$\frac{3mgR}{5B_0^2 L^2}$$

(4)对导体棒 CD 和物块整体,由动量定理得

$$mgt - \mu mgt - B_0 \bar{I} Lt = 2mv_{CDm}$$

其中 $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{R + 2R}$, $\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{t}$, $\Delta\Phi =$

$$B_0 L x_{CD} + B_0 \cdot 2L x_{AB}$$

由于任意时刻都有 $v_{AB} = 2v_{CD}$, 所以 $x_{AB} = 2x_{CD}$

根据能量守恒定律有

$$Q = 2mg \times x_{AB} \sin 30^\circ + mgx_{CD} -$$

$$\mu mgx_{CD} - \frac{1}{2}(m + m)v_{CDm}^2 - \frac{1}{2} \times 2mv_{ABm}^2$$

联立解得 $Q = \frac{3m^2 g^2 R t}{4B_0^2 L^2} - \frac{27m^3 g^2 R^2}{20B_0^4 L^4}$

5. (1) $\frac{1}{9}$ T/m (2) 0.75 m/s

(3) 0.03 m

【解析】(1)导体棒 ab 运动到 $x = 0.45$ m 处时刚好匀速,此时其受力平衡,有 $F = B_1 I_1 l_1$

其中 $B_1 = kx$

解得 $k = \frac{1}{9}$ T/m

(2)导体棒 ab 在磁场区域 I 运动的过程中,根据动能定理可得

$$W_F - W_{\text{安}} = \frac{1}{2}mv^2$$

其中 $W_F = Fx$, $W_{\text{安}} = \bar{B}_1 I l_1 x$, $\bar{B}_1 = \frac{1}{2}(0 + kx)$, $x = 0.45$ m

解得 $v = 1.5$ m/s

金属棒 ab 与金属框 edcf 相碰后会粘在一起形成闭合导体框 abcd,根据动量守恒定律可得 $mv = 2mv_1$

联立解得 $v_1 = 0.75$ m/s

(3)线框进入磁场区域 II 过程,cd 边相当于电源,电阻 R 被 cbad 段导体短路,对 cd 边,根据动量定理可得

$$-B_2 \bar{I}_1 l_1 \Delta t_1 = 2mv_2 - 2mv_1$$

其中 $\bar{I}_1 = \frac{\bar{E}_1}{r}$, $\bar{E}_1 = \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t_1}$, $\Delta\Phi_1 = B_2 l_1 l_2$

联立解得 $v_2 = 0.55$ m/s

线框离开磁场区域 II 过程,电阻 R 与 cd 边并联,对 cd 边,根据动量定理可得

$$-B_2 \bar{I}_2 l_1 \Delta t_2 = 2mv_3 - 2mv_2$$

其中 $\bar{I}_2 = \frac{\bar{E}_2}{R_{\text{并}}}$, $\bar{E}_2 = \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t_2}$, $\Delta\Phi_2 =$

$$B_2 l_1 l_2, R_{\text{并}} = \frac{rR}{r+R}$$

联立解得 $v_3 = 0.15$ m/s

假设线框在反弹后再次进入磁场区域 II 过程中停下来,金属棒 ab 进入磁场区域 II 的距离为 d,根据动量定理可得

$$-B_2 \bar{I}_3 l_1 \Delta t_3 = 0 - 2mv_3$$

其中 $\bar{I}_3 = \frac{\bar{E}_3}{R_{\text{并}}}$, $\bar{E}_3 = \frac{\Delta\Phi_3}{\Delta t_3}$, $\Delta\Phi_3 =$

$$B_2 l_1 l_2, R_{\text{并}} = \frac{rR}{r+R}$$

解得 $d = 0.03$ m

由于 $d < l_2 = 0.08$ m, 所以假设成立,即最终 ab 棒会停止在距离磁场区域 II 右边缘为 0.03 m 处。

微专题 9 电磁感应实践性应用专题

1. (1) $\frac{k}{r}$ $2k\pi r$ (2) $\frac{9k\pi v}{10R}$ 顺时针方

向 (3) $\frac{1}{5}mgr - \frac{1}{2}mv^2 - \frac{2k'\pi^2 r^2}{25}$

【解析】(1)半球壳面上磁感应强度大

小相同,都为 $B = \frac{k}{r}$

穿过半球面的磁通量等于磁感应强度与半球壳表面积的乘积,即 $\Phi = 2B\pi r^2 = 2k\pi r$

(2)根据楞次定律可知,线圈下落过程中产生的感应电流方向为俯视顺时针方向。

由几何关系可知,线圈开始时高度

$$h_0 = \sqrt{r^2 - r_0^2} = \frac{4}{5}r$$

当线圈下落高度 $h = 0.2R$ 时,由几何关系可知,线圈半径变为 $r_1 =$

$$\sqrt{r^2 - (h_0 - h)^2} = \frac{4}{5}r$$

此时可等效成长度为 $l = 2\pi r_1$ 的导线在切割磁感线,产生的感应电动势

$$E = Blv = \frac{8k\pi v}{5}$$

此时线圈导线长度与开始时长度的比

$$\frac{l_1}{l_0} = \frac{r_1}{r_0} = \frac{4}{3}$$

,则此时导线横截面积与开始时横截面积之比 $\frac{S_1}{S_0} = \frac{l_0}{l_1} = \frac{3}{4}$,由

电阻定律 $R = \rho \frac{l}{S}$,可知此时电阻变

为 $R_1 = \frac{l_1}{l_0} \cdot \frac{S_0}{S_1} R = \frac{16}{9}R$

则线圈中产生的感应电流大小为 $I =$

$$\frac{E}{R_1} = \frac{9k\pi v}{10R}$$

(3)线圈下落过程中,由能量守恒定律得

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + Q + \frac{1}{2}k'(\Delta x)^2$$

其中 $\Delta x = 2\pi r_1 - 2\pi r_0 = \frac{2}{5}\pi r$

解得 $Q = \frac{1}{5}mgr - \frac{1}{2}mv^2 - \frac{2k'\pi^2 r^2}{25}$

2. (1) 从 a 到 b (2) $\frac{R+r}{BLR} U$

(3) $\frac{5(R+r)U^2 t}{R^2}$

【解析】(1)根据右手定则可知,流过定值电阻 R 的电流方向是从 a 到 b。

(2)根据法拉第电磁感应定律有 $E = BLv$

回路中电流大小为 $I = \frac{E}{R+r}$

电压表的示数 $U = IR$

联立解得 $v = \frac{R+r}{BLR} U$

(3)金属条所受的安培力大小 $F_A = BIL$

t 时间内金属条克服安培力做的功 $W = F_A vt$

t 时间内人体消耗的能量 $E_{\lambda} = \frac{W}{20\%}$

联立解得 $E_{\lambda} = \frac{5(R+r)U^2 t}{R^2}$

3. (1) $\lambda = \frac{2d}{2k+1}$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) (2)

$$\frac{4B_0^2 L^2 (v_0 - v_1)}{R}$$

(3) $\frac{2B_0^2 L^2 v_0}{2B_0^2 L^2 + kR}$ $\frac{\lambda(2B_0^2 L^2 + kR)}{2kRv_0}$

【解析】(1)MN、PQ 应位于磁场中磁感应强度同为最大值 B_0 且反向的地方,这会使金属框中的感应电流最强,受到的安培力最大,因此 d 应为 $\frac{\lambda}{2}$ 的

奇数倍,即 $d = (2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2}$,也就是

$$\lambda = \frac{2d}{2k+1} (k = 0, 1, 2, \dots)$$

(2)金属框中的感应电动势最大值为 $E_m = 2B_0 L (v_0 - v_1)$

根据闭合电路欧姆定律得 $I_m =$

$$\frac{E_m}{R} = \frac{2B_0 L (v_0 - v_1)}{R}$$

列车受到的最大驱动力 $F_m =$

$$2B_0 I_m L = \frac{4B_0^2 L^2 (v_0 - v_1)}{R}$$

(3)MN、PQ 位于磁场中的磁感应强度总是大小相同、方向相反的,周期性变化的,可以写成 $B_i = B_0 \sin \omega t =$

$$B_0 \sin \frac{2\pi}{T} t$$

其中 $T = \frac{\lambda}{v_0 - v_2}$

(λ 越小则越感受不到驱动力变化)

列车受到的驱动力 $F_i = 2B_i I L =$

$$\frac{4B_0^2 L^2 (v_0 - v_2)}{R} \sin^2 \omega t$$

一个周期内驱动力的冲量与阻力的冲量大小相等,方向相反,即

$$\sum F_i \Delta t = F_t \Delta t$$

其中 $\Delta t = T$

与正弦式交流电的最大值和有效值进行类比,驱动力随时间变化的“有效值”等于阻力的大小,即

$$\frac{2B_0^2 L^2 (v_0 - v_2)}{R} = kv_2$$

$$\text{解得 } v_2 = \frac{2B_0^2 L^2 v_0}{2B_0^2 L^2 + kR}$$

$$\text{驱动力大小的实际变化周期 } T' = \frac{T}{2} = \frac{\lambda}{2(v_0 - v_2)} = \frac{\lambda(2B_0^2 L^2 + kR)}{2kRv_0}$$

$$4. (1) 2.5 \text{ A} \quad 0.125 \text{ N} \quad (2) 6.375 \text{ N}$$

$$12.5 \text{ W} \quad (3) \frac{2}{5}(E_k - Q_b)$$

【解析】(1)与滑板B以 $v_1=5 \text{ m/s}$ 的速度向左运动时,线框b中产生的感应电动势 $E_1=Bd_b v_1=0.25 \text{ V}$

$$\text{感应电流大小 } I_1 = \frac{E_1}{R_b} = 2.5 \text{ A}$$

$$\text{受到的安培力大小 } F_1 = BI_1 d_b = 0.125 \text{ N}$$

(2)用水平力 F_B 向右拉滑板B,使滑板B以 $v_1=5 \text{ m/s}$ 的速度向右做匀速直线运动,则线圈b中的电流仍为 $I_1=2.5 \text{ A}$,此时线框b在磁介质区域产生的磁场的磁感应强度 $B_b=0.4I_1(\text{T})=1 \text{ T}$

此时线圈a中产生的感应电动势 $E_2=B_b d_b v_1=2.5 \text{ V}$

$$R_1 \text{ 和 } R_2 \text{ 并联后的电阻 } R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 0.1 \Omega$$

$$\text{线圈a中产生的感应电流 } I_2 = \frac{E_2}{R_a + R} = 12.5 \text{ A}$$

$$\text{水平力 } F_B = BI_1 d_b + B_b I_2 d_b = 6.375 \text{ N}$$

$$R_1 \text{ 上的电压 } U_1 = I_2 R = 1.25 \text{ V}$$

$$R_1 \text{ 上消耗的功率 } P_1 = \frac{U_1^2}{R_1} = 12.5 \text{ W}$$

(3)不施加外力,滑板B以初动能 E_k 向右减速滑行,最终停止,则两线圈产生的焦耳热之和为 E_k ,由于减速过程中线框b产生的焦耳热为 Q_b ,则线框a产生的焦耳热为 $Q_a=E_k-Q_b$

因 R_1, R_2 两电阻并联的电阻 $R=R_a$,故 R_1, R_2 两电阻产生的焦耳热之和为 $\frac{1}{2}Q_a$,而该过程中电阻 R_1 和 R_2 产生的焦耳热之比为 $\frac{R_2}{R_1}$,所以电阻 R_1

上产生的焦耳热 $Q_1 = \frac{1}{2}Q_a \times \frac{R_2}{R_1}$

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{2}{5}(E_k - Q_b)$$

第11讲 热学

1. B 【解析】空调的工作原理对应的是热力学第二定律的开尔文表述,A错误;空调的工作原理反映了热传导的方向性,热量不能自发地从低温物体传导给高温物体,但在其他条件干预下,可以从低温物体传导给高温物体,B正确;此原理图中的 $Q_1=Q_2+W$,C错误;此原理图说明在外界干预下,热量能从低温物体传到高温物体,D错误。

2. D 【解析】新材料由多层石墨烯叠加而成且结构规则,所以新材料为晶体,

晶体具有确定的熔点,故A、B错误;由分子动理论可知,分子做永不停息的无规则运动,故C错误;层与层间距约为六边形边长的两倍,远大于分子间距离,由分子力的特点可知,层间相邻碳原子间作用力表现为引力,故D正确。

3. AD 【解析】综合题设及题图信息可知,分子势能选择了无穷远处或大于 $10r_0$ 处为零势能参考点,故A正确;图甲中阴影部分面积表示分子势能差值,势能差值与零势能点的选取无关,故B错误;分子势能与分子间距离的关系图像中,图线切线的斜率大小表示分子间作用力大小,故C错误,D正确。

4. A 【解析】液体表面张力使得液桥表面形状得以维持,而不会“垮塌”,故A正确;分子势能 E_p 和分子间距离 r 的关系图像如图丙所示,水表面层中水分子间距离较大,大于 r_0 ,能总体上反映水表面层中水分子势能 E_p 的是图中“C”位置,故B错误;农民使用“松土保墒”进行耕作,通过松土阻断了土壤毛细管,使得土壤下面的水分不容易被输送到地表,故C错误;毛笔书写过程中,在毛细现象作用下,墨汁与可以被浸润的毛笔材料发生相互作用力,于是墨汁便被吸入毛笔材料中,并牢牢“困”在毛笔内部,而当毛笔尖与纸张接触时,留在毛笔表面的墨汁,同样在毛细作用下,被吸附到纸上,其间根本无须重力作用,故D错误。

5. A 【解析】气体向真空中膨胀过程,气体对外不做功,因整个系统与外界没有热交换,由热力学第一定律可得,气体的内能不变,故A正确,B错误;假若气体分子势能增加,由于气体的内能不变,故气体分子平均动能减小,因气体体积增大,则气体分子的数密度也减小,由气体压强的微观解释可知气体的压强减小,故C错误;由热力学第二定律可知,Q中的气体不可能自发地全部退回到P中,故D错误。

6. C 【解析】从状态B到C过程气体发生等温变化,内能不变,体积减小,外界对气体做功,由热力学第一定律可知,气体放出热量,A错误;由 $V = \frac{C}{p}T$ 知,从C到D过程气体发生等压变化,B错误;从D到A过程中,气体温度不变,则单个气体分子碰撞器壁的力不变,压强减小,则单位时间内碰撞器壁单位面积的分子数减少,C正确;由 $\Delta U=W+Q$ 得 $Q=8 \text{ kJ}$,气体从外界吸收 8 kJ 热量,D错误。

$$7. (1) \text{吸收} \quad (2) 70 \text{ cmHg} \quad (3) 400 \text{ K}$$

【解析】(1)玻璃管缓慢上提过程中,管内气体温度不变,体积增大,气体对外做功,根据热力学第一定律

$$\Delta U=Q+W$$

可知,此过程中气体吸收热量。

(2)设高原大气压强为 h_1 厘米水银柱高,玻璃管缓慢上提过程为等温过程,由玻意耳定律有 $p_1 V_1 = p_2 V_2$

$$\text{即有 } \rho g h_1 L_1 S = \rho g (h_1 - L_2) (L - L_2) S$$

$$\text{解得 } h_1 = 70 \text{ cm}$$

则可知,高原的大气压强为 70 cmHg 。

(3)设玻璃管转置后加热到 T_2 时水银柱刚好移到管口,此过程为等容过程,由查理定律得

$$\frac{p_2}{T_1} = \frac{p_3}{T_2}$$

$$\text{即 } \frac{\rho g (h_1 - L_2)}{T_1} = \frac{\rho g (h_1 + L_2)}{T_2}$$

$$\text{可得 } T_2 = 400 \text{ K}$$

可知,此时管内气体的温度为 400 K 。设将管内气体加热到温度 T_3 使水银全部溢出,由理想气体状态方程得

$$\frac{p_3 V_3}{T_2} = \frac{p_4 V_4}{T_3}$$

$$\text{即 } \frac{\rho g (h_1 + L_2) (L - L_2) S}{T_2} = \frac{\rho g h_1 L S}{T_3}$$

$$\text{解得 } T_3 = 600 \text{ K}$$

可知,要将水银全部溢出,需要将管内气体加热到 600 K 。

$$8. (1) 9 \times 10^4 \text{ Pa} \quad (2) 3.6 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \quad (3) 110 \text{ kg}$$

【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

$$(p_0 + \Delta p)S = p_0 S + mg$$

$$\text{解得 } m = 110 \text{ kg}$$

$$9. (1) \text{放出} \quad 650 \quad (2) 1.009 \times 10^5 \text{ Pa} \quad (3) 0.36 \text{ h}$$

【解析】(1)空气温度始终不变,内能保持不变,在井盖被顶起前外界对井内密封空气做了 650 J 的功,根据热力学第一定律得 $\Delta U=W+Q=Q+650 \text{ J}=0$,可得 $Q=-650 \text{ J}$,可知该气体放出的热量为 650 J 。

(2)井盖刚好被顶起时有

$$pS = p_0 S + mg$$

此时密闭空气的压强为

$$p = 1.009 \times 10^5 \text{ Pa}$$

(3) 气体做等温变化,有

$$p_0 h S = p H S$$

$$\text{解得 } H = 2 \text{ m}$$

井盖会被顶起所需的时间为

$$t = \frac{\Delta H}{v} = \frac{(2.018 - 2) \times 10^3}{50} \text{ h} =$$

$$0.36 \text{ h}$$

微专题 10 热学计算题型突破

1. (1) 60 cm (2) 481.7 K (3) 325 K

【解析】(1) 若将玻璃管自由释放,不计阻力,则整体做自由落体运动,封闭气体的压强为 $p_0 = 75 \text{ cmHg}$,根据玻意耳定律有 $p_1 S a = p_0 S a'$

$$\text{又 } p_1 = p_0 + \rho g h = 90 \text{ cmHg}$$

解得稳定后管内封闭空气柱的长度为 $a' = 60 \text{ cm}$

(2) 温度升高,封闭气体压强不变,体积增大,水银柱升高,当水银柱上升至管口时,温度继续升高,水银开始逸出,气体压强减小.设温度为 T_1 时,管内剩余水银柱高度为 h' ,此时不用再升高温度,水银可自动从管中溢出,根据理想气体状态方程有 $\frac{p_1 S a}{T_0} =$

$$\frac{(p_0 + \rho g h') S (L_2 - h')}{T_1}$$

可以使水银全部溢出时 T_1 最大,则 $(p_0 + \rho g h') (L_2 - h')$ 应最大,代入数据得 $h' = 10 \text{ cm}$

$$\text{解得 } T_1 \approx 481.7 \text{ K}$$

故温度至少升到 481.7 K 时,可使管内水银柱全部溢出.

(3) 若玻璃管长为 $L_3 = 65 \text{ cm}$,同理,设管内剩水银柱为 h'' 时处于临界状态,水银自动溢出,根据理想气体状态方程有

$$\frac{p_1 S a}{T_0} = \frac{(p_0 + \rho g h'') S (L_3 - h'')}{T_2}$$

代入数据解得 $h'' = -5$,而 $h'' \geq 0$,故 h'' 取 0

$$\text{解得 } T_2 \approx 325 \text{ K}$$

故温度至少升到 325 K 时,可使管内水银柱全部溢出.

2. (1) 负 不变 (2) 10 kg (3) 2200 cm^3

【解析】(1) 活塞下降过程中,气体体积减小,被封闭空气对外做负功,被封闭空气待温度稳定后,由于汽缸导热良好,温度不变,封闭的空气可视为理想气体,其内能将不变.

(2) 对活塞进行分析有

$$mg + p_0 S_1 = p_1 S_1$$

汽缸导热良好,温度不变,即气体发生的是等温变化,根据玻意耳定律有

$$p_0 (L_1 S_1 + L_2 S_2) = p_1 [(L_1 - h_1) S_1 + L_2 S_2]$$

$$\text{解得 } m = 10 \text{ kg.}$$

(3) 再次平衡时,根据玻意耳定律有

$$p_0 (L_1 S_1 + L_2 S_2 - V) = p_1 [(L_1 - h_2) S_1 + L_2 S_2 - V]$$

$$\text{解得 } V = 2200 \text{ cm}^3.$$

3. (1) $\frac{3}{2} p_0$ (2) $\frac{1}{45} H$ (3) $2 p_0$

【解析】(1) 对活塞受力分析,由平衡条件得

$$p_0 S + Mg = p_1 S$$

$$\text{解得 } p_1 = \frac{3}{2} p_0$$

(2) 第一次充气时,对充进部分的气体研究,有

$$p_0 \left(\frac{1}{30} S H \right) = p_1 (S h_1)$$

$$\text{解得 } h_1 = \frac{1}{45} H$$

(3) 活塞与汽缸挡柱刚好接触时,有

$$n = \frac{H - h}{h_1} = 30 \text{ 次}$$

则充气的前 30 次气体做等压变化,后 15 次压强变化,有

$$p_1 (15 h_1 + H) S = p_2 H S$$

$$\text{解得 } p_2 = 2 p_0$$

4. (1) 不变 (2) $1.1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 300 K (3) 36 J

【解析】(1) 对汽缸受力分析,变化前有 $Mg + p_0 S = p_1 S$,变化后有 $Mg + p_0 S = p_1' S$,可知 $p_1 = p_1'$,则可知,环境温度由 T_1 缓慢升高到 T_2 过程中,汽缸内气体压强不变.

(2) 以汽缸为研究对象,根据平衡条件可知

$$Mg + p_0 S = p_1 S$$

$$\text{解得 } p_1 = 1.1 \times 10^5 \text{ Pa}$$

气体升温膨胀过程为等压过程,由盖-吕萨克定律有

$$\frac{V_0}{T_1} = \frac{V_0 + S h}{T_2}$$

$$\text{解得 } T_2 = 300 \text{ K.}$$

(3) 由热力学第一定律可知 $\Delta U = W + Q$

气体膨胀对外做功,则可得

$$W = -p_1 S h = -11 \text{ J}$$

所以气体需要从外界吸收热量 $Q = 36 \text{ J}$.

5. (1) 不变 减小 (2) $8.5 \times 10^4 \text{ Pa}$ (3) 83.4 J

【解析】(1) 加热过程,活塞、汽缸和重物整体受力不变,汽缸向下滑动,活塞的受力不变,即气体对活塞的压力不变,气体的压强不变;加热过程,气体的温度升高,气体的平均动能增大,气体分子对汽缸内壁的平均作用力变大,但是气体的压强不变,即单位面积单位时间内气体分子的作用力不变,则汽缸内壁单位面积单位时间内受到分子的撞击数减小.

(2) 活塞受力平衡,有

$$F_T + p_1 S = mg \sin \theta + p_0 S$$

重物受力平衡,有 $F_T = Mg$

$$\text{可得气体压强 } p_1 = p_0 + \frac{mg \sin \theta - Mg}{S} = 8.5 \times 10^4 \text{ Pa.}$$

(3) 加热过程为等压变化,满足

$$\frac{\frac{3}{4} L S}{T_0} = \frac{L S}{T_1}$$

得 $T_1 = 400 \text{ K}$

气体内能变化 $\Delta U = \Delta E_k = 80 \text{ J}$

气体对外做功 $W = -p_1 S \frac{L}{4} = -3.4 \text{ J}$

根据热力学第一定律 $\Delta U = W + Q$

可得 $Q = 83.4 \text{ J}$.

第 12 讲 机械振动和机械波、电磁振荡和电磁波

1. C 【解析】使接收电路产生电谐振的过程叫作调谐,故 A 错误;在电磁波发射技术中,有调频和调幅两种调制方式,故 B 错误;为更好接收波长为 300 m 的无线电波,根据 $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{300} \text{ Hz} = 1 \times 10^6 \text{ Hz} = 1 \text{ MHz}$,可知应把收音机的调谐频率调到 1 MHz,故 C 正确;为了能收到频率最高的中波电台,应增大调谐电路的固有频率,根据 $f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$,可知应减少线圈的匝数,故 D 错误.

2. C 【解析】根据题意可知,紫外光笔的光点在纸面上沿 x 轴方向做简谐运动,光点的振动为受迫振动,其振动周期等于电动机转动周期,故该振动的圆频率 $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n = 0.4\pi \text{ rad/s} \approx 1.26 \text{ rad/s}$,A、B 错误;该振动的周期 $T = \frac{1}{n} = 5 \text{ s}$,由于轻杆长 0.1 m,故振幅 $A = 0.1 \text{ m}$,因 $12.5 \text{ s} = \left(2 + \frac{1}{2}\right) T$,故 12.5 s 内光点通过的路程 $s = \left(2 + \frac{1}{2}\right) \times 4A = 1.0 \text{ m}$,C 正确,D 错误.

3. 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

$$\rho_1 \cdot \frac{4}{3} \pi (nR)^3 \cdot m \cdot G \frac{1}{(nR)^2} = mg, \text{ 在球状天}$$

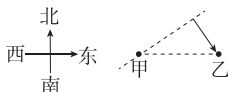
$$\text{体表面有 } G \frac{\rho_2 \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot m}{R^2} = mg', \text{ 联}$$

$$\text{立解得 } \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{2}{n}, \text{ 故 C 正确.}$$

4. D 【解析】薄板振动稳定后的频率与声波频率相同,初始没有达到稳定时不同,A 错误;入射声波的频率与薄板的固有频率相同时,二者共振,振幅最大,声波频率增大,薄板的振幅可能会增大,也可能会减小,B 错误;当噪声停止后,薄板振动逐渐不稳定至振动停止,此时频率与原噪声频率不同,C 错误;只有当噪声频率范围在系统可调节的

共振频率之间时,二者可以产生干涉,达到消除噪声的目的,D正确。

5. C 【解析】海浪为平面波,波速为 10 m/s ,经 0.6 s ,前进距离为 6 m ,而甲、乙相距 10 m ,可见波的传播方向与甲、乙的连线方向有一夹角,如图所示,由图知,波的传播方向应该为东南方向,故 A 错误;甲、乙在波的传播方向上的距离为 6 m ,由题意知 $6 \text{ m} = \frac{3}{4}\lambda$,解得波长 $\lambda = 8 \text{ m}$,故 B 错误;周期为 $T = \frac{\lambda}{v} = 0.8 \text{ s}$,故 C 正确;浮筒的振动为受迫振动,其振幅与驱动力的周期有关,即与波的周期有关,故 D 错误。



6. 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。

7. D 【解析】由图可知,两列波在 0.6 s 内传播的距离为 0.3 m ,则两列波的传播速度为 $v = \frac{s}{t} = 0.5 \text{ m/s}$,A 错误;两列波的波长为 $\lambda = \frac{v}{f} = 0.1 \text{ m}$,由于两列波的起振方向相反,根据波的叠加可知,振动加强点到两波源的波程差满足 $\Delta x = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$,其中 $0 \sim 0.3 \text{ m}$ 处有 6 个点, $-0.2 \text{ m} \sim 0$ 处有 4 个点,所以 x 轴上在 A、B 之间振动加强点个数共 10 个,B 错误;由于此时 $x = 0.5 \text{ m}$ 处的质点处于平衡位置且向上振动,则 B 波的起振方向向上,A 波起振方向向下, $t = 3 \text{ s}$ 时,波的传播距离为 $x_1 = vt = 1.5 \text{ m}$,则 $t = 3 \text{ s}$ 时,两列波均已传到 $x = -1 \text{ m}$ 处,由于 $x = -1 \text{ m}$ 到两波源的波程差为 $\Delta x = 0.5 \text{ m} = 5\lambda$,可知此点为振动减弱点,则 $t = 3 \text{ s}$ 时, $x = -1 \text{ m}$ 处的质点在平衡位置静止不动;当 $t = 6.0 \text{ s}$ 时,波的传播距离为 $x_2 = vt = 3.0 \text{ m}$,可知两列波均已传到 $x = 10.5 \text{ m}$ 处,同理可知此点为振动减弱点,则此处质点只有在 B 传播到而 A 未传播到时振动,其他时间在平衡位置静止不动,则此处质点振动的时间为 $\Delta t = \frac{0.5}{0.5} \text{ s} = 1 \text{ s}$,通过的总路程为 $s = \frac{\Delta t}{T} \cdot 4A = 0.8 \text{ m}$,D 正确。

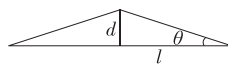
8. B 【解析】 $t = 0$ 时刻断开开关 S,电感线圈与电容器构成振荡回路,电感线圈中的电流从某一最大值开始减小,产生自感电动势对电容器充电,磁场能转化为电场能,电容器所带电荷量从零开始增加,当线圈中的电流减为零时,电容器充满电,所带电荷量达到最大,振荡电路经历 $\frac{T}{4}$ 时,磁场能为零,电场能最大,电容器中最大的电场能为 $2.5 \times 10^{-2} \text{ J}$,随后电容器放电,所带电荷量减小,电感线圈中的电流反向增加,电场能转化为磁场能,形成振荡电路,故 LC 电路振荡周期为 $4 \times 10^{-3} \text{ s}$,故 A 错误。断开开关前,线圈与 R 串联,由于线圈的直流电阻不计,所以线圈两端的电压为零,电容器两极板所带的电荷量为零,此时通过线圈的电流自左向右。当断开开关时,开始给电容器充电,电流逐渐减小,经过 $\frac{1}{4}$ 个周期($t = \frac{\pi}{2}\sqrt{LC}$ 时刻)充电电流减小到最小,此时电容器所带的电荷量最多(左板带负电,右板带正电),线圈 L 的感应电动势最大,故 B 正确。由以上分析知 $1 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-3} \text{ s}$ 时间内,电容器放电,所带电荷量减小,电感线圈中的电流反向增大,自感电动势在减小,故 C、D 错误。

9. BD 【解析】由 $\lambda = vT = \sqrt{gh}T \propto \sqrt{h}$ 可知,波长为 2 倍关系,则 h 为 4 倍关系,即深水处水深为 160 cm ,故 A 错误;根据 $v_A = v_C = \sqrt{gh_A} = 2 \text{ m/s}$,得 $v_B = \sqrt{gh_B} = 4 \text{ m/s}$,由 $t = 2.5 \text{ s}$ 时 O 点第二次到达波峰可知 $\frac{5}{4}T = 2.5 \text{ s}$,解得 $T = 2 \text{ s}$,O、M 间距离 $x_{OM} = v_A(t - \frac{3}{4}T) = 2 \text{ m}$,故 B 正确;波传到 N 所需时间 $t_B = \frac{x_{ON}}{v_B} = \frac{3}{4} \text{ s} = 0.75 \text{ s}$, 2.5 s 时 N 点振动了 $\Delta t = t - t_B = 2.5 \text{ s} - 0.75 \text{ s} = 1.75 \text{ s} = \frac{7}{8}T$, $0 \sim 2.5 \text{ s}$ 内 N 点振动路程为 $s = 4A - A \sin \frac{\pi}{4} = (24 - 3\sqrt{2}) \text{ cm}$,故 D 正确;波传到 P 所需时间为 $t = \frac{x_{ON}}{v_B} + \frac{x_{NP}}{v_C}$,代入数据得 $t = 1.75 \text{ s}$,故 C 错误。

10. D 【解析】根据两波源的振动方程可知,两列波的振动周期均为 $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{2\pi} \text{ s} = 1 \text{ s}$,可知两列波频率相同,相位差恒定,两列波相遇后将能发生稳定的干涉,波源 S_1 的振动传播到 O 点的时间为 $t_1 = \left| \frac{x_1}{v} \right| = \frac{9}{4} \text{ s} = 2.25 \text{ s}$,波源 S_2 的振动传播到 O 点的时间为 $t_2 = \frac{x_2}{v} - \frac{T}{4} =$

- $\frac{16}{4} \text{ s} - 0.25 \text{ s} = 3.75 \text{ s}$, $t_1 - t_2 = 1.5 \text{ s} = \frac{3}{2}T$,故 O 点为振动减弱点,振幅为 $A = A_1 - A_2 = 2 \text{ cm}$,故 A 错误;根据题意可得 $S_1P = \sqrt{x_1^2 + y^2} = 15 \text{ m}$, $S_2P = \sqrt{x_2^2 + y^2} = 20 \text{ m}$,则可得波源 S_1 、 S_2 的波传播至 P 点的时间分别为 $t_3 = \frac{S_1P}{v} = 3.75 \text{ s}$, $t_4 = \frac{S_2P}{v} - \frac{T}{4} = 4.75 \text{ s}$,可得 $\Delta t = t_4 - t_3 = 1 \text{ s}$,故 B 错误;当 $t = 5.25 \text{ s}$ 时,波源 S_1 的波在 P 点引起的振动时间为 1.5 s ,波源 S_2 的波在 P 点引起的振动时间为 0.5 s ,可知由波源 S_1 的波在 P 点引起的振动此时恰好回到平衡位置且沿着 z 轴负方向振动,由波源 S_2 的波在 P 点引起的振动此时也恰好回到平衡位置且沿着 z 轴负方向振动,由此可知, $t = 5.25 \text{ s}$ 时,P 点向 $-z$ 方向振动,故 C 错误;根据以上分析可知, $0 \sim 5.25 \text{ s}$ 内,由波源 S_1 在 P 点引起的振动使 P 点先振动了 1 s ,即 1 个周期后波源 S_2 的波恰好传播至 P 点,P 点振动加强,振幅为 $A' = A_1 + A_2 = 18 \text{ cm}$,由此可知, $0 \sim 5.25 \text{ s}$ 内,质点 P 通过的路程为 $s_P = 4A_1 + 2A' = 76 \text{ cm}$,故 D 正确。

11. A 【解析】对于甲,小球受到的合力 $F = -2k(\frac{d}{\sin \theta} - l) \sin \theta = -2kd + 2kl \sin \theta$,由于 $d \ll l$,有 $\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{d}{l} \approx 0$,则 $F = -2kd$,做简谐运动的周期 $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}$,对于乙,小球受到的合力 $F = -kx$,做简谐运动的周期 $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$,两种情况下小球首次回到平衡位置所需时间均为 $\frac{1}{4}$ 周期,则两种情况下小球首次回到平衡位置所需时间之比为 $1 : \sqrt{2}$,故选 A。



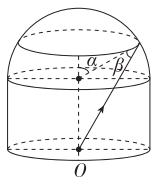
第 13 讲 光学

1. B 【解析】水中明亮的气泡、光纤通讯、海市蜃楼均是由于光的全反射形成的,只有立体电影是利用光的偏振,故选 B。
2. C 【解析】普朗克通过对黑体辐射的研究,提出了能量子的概念,而爱因斯坦通过对光电效应现象的研究,提出了光子的概念,故 A、B 错误;德布罗意运用类比、对称的思想首先提出了物质波的猜想,而电子衍射实验证实了他的猜想,故 C 正确;康普顿发现 X

射线通过石墨散射时,散射光中出现波长大于入射波长的成分,这需要用动量解释,说明光具有粒子性,D错误。

3. D 【解析】右端光强度大,则激光从材料右端射入,故A错误;光从右向左传播过程中,光线与法线夹角越来越大,说明材料的折射率自下而上逐渐减小;增加材料左右长度,当光线的入射角合适时,光线在某个界面发生全反射,向下偏折后,从光疏介质进入光密介质,可能会形成对称的光路,故B错误,D正确;增加材料上下高度,光线发生偏折的次数增多,入射角越来越大,必然会出现入射角大于临界角,发生全反射,光线不能从上表面射出,故C错误。

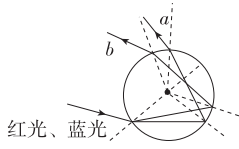
4. D 【解析】球冠上发光部分的表面积 $S = \pi R^2$,已知球冠表面积的计算公式为 $S = 2\pi R h$,则 $\pi R^2 = 2\pi R h$,如图,分析几何关系知 $h = R - R \cos \alpha$,联立解得 $\cos \alpha = \frac{1}{2}$,结合图知 $\alpha = 60^\circ$,由图可知 $\alpha = 2\beta$,则 $\beta = 30^\circ$,根据题意知,入射角为 $\beta = 30^\circ$ 时恰好发生全反射,则该玻璃对光的折射率为 $n = \frac{1}{\sin \beta} = 2$,故D正确。



5. D 【解析】单缝衍射实验中,中间条纹宽度最大且最亮,可知中间光强最强,而在双缝干涉实验中,形成的明暗条纹间距相等,根据干涉的叠加原理可知,明条纹中心处光强最强,因此可判断,图甲发生的是衍射现象,图乙发生的是干涉现象,故A错误;单缝衍射中,只减小单缝宽度时,甲现象条纹间距变大,而双缝干涉中条纹间距 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$,式中 d 为双缝宽度,则可知,条纹间距与单缝宽度无关,故B错误;由于红光波长大于蓝光波长,当所用光线由红光变成蓝光时,单缝衍射中,中央明纹宽度与波长成正比,可知甲现象条纹间距变小,而双缝干涉中条纹间距 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$,可知乙现象条纹间距减小,故C错误;甲现象为光的衍射,即光绕过障碍物继续传播,可知发生甲现象时,说明光没有沿直线传播,故D正确。

6. A 【解析】由题意可得,红、蓝复合光在玻璃球中的光路图如图所示,b光的偏折程度较大,说明玻璃球对b光的折射率较大,则b光的波长较小,频率较大,则b应是蓝光,a是红光,A错误,符合题意,B正确,不符合题意;由光路可逆性原理可知,a、b两种光从玻璃球出射的折射角相等,C正确,不符合题意;由光路图可知,b光在玻璃球中的运动路程大于a光在玻璃球中的运动路程,玻璃球对b光的折射

率较大,由 $v = \frac{c}{n}$ 可知,b光在玻璃球中的传播速度小于a光在玻璃球中传播速度,因此b在玻璃中传播时间较长,D正确,不符合题意。



7. D 【解析】设光子的动量为 p ,根据能量守恒定律有 $2(E_k + mc^2) = 2\epsilon$,而光子的能量为 $\epsilon = h\nu = p\lambda\nu = pc$,则 $p = \frac{E_k}{c} + mc$,故选D。

8. BD 【解析】打出的光电子的最大初速度之比为2:1,则打出的光电子的最大初动能之比为4:1,根据 $E_k = h\nu - W_0$,有 $(h\frac{c}{\lambda} - W_0) : (h\frac{c}{3\lambda} - W_0) = 4 : 1$,解得 $W_0 = \frac{hc}{9\lambda}$,

则截止频率 $\nu_c = \frac{W_0}{h} = \frac{c}{9\lambda}$,故A错误,B正确;当用波长为 3λ 的光来照射这种金属时,由于阴极和阳极板结构不明确等多种因素,无法计算光电流达到饱和时的正向电压,需要实验来确定,故C错误;如果用波长为 2λ 的光来照射这种金属,有 $h\frac{c}{2\lambda} - W_0 = eU_c$,

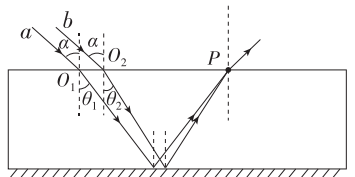
解得 $U_c = \frac{7hc}{18e\lambda}$,由于 $\frac{hc}{2e\lambda} > U_c$,所以加上 $\frac{hc}{2e\lambda}$ 的反向电压,则光电流一定为零,选项D正确。

9. BD 【解析】根据题意可知,a光对应的遏止电压小于b光对应的遏止电压,根据动能定理结合爱因斯坦光电效应方程可知 $eU_c = h\nu - W_0 = h\frac{c}{\lambda} - W_0$,可得 $\nu_a < \nu_b, \lambda_a > \lambda_b$,根据已知条件只能判断两者的频率关系,无法判断光照强度的强弱关系,故A错误;a光的波长大于b光的波长,根据 $p = \frac{h}{\lambda}$,可知a光的光子动量小于b光的光子动量,故B正确;a光的波长大于b光的波长,根据双缝干涉条纹间距公式 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$ 可知,若a、b两束单色光分别经过同一双缝干涉装置得到干涉图样,则a光条纹间距大,故C错误;光的频率越小,则折射率越小,根据临界角公式 $\sin C = \frac{1}{n}$,可知临界角越大,所以若a、b两束单色光都从同一玻璃砖射向空气,则a光发生全反射的临界角大,故D正确。

10. C 【解析】设a、b两单色光的入射角为 α ,玻璃砖厚度为 h ,折射角分别为 θ_1, θ_2 ,作出光路图如图所示,由于两光线刚好从玻璃砖上表面同一点P射出,则有 $2h \tan \theta_1 > 2h \tan \theta_2$,

可知 $\theta_1 > \theta_2$,根据 $n_1 = \frac{\sin \alpha}{\sin \theta_1} = \frac{c}{v_1}, n_2 = \frac{\sin \alpha}{\sin \theta_2} = \frac{c}{v_2}$,可知 $v_1 > v_2$,即在玻璃中b光的传播速度比a光小,A错误;在玻璃中b光的传播速度比a光小,则在玻璃中b光的波长比a光小,根据 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$ 可知,若a、b两束光通过同一个双缝干涉装置,则b光对应的条纹间距较小,B错误;a、b两束光在玻璃砖中传播的时

间分别为 $t_1 = \frac{2h}{v_1 \cos \theta_1} = \frac{2h}{c \sin \theta_1} = \frac{2h}{c \sin \alpha}$, $t_2 = \frac{2h}{v_2 \cos \theta_2} = \frac{2h}{c \sin \theta_2} = \frac{4h \sin \alpha}{c \sin 2\theta_1}$, $t_2 = \frac{2h}{v_2 \cos \theta_2} = \frac{2h}{c \sin \theta_2} = \frac{4h \sin \alpha}{c \sin 2\theta_2}$,由于玻璃砖对a、b两单色光的折射率均大于 $\sqrt{2}$,根据 $\sin C = \frac{1}{n} < \frac{\sqrt{2}}{2} = \sin 45^\circ$,有 $C < 45^\circ$,则 $2\theta_2 < 2\theta_1 < 2C < 90^\circ$, $\sin 2\theta_2 < \sin 2\theta_1, t_1 < t_2$,所以若a、b两束光同时从玻璃砖上表面射入,则a光比b光先从P点射出,C正确;根据对称性和光路可逆性可知,当b光从玻璃砖上表面射出时,出射光线与玻璃砖上表面的夹角等于从 O_2 点入射时入射光线与玻璃砖上表面的夹角,所以即使增大b光的入射角,也不可能发生全反射,D错误。



11. C 【解析】依题意,可得 $P = P_{\text{辐射}} \frac{A}{4\pi d^2}$,解得 $P_{\text{辐射}} = \frac{4\pi d^2}{A} P$,故A错误;放上平面镜后,接收器接收到的光能功率为 $P' = P + P_{\text{辐射}} \frac{A}{4\pi (3d)^2} = \frac{10}{9} P$,故B错误,C正确;放上平面镜后,屏幕上会出现明暗相间的以光能接收器为圆心的同心圆条纹,故D错误。

12. C 【解析】单色平行光垂直照射平板玻璃,从两平板玻璃间形成的空气膜的上、下界面(即上玻璃板的下表面和下玻璃板的上表面)反射的光在上玻璃上表面发生干涉,形成干涉条纹,光的路程差为空气膜厚度的两倍,根据光的干涉知识可知,同一条干涉条纹位置处光的路程差相等,所以滚珠a的直径与滚珠b的相等,即滚珠b合格,而不同的干涉条纹位置处光的路程差不同,所以滚珠a的直

径与滚珠 c 的不相等,即滚珠 c 不合格,C 正确。

第 14 讲 原子物理

1. D 【解析】 α 粒子散射实验中绝大多数 α 粒子几乎不发生偏转,可以推测使粒子受到斥力的核体积极小,所以带正电的物质只占整个原子的很小空间,并不是均匀分布的,故 A 错误;氢原子发射的光子能量值是不连续的,只能是一些特殊频率的谱线,故不是连续谱,故 B 错误;当入射光子与晶体中的电子碰撞后,这些光子的能量减小,波长变大,故 C 错误;镉棒能够吸收中子,在反应堆中的作用是控制链式反应的速度,故 D 正确。
2. B 【解析】图甲中氢原子的电子云示意图体现出玻尔能级理论中的电子运动轨道是概率问题,故 A 错误;结合能等于比结合能乘核子数,根据图乙中原子核的比结合能示意图, ${}_{56}^{114}\text{Ba}$ 核和 ${}_{36}^{80}\text{Kr}$ 核的比结合能均大于 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 核,且中子的结合能为 0,所以二者结合能之和一定大于 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 核的结合能,故 B 正确;太阳内部每时每刻发生的是核聚变,而图丙中的链式反应是核裂变,故 C 错误;半衰期是大量原子核衰变的统计规律,对少量原子核不适用,10 000 个氡核经过 7.6 天后不一定还剩 2500 个,故 D 错误。
3. D 【解析】铀核自发地进行 α 衰变和 β 衰变,分别放射出氦核和电子,氦核和电子再形成氦原子,因为氦气分子是单原子分子,所以大量的氦原子就形成了氦气,涉及的反应方程式为 ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$,故选 D。
4. AD 【解析】根据爱因斯坦光电效应方程 $E_{\text{km}} = h\nu - W$,知该图线的斜率表示普朗克常量,得普朗克常量为 $h = \frac{0.5 \times 1.6 \times 10^{-19}}{(5.5 - 4.3) \times 10^{14}} \text{ J} \cdot \text{s} \approx 6.67 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$,故 A 正确;根据爱因斯坦光电效应方程 $E_{\text{km}} = h\nu - W = h\nu - h\nu_0$,可知 $E_{\text{km}} - \nu$ 图像的横轴的截距大小等于截止频率,由图知该金属的截止频率为 $\nu_0 = 4.3 \times 10^{14} \text{ Hz}$,逸出功为 $W = h\nu_0 = 6.67 \times 10^{-34} \times 4.3 \times 10^{14} \text{ J} \approx 2.868 \times 10^{-19} \text{ J} \approx 1.79 \text{ eV}$,故 B、C 错误; $n=4$ 能级的氢原子跃迁到 $n=2$ 能级时所辐射的光子能量为 $\Delta E = E_4 - E_2 = 2.55 \text{ eV} > W$,故所辐射的光照射该金属能使该金属发生光电效应,故 D 正确。
5. AC 【解析】根据光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0$ 和动能定理 $U_c e = E_k$,联立可得 $U_c e = h\nu - W_0$,根据图乙中遏止电压的值可知 $\nu_a < \nu_b < \nu_c$,而光子动量和能量之间的关系为 $p = \frac{h\nu}{c}$,因此这三种光的光子动量 $p_a < p_b < p_c$,A 正确;由图乙可知, c 光的遏止电压最大,根据动能定理可知, c 光使其逸出的光电子的最大初动能最大,但 c 光

使其逸出的光电子的初动能不一定都最大,B 错误;根据 $\nu = \frac{c}{\lambda}$,可知 $\lambda_a > \lambda_b > \lambda_c$,根据双缝干涉相邻亮(暗)纹间距公式 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$ 可知,通过同一装置发生双缝干涉, a 光的相邻条纹间距最大,C 正确;这三种光若是原子从能级 $n=3$ 跃迁到较低能级时发出的光,利用光电效应方程可知 $h\frac{c}{\lambda_c} = h\frac{c}{\lambda_b} + h\frac{c}{\lambda_a}$,整理得 $\frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{\lambda_b} + \frac{1}{\lambda_a}$,D 错误。

6. B 【解析】根据核反应方程遵循质量数守恒和电荷数守恒可知,X 的质量数为 1,电荷数为 0,故 X 为中子 ${}_0^1\text{n}$,故 A 错误;在锂元素形成的过程中,发生核聚变反应,核聚变需要很高温度才能进行,可知宇宙的温度一定很高,故 B 正确; ${}_2^4\text{He}$ 和 ${}_1^3\text{H}$ 聚合时两者间距离的数量级为 10^{-15} m ,故 C 错误;该反应释放的核能为 $\Delta E = (m_1 + m_2 - m_3 - m_4)c^2$,故 D 错误。
7. A 【解析】因 1 立方米的水经过 8 天,即 4 个半衰期后测得水样每分钟衰变 20 次,可知 8 天前 1 立方米的水每分钟衰变次数为 $n = \frac{20}{\left(\frac{1}{2}\right)^4} = 320$ 次,则水库中水的体积 $V = \frac{3.2 \times 10^7}{320} \text{ m}^3 = 1 \times 10^5 \text{ m}^3$,故选 A。
8. AB 【解析】可见光的波长范围为 $4.0 \times 10^{-7} \text{ m} \sim 7.6 \times 10^{-7} \text{ m}$,根据 $h\nu = h\frac{c}{\lambda}$,可得可见光的光子能量范围为 $1.6 \text{ eV} \sim 3.1 \text{ eV}$,氢原子从 $n=4$ 能级向 $n=2$ 能级跃迁,辐射的光子能量为 $3.4 \text{ eV} - 0.85 \text{ eV} = 2.55 \text{ eV}$,属于可见光,故 A 正确;氢原子从高能级向 $n=3$ 能级跃迁时,辐射的光子能量小于 1.51 eV ,属于红外线,具有显著的热效应,故 B 正确;氢原子从 $n=4$ 能级向 $n=2$ 能级和 $n=1$ 能级跃迁时辐射的两种光,前者频率更低,在同一介质中传播时前者速度大于后者,故 C 错误;氢原子从 $n=4$ 能级向低能级跃迁,光子动量最大时能量最大,有 $E_4 - E_1 = h\nu = pc$,得辐射的光子的最大动量 $p = \frac{E_4 - E_1}{c} = \frac{(13.6 - 0.85) \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 6.8 \times 10^{-27} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$,故 D 错误。
9. A 【解析】平均结合能越大的原子核越稳定,由图像可知, ${}_{36}^{89}\text{Kr}$ 核比 ${}_{56}^{144}\text{Ba}$ 核的平均结合能大,所以 ${}_{36}^{89}\text{Kr}$ 核比 ${}_{56}^{144}\text{Ba}$ 核更稳定,故 A 正确;由图像可知, ${}_2^4\text{He}$ 核的平均结合能为 7 MeV ,根据平均结合能的定义可知, ${}_2^4\text{He}$ 核的结合能为 $4 \times 7 \text{ eV} = 28 \text{ eV}$,故 B 错误;核子结合成原子核时,发生质量亏损,

释放核能,故三个中子和三个质子结合成 ${}_3^6\text{Li}$ 核时释放能量,故 C 错误;重核裂变时,发生质量亏损,释放能量,故 D 错误。

10. D 【解析】 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 与 α 粒子的动能之和等于衰变释放的核能 $(m_{\text{Pu}} - m_{\text{U}} - m_{\alpha})c^2$,衰变前后动量守恒,则 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 与 α 粒子的动量大小相等,方向相反,由 $E_k = \frac{p^2}{2m}$ 可知,两者的动能与质量成反比,所以 α 粒子的动能为 $E_{\text{ka}} = \frac{m_{\text{U}}}{m_{\text{U}} + m_{\alpha}} \cdot (m_{\text{Pu}} - m_{\text{U}} - m_{\alpha})c^2$,故 A 错误; α 粒子的动量为 $p = \sqrt{2m_{\alpha}E_{\text{ka}}} = \sqrt{\frac{2m_{\text{U}}m_{\alpha}(m_{\text{Pu}} - m_{\text{U}} - m_{\alpha})c^2}{m_{\alpha} + m_{\text{U}}}}$,故 B 错误; ${}_{92}^{235}\text{U}$ 与 α 粒子的动量大小相等,电荷量之比为 $46:1$,根据 $qvB = m\frac{v^2}{r}$ 得 $r = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{qB}$,则 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 与 α 粒子在磁场中运动的半径之比为 $1:46$,故 C 错误;根据周期公式 $T = \frac{2\pi m}{qB}$ 可知, ${}_{92}^{235}\text{U}$ 与 α 粒子在磁场中运动的周期之比为 $\frac{T_{\text{U}}}{T_{\alpha}} = \frac{m_{\text{U}}q_{\alpha}}{m_{\alpha}q_{\text{U}}}$,代入质量数和电荷数,可得约为 $1.3:1$,故 D 正确。
11. D 【解析】半衰期与温度无关,故 A 错误;能使空气电离的高能粒子主要是 α 射线,故 B 错误;由题意可知核反应方程为 ${}_{74}^{156}\text{W} \rightarrow {}_{73}^{156}\text{Ta} + {}_1^0\text{e}$,由于钨 156 发生 β^+ 衰变产生的新核与钨 156 质子数不同,故二者不是同位素,故 C 错误;比结合能越大越稳定,自然衰变的产物比结合能会变大,故钨 160 发生 α 衰变产生的钨 156 的比结合能大于钨 160 的比结合能,故 D 正确。
12. AD 【解析】比结合能越大,原子核越稳定,由于 ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ 比 ${}_{84}^{210}\text{Po}$ 更稳定,所以 ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ 的比结合能大于 ${}_{84}^{210}\text{Po}$ 的比结合能,故 A 正确; ${}_{84}^{210}\text{Po}$ 的结合能为 E_1 , ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ 的结合能为 E_2 ,X 的结合能为 E_3 ,则该核反应过程中放出的能量为 $Q = E_2 + E_3 - E_1$,故 B 错误;根据爱因斯坦质能方程可知 $Q = mc^2$,可得 $m = \frac{Q}{c^2}$,故 C 错误;核衰变后,生成的新原子核位于高能级,能自发向低能级跃迁,从而放出光子,故 D 正确。

第 15 讲 力学实验

1. 11.4 0.922(0.921~0.923 均可)
【解析】游标卡尺的主尺读数为 11 mm ,游标尺读数为 $4 \times 0.1 \text{ mm} = 0.4 \text{ mm}$,所以最终读数为 11.4 mm ;螺旋测微器的固定刻度读数为 0.5 mm ,可动刻度读数为 $42.2 \times 0.01 \text{ mm} = 0.422 \text{ mm}$,所以最终读数为 0.922 mm 。

2. (1)低 B (2)不需要 (3)0.20
(4)A

[解析] (1)打点计时器在纸带上打出的计时点越来越疏,说明小车做加速运动,木板的一端抬得过高,则应将长木板底下的小木块垫得比原先低些,要使得悬挂物的重力等于小车的牵引力,必须要使得悬挂物的质量远小于小车的质量,小王称量出小车的质量为200.0 g,应选择图乙中的B作为牵引小车的悬挂物。

(2)在“探究小车速度随时间变化的规律”实验中,只需要小车做加速运动即可,不需要补偿阻力,即这个实验中不需要完成以上(1)的操作。

(3)因每两点间有四个点未画出,可知 $T=0.1\text{ s}$,则其对应的加速度 $a=\frac{x_{DG}-x_{AD}}{9T^2}=\frac{(6.50-2.60)-(2.60-0.50)}{9\times 0.1^2}\times 10^{-2}\text{ m/s}^2=0.20\text{ m/s}^2$ 。

(4)对小车和悬挂物整体有 $mg=(M+m)a$,故 $a=\frac{mg}{M+m}$,作图时应作出 $a-\frac{1}{M+m}$ 图像,得到一条完整的直线,故A正确。

3. (1)B (2)①P ②0.453 ③C

[解析] (1)“探究平抛运动的特点”的实验中,物体的运动轨迹是曲线,打点计时器只能用来研究直线运动,所以用不到打点计时器,故A错误;“探究加速度与力、质量的关系”的实验中,需要测量加速度的大小,所以需要用到打点计时器,故B正确;“用单摆测量重力加速度”的实验中,需要用刻度尺测摆长和用停表测周期,不需要打点计时器,故C错误;“探究向心力大小表达式”的实验中,需要用天平测质量和通过向心力演示仪读出角速度之比、半径之比、向心力之比,不需要打点计时器,故D错误。

(2)①纸带下端所挂物体应该体积小而质量大,从而受到阻力影响较小,同时不要选用砝码、钩码这类易受损的精密器材,只能用图中的P。

②在纸带OB段,重物的重力势能减少量为 $E_p=mgh=200\times 10^{-3}\times 9.80\times 23.10\times 10^{-2}\text{ J}\approx 0.453\text{ J}$ 。

③计算B点速度大小,应根据匀变速直线运动中中间时刻的瞬时速度等于该段时间内的平均速度,即 $v_B=\frac{x_{AC}}{t_{AC}}$ 。

故C正确;不能利用 $v_B=\sqrt{2gx_{OB}}$ 和 $v_B=gt_{OB}$,因为这两个式子已经默认机械能守恒了,实验的验证性目的不存在了,故A、B错误。

4. (1)水平 初速度相等 (2)D (3)球心 y轴 (4)AB

[解析] (1)实验前应对实验装置反复调节,直到斜槽末端切线水平,以保证小球能水平飞出。每次让小球从同一

位置由静止释放,是为了平抛运动初速度相等。

(2)斜槽的作用是使小球获得水平初速度,小球与斜槽间是否有摩擦以及斜槽轨道倾角大小都不会影响实验结果,故A、B错误;挡板的作用是阻挡小球以获得一些平抛运动过程中的位置点迹,对挡板高度变化并无等间距要求,故C错误;空心钢球受空气阻力影响较大,所以用空心钢球代替实心钢球做实验,会增大实验误差,故D正确。

(3)由题意“钢球侧面会在白纸上挤压出一个痕迹点”知钢球的球心对应白纸上的位置即为原点,确定原点后,再根据铅垂线确定y轴。

(4)从细管水平喷出稳定的细水柱,拍摄照片,可得到平抛运动轨迹,故A符合题意;用频闪照相在同一底片上记录平抛小球在不同时刻的位置,平滑连接各位置,可得到平抛运动轨迹,故B符合题意;将铅笔垂直于竖直的白纸板放置,笔尖紧靠白纸板,铅笔以一定初速度水平抛出,笔尖与纸面之间无挤压并不会留下痕迹,故不可得到平抛运动轨迹,故C不符合题意。

5. (1)①A. 细绳未与弹簧中心轴共线 B. 细绳太短 ②AC (2)BC

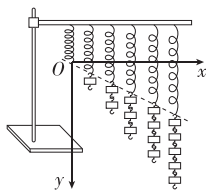
[解析] (1)①由图甲可知,该小组操作过程存在的两处错误是,细绳未与弹簧中心轴共线和细绳太短。

②为了保证效果相同,同一次实验过程中O点位置不允许变动,故A正确;确定力的方向时,采用两点确定一条直线的方法,不能沿细绳画线,故B错误;若只有一只弹簧测力计,为了完成该实验,需用手拉住一条细绳,用弹簧测力计拉另一条细绳,互成角度地拉橡皮条,使结点到达O点,且至少需要3次把橡皮条结点拉到O点,第一次用细绳代替拉力 F_1 ,用弹簧测力计测量 F_2 ,第二次用细绳代替拉力 F_2 ,用弹簧测力计测量 F_1 ,第三次弹簧测力计直接拉橡皮条,测量 F' ,故C正确;两个弹簧测力计共同作用时,与一个弹簧测力计作用效果相同,必须使作用效果相同,若用细绳代替橡皮筋,不能保证效果相同,故D错误。

(2)根据题意,以不挂钩码的弹簧底端为原点,建立坐标系,如图所示,可知,y表示弹簧的形变量,设相邻弹簧水平间距为 x_0 ,倾斜直线与x轴夹角为 θ ,由图可知,当挂1个钩码时,形变量为 $x_0\tan\theta$,当挂2个钩码时,形变量为 $2x_0\tan\theta$,...,当挂5个钩码时,形变量为 $5x_0\tan\theta$,综上所述可知,弹簧弹力与弹簧形变量成正比,故A错误;综上所述有 $nmg=knx_0\tan\theta$,可得 $\tan\theta=\frac{mg}{kx_0}$,可知倾斜直线越陡,劲

度系数 k 越小,表示该弹簧抗拒形变的“本领”越小,换一组更“硬”的弹簧,即 k 变大,则 θ 变小,直线的倾斜程度

更平缓,故B、C正确;按照上述规律不断增加弹簧和钩码,当超过弹簧的弹性限度时,弹簧末端不在此倾斜直线附近,故D错误。



6. (1)A (2)角速度的二次方 不变

[解析] (1)本实验先控制住其他几个因素不变,集中研究其中一个因素变化所产生的影响,采用的实验方法是控制变量法,故A正确。

(2)标尺上露出的红白相间的等分标记之比为两个小球所受的向心力之比,根据 $F=m\omega^2 r$ 可知,在小球质量和转动半径相同的情况下,左、右标尺露出的红白相间等分标记之比等于两小球的角速度的二次方之比;在加速转动手柄过程中,左右标尺露出的红白相间等分标记之比始终为两个小球所受的向心力之比,即始终等于两小球的角速度的二次方之比,该比值不变。

第16讲 电学实验

1. (1)BD (2)左 右偏

[解析] (1)断开开关时B中磁通量减小,闭合开关时B中磁通量增加,根据楞次定律可知指针偏向不同,A错误;闭合开关,待电路稳定后,如果滑动变阻器滑片不移动,B中磁通量不变,所以指针不偏转,B正确;滑动变阻器的滑片匀速向左或匀速向右移动,B中磁通量都发生变化,所以有感应电流,灵敏电流计指针不在中央,C错误;滑动变阻器的滑片向右加速移动或者向右减速移动,回路中电阻减小,电流增大,B中磁通量增大,根据楞次定律可知两次引起的电流方向是一致的,指针偏向同一侧,D正确。

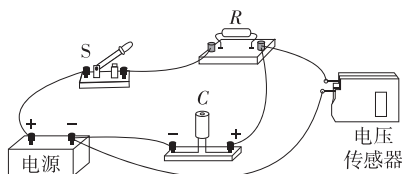
(2)闭合开关前要保证回路中的电流最小,防止烧毁用电器,所以滑动变阻器的滑片应位于最左端。闭合开关时,磁通量增加,灵敏电流计的指针右偏。指针稳定后,迅速将滑动变阻器的滑片P向右移动时,回路中电阻减小,电流增大,B中磁通量增大,所以灵敏电流计的指针右偏。

2. (1)S (2) 1.90×10^3

[解析] (1)在使用多用电表测该电阻前,发现指针如图乙所示并未指在“0”刻度处,因此需要调整图丙中的部件“S”指针对位螺丝,即机械调零旋钮,使指针指在“0”刻度处。

(2)多用电表欧姆挡表盘为最上面弧线所示刻度,测电阻时,应用表盘读数乘所选倍率,根据读数原理可得该待测电阻的阻值为 $R_x=19.0\times 100\ \Omega=1.90\times 10^3\ \Omega$ 。

3. (1)如图所示 (2)40 (3)充电 B (4) 1.8×10^{-5}



【解析】(1)根据电路图连接实物图,如图所示。

(2)由图丙可知周期 $T=25 \times 10^{-3} \text{ s}$,所以该矩形波的频率为

$$f = \frac{1}{T} = 40 \text{ Hz}.$$

(3)由图丁可知,B点前后电容器两端的电压增大,故B点时电容器处于充电状态;根据 $C = \frac{Q}{U}$ 可知,电容器所带电荷量与其两端的电压成正比,则 $Q-t$ 图像与图丁类似,而 $Q-t$ 图像的斜率表示电流,所以在B点时通过电阻R的电流更大。

(4)由图戊可知当 $f=45 \text{ Hz}$ 时,电容器两端的电压最大值约为 $U_m = 3.8 \text{ V}$,根据电容的定义式 $C = \frac{Q}{U}$ 得此时电容器所带电荷量的最大值为 $Q_m = CU_m = 4.7 \times 10^{-6} \times 3.8 \text{ C} \approx 1.8 \times 10^{-5} \text{ C}$ 。

4. (1)0.787(0.785~0.788 均可)

(2)9.0 (3) 5.9×10^{-6}

【解析】(1)根据螺旋测微器的读数规律,该读数为 $d = 0.5 \text{ mm} + 28.7 \times 0.01 \text{ mm} = 0.787 \text{ mm}$ 。

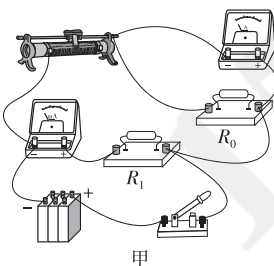
(2)根据欧姆挡的读数规律,该读数为 $R_x = 9.0 \times 1 \Omega = 9.0 \Omega$ 。

(3)根据电阻定律有 $R = \rho \frac{L}{S} = \rho \frac{L}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{4\rho L}{\pi d^2}$,解得 $\rho = \frac{\pi d^2 R}{4L}$,代入

数据得 $\rho = 5.9 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ 。

5. (1)如图甲所示 (2) $80R_g m - 60R_g k$

(3)丁 a



【解析】(1)连接实物图如图甲所示。

(2)根据闭合电路的欧姆定律可得 $E = I_2(R_g + R_1) + \frac{R_0 + R_A}{R_0} I_1 r$, 变式

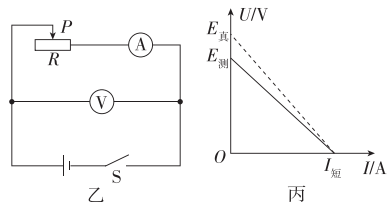
可得 $I_2 = \frac{E}{R_g + R_1} - \frac{(R_0 + R_A) \cdot r}{R_0(R_g + R_1)} I_1$, 结合图像可得

$\frac{E}{R_g + R_1} = m, -\frac{(R_0 + R_A) \cdot r}{R_0(R_g + R_1)} = k$, 代入数据可得电源

电动势 $E = 80R_g m$, 电源内阻 $r = -60R_g k$ 。

(3)此实验误差原理与图乙相同,用伏

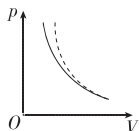
安法测电源内阻相对于电源来说采用电流表外接法,由于电压表的分流作用,电流测量值偏小,当外电路短路时,电流的测量值等于真实值,电源的 $U-I$ 图像如图丙所示,可知与本实验原理相符的是丁图像,其中 a 图线是不考虑毫安表分流带来的误差时绘得的。



第 17 讲 其他实验

1. (1)步骤①压强传感器不需要调零,需要校准 (2)保证封闭气体的质量不变 保证封闭气体的温度不变

(3)如图所示 (4)见解析



【解析】(1)步骤①压强传感器不需要调零,需要校准。

(2)实验操作中,活塞上均匀涂抹润滑油,主要目的是增强气密性,从而保证封闭气体的质量不变.推动活塞时要缓慢,原因是使封闭气体能够与外界充分地发生热交换,从而保证封闭气体的温度不变。

(3)小明在操作过程中,误将手一直握住注射器的筒壁,封闭气体的温度会逐渐升高, pV 值会逐渐增大,实际作出的 $p-V$ 图像会随 V 的减小而逐渐向上偏离标准图线,如图所示。

(4)由于作出的 $p-V$ 图像具体是何种曲线不能直观判断,进而不能直接得到气体压强和体积的关系,此时应作 $p-\frac{1}{V}$ 图像,如果图像是过原点的倾斜直线,则可以判断温度不变时,一定质量的气体压强与体积成反比。

2. (1)油酸分子形成单层分子膜

(2) 1.0×10^{-9} ($9.4 \times 10^{-10} \sim 1.1 \times 10^{-9}$ 均可) (3)偏大

【解析】(1)本实验中做了三点理想化假设:将油酸分子视为球形;油酸分子形成单层分子膜;油酸分子是紧挨在一起的。

(2)每滴油酸酒精溶液中含有纯油酸

的体积为 $V = \frac{5}{1000} \times \frac{0.5}{100} \text{ mL} = 2.5 \times 10^{-5} \text{ mL}$,按照超过半格的算一个,不足半格的舍去原则,可得油酸膜的面积为 $S = 62 \times 4 \text{ cm}^2 = 248 \text{ cm}^2$,估测出油酸分子的直径为 $d = \frac{V}{S} = \frac{2.5 \times 10^{-5}}{248} \text{ cm} \approx 1.0 \times 10^{-9} \text{ m}$ 。

(3)由图可知该次实验中爽身粉撒太多,油膜未能充分展开,此时所测油膜面积偏小,所以油酸分子的直径测量结果相对真实值偏大。

3. (1)BD (2)1.56

【解析】(1)玻璃砖上下表面不平行也能测出折射率,所以如果A面被磨损不会直接影响到折射率的测量,故A错误;手拿玻璃砖时,手只能接触玻璃砖的粗糙面或棱,不能触摸光滑的光学面,故B正确,C错误;D面边缘有缺损不会影响到折射率的测量,故D正确。

(2)根据折射定律得 $n = \frac{\sin i}{\sin r}$,由几何关系得 $\sin i = \frac{A_1 A_3}{A_1 A_2}$, $\sin r = \frac{A_4 A_5}{A_2 A_4}$,解得 $n = \frac{A_1 A_3}{A_4 A_5} \approx 1.56$ 。

4. (1)C (2)15.30 6.6×10^{-7}

【解析】(1)该同学测条纹间距时,可以将分划板中心刻度线与亮条纹中心对齐,也可以将分划板中心刻度线与暗条纹中心对齐,A错误;在实验过程中拿掉双缝,将观察到明暗相间的衍射条纹,B错误;该干涉条纹虽然倾斜,但测量头也随之调整了方向,测量条纹间距的方法正确,所以测得的波长仍正确,C正确;若要得到竖直的条纹且与分划板刻度线平行,应先调整单缝和双缝的方向,再转动测量头,D错误。

(2)根据读数规律,手轮上的读数为 $15 \text{ mm} + 15 \times 0.02 \text{ mm} = 15.30 \text{ mm}$;根据题意,相邻两亮条纹中心的间距为 $\Delta x = \frac{15.30 \times 10^{-3} - 2.10 \times 10^{-3}}{6-1} \text{ m} = 2.64 \times 10^{-3} \text{ m}$,根据双缝干涉条纹间距公式 $\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$,解得 $\lambda = \frac{d \Delta x}{L} = \frac{0.3 \times 10^{-3} \times 2.64 \times 10^{-3}}{1.2} \text{ m} = 6.6 \times 10^{-7} \text{ m}$ 。

5. (1) 17. 283 (2) BC

(3) $\frac{4\pi^2(L_2 - L_1)}{T_2^2 - T_1^2}$

【解析】(1)由图可读出 $d = 17 \text{ mm} + 0.283 \text{ mm} = 17.283 \text{ mm}$ 。

(2)单摆在摆动过程中阻力要尽量小甚至忽略不计,所以摆球不可以是塑料球,A错误;单摆摆动时,摆角的大小应不超过 5° ,B正确;F最大值对应摆球经过最低点的时刻,相邻两次时间间隔为 $2t_0 = \frac{T}{2}$,则 $T = 4t_0$,C正确;由单摆的周期公式可推出重力加速度的计算式为 $g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$,用悬线的长度作为摆长,则摆长偏小,代入单摆周期公式计算得到的重力加速度值偏小,D错误。

(3)由周期公式 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$,变形得 $T^2 = \frac{4\pi^2}{g} L$, T^2-L 图像的斜率为 $k = \frac{4\pi^2}{g} = \frac{T_2^2 - T_1^2}{L_2 - L_1}$,解得 $g = \frac{4\pi^2(L_2 - L_1)}{T_2^2 - T_1^2}$ 。

第二部分

题型小卷1 “1~15 选择 +

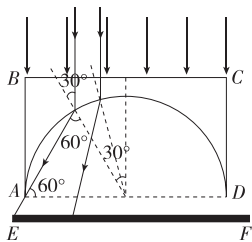
16 实验”限时练

1. B 【解析】国际单位制中,基本单位共有7个,分别为:千克(kg),米(m),秒(s),开尔文(K),摩尔(mol),安培(A),坎德拉(cd),故选B.
2. C 【解析】研究运动员的滑雪姿态时,运动员的形状大小不能忽略不计,不可以将运动员看作质点,故A错误;加速滑行时运动员的质量不变,惯性不变,故B错误;雪地对运动员的摩擦力方向与运动员运动方向相反,由牛顿第三定律可知,运动员对雪地的摩擦力方向与运动员运动方向相同,故C正确;运动员下蹲过程中身体重心位置发生变化,故D错误.
3. D 【解析】P位置的小水珠速度方向沿b方向,故A错误;P、Q两位置,杯子的向心加速度大小相等,方向不同,故B错误;P、Q两位置,杯子的速度大小相同,方向不同,故C错误;从Q到P,杯子所受合力指向圆心,与其速度夹角始终为 90° ,合外力做功为零,故D正确.
4. D 【解析】铀核裂变过程中质量数和电荷数守恒,故A、B正确;根据爱因斯坦的质能方程 $\Delta E = \Delta mc^2$ 可知,铀核裂变过程如果生成物不同,释放的能量会有差异,故C正确;铀核中使核子紧密结合在一起的作用是强相互作用,不是弱相互作用,故D错误.
5. A 【解析】根据同向电流相吸,异向电流相斥,则它们的电流方向相同;a受到的安培力大小为F,则b受到的安培力大小也为F,即 $F = B_a I_b L$,所以在b处产生的磁感应强度的大小为 $B_a = \frac{F}{I_b L}$,故选A.
6. C 【解析】电压表的示数应为交流电压的有效值,即 $U_{\text{有效}} = \frac{u_m}{\sqrt{2}} = 25\sqrt{2}$ V,故A错误;由 $u = 50\sin 100\pi t$ (V)可知,原线圈交流电的频率为

- $$\frac{100\pi}{2\pi} \text{ Hz} = 50 \text{ Hz}, \text{变压器不改变交流电的频率,因此副线圈中交流电的频率也为 } 50 \text{ Hz}, \text{故B错误;原线圈两端的电压最大值为 } 50 \text{ V}, \text{原、副线圈匝数之比为 } 1:120, \text{根据 } \frac{U_{1m}}{U_{2m}} = \frac{n_1}{n_2} \text{ 可知,点火针两端的电压最大值为 } 6000 \text{ V}, \text{故C正确;根据 } \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} \text{ 可知,点火针的放电电流是转换器输出电流的 } \frac{1}{120}, \text{故D错误.}$$
7. A 【解析】对砂桶受力分析,由平衡条件可知 $F_T = m_1 g$,对轻质滑轮C受力分析,由平衡条件可得 $2F_T \cos 37^\circ = mg$,往砂桶D中添加细砂后, $F_T' = (m_1 + \Delta m)g$, $2F_T' \cos 60^\circ = mg$,联立解得 $\Delta m = \frac{3}{8}m$,故选A.
 8. D 【解析】根据多普勒效应,发射器A向右运动,远离接收器B,则接收器B测量到的超声波频率比A发出的超声波频率低,故A错误;设发射脉冲信号时A与B的距离为x,由公式可得 $\Delta t = \frac{x}{v} - \frac{x}{c}$,因为红外线速度远大于超声波速度,上式得 $x = v\Delta t$,那么超声波速度不变,时间差不断增大时A与B距离不断增大,跟A加速运动没有联系,故B错误;只有横波才能发生偏振现象,红外线是电磁波,为横波,可以产生偏振现象,超声波为纵波,不可以产生偏振现象,故C错误;自然界的任何物体都向外辐射红外线,温度越高,辐射红外线的本领越强,故D正确.
 9. D 【解析】组合体受重力作用,重力提供做匀速圆周运动的向心力,处于完全失重状态,A错误;组合体的运行高度是离地球表面高h处,运行速度小于绕地球圆周运动的最大速度即第一宇宙速度7.9 km/s,B错误;由于稀薄空气的阻力作用,组合体如果没有动力补充,会向地球运动,引力做正

- 功,速度会越来越大,C错误;对组合体分析可知 $G \frac{Mm}{(R+h)^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} (R+h)$,又 $GM = gR^2$,联立求得 $T = 2\pi \sqrt{\frac{(R+h)^3}{gR^2}}$,D正确.
10. C 【解析】电势是标量,O点电势等于两球壳在O点形成的电势之和,不为零,故A错误;球壳带正电,球壳I在O点形成的电场强度水平向右,故B错误;把两球壳当成整体,在A点形成的电场强度为 $E = \frac{2kq}{x^2}$,方向沿OA方向,两球壳在A点分别形成的电场强度方向均沿OA方向,则 $E = E_1 + E_2$,解得 $E_2 = \frac{2kq}{x^2} - E_1$,故C正确;电势是标量,球壳I和球壳II电荷量相等,球壳II距离A点近,形成的电势高,故D错误.
 11. B 【解析】石块做斜上抛运动, $v_y = v \sin 30^\circ$,根据 $v_y = gt_1$,运动总时间 $t = 2t_1$,解得 $v = 8 \text{ m/s}$,设石块一共能打n个水漂,则有 $(1 - 30\%)^{n-1} v < 2 \text{ m/s}$ (n取整数),解得 $n = 5$,故B正确;石块每次弹起后竖直方向速度都减小,根据B选项分析可知石块每次弹起后的滞空时间都减小,故A错误;石块每次弹起到最高点时,竖直方向速度为零,水平方向速度不为零,所以石块每次弹起到最高点的速度不为零,故D错误;石块每次弹起过程能量损失 $\eta = \frac{\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}m(0.7v)^2}{\frac{1}{2}mv^2} \times 100\% = 51\%$,故C错误.
 12. D 【解析】γ射线是电磁波,在真空中的传播速度等于光速,故A错误;红外线的波长比γ射线长,故B错误;根据换算可得 $13 \text{ TeV} = 13 \times 10^{12} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = 2.08 \times 10^{-6} \text{ J}$,故C错误;根据 $E = h\nu$,可得频率为 $\nu = \frac{E}{h} \approx 3 \times 10^{27} \text{ Hz}$,故D正确.

13. D **【解析】** 如图所示,当入射角为 30° 时,折射光线恰好从 A 点射出,且入射角越大,偏折角越大,所以光线从 A、D 之间发散射出,光屏上移,光照区域应变窄,A 错误;全反射临界角 $\sin C = \frac{1}{n} = \frac{\sqrt{3}}{3} > \frac{1}{2}$,解得 $C \approx 35^\circ$,圆弧截面有光射出的弧长为 $l = \frac{2 \times 35^\circ}{360^\circ} \times 2\pi R = \frac{7}{18}\pi R$,B 错误;由图可知,光照区域为光线从 A、D 点以 60° 射出时打到屏上的两点之间,由几何关系可得光屏至少长 $(\frac{\sqrt{3}}{5} + 2)R$,C 错误;频率越大,折射率越大,但是光线射出的范围仍然是 A、D 之间,A、D 点射出时与 EF 夹角变小,所以打到屏上的范围变大,光屏要更宽,D 正确。



14. AD **【解析】** 表面张力作用使表面积趋向最小,从而使断裂处的尖端变钝,A 正确;空调制冷过程中要消耗电能,电能转化过程中还要放出热量,所以向室内吸收热量小于向室外放出的热量,B 错误;雷达利用微波波长短,不易衍射的特点,C 错误;相对论时空观认为运动物体的长度和物理过程的快慢都跟物体运动状态有关,D 正确。
15. AC **【解析】** O 处质点位于三角形中心,该点到三个波源的间距相等,可知该点为振动加强点,则该点振幅为 $A_0 = 3A = 3 \times 2 \text{ cm} = 6 \text{ cm}$,故 A 正确;因为 $S_1C = \sqrt{3} \text{ m}$,该波长为 $\lambda = vT = 1 \text{ m}$,则 C 点到 S_1 、 S_3 的距离之差不是半波长的奇数倍,也不是半波长的偶数倍(同理 C 点到 S_1 、 S_2 也一样),则该点即不加强也不减弱,则振幅不是 6 cm,选项 B 错误;波源 S_1 的振动传播到 C 所需要时间 $t_1 = \frac{S_1C}{v} = \frac{\sqrt{3}}{0.25} \text{ s} = 4\sqrt{3} \text{ s} > 4.5 \text{ s}$,表明 $t = 4.5 \text{ s}$ 时,波源 S_1 的振动还没有传播到 C 点,由于 C 处质点位于 S_2 与 S_3 连线中点,则波源 S_2 与 S_3

的振动传播到 C 所需要时间均为 $t_2 = \frac{1}{0.25} \text{ s} = 4 \text{ s} < 4.5 \text{ s}$,表明 $t = 4.5 \text{ s}$ 时,波源 S_2 与 S_3 的振动传播到了 C 点,由于 $S_2C = S_3C = 1 \text{ m} = \lambda$, $T = 4 \text{ s}$, $4.5 \text{ s} = T + \frac{T}{8}$,C 点为振动加强点,表明 C 点在 4.5 s 时刻的位移为波源 S_2 与 S_3 在 $\frac{T}{8}$ 时刻振动形式的叠加,图丙的振动方程为 $y = 2\sin \frac{2\pi}{4}t (\text{cm}) = 2\sin \frac{\pi}{2}t (\text{cm})$,当时间为 $\frac{T}{8}$ 时,解得 $y_0 = \sqrt{2} \text{ cm}$,则 $t = 4.5 \text{ s}$ 时,C 处质点与平衡位置之间的距离是 $2y_0 = 2 \times \sqrt{2} \text{ cm} = 2\sqrt{2} \text{ cm}$,故 C 正确;因波长为 1 m,则其中一列波遇到尺寸为 0.8 m 的障碍物时,能发生明显的衍射现象,故 D 错误。

16. I. (1)①AC (2)AC (2)①9.86 (2)ACD

【解析】 I. (1)①做探究求合力的方法实验:我们是让两个力拉橡皮筋和一个力拉橡皮筋产生的作用效果相同,测出两个力的大小和方向以及一个力的大小和方向,用力的图示画出这三个力,用平行四边形定则作出两个力的合力的理论值,和另一个力进行比较,所以我们需要的实验器材有:木板(固定白纸),白纸(记录方向画图)、三角板(选标度、画图)、细绳套(弹簧测力计拉橡皮筋)、弹簧测力计(测力的大小)、图钉(固定白纸)、铅笔、橡皮筋(让力产生相同的作用效果)。要完成该实验,必须要有三角板画力的图示,要用弹簧测力计测拉力大小,故 A、C 正确,B、D 错误。②实验时,两细绳套应适当长一些,可以减小画方向时的误差,故 A 正确;只有一把弹簧测力计可以分别测出细绳套拉力,完成此实验,故 B 错误;实验过程中用一把弹簧测力计的作用效果替代两把弹簧测力计作用效果,只需同一次实验“结点”的位置相同即可,重复实验再次探究时,“结点”的位置不用保证与前一次相同,故 C 正确;实验过程中,弹簧测力计外壳可以与木板有接触,故 D 错误。

(2)①摆长 $L = l + \frac{d}{2} = 1.00 \text{ m}$,周期 $T = \frac{t}{n} = 2.0 \text{ s}$,则由公式 $T =$

$2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$,可得 $g = 9.86 \text{ m/s}^2$. ②由

公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 得, $g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$,测摆长时摆线拉得过紧,会使摆长的测量值偏大,则 g 测量值偏大,A 正确;由 $g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$ 知当实际摆长变长时,实际的周期就变大,那么 g 测量值就变小,B 错误;开始计时时,停表过迟按下,会使周期 T 的测量值偏小,则 g 测量值偏大,C 正确;实验中误将 49 次全振动计为 50 次,会使周期 T 的测量值偏小,则 g 测量值偏大,D 正确。

II. (1)ABD (2) $\frac{1}{k} \frac{b}{k} - r_g$ (3)小 大

【解析】 (1)滑动变阻器最大阻值只有 100Ω ,而苹果电池的内阻为几千欧,所以滑动变阻器起不到调节的作用,选项 A 正确;由 $I = \frac{U}{R_g}$,可知电路中电流不到 1 mA ,电流表几乎没有示数,选项 B 正确;电压表内阻远大于滑动变阻器的电阻,电压表的分流不明显,选项 C 错误;使用量程为 $0 \sim 3 \text{ V}$ 的电压表,电压表示数达不到满偏电压的三分之一,选项 D 正确。

(2)由电路可得 $E = I(R + r_g + r)$,解得 $\frac{1}{I} = \frac{1}{E}R + \frac{r_g + r}{E}$,则 $k = \frac{1}{E}$, $b = \frac{r_g + r}{E}$,解得 $E = \frac{1}{k}$, $r = \frac{b}{k} - r_g$.

(3)分析 1、3 两组数据可知,电极插入越深,苹果电池内阻越小;分析 1、2 两组数据可知,电极间距越大,苹果电池内阻越大。

题型小卷 2 “1~15 选择+16 实验”限时练

1. C **【解析】** 功是标量,功的单位为 $\text{J} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$,故 A 不符合题意;电场强度是矢量,电场强度的单位为 $\text{V} \cdot \text{m}^{-1} = \text{N} \cdot \text{C}^{-1} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$,故 B 不符合题意;磁感应强度是矢量,磁感应强度的单位为 $\text{T} = \text{N} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} = \text{kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$,故 C 符合题意;磁通量是标量,磁通量的单位 $\text{Wb} = \text{T} \cdot \text{m}^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$,故 D 不符合题意。

2. B 【解析】在避开障碍物的过程中,机器人的大小和形状不可以忽略不计,则不可以把机器人看成质点,故 A 错误;记录机器人从 1 楼至 9 楼的时间,机器人的大小和形状可以忽略不计,则可以把机器人看成质点,故 B 正确;送餐的全过程,机器人不是沿着直线运动,则机器人的位移大小小于路程,故 C 错误;若送餐用时 625 s,行程 50 m,机器人的平均速率为 $\bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{50}{625} \text{ m/s} = 0.08 \text{ m/s}$,平均速度不确定,故 D 错误。

3. A 【解析】飞镖在空中做平抛运动,水平方向做匀速直线运动,则有 $v_0 = \frac{x}{t} = \frac{2}{0.2} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$,A 正确;将飞镖沿水平方向正对靶心掷出,飞镖在空中只受重力作用,以地面为参考系,飞镖在空中做平抛运动,B 错误;飞镖在空中只受重力作用,重力对飞镖做正功,飞镖的动能逐渐增大,飞镖的机械能保持不变,C 错误;将飞镖沿水平方向正对靶心掷出,由于重力作用,飞镖不能依靠增大掷出速度命中靶心,可以升高抛出位置,命中靶心,D 错误。

4. A 【解析】在阴极射线管上方放置通电直导线后,根据右手螺旋定则可知,阴极射线处于垂直纸面向内的磁场中,根据左手定则可判断,电子从阴极射出后,受到洛伦兹力方向向下,电子束向下偏转,故选 A。

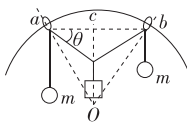
5. C 【解析】无线充电技术就是通过电磁感应原理,当穿过受电线圈的磁通量发生变化时,受电线圈会产生感应电动势,有了感应电流,对蓄电池进行充电,扬声器是通电导线在磁场中受力从而发声,两者原理不同,故 A 错误;如果在车底加装一个金属护板,金属护板会产生涡流,损耗能量,同时屏蔽磁场,使受电线圈无法产生感应电流,故 B 错误;供电线圈只有接到交流电源上,才能产生变化的磁场,从而使受电线圈产生感应电流给蓄电池充电,故 C 正确;即使线圈为超导材料制作,但在传输过程中仍然会有能量损失比如漏磁,所以效率不可能达到 100%,故 D 错误。

6. D 【解析】 $^{233}_{92}\text{U}$ 发生裂变反应时要有中子参加反应,选项 A 错误;利用中子

轰击 $^{233}_{92}\text{U}$ 发生裂变后释放核能,其产物是 $^{142}_{56}\text{Ba}$ 和 $^{89}_{36}\text{Kr}$,生成物更稳定,比结合能更大,但是质量数不同, $^{89}_{36}\text{Kr}$ 的结合能小于 $^{233}_{92}\text{U}$ 的结合能,选项 B 错误;已知 $^{233}_{91}\text{Pa}$ 的半衰期为 27 天,则大量的 $^{233}_{91}\text{Pa}$ 经过 54 天后有四分之三发生了衰变,剩下原来的四分之一没有衰变,选项 C 错误; $^{233}_{91}\text{Pa}$ 衰变生成 $^{233}_{92}\text{U}$ 的反应方程为 $^{233}_{91}\text{Pa} \rightarrow ^{233}_{92}\text{U} + ^0_{-1}\text{e}$,则发生的是 β 衰变,选项 D 正确。

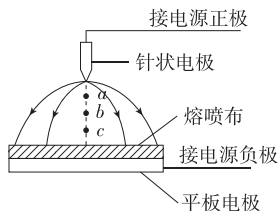
7. B 【解析】根据题意,设地球的半径为 R ,质量为 M ,则金星的半径为 $95\%R$,质量为 $82\%M$,由于题中没有金星与地球的公转半径或公转半径的比值,无法求出金星的公转周期,故 A 错误;根据题意可知,地球的第一宇宙速度为 $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$,则金星的第一宇宙速度为 $v = \sqrt{\frac{G \cdot 82\%M}{95\%R}} = \sqrt{\frac{82}{95}} v_1$,故 B 正确;根据题意可知,地球表面重力加速度为 $g = \frac{GM}{R^2}$,则金星表面重力加速度为 $g' = \frac{G \cdot 82\%M}{(95\%R)^2} = \frac{82\%}{(95\%)^2} g = \frac{1}{95\%} \cdot \frac{82}{95} g$,故 C 错误;金星对地球引力与地球对金星引力是一对相互作用力,大小相等,方向相反,故 D 错误。

8. A 【解析】如图所示,由几何关系可得 $\sin \angle cOa = \frac{ac}{aO} = \frac{2}{R} = \frac{3}{5}$,则 $\angle cOa = 37^\circ$,所以 $\theta = 90^\circ - 2 \times 37^\circ = 16^\circ$,由于细线是同一根,则细线的拉力大小总是相等,有 $F = mg$,对物块受分力分析,由平衡条件可得 $Mg = 2F \sin 16^\circ$,解得 $M = 0.56m$,所以 A 正确,B、C、D 错误。



9. C 【解析】针状电极与平行板之间的电场线分布如图所示,带正电粒子所受电场力向下,熔喷布上表面因捕获带电粒子而带正电,故 A 错误;由图可知,沿图中虚线向熔喷布运动的带电粒子,电场力做正功,电势能减小,故 B 错误;沿图中虚线向熔喷布运动的带电粒子,电场线变疏,电场强度越来越小,根据 $Eq = ma$,加速度逐渐减

小,故 C 正确;由图可知, $\overline{E_{ab}} > \overline{E_{bc}}$,由 $U = Ed$ 可得 $U_{ab} > U_{bc}$,则 $\varphi_a - \varphi_b > \varphi_b - \varphi_c$,解得 $\varphi_b < \frac{\varphi_a + \varphi_c}{2}$,故 D 错误。



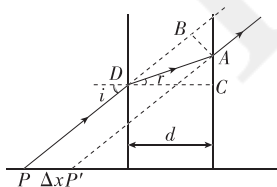
10. C 【解析】入射光子的动量 $p = \frac{h}{\lambda}$,故 A 错误;K 电极发射光电子的最大动能为 E_k ,根据光电效应方程有 $E_k = h \frac{c}{\lambda} - W_0$,解得 $W_0 = \frac{hc}{\lambda} - E_k$,故 B 错误;电子聚集在 A 电极后,使 A 极带负电,因此会在球内部建立一个从 K 指向 A 的反向电场,阻碍电子继续往 A 聚集.当 A、K 之间达到最大电势差 U ,最大动能为 E_k 的电子都无法到达 A 极,根据动能定理有 $-eU = 0 - E_k$,A、K 之间的最大电压 $U = \frac{E_k}{e}$,故 C 正确;根据 $E_k = h \frac{c}{\lambda} - W_0$,可知若仅增大入射光强度,最大初动能不变,A、K 之间电压将不变,故 D 错误。

11. D 【解析】由图可知,M 点振动加强,振幅为 $2A$,而 N 点振动减弱,振幅为 0,故 A 错误;MQ 中点为波峰和波谷相遇点,振动减弱,而 NP 中点为波峰和波峰或者波谷和波谷相遇点,振动加强,所以 M、Q、N、P 连线上均既有振动加强点也有振动减弱点,故 B 错误;水面凸起最高位置的质点振动速度为零,只有波动速度,根据运动的合成原理结合图像可知,水面凸起最高位置的移动速度为 $v' = \sqrt{v^2 + v^2} = \sqrt{2}v$,故 C 错误;由图可知,R 为振动加强点,且在图示时刻为两列波的平衡位置相遇点,所以 R 处于平衡位置且向负方向振动,根据简谐运动的相关知识可知,从图示时刻开始经过 $\frac{T}{12}$,质点应处于平衡位置和负的最大位移处的中点,所以质点 R 的位移为 $-A$,故 D 正确。

12. C 【解析】因人体安全电流 $I_0 \leq 10 \text{ mA}$,则保护器必须设置在 A、B 线圈电流差值小于 10 mA 时启动,

选项 A 错误;人体接触负载电阻的 a 端时,人体直接接触火线,则人体接触负载电阻的 a 端比接触 b 端更危险,选项 B 错误;当线圈 A 中电流为 10 mA 时,若保护器中的电流为 25 mA,则线圈 A、C 的匝数比 $\frac{n_A}{n_C} = \frac{25}{10} = \frac{5}{2}$,则线圈 A、C 的匝数比应该大于或等于 5:2,选项 C 正确;若 A 线圈中的电流达到 10 mA,保护器上的电流达到 25 mA 时,根据 $I_A U_A = I_C U_C$,此时负载电阻电压是保护器两端电压的 2.5 倍,因 A、C 两线圈匝数关系不确定,则负载电阻电压不一定是保护器两端电压的 2.5 倍,选项 D 错误。

13. C 【解析】由题意可得,光线经过平板后的光路图如图所示,由折射定律可得 $n = \frac{\sin i}{\sin r}$,可得 $\sin r = \frac{\sin i}{n}$,由几何知识可得 $AD = \frac{d}{\cos r} = \frac{d}{\sqrt{1-\sin^2 r}}$,则有 $AB = AD \sin(i-r)$,联立可得 $AB = d \sin i \left(1 - \frac{\cos i}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}} \right)$,则有 $\Delta x = PP' = \frac{AB}{\sin i} = d \left(1 - \frac{\cos i}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}} \right)$,由于某同学贴近桌面且垂直板面正视,因此 i 很小,则有 $\cos i \approx 1, \sin i \approx 0$,上式变为 $\Delta x \approx d \left(1 - \frac{1}{n} \right) = \frac{n-1}{n} d$,由此可知,板后水平格线平移距离 Δx 不随其离板面的远近而改变,但随平板厚度 d 的改变而改变。故选 C。



14. BD 【解析】在外界的影响下,气体可以从单一热源吸收热量,全部用来对外做功,故 A 错误;弱相互作用是短程力,主要在原子核的核子内,它是引起原子核 β 衰变的原因,故 B 正确;蔗糖受潮后粘在一起形成的糖块看起来没有确定的几何形状,但不是非晶体,而是多晶体,故 C 错误; α 粒子散射实验既可以确定不同元素原

子核的电荷量,也可以估算原子核的半径,故 D 正确。

15. BC 【解析】由图可得甲波的波长 $\lambda_{\text{甲}} = 4 \text{ m}$,则有 $x_1 = \frac{1}{4} \lambda_{\text{甲}} + n \lambda_{\text{甲}} = (1+4n) \text{ m}$, $t = \frac{1}{4} T_{\text{甲}} + n T_{\text{甲}}$,周期大于 0.35 s,可得 $T_{\text{甲}} = 0.4 \text{ s}$ 或 $T_{\text{甲}} = 2 \text{ s}$,由图可得乙波的波长 $\lambda_{\text{乙}} = 6 \text{ m}$,则有 $x_2 = \frac{1}{2} \lambda_{\text{乙}} + n \lambda_{\text{乙}} = (3+6n) \text{ m}$, $t = \frac{1}{2} T_{\text{乙}} + n T_{\text{乙}}$,周期大于 0.35 s,可得 $T_{\text{乙}} = 1 \text{ s}$,甲波的周期不可能是乙波周期的 $\frac{1}{2}$,故 A 错误。甲波传播的速度 $v_{\text{甲}} = \frac{\lambda_{\text{甲}}}{T_{\text{甲}}}$ = 10 m/s 或 $v_{\text{甲}} = \frac{\lambda_{\text{甲}}}{T_{\text{甲}}}$ = 2 m/s,乙波传播的速度 $v_{\text{乙}} = \frac{\lambda_{\text{乙}}}{T_{\text{乙}}} = 6 \text{ m/s}$,甲波传播的速度可能比乙波速度大,也可能比乙波速度小,故 B 正确。当甲周期为 0.4 s 时,0~0.1 s 内 P 向 y 轴正方向,0.1~0.3 s 向 y 轴负方向,0.3~0.5 s 向 y 轴正方向; Q 在 0~ $\frac{1}{6}$ s 向 y 轴负方向, $\frac{1}{6}$ s~0.5 s 向 y 轴正方向,所以质点 P 、 Q 的运动方向可能相同,故 C 正确。当 $t = 1 \text{ s}$,甲周期分别为 0.4 s 和 2 s 时, P 质点的位移都为 0, Q 质点的位移还在现在的位置,故 D 错误。

16. I. (1)B (2)C

【解析】(1)设槽码质量为 m ,小车质量为 M ,对小车和槽码整体分析有 $mg = (m+M)a$, $a = \frac{mg}{m+M}$,对小车而言,绳子的拉力为小车受到的合外力, $F_T = Ma = M \frac{mg}{m+M}$,化简得 $F_T = \frac{mg}{1 + \frac{m}{M}}$,故当 $M \gg m$ 时,

$F_T = mg$,A 错误;纸带运动方向应与两限位孔在同一直线上,使小车所受外力方向沿斜面方向,B 正确;由于需要计算小车的速度及加速度,需要在纸带上选取合适的点迹作为计数点,无需把第一个点作为计数点,C 错误。

(2)根据控制变量法的原理可知,在探究加速度与力关系时,需要控制小

车的质量不变;探究加速度与质量的关系时,需使小车受到的外力不变,即槽码的质量不变,而小车的质量变化。综合分析表中的第一列和第二列数据,均可找到对应不变的量,故 A、B 错误,C 正确。

II. (1)低 (2)B (3)1.1

【解析】(1)水平仪右端有气泡,说明右端偏高,则应把右端调低。

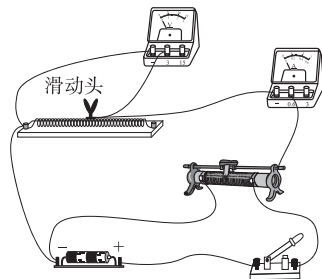
(2)坐标板上最小一格实际长度为 1 cm,竖直高度约为 40 小格,竖直方向的自由落体时间约为 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \approx 0.3 \text{ s}$,而每 24 帧选取一帧进行处理得到如图丙所示的抛体运动“频闪图片”,共有 7 个小球的位置,则有 6 个时间间隔,故手机拍摄时的帧率约为 $\frac{24}{0.3} \times 6 = 480 \text{ 帧/秒}$,故选 B。

(3)小球在竖直方向做匀加速直线运动,水平方向做匀速直线运动,有 $\Delta h = gT^2$, $x = v_0 T$,其中 $\Delta h = 0.03 \text{ m}$, $x = 0.06 \text{ m}$,解得初速度为 $v_0 \approx 1.1 \text{ m/s}$ 。

III. (1)如图所示 (2)m

(3)1.007 (1.006~1.008 均可)

(4) 6.3×10^{-6} ($5.9 \times 10^{-6} \sim 6.4 \times 10^{-6}$ 均可)



【解析】(1)根据电路图连接实物图,如图所示。

(2)滑动变阻器 R_1 最大电阻较小,流过滑动变阻器的电流较大,则移动滑动变阻器的滑动头流过 R_1 的电流不变,则根据串联分压原理可知 $\frac{U}{U_{AB}} =$

$$\frac{R_{AP}}{R_{AB}} = \frac{\rho \frac{x}{S}}{\rho \frac{L}{S}} = \frac{x}{L}, \text{化简可得 } U =$$

$U_{AB} \cdot \frac{x}{L}$,则 $U - \frac{x}{L}$ 图像的斜率近似为定值,故选用 R_1 时对应的图线应为 m 。

(3)螺旋测微器的分度值为

0.01 mm, 则该导线的直径为 $d = 1 \text{ mm} + 0.7 \times 0.01 \text{ mm} = 1.007 \text{ mm}$.

(4) 根据电阻定律有 $R_x = \rho \frac{l}{S} = \frac{4\rho}{\pi d^2} l$,

由图可知 $k = \frac{4\rho}{\pi d^2} = \frac{4.2 - 0.2}{0.5} \Omega/\text{m}$,

代入数据解得该金属导线的电阻率为 $\rho \approx 6.3 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$.

题型小卷3 “1~15 选择 +

16 实验”限时练

1. A 【解析】国际单位制的七个基本单位分别为米(m)、秒(s)、千克(kg)、安培(A)、开尔文(K)、摩尔(mol)、坎德拉(cd), 故选 A.

2. C 【解析】图中“01:03:26”是指跑步者运动的时间, 故 A 错误; 图中“8.42 公里”为此次跑步者锻炼运动的路程, 故 B 错误; 研究跑步者的跑步姿态时不能把跑步者看作质点, 故 C 正确; 本次跑步的过程中, 跑步者的平均速率约为 $\bar{v} = \frac{s}{t} \approx 2.2 \text{ m/s}$, 故 D 错误.

3. A 【解析】在验证力的平行四边形定则的实验中使用了等效替代的方法, 故 A 正确; 研究微小形变的实验中使用了放大法, 故 B 错误; 探究向心力大小表达式的实验中使用了控制变量法, 故 C 错误; 平抛运动的研究方法是运动的合成与分解, 故 D 错误.

4. C 【解析】篮球保持静止, 篮球受到的重力和人对篮球的作用力合力为 0, 即篮球处于平衡状态, 由力的平衡条件可知, 篮球的重力与人对篮球的作用力大小相等, 方向相反, 即人对篮球的作用力的方向竖直向上, 篮球受到的合力不变, A 错误, C 正确; 篮球对人的静摩擦力在篮球与人的两个接触面间都有, 静摩擦力方向向下, B 错误; 手臂对篮球的压力是由于手臂发生形变而产生的, D 错误.

5. C 【解析】质量为 M 的飞机 A 与质量为 m 的飞行员 B 共同做竖直面内的圆周运动, 合外力不是恒力, 方向在改变, 所以不可能做匀变速曲线运动, 故 A、B 错误; 通过最低点时对飞行员受力分析, 根据牛顿第二定律有 $F_N - mg = m \frac{v^2}{R}$, 根据牛顿第三定律, 飞行员对飞机的作用力大小为 $F_N' = F_N = \frac{mv^2}{R} + mg$, 故 C 正确; 通

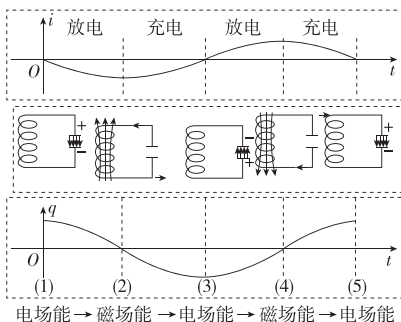
过最低点时, 在竖直方向空气对飞机的作用力大小为 $F_{N1} - (M + m)g = (M + m) \frac{v^2}{R}$, 解得 $F_{N1} = (M + m)g + (M + m) \frac{v^2}{R}$, 故 D 错误.

6. A 【解析】地球的第一宇宙速度是所有卫星的最小发射速度, 又是所有卫星围绕地球做圆周运动的最大速度, 近地卫星的速度约为第一宇宙速度, 由公式 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ 得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 因为中国空间站的轨道半径比近地卫星大, 所以梦天实验舱的速度一定小于第一宇宙速度, 故 A 正确; 根据资料有同步卫星的轨道高度大约为地球半径的 6 倍, 运行周期为 24 h, 中国空间站的轨道半径要比同步卫星小, 由公式 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ 得 $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$, 可见梦天实验舱的运行周期小于 24 h, 故 B、C 错误; 液体的表面张力跟重力无关, 故 D 错误.

7. A 【解析】导体棒没有通电时测力计的示数即为磁铁的重量, 为 G_0 , 通电后, 由左手定则可知导体棒受向上的安培力, 根据牛顿第三定律可知导体棒对磁铁的作用力向下, 对磁铁由平衡条件有 $G_0 + F_{\text{安}} = G_1$, 三种情况下, 根据 $F_{\text{安}} = BIL \cos \theta$, 可知导体棒所受安培力的竖直分量相同, 所以 $G_1 = G_2 = G_3 > G_0$, 故选 A.

8. C 【解析】0~ t_1 时间内, 电容器处于充电状态, 上极板电荷量为正, 并且不断增大, 线圈中的电流为逆时针(俯视), 而电荷的增加越来越慢, 故电流减小, 根据右手定则可知, 线圈感应磁场方向向上; 而 $t_3 \sim t_4$ 时间内, 电容器处于放电状态, 上极板电荷量为负, 并且不断减小, 线圈中的电流为逆时针(俯视), 而电荷的减小越来越快, 故电流增大, 根据右手定则可知, 线圈感应磁场方向向上, 则图乙状态发生在 0~ t_1 或 $t_3 \sim t_4$ 时间内均可, 故 A、B 错误. $t_1 \sim t_2$ 时间内, 上极板电荷量为正, 且不断减小, 回路中的电流方向为逆时针(俯视), 而减小的幅度越来越大, 说明电流越来越大, 故磁场能越来越大, 故 C 正确; LC 振荡电路的能量转换图、 $i-t$ 图、 $q-t$ 图的关系如图所

示, 其中 $t_2 \sim t_3$ 时间内类比图中的 (2)→(3) 过程, 电荷的增加越来越慢, 电流减小得越来越快, 则线圈自感电动势逐渐变大, 故 D 错误.



9. D 【解析】根据题意可知做引体向上的同学在上升过程中先向上加速后向上减速; 下降过程中先向下加速后向下减速, 故上升过程中先超重后失重, 下降过程中先失重后超重. 上升和下降过程中, 人受到杠向上的支持力和自身重力作用, 根据上述分析可知上升过程中支持力先大于重力, 后小于重力, 下降过程中支持力先小于重力, 后大于重力. 故 A、B、C 错误; 上升和下降过程中内力做功, 人的机械能均不守恒, 故 D 正确.

10. D 【解析】并列悬挂两个相同的弹簧振子, 可知小球 A、B 的周期相同, 小球 A 由静止释放, 当 A 第一次到达平衡位置时, 由静止释放小球 B, 即小球 A 先振动四分之一周期, 故小球 A 到达最高点时, 小球 B 位于平衡位置, 小球 B 比小球 A 总是滞后四分之一周期, 故 A 错误, D 正确; 小球 B 拉离平衡位置的距离较大, 小球 B 的振幅大, 总能量较大, 在平衡位置时, 小球 A、B 的重力势能相等, 弹簧弹性势能相等, 故小球 A 的动能小于小球 B 的动能, 故 B 错误; 小球 B 比小球 A 滞后四分之一周期, 小球 B 的振幅比小球 A 的振幅大, 根据 $x-t$ 图像的斜率表示速度, 可知运动过程中, 小球 A 和小球 B 的速度可能相等, 故 C 错误.

11. B 【解析】将初速度正交分解, 分别为 $v_x = v \cos 37^\circ$, $v_y = v \sin 37^\circ$, 水滴在竖直方向做竖直上抛运动, 有 $y = v_y t - \frac{1}{2} g t^2$, 水平射程为 $x = v_x t$, 联立可求出水平射程, 显然 A 选项中时间代入不正确, A 错误; 喷头匀速喷水, 单位时间内喷出水的质量为 $m =$

$$\rho V = \frac{\rho S v \Delta t}{\Delta t} = \rho S v, B \text{ 正确}; \Delta t \text{ 时间内}$$

$$\text{水增加的动能为 } E_k = \frac{1}{2} \Delta m v^2 =$$

$$\frac{1}{2} \rho S \Delta t v^3, \text{在 } \Delta t \text{ 时间内水从水面被}$$

抽出,同时也增加了重力势能,故 Δt 时间内电机对水做功大于

$$\frac{1}{2} \rho S \Delta t v^3, C \text{ 错误}; \text{增大喷头与水平}$$

面的夹角,竖直分速度增大,空中运动时间变长,但是水平分速度减小,由 $x = v_x t$,可知喷射的水平射程不一定增大,当取极限与水平方向的夹角为 90° ,此时水平射程为零,D 错误.

12. C 【解析】由图甲可知, H_β 的波长大于 H_γ ,垂直入射到同一单缝衍射装置, H_β 光的衍射中央亮条纹宽度大于 H_γ , A 错误;氢原子从 $n=3$ 跃迁到 $n=2$ 能级辐射出光的波长由

$$h\nu = E_3 - E_2, \nu = \frac{c}{\lambda}, \text{求得 } \lambda =$$

434.17 nm,氢原子从 $n=3$ 跃迁到 $n=2$ 能级时会辐射出 H_γ 光,不会辐射出 γ 射线, B 错误;根据 $p =$

$$\frac{h}{\lambda} \text{ 及 } \lambda = \frac{c}{\nu} \text{ 可得 } p = \frac{h\nu}{c}, \text{因此动量之}$$

$$\text{比为 } \frac{p_1}{p_2} = \frac{\frac{h\nu_1}{c}}{\frac{h\nu_2}{c}} = \frac{h\nu_1}{h\nu_2} = \frac{E_5 - E_2}{E_4 - E_2} =$$

$\frac{286}{255}$, C 正确;在同一光电效应装置

中, H_γ 光的能量大于 H_α 光,照射产生的光电子最大初动能大于 H_α 光照射产生的光电子的最大初动能,而不是 H_γ 光照射产生的光电子初动能都大于 H_α 光照射产生的光电子, D 错误.

13. C 【解析】当 $\Delta x = 0.05 \text{ m}$ 时,小球做加速运动,小球受到的重力大于弹簧的弹力,小球有向下的加速度,小球处于失重状态,故 A 错误;由图像知,小球与弹簧接触的开始一段位移内速度增大,说明小球的重力大于弹簧对它的弹力,当 Δx 为 0.1 m 时,小球的速度最大,然后减小,说明当 Δx 为 0.1 m 时,小球的重力大小等于弹簧对它的弹力,由 $k\Delta x = mg$,解得 $k = \frac{mg}{\Delta x} = \frac{0.2 \times 10}{0.1} \text{ N/m} = 20.0 \text{ N/m}$,故 C 正确;由图可知,当 $\Delta x_1 = 0.61 \text{ m}$ 时,小球处于最低点,根据牛顿第二定律可得 $k\Delta x_1 -$

$mg = ma$,解得最低点的小球加速度大小为 $a = 51 \text{ m/s}^2 > g$,故 B 错误;从接触弹簧到压缩弹簧至最短的过程中,弹簧弹力一直做负功,小球的机械能一直减小,故 D 错误.

14. AD 【解析】由黑体辐射的实验规律可知,随着温度升高,各种波长的辐射强度都有增加,故 A 正确;根据光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0$,对于一定频率的光,光电子最大初动能一定,与入射光强度无关,故 B 错误;光子与电子碰撞,光子将部分能量转移给电子,则光子能量减小,根据 $\epsilon = h\nu$,可知光子散射后频率减小,故 C 错误;镉棒插入深一些,多吸收一些中子,链式反应速度减缓,故 D 正确.

15. BC 【解析】由图可知,两个波源起振方向相反, A 错误;两列波频率相等,相遇叠加会发生干涉, B 正确;波长为 $\lambda = vT = 20 \text{ cm}$, $x = 20 \text{ cm}$ 处对应的波程差为 $\Delta x_1 = 30 \text{ cm} - 20 \text{ cm} = 10 \text{ cm} = \frac{1}{2}\lambda$,由于两列波的起振方向相反,相遇叠加后,振动加强,所以振幅为 3 cm , C 正确; $x = -10 \text{ cm}$ 处对应的波程差为 $\Delta x_2 = 60 \text{ cm} - 10 \text{ cm} = 50 \text{ cm} = \frac{3}{2}\lambda$,同理可知, $x = -10 \text{ cm}$ 处相遇叠加振动加强,振幅为 3 cm , D 错误.

16. I. (1)12 (2)0.20 (3)0.13

【解析】(1)由题知,弹簧处于原长时滑块左端位于 O 点, A 点到 O 点的距离为 5.00 cm ,则 $\Delta x = 5.00 \text{ cm}$,又由图乙知,滑块在 A 点时弹簧的弹力 $F = 0.610 \text{ N}$,根据胡克定律 $k = \frac{F}{\Delta x}$,计算出 $k \approx 12 \text{ N/m}$.

(2)根据牛顿第二定律有 $F = ma$,则 $a-F$ 图像的斜率为滑块与加速度传感器的总质量的倒数,根据图丙中图线 I,则有 $\frac{1}{m} = \frac{3-0}{0.6} \text{ kg}^{-1} = 5 \text{ kg}^{-1}$,则滑块与加速度传感器的总质量为 $m = 0.20 \text{ kg}$.

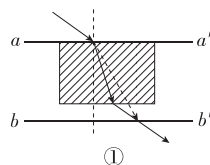
(3)滑块上增加待测物体,同理,根据图丙中图线 II,则有 $\frac{1}{m'} = \frac{1.5-0}{0.5} \text{ kg}^{-1} = 3 \text{ kg}^{-1}$,则滑块、待测物体与加速度传感器的总质量为 $m' \approx 0.33 \text{ kg}$,则待测物体的质量

为 $\Delta m = m' - m = 0.13 \text{ kg}$.

II. (1)D (2)偏小 不变

【解析】(1)发现里面的分划板竖线与亮条纹未对齐,若要使两者对齐,应旋转测量头.故选 D.

(2)图①甲同学测定折射率时,作出的折射光线如图中虚线所示.



实线表示实际光线,可见以 aa' 、 bb' 为界面画光路图,折射角偏大,则由折射定律 $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ 可知,甲同学测得的折射率与真实值相比将偏小.图②测折射率时,操作正确,测得的折射率与玻璃砖形状无关,故乙同学测得的折射率与真实值相比不变.

III. (1)M (2)A (3)偏小

(4)80 (5)C

【解析】(1)开关闭合前要保证电压表、电流表中示数最小,故滑动触头 P 应在 M 处.

(2)从图乙中可看出,开关 S 断开,测量前指针不指向 0 刻度,所以应调节指针定位螺丝,即 A 旋钮.

(3)用多用电表测电阻时,应将电阻从电路中拆下来,若在图甲中断开开关 S,用多用电表直接测量电阻,则多用电表测量的是滑动变阻器 PM 部分和电流表串联,再和待测电阻并联的总电阻,所以测量值比真实值偏小.

(4)如图丙所示,指针读数是 8Ω ,选择开关处于“ $\times 10$ ”挡,所以电阻是 80Ω .

(5)将多用电表欧姆挡接在一不带电的电容器两极时,会瞬间给电容器充电,所以开始电流很大,指针指向右端电阻较小处,然后电流逐渐减小,当充满电后,电容器相当于断路,电路中电流为 0,所以指针指向左端示数无穷大处.故选 C.

题型小卷 4 “1~15 选择 +

16 实验”限时练

1. D 【解析】由题意可知,能量的单位为 $W \cdot h$,则 $1 W \cdot h = 1 N \cdot m/s \cdot 3600 s = 3600 kg \cdot m/s^2 \cdot m/s \cdot s = 3600 kg \cdot m^2/s^2$,故选 D.

2. C 【解析】“9月16日7时35分”表示时刻,A错误;该列车座位上安装有USB接口,给手机供电电压是5V或10V的直流电,B错误;研究列车从杭州到宁波的运动轨迹,列车的大小形状可以忽略,因此能将列车看成质点,C正确;智能动车组实现自动驾驶,电子屏上显示的“当前时速”指瞬时速度,D错误。

3. C 【解析】简谐运动中,当振子做加速运动时,加速度和速度方向相同,当做减速运动时,加速度和速度方向相反,故A错误;竖直上抛运动中,上升阶段,加速度与速度方向相反,故B错误;匀速圆周运动中加速度方向与速度方向始终垂直,只改变物体的速度方向,故C正确;自由落体运动中加速度与速度方向相同,均为竖直向下,故D错误。

4. C 【解析】超导材料的显著特性是导体在温度降低到足够低时电阻变为零的特性,不代表温度降到0℃时材料的电阻就为0,故A错误;圆盘形磁铁悬浮是由于超导材料具有抗磁性,与超导材料是否通电无关,故B错误;超导材料一个重要特性是抗磁性,所以圆盘形磁铁悬浮时,超导材料的磁通量没有发生变化,故C正确;超导材料对磁铁的作用力与磁铁对超导材料的作用力是一对作用力与反作用力,大小相等,故D错误。

5. A 【解析】铅球做平抛运动,只受重力,所以在A、C两点的加速度相同,都为重力加速度,故A正确;在B点的速度方向沿切线方向,即BD方向,故B、D错误;在B点的加速度竖直向下,故C错误。

6. B 【解析】热中子称慢中子,不是快中子,故A错误;碳14发生了 β 衰变, β 粒子就是电子,故B正确;半衰期与物质所处环境无关,故半衰期不变,故C错误;目前核电站广泛利用核链式反应获取核能并发电,故D错误。

7. D 【解析】根据点电荷周围的电场分布可知,c、d两点的电势、场强大小相等,由于场强是矢量,c、d两点场强方向不同,故场强不同,故A错误;从a点至b点,静电力对试探电荷做正功,其动能(速度)增加,故B错误;b点最靠近正点电荷,电势最高,从椭圆上任意位置至b点,静电力做正功,试探电

荷的电势能减小,故在b点电势能最小,故C错误;原先在a点,所受库仑力大于试探电荷以其距正点电荷的距离为半径做匀速圆周运动所需的向心力,故试探电荷做近心运动,靠近正点电荷,现正点电荷的电荷量减小,所受库仑力减小,若正好等于做圆周运动所需的向心力,则试探电荷可能做匀速圆周运动,故D正确。

8. D 【解析】对兜篮、王进及携带的设备整体受力分析如图所示,绳OD的拉力为 F_1 ,与竖直方向的夹角为 θ ,绳CD的拉力为 F_2 ,与竖直方向的夹角为 α ,根据几何关系知 $\theta + \alpha + \alpha = 90^\circ$,由正弦定理可得 $\frac{F_1}{\sin \alpha} = \frac{F_2}{\sin \theta} = \frac{mg}{\sin(\frac{\pi}{2} + \alpha)}$, α 增大, θ 减小,则拉

力 F_1 增大,拉力 F_2 减小,故A、B错误;王进处于平衡状态,两绳拉力的合力等于 mg ,故C错误;

当 $\alpha = 30^\circ$ 时, $\theta = 30^\circ$,

则 $2F_2 \cos 30^\circ = mg$,解

得 $F_2 = \frac{\sqrt{3}}{3} mg$,故D

正确。

9. D 【解析】图示位置线圈磁通量为零,但磁通量变化率不为零,所以电动势的瞬时值不为零,故A错误;设点火器可以产生电火花的线圈最小角速度为 ω_0 ,则有 $U_{1m} = E_m = NBS\omega_0$,根据变压器电压比等于匝数比可得 $\frac{U_{1m}}{U_{2m}} =$

$\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{100}$,其中 $U_{2m} = 5000 \text{ V}$,联立解

得 $\omega_0 = 20 \text{ rad/s} > 2\pi \text{ rad/s}$,故B错

误;电压表的示数为电压有效值,所以

电压表的示数为25V时,钢针与金属

板间电压不是恒为2500V,故C错

误;电压表的示数为40V时,则原线

圈电压最大值为 $U_{1m}' = 40\sqrt{2} \text{ V}$,副线

圈电压最大值为 $U_{2m}' = \frac{n_2}{n_1} U_{1m}' =$

$4000\sqrt{2} \text{ V} > 5000 \text{ V}$,则点火器可以产

生电火花,故D正确。

10. D 【解析】汽车以80 km/h的速度行驶,则每小时耗油8 L,A错误;汽车热功率等于排气管热损与散热器损失之和,即52 kW,B错误;进入发动机的功率等于总功率减去排气管热损、汽油蒸发损失、散热器损失,即

17 kW,C错误;整辆汽车的总效率约为 $\eta = \frac{P_{\text{出}}}{P_{\text{总}}} \times 100\% = \frac{9}{70} \times 100\% \approx 13\%$,D正确。

11. B 【解析】由图可知,超声波波长为1 cm,而声波的传播速度为340 m/s,

所以超声波信号频率为 $f = \frac{v}{\lambda} =$

$\frac{340}{1 \times 10^{-2}} \text{ Hz} = 34000 \text{ Hz}$,故A错误;

由图可知,两列波的振动相位差为

$\frac{\pi}{2}$,则当两波源之间的点与两波源的距离差为波长的整数倍时,该点为振

动减弱点,即为节点,小泡沫球悬浮,

由于 $-4.5 \text{ cm} < \Delta x < 4.5 \text{ cm}$,可知

小泡沫球悬浮对应的坐标可能为

$x_1 = -2.25 \text{ cm}$, $x_2 = -1.75 \text{ cm}$,

$x_3 = -1.25 \text{ cm}$, $x_4 = -0.75 \text{ cm}$,

$x_5 = -0.25 \text{ cm}$, $x_6 = 0.25 \text{ cm}$,

$x_7 = 0.75 \text{ cm}$, $x_8 = 1.25 \text{ cm}$, $x_9 =$

1.75 cm,可知小泡沫球悬浮时,最小

间距为0.5 cm,两列波充分叠加后,

在两波源之间最多有9个小泡沫球

可以处于悬浮状态,故B正确,C错

误;介质中的各质点在平衡位置附近

振动,而不会随波迁移,故D错误。

12. B 【解析】由题知,10 h即可从零电

量至充满,则根据 $q = It$ 得,充电时

通过电池的平均电流为 $I = \frac{q}{t} =$

$\frac{800 \text{ mA} \cdot \text{h}}{10 \text{ h}} = 80 \text{ mA}$,故A错误;由

于 $q' = q(1 - 20\%) = 640 \text{ mA} \cdot \text{h}$,而

充一次电能正常工作时间为 $t =$

$\frac{2 \times 2 \times 30}{60} \text{ h} = 2 \text{ h}$,正常工作时的平均

电流为 $I' = \frac{q'}{t} = \frac{640 \text{ mA} \cdot \text{h}}{2 \text{ h}} =$

320 mA = 0.32 A,正常工作时,电池

平均输出功率约为 $P_{\text{出}} = UI' -$

$I'^2 r = 2.4 \times 0.32 \text{ W} - 0.32^2 \times$

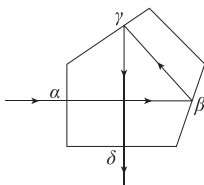
$0.5 \text{ W} \approx 0.72 \text{ W}$,故B正确;正常工

作时,电池每天消耗的电能约为 $W =$

$UI't = 2.4 \times 0.32 \times 4 \times 60 \text{ J} =$

光线在 β 和 γ 上发生全反射,且两次反射的入射角相同,根据几何关系有 $4\theta=90^\circ$,解得 $\theta=22.5^\circ$,设最小折射率为 n_0 ,根据全反射条件有 $\sin \theta = \frac{1}{n_0}$,解得最小折射率为 $n_0 = \frac{1}{\sin 22.5^\circ} \approx \frac{1}{0.38} = 2.6$,故 A 错误;红

光从空气进入棱镜后,根据 $n = \frac{c}{v}$,可知传播速度变小,故 B 错误;若将红光改为绿光,折射率变大,根据全反射条件 $\sin \theta = \frac{1}{n}$,可知全反射临界角变小,故仍能在平面 β 和 γ 上发生全反射,故 C 正确;若将红光改为白光,其他光的折射率都比红光大,故其他光也会在 β 和 γ 上发生全反射,在平面 δ 射出时的方向相同,仍是白光,故 D 错误。



14. BC 【解析】图甲是显微镜下三颗小炭粒的运动位置连线图,连线不是表示小炭粒的运动轨迹,故 A 错误;图乙是双金属温度计,双金属片由内外两条金属片叠合而成,由图可知温度计示数是顺时针方向增大,说明当温度升高时,温度计指针按顺时针方向转动,则其双金属片的弯曲程度在增大,则外侧金属片线膨胀系数大于内侧金属片,故 B 正确;图丙是利用光的干涉来检查样板平整度的实验,右侧小垫片厚度越大,倾角越大,相邻条纹间距越小,则干涉条纹越密集,故 C 正确;图丁为泊松亮斑,是光通过小圆板衍射形成的,故 D 错误。

15. BC 【解析】自由电子向 N 型一侧移动, N 型一侧电势更低,故电流从 P 型一侧流出,回到 N 型一侧,故电流应该从下至上通过负载,故 A 错误;发生内光电效应的极限波长满足 $h \frac{c}{\lambda} = E$,解得 $\lambda = \frac{hc}{E}$,故 B 正确;太阳光强度越大,内光电效应释放的电子越多,向 N 型一侧移动的自由电子越多,两端电势差越大,电路中的电流越大,故太阳光的强度增大,通过负载的电流会变大,故 C 正确;太阳

光中紫外线的频率较高,太阳光能让该材料发生内光电效应,则该材料的极限频率应小于或等于紫外线的频率,故改用紫外线照射该材料,能发生内光电效应,故 D 错误。

16. I. (1)B (2)① mgh_B

② $\frac{m(h_C - h_A)^2}{8T^2}$ (3)C

【解析】(1)依题意,打点计时器接交流电源,重物应靠近打点计时器,为减小阻力,使纸带在竖直方向上,可知 B 图符合要求。

(2)从打 O 点到打 B 点的过程中,重物的重力势能减少量为

$\Delta E_p = mgh_B$,纸带上打 B 点的速度为 $v_B = \frac{h_C - h_A}{2T}$,动能变化量 $\Delta E_k =$

$\frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{m(h_C - h_A)^2}{8T^2}$ 。

(3)正常情况下实验中,由于系统误差,各种阻力导致机械能有损失,那么重力势能的减小量总略大于动能的增加量,而此实验验证结果恰好相反,则是操作错误引起的,可能是重物具有初速度,即先释放纸带后接通电源,故选 C。

II. (1)最低点 $\frac{2t}{49}$ (2) $\frac{4\pi^2}{k}$ 直线

【解析】(1)单摆做小角度摆动,当磁感应强度测量值最大时,磁性小球位于最低点。若测得连续 50 个磁感应强度最大值之间的时间间隔为 t ,则单摆的周期为 $T = \frac{t}{\frac{50-1}{2}} = \frac{2t}{49}$ 。

(2)根据 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$,解得 $T^2 = \frac{4\pi^2}{g}L$,结合 T^2-L 图线斜率为 k ,可得 $\frac{4\pi^2}{g} = k$,可得 $g = \frac{4\pi^2}{k}$,由上面分析可得 $\lg T = \frac{1}{2}\lg \frac{4\pi^2}{g} + \frac{1}{2}\lg L$,即 $\lg T - \lg L$ 图线为直线。

III. (1)2.150 (2)600 (3)①最左 5000 R_2 ② $\frac{\pi D^2 I_1 (R + r_1)}{4(I_2 - I_1)L}$

【解析】(1)如图所示,螺旋测微器的主尺读数为 2 mm,所以其读数为 $D = 2 \text{ mm} + 15.0 \times 0.01 \text{ mm} = 2.150 \text{ mm}$

(2)由题意可知,其倍率为 $\times 100$,所以其读数为 $R = 6 \times 100 \Omega = 600 \Omega$ 。

(3)①由题图可知,滑动变阻器采取分压式接法,开关闭合前,滑动变阻器滑片应位于最左端。电流表 A_1 串联电阻箱 R 改为量程为 $0 \sim 3 \text{ V}$ 的电压表,由 $U = I_g(R + r_1)$,解得 $R = 5000 \Omega$,由滑动变阻器采用分压式接法,所以为了减少实验误差,滑动变阻器应该选择 R_2 。

②电阻丝两端的电压为 $U = I_1(r_1 + R)$,流过电阻丝的电流为 $I = I_2 - I_1$,由欧姆定律有 $R_x = \frac{U}{I}$,由电阻定律有 $R_x = \rho \frac{L}{\pi(\frac{D}{2})^2}$,整理有 $\rho =$

$\frac{\pi D^2 I_1 (R + r_1)}{4(I_2 - I_1)L}$ 。

题型小卷 5 “1~15 选择 + 16 实验”限时练

1. A 【解析】刻度尺测量长度,停表和打点计时器均为计时工具,多用电表测量相关电学量,故 A 正确。
2. B 【解析】判定运动员是否抢跑的标准 0.1 s 是时间间隔,中国队的夺冠成绩 38 秒 29 也是时间间隔,故 A 错误;参加 4×100 米接力决赛的队伍,最内圈的队伍若始终在最内圈运动,则达到终点时位移为零,因此整个运动过程的平均速度为零,故 B 正确;研究接力运动员的交接棒技术时,要研究运动员之间相互交接棒的动作,不能忽略运动员的形状大小,因此教练员不能把运动员看成质点,故 C 错误;动量 $p = mv$,因此可知,每支队参加接力的四位运动员,速度最快的运动员动量不一定是最大的,故 D 错误。
3. D 【解析】M、N 是水平圆盘上的两个点,两点角速度相同且为 $\omega = \frac{v}{r}$,类比加速度的定义式 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 可得角加速度的定义式为 $\beta = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{\omega - 0}{t}$,联立解得 $\beta = \frac{v}{tr}$,因为 M、N 两点角速度相同,所以两点的角加速度也相同,故 D 正确, A、B、C 错误。
4. D 【解析】根据题意, A 板连接感应起电机的正极, B 板连接负极,则可知 A 板的电势高于 B 板的电势,故 A 错误;当乒乓球在电场力的作用下从 A 板向 B 板运动,则乒乓球一定带正电,

而当乒乓球与B板发生碰撞,在接触的过程中乒乓球上的正电荷将与B板所带负电荷中和后并使乒乓球带上负电,之后电场力继续对乒乓球做正功,使乒乓球运动到A板,如此反复,因此乒乓球往返运动过程中与A板碰撞后带正电,与B板碰撞后带负电,故B错误;根据题意,乒乓球在电场力作用下与A、B两板往返运动碰撞,则可知A→B的运动过程中电场力对乒乓球做正功,乒乓球的电势能减小,故C错误,D正确。

5. B 【解析】由左手定则可知,图示时刻左边的导线受到的安培力竖直向上,A错误;由于换向片存在间隙,在导线运转的整个周期内,当转至竖直方向(与磁场垂直)时,导线无电流通过,不受安培力作用,故一个周期内有两段时间导线不受安培力的作用,B正确,C错误;同时对调磁铁的位置与电池的正负极,导线受力与原来相同,仍顺时针旋转,D错误。

6. C 【解析】对书进行受力分析,书受到竖直向下的重力、垂直桌面向上的支持力和沿桌面向上的静摩擦力,由平衡条件可得,书受到的支持力大小为 $mg\cos\theta$,A不符合题意;书受到的静摩擦力大小一定为 $mg\sin\theta$,不一定达到最大静摩擦力,所以不一定为 $\mu mg\cos\theta$,B不符合题意;桌子对书的作用力包括支持力和静摩擦力,它们的合力一定与重力等大、反向,即方向一定竖直向上,C符合题意;若将书伸出桌面部分变为四分之一,书所受支持力不变,D不符合题意。

7. C 【解析】根据动量守恒定律有 $mv_0=(m+M)v$,铁锤与石板碰后瞬间达到的共同速度为 $v=0.5\text{ m/s}$,A错误;铁锤与石板碰撞过程损失的机械能为 $\Delta E=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(m+M)v^2=67.5\text{ J}$,B错误;铁锤与石板从共速匀减速至零的过程中有 $x=\frac{v}{2}t$,设竖直向下为正方向,根据动量定理有 $(m+M)gt-I=0-(m+M)v$,联立得,皮囊对石板的冲量大小为 $I=78\text{ N}\cdot\text{s}$,C正确;根据牛顿第二定律有 $F_N-(m+M)g=(m+M)a$,又 $v^2=2ax$,皮囊对石板做的总功为 $W=-F_Nx$,联立得 $W=-19.5\text{ J}$,

D错误。

8. D 【解析】根据爱因斯坦质能方程,得 $E_0=\Delta mc^2=5.0\times 10^{-29}\times(3\times 10^8)^2\text{ J}$,每秒太阳发生的核反应的次数 $n=\frac{\Delta E}{E_0}=\frac{3.8\times 10^{26}\times 1}{5.0\times 10^{-29}\times(3\times 10^8)^2}\approx 8.4\times 10^{37}$ (次),每秒太阳产生中微子个数 $N=2\times n=2\times 8.4\times 10^{37}\approx 2\times 10^{38}$ 个,故D正确,A、B、C错误。

9. D 【解析】根据题意,由万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{r^2}=ma$,解得 $a=\frac{GM}{r^2}$,可知,探测器在椭圆轨道A点的加速度等于地球在A点的加速度,故A错误;根据题意可知,探测器在椭圆轨道B点需加速才能进入火星轨道,则探测器在椭圆轨道B点的线速度小于火星在B点的线速度,故B错误;根据题意,设地球轨道的半径为R,则火星轨道半径为1.5R,由几何关系可得,探测器运动的轨道半长轴为 $\frac{5}{4}R$,由开普勒第三定律可得 $\frac{a^3}{T^2}=\frac{R^3}{T_{\text{地}}^2}$,代入数据解得 $T_{\text{探}}\approx 1.4$ 年,故C错误;根据题意,由开普勒第三定律有 $\frac{(1.5R)^3}{T_{\text{火}}^2}=\frac{R^3}{T_{\text{地}}^2}$,解得 $T_{\text{火}}\approx 1.8$ 年,设地球、火星和太阳三者两次共线的最短时间间隔为 Δt ,则有 $(\frac{2\pi}{T_{\text{地}}}-\frac{2\pi}{T_{\text{火}}})\cdot\Delta t=\pi$,解得 $\Delta t\approx 1.1$ 年,故D正确。

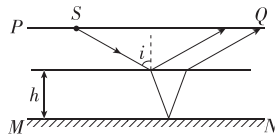
10. D 【解析】带电荷量为q的点电荷以速率v在超导环中运动,设其运动一周时间为T,有 $T=\frac{2\pi R}{v}$,所以该点电荷产生的电流为 $I=\frac{q}{T}=\frac{qv}{2\pi R}$,则该点电荷运动在霍尔元件处产生的磁感应强度为 $B=\frac{kqv}{c^2R^2}$,由题意可知,则该霍尔元件的霍尔电压为 $U_H=HBI_H$,代入数据有 $U_H=H\cdot\frac{kqv}{c^2R^2}\cdot I_H$,整理有 $I=\frac{Rc^2U_H}{2\pi kHI_H}$,故选D。

11. B 【解析】由图可知小明重力大小为400 N,在7.5 s至8.3 s内,蹦床弹力由0增加到2400 N再减小到0,小明先处于失重状态后处于超重状

态再处于失重状态,故A错误;由图可知,小明的重力为400 N,质量为 $m=\frac{G}{g}=40\text{ kg}$,小明加速度最大为 $a_m=\frac{F_m-mg}{m}=50\text{ m/s}^2$,故B正确;由图可知,小明在空中时间为 $T=7.5\text{ s}-5.5\text{ s}=2\text{ s}$,由运动的对称性可知,下落时间为 $t=1\text{ s}$,小明上升的最大高度为 $h=\frac{1}{2}gt^2=5\text{ m}$,故C错误;小明在蹦床过程中本身要对自己做功,蹦床弹力也对其做功,机械能变化,故D错误。

12. A 【解析】 $n=3$ 激发态的氢原子向低能级跃迁时释放的能量为 $E_1=-1.51-(-3.40)=1.89\text{ eV}$ 、 $E_2=-3.4-(-13.6)=10.20\text{ eV}$ 、 $E_3=-1.51-(-13.6)=12.09\text{ eV}$,可见光能量的范围为 $1.64\sim 3.19\text{ eV}$,所以只有 E_1 在可见光光子能量范围内,故A正确;根据爱因斯坦光电效应方程 $E_{\text{km}}=h\nu-W_0$,得 $W_0=h\nu-E_{\text{km}}=2.55\text{ eV}$,故B错误;根据图丙可知a光的遏止电压小于b光的遏止电压,根据 $h\nu=E_{\text{km}}+W_0$ 、 $eU_c=E_{\text{km}}$ 可知a光子的能量小于b光子的能量,所以a光为氢原子从 $n=2$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级时发出的光,故C错误;部分光线被遮挡,不改变光子的能量,则光电子飞出阴极时的最大初动能不变,故D错误。

13. B 【解析】光路图如图所示,设折射角为r,根据几何关系可得 $\tan r=\frac{d}{\frac{d}{2}}=\frac{d}{2h}$,可得 $d=2\tan r\cdot h$,根据图乙可知 $2\tan r=\frac{2}{\sqrt{3}}$,解得 $r=30^\circ$,液体对该光线的折射率 $n=\frac{\sin i}{\sin r}=\sqrt{3}$,故A错误,B正确;光点是由于光的反射和折射形成的,故C错误;由光路图可知,d的大小与h和液体折射率的大小都有关系,故D错误。



14. BC 【解析】一密闭容器内气体温度升高时,分子的平均动能增大,但

不是每个气体分子的动能均增大,故 A 错误;与热现象有关的能量守恒过程还需要满足热力学第二定律,才能自发地发生,所以能量的转换过程具有方向性,并不是所有符合能量守恒定律的宏观过程都能自发地进行,故 B 正确;利用金属丝的电阻率随温度的升高而增大的性质可制成温度传感器,故 C 正确;LC 振荡电路中,当电容器放电时,电容器的电场强度减小,电流增大,电流的变化率减小,则线圈的自感电动势减小,可知,线圈的自感电动势与电容器的电场强度的变化同步,故 D 错误。

15. CD **【解析】** 由图可知甲波的波长为 4 m,甲波的频率为 $f_1 = \frac{v}{\lambda_1} =$

$$\frac{0.5}{4} \text{ Hz} = 0.125 \text{ Hz}, \text{ 故 A 错误; 甲、}$$

乙两波在同一均匀介质中传播,波速相同,由图可知乙波的波长为 2 m,

$$\text{乙波的频率为 } f_2 = \frac{v}{\lambda_2} =$$

$$\frac{0.5}{2} \text{ Hz} = 0.25 \text{ Hz} \neq f_1, \text{ 可知甲、乙}$$

两波不能发生干涉,两波相遇后 $x = 2.5 \text{ m}$ 处的质点不是振动减弱点,故 B 错误;质点的位移第一次达到 6 cm,必定是这两列波相距最近的波峰相遇, $t = 0$ 时刻,甲、乙波峰相距 7.5 m,故从此时开始到两波峰相遇,

甲、乙波峰的传播距离都为 3.75 m,故 x 轴上第一个位移达到 6 cm 的质点的横坐标为 $x_0 = (-1 +$

$3.75) \text{ m} = 2.75 \text{ m}$,故 C 正确;甲、乙波的周期为 $T_1 = \frac{1}{f_1} = 8 \text{ s}, T_2 = \frac{1}{f_2} =$

$$4 \text{ s}, t = 4 \text{ s} \text{ 时刻, 甲、乙波传播的距离之和为 } x = 2vt = 4 \text{ m} < 5 \text{ m}, \text{ 可知 } t =$$

4 s 时刻,乙波未传播至 $x = -1.5 \text{ m}$ 处质点,甲波未传播至 $x = 5.1 \text{ m}$ 处质点,

$t = 4 \text{ s}$ 时刻,可知甲波振动了半个周期,根据上下坡法可知 $t = 4 \text{ s}$ 时刻,

$x = -1.5 \text{ m}$ 处质点向上振动, $t = 4 \text{ s}$ 时刻,可知乙波振动了一个周期,根据上下坡法可知 $t = 4 \text{ s}$ 时刻,

$x = 5.1 \text{ m}$ 处质点向下振动,故 $t = 4 \text{ s}$ 时刻, $x = -1.5 \text{ m}$ 处质点与 $x = 5.1 \text{ m}$ 处质点的振动方向相反,故 D 正确。

16. I. (1)BC (2)B (3)a. 18.0
b. ③ 9.87

【解析】 (1)为使细线的拉力等于小车的合外力,实验需要平衡摩擦力,故 A 错误;为使重物的重力大小可以代替细线中的拉力大小,实验下面所挂重物的质量应满足远小于小车总质量,故 B 正确;探究加速度与质量关系时,应控制小车质量不同,合外力大小相同,即重物质量相同,故 C 正确。

(2)图乙装置进行实验探究,小车受到摩擦力的作用,且摩擦力做负功,系统机械能不守恒,不可以用来研究“机械能守恒”实验,故 A 错误;图乙装置可使小车做匀变速直线运动,可以用来探究“小车速度随时间变化的规律”实验,故 B 正确;装置平衡摩擦力时,平衡的是木板和小车之间及纸带和打点计时器间的摩擦,故 C 错误。

(3) a. 小球直径为 $d = 18 \text{ mm} + 0 \times 0.1 \text{ mm} = 18.0 \text{ mm}$. b. 根据单

$$\text{摆周期公式 } T = 2\pi \sqrt{\frac{L + \frac{d}{2}}{g}}, \text{ 整理}$$

得 $T^2 = \frac{4\pi^2 L}{g} + \frac{2\pi^2 d}{g}$,可知图像的纵截距大于零,绘制的图像是③。

图像的斜率为 $k = \frac{4\pi^2}{g} = 4 \text{ s}^2 \text{ m}^{-1}$,可得当地重力加速度为 $g = \pi^2 \text{ m/s}^2 \approx 9.87 \text{ m/s}^2$

$$\text{II. (1)} \frac{R_2 I_1 I_2}{I_1 - I_2} \frac{R_2 I_2}{I_1 - I_2} I_1$$

(2)不变 偏大

【解析】 (1)根据闭合电路的欧姆定律 $E = I(R_x + R_{\text{内}})$,整理得 $R_x = \frac{E}{I} - R_{\text{内}}$,图像的斜率表示电动势,为

$$E = k = \frac{R_2}{\frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_1}} = \frac{R_2 I_1 I_2}{I_1 - I_2}, \text{ 当 } R_x = 0$$

时,有 $\frac{E}{I_1} - R_{\text{内}} = 0$,解得内阻为

$$R_{\text{内}} = \frac{R_2 I_2}{I_1 - I_2}, \text{ 满偏电流为 } I_g =$$

$$\frac{E}{R_{\text{内}}} = I_1.$$

(2)由于电流表有内阻,根据闭合电路的欧姆定律 $E = I(R_x + R_{\text{内}} + R_A)$,整理得 $R_x = \frac{E}{I} - R_{\text{内}} - R_A$,可知图像的斜率不变,故电动势的测量值比真实值不变。图像的纵截距的绝

对值表示内阻,由于电流表有内阻,图像的纵截距的绝对值增大, $R_{\text{内}}$ 的测量值比真实值偏大。

III. ACD

【解析】 根据双缝干涉条纹间距公式

$$\Delta x = \frac{l}{d} \lambda, \text{ “双缝干涉实验”中, 将屏}$$

向靠近双缝的方向移动,双缝干涉条纹间距减小,从目镜中观察到的条纹个数增加,故 A 正确;在用“油膜法估测油酸分子的大小”实验中,水面上爽身粉撒得较多,油酸未完全散开,油酸分子层的测量面积偏小,油酸分子的直径测量值将偏大,故 B 错误;光照增强,光敏电阻阻值减小,电路总电阻减小,总电流增大,滑动变阻器滑头右侧两端的电压增大,光敏电阻两端的电压减小,电压表示数减小,故 C 正确;由于变压器漏磁、铁芯发热,“探究变压器线圈两端的电压与匝数关系实验”中,实际情况是原、副线圈测得的电压之比大于匝数之比,故 D 正确。

题型小卷 6 “1~15 选择 +

16 实验”限时练

1. B **【解析】** 由焦耳定律得 $Q = I^2 R t$,

可得 $I = \sqrt{\frac{Q}{R t}}$,又 $W = F l$,可知

$\sqrt{\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\Omega \cdot \text{s}}}$ 是安培的单位,故选 B。

2. B **【解析】** 第 51 分钟指的是时刻,故 A 错误;足球在飞行过程中,足球的形状和大小可以忽略,可视为质点,故 B 正确;足球飞出后脱离运动员,运动员对它不再施加作用力,故 C 错误;守门员起跳扑救瞬间,地面对他的作用力与他对地面的作用力是相互作用力,等大反向,故 D 错误。

3. C **【解析】** 由题意可知阻尼器做受迫振动,振动频率与大楼的振动频率相同,故 A 错误;阻尼器的振动频率取决于大楼的振动频率,与自身的固有频率无关,故 B 错误;由题意可知,大楼对阻力器的力与阻尼器对大楼的力为一对相互作用力,根据回复力 $F = -kx$,可知阻尼器摆动后,摆动方向始终与大楼的振动方向相反,故 C 正确;阻尼器的摆动幅度会受到风力的影响,故 D 错误。

4. C **【解析】** 带电粒子在洛伦兹力的作用下移动,霍尔元件上下表面出现电

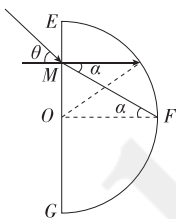
- 势差,不是电磁感应原理,故 A 错误;乙图中物体向左移,两极板间电介质增大,则电容器的电容变大,故 B 错误;丙图装置中通过物体位置变化引起线圈的自感系数改变从而将位置量转换成电学量,故 C 正确;丁图装置只有声音,不接入电源, R 两端不会有电压输出,故 D 错误。
5. C 【解析】两次训练,国旗上升的高度相等,所以 $v-t$ 图像围成的面积相等,A 错误;两次训练,升旗时间相等,B 错误;第二次开始阶段加速度较小,虚线刚开始斜率较小,C 正确,D 错误。
6. B 【解析】小孩在果园里摇动树干,则树干做受迫振动,树干的振动频率取决于驱动频率,因此树干振动的频率与小孩摇动树干的频率相同,则可知小孩用相同的频率摇不同的树干,树干的振动频率一定相同,故 A 错误,B 正确;对于受迫振动,只有当驱动频率越接近固有频率时,振动幅度才越大,故 C、D 错误。
7. A 【解析】根据右手螺旋定则可知 a 和 d 导线在 O 点处的磁感应强度等大反向, b 和 e 导线在 O 点处的磁感应强度等大反向, c 和 f 导线在 O 点处的磁感应强度等大反向,故 O 点的磁感应强度为零,故 A 正确;根据对称性可知 A 点和 B 点的磁感应强度大小相等,方向不同,关于 O 点对称,故 B 错误;根据题意可知 b 、 f 对导线 a 的安培力大小 F 、 e 、 c 对导线 a 的安培力大小为 $\frac{\sqrt{3}}{3}F$, d 对导线 a 的安培力大小为 $\frac{F}{2}$,根据矢量的合成可得 a 导线所受安培力 $F_a = 2F\sin 30^\circ + 2 \times \frac{\sqrt{3}F}{3}\sin 60^\circ + \frac{F}{2} = \frac{5F}{2}$,所有导线的电流方向相同,所以导线之间安培力表现为相互吸引,则 a 导线所受安培力方向沿 aO 指向 O ,故 C、D 错误。
8. B 【解析】当质量块带动磁心下移时,线圈磁通量增大,根据“增缩减扩”,线圈有收缩趋势,故 A 错误;根据楞次定律,线圈中磁场方向向下,磁通量增大,则通过电阻 R 的感应电流向上,故 B 正确;整个过程对应的是动能向电能转换,故 C 错误;减小线圈匝

- 数,产生的感应电流较小,阻尼效果减弱,故 D 错误。
9. C 【解析】铀或钚是重核,一般发生裂变,而“中国环流三号”是中国自主设计研制的可控核聚变大科学装置,不可将铀或钚聚变,故 A 错误;氘和氦聚变的核反应方程式为 ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$,故 B 错误;“氦-3”聚变不产生中子,对环境非常安全,是一种如今已被世界公认的高效、清洁、安全、廉价的核聚变发电燃料,故 C 正确;半衰期是大量原子核衰变的统计规律,对少数原子核的衰变不适用,故 D 错误。
10. D 【解析】根据题意,由于中星 26 与椭圆轨道侦察卫星的运行周期都为 T ,由图可知,中星 26 在下半周转动时,侦察卫星在上半周转动,中星 26 在上半周转动时,侦察卫星在下半周转动,则中星 26 与侦察卫星不可能在 A 点或 B 点相遇,A 错误;侦察卫星从 D 点运动到 A 点过程中机械能不变,B 错误;由开普勒第二定律可知,侦察卫星在 D 点速度最小,由于中星 26 与椭圆轨道侦察卫星的运行周期都为 T ,则中星 26 在 C 点线速度 v_1 大于侦察卫星在 D 点线速度 v_2 ,C 错误;根据题意可知,中星 26 与椭圆轨道侦察卫星的运行周期都为 T ,由开普勒第三定律 $\frac{a^3}{T^2} = k$ 可知,中星 26 的轨道半径等于侦察卫星的半长轴,令相等时间为周期 T ,则中星 26 与地球的连线扫过的面积为圆的面积,侦察卫星与地球的连线扫过的面积为椭圆面积,由于圆的面积大于椭圆面积,可知相等时间内中星 26 与地球的连线扫过的面积大于侦察卫星与地球的连线扫过的面积,D 正确。
11. A 【解析】由图可知, S_2 处波源振动形成的波长较短,由 $f = \frac{v}{\lambda}$ 可知,波源 S_2 振动频率比 S_1 振动频率高,因此要形成稳定干涉,应将波源 S_2 的振动频率调低,故 A 正确;形成稳定干涉后, S_1 、 S_2 连线中点是振动加强点,但并不是始终处于最大位移,故 B 错误;根据几何关系有 $PS_1 = 80\text{ cm}$ 、 $PS_2 = 60\text{ cm}$, P 点到两波源的路程差 $\Delta r = 20\text{ cm}$,不是波长的整

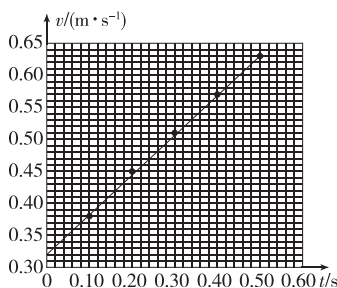
- 数倍,因此不是振动加强点,故 C 错误;根据 $\Delta r = k\lambda$,可知振动加强点不止 2 个,故 D 错误。
12. B 【解析】激光器转动的周期为 $T = \frac{2\pi}{\omega}$,转一周的过程中虚线圆单位长度接收到的能量为 $E_0 = \frac{PT}{2\pi R}$,接收屏接收到的能量为 $E = E_0 l$,每个光子能量为 $E_1 = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$,则在激光器转动一周的过程中,接收屏接收到的光子数为 $N = \frac{E}{E_1}$,联立解得 $N = \frac{\lambda l P}{hc R \omega}$,故选 B。
13. C 【解析】由这列波的波动图像曲线①可知,波的波峰为 2 cm ,故曲线①中质点的振幅为 2 cm ,故 A 错误;由这列波的波动图像可知,波长为 4 cm ,质点的振动周期为 2 s ,根据波的传播速度与波长和振动周期的关系,可知传播速度为 $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{4}{2}\text{ cm/s} = 2\text{ cm/s}$,故 B 错误;这列波沿 x 轴正方向传播,可知 $t = 0$ 时, $x = 0$ 处质点从平衡位置向 y 轴负方向运动,且 $t = 0$ 时曲线③中的质点从平衡位置向 y 轴负方向运动,可得曲线③为 $x = 0$ 处质点的振动图像,故 C 正确;当 $t = 1\text{ s}$ 时,由 $x = 0$ 处质点的振动图像可知, $x = 0$ 处质点处于平衡位置,向 y 轴正方向运动,根据 $\Delta x = 6 - 0\text{ cm} = 6\text{ cm} = \frac{3}{2}\lambda$,可知 $x = 6\text{ cm}$ 处质点运动方向与 $x = 0$ 处质点运动方向相反,故 $x = 6\text{ cm}$ 处质点向 y 轴负方向运动,故 D 错误。
14. CD 【解析】赫兹最早发现光电效应,故 A 错误;图乙中,若仅将电源正负极性对调,如果光电子的最大初动能大于克服电场力做的功,光电子仍可以到达 A 板,电路中有电流,电流表有示数,如果光电子的最大初动能小于克服电场力做的功,则电路中没有电流,电流表没有示数,故 B 错误;图乙中,如果发生光电效应,光电子在电场力作用下向左运动,电路中有电流,电流表有示数,如果电流表没有示数,说明没有发生光电效应,故 C 正确;图丙中,光电流恰为零时,此时光电管两端加的电压为遏止电压,

根据 $eU_c = \frac{1}{2}mv_{m^2} = h\nu - W_0$, 可知入射光的频率越高, 对应的遏止电压 U_c 越大, 由图丙所示可知, a 、 c 对应的遏止电压相等, a 、 c 为同一频率的单色光, b 对应的遏止电压大, b 的频率大, b 的波长 λ 小, 光子动量 $p = \frac{h}{\lambda}$, 波长越小光子动量越大, 由此可知, b 光子的动量大于 c 光子的动量, 故 D 正确。

15. AC 【解析】当 $\theta = 0^\circ$ 时, 光线恰好在玻璃砖圆形表面发生全反射, 设 MO 长度为 x , 如图所示, $\sin C = \frac{1}{n} = \frac{x}{R}$, 当 $\theta = 60^\circ$ 时, 光线从玻璃砖圆形表面的顶点 F 射出, 则有 $n = \frac{\sin 60^\circ}{\sin \alpha}$, 由几何关系知 $\sin \alpha = \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}}$, 联立得 $x = \frac{\sqrt{3}}{3}R$, 故 A 正确; 由临界角公式知 $\sin C = \frac{1}{n} = \frac{x}{R}$, 代入得 $n = \sqrt{3}$, 故 B 错误; 当 $\theta = 60^\circ$, 光在玻璃砖中的传播时间为 $t = \frac{\sqrt{x^2 + R^2}}{v}$, 由折射率关系知 $n = \frac{c}{v}$, 代入得 $t = \frac{2R}{c}$, 故 C 正确; 由临界角公式知 $\sin C = \frac{1}{n} = \frac{\sqrt{3}}{3} > \frac{1}{2}$, 故 D 错误。



16. I. (1) ① 0.57 ② 如图所示 0.62 (2) ① 二 ② 25.17



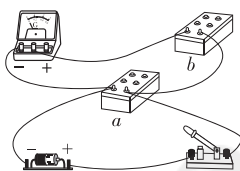
【解析】(1) ① 相邻两个计数点之间的时间间隔为 $T = 5 \times 0.02 \text{ s} = 0.1 \text{ s}$, 根据纸带可以求得打点计时器在打下 E 点时小车的速度为 $v_E =$

$$\frac{x_4 + x_5}{2T} = \frac{5.40 + 6.03}{2 \times 0.1} \times 10^{-2} \text{ m/s} \approx 0.57 \text{ m/s}.$$

② 如图所示, $v-t$ 图像的斜率表示加速度, 则小车加速度大小为 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0.63 - 0.32}{0.50 - 0} \text{ m/s}^2 = 0.62 \text{ m/s}^2$.

(2) ① 验证动量守恒定律的实验中, 气垫导轨应该调成水平状态, 故选方案二. ② 由于滑块 A 的质量大于滑块 B 的质量, 则两滑块相撞后, 滑块 A 的速度 v_A 方向仍然向右, 比碰撞前的速度 v_0 小, 且应该小于碰撞后滑块 B 的速度 v_B , 由动量守恒知 $v_B > v_0 > v_A$, 则由 $v = \frac{x}{t}$ 可知, 滑块 B 对应挡光时间应为 25.17 ms.

II. (1) 1.50 (2) 9900 (3) 如图所示 1.47 0.98 (4) 区域 I



【解析】(1) 多用电表选择直流量程为 $0 \sim 2.5 \text{ V}$, 则分度值为 0.05 V , 故对应的读数为 1.50 V .

(2) 将灵敏电流计改装成量程为 $0 \sim 3 \text{ V}$ 的电压表, 则电阻箱 b 的电阻应为 $R_b = \frac{U}{I_g} - R_g = 9900 \Omega$.

(3) 根据 $E = I(R_g + R_b) + \frac{I(R_g + R_b)}{R}r$, 整理得 $\frac{1}{I} = \frac{R_g + R_b}{E} + \frac{(R_g + R_b)}{ER}r$, 所以 $\frac{R_g + R_b}{E} = 0.0068 \times 10^6 \text{ A}^{-1}$, $\frac{(R_g + R_b)}{E}r = \frac{(0.0108 - 0.0068) \times 10^6}{0.60} \text{ A}^{-1} \Omega$, 解得 $E \approx 1.47 \text{ V}$, $r \approx 0.98 \Omega$.

(4) 改装后的电压表具有分流作用, 实际上 $E = I(R_g + R_b) + \left[\frac{I(R_g + R_b)}{R} + I \right]r$, $\frac{1}{I} = \frac{R_g + R_b}{E} + \frac{(R_g + R_b)}{ER}r + \frac{r}{E}$, 真实的图像应出现在区域 I.

题型小卷 7 “1~15 选择+16 实验”限时练

1. A 【解析】静电力常量 k 的单位是 $\text{kg} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{A}^{-2} \cdot \text{s}^{-4}$, 是用国际单位制的基本单位表示的, 故 A 正确; 自感

系数 L 的单位是 $\Omega \cdot \text{s}$, 用国际单位制的基本单位可表示为 $1 \Omega \cdot \text{s} = \frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot \text{s} = \frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}{\text{A}^2 \cdot \text{s}^2}$, 故 B 错误; 根据法拉第电磁感应定律 $E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$, 可得 $\Delta \Phi =$

$\frac{E}{\Delta t}$, 则其单位用国际单位制的基本单位可表示为 $\frac{\text{V}}{\text{s}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{A} \cdot \text{s}^4}$, 故 C 错误;

根据公式 $p = \frac{h}{\lambda}$, 可得 $h = p\lambda$, 则普朗克常量 h 的单位用国际单位制的基本单位可表示为 $\text{kg} \cdot \text{m/s} \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$, 故 D 错误。

2. C 【解析】研究运动员能否过杆, 不能忽略运动员的大小和形状, 不能视为质点, 故 A 错误; 运动员受到重力、杆对运动员的弹力, 还有杆对运动员的静摩擦力, 故 B 错误; 撑杆跳高的整个过程, 运动员的质量不变, 则运动员的惯性不变, 故 C 正确; 过杆瞬间运动员不处于平衡状态, 加速度不为零, 故 D 错误。

3. C 【解析】 a 点转动的周期等于风扇转动的周期, 为 $T = \frac{1}{n} = \frac{1}{30} \text{ s} \approx 0.03 \text{ s}$, 故 A 错误; b 点转动的角速度为 $\omega = 2\pi n = 188.4 \text{ rad/s}$, 故 B 错误; a 、 b 两点同轴转动, 角速度一定相同, 线速度是矢量, 有大小有方向, 线速度方向沿轨迹切线方向, 则线速度的方向一定不同, 故 C 正确, D 错误。

4. A 【解析】A、B 选项中当磁铁向线圈靠近时, 穿过线圈的磁通量向下增加, 根据楞次定律可知, 线圈中产生的感应电流从正接线柱流入电流计, 则电流计指针向右偏转, 选项 A 正确, B 错误; 当磁铁按 C、D 选项中所示的方式靠近线圈时, 由对称性可知, 穿过线圈的磁通量总是零, 线圈中不会有感应电流产生, 选项 C、D 错误。

5. A 【解析】根据牛顿第三定律可知, 缆绳对违章车的拉力与违章车对缆绳的拉力大小相等, A 正确; 违章车对坡道的作用力可能是摩擦力和支持力的合力, 这个合力与坡道不垂直, 若违章车只受坡道的支持力, 没有摩擦力, 则违章车对坡道的作用力的方向与坡道垂直, B 错误; 设坡道与水平面的夹角为 θ , 则 $F_N = mg \cos \theta$, 坡道与水平面的夹角越小, 坡道受到的压力越大, C

错误;违章车除了受到重力、支持力、拉力之外还可能受到坡道对它的摩擦力,D错误。

6. B 【解析】由 $C = \frac{Q}{U}$ 可得 $Q_1 = -CU_1, Q_2 = CU_2$, 则通过细胞膜的电荷量为 $\Delta Q = Q_2 + Q_1 = ne$, 又因为

$C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$, 可得通过细胞膜的离子数目为 $n = \frac{\epsilon_r S (U_2 - U_1)}{4\pi k d e}$, 故选 B。

7. C 【解析】入射光与反射光在同种介质中传播速度相同,故 A 错误;由于“凹槽”反射光与“盘面”反射光叠加后削弱,“凹槽”深度应该为激光束 $\frac{1}{4}$ 波长的奇数倍,故 B 错误;“凹槽”反射光与“盘面”反射光是同种类型的光,频率相同,故 C 正确;“盘面”处的反射光叠加后得到加强是由于光的干涉形成的,故 D 错误。

8. C 【解析】 α 衰变过程中系统不受外力,动量守恒,故 A 错误;设 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 的反冲速度大小为 v , α 粒子的速度是 v' , 由动量守恒定律,得 $0 = Mv - mv'$, 则有 $Mv = mv'$, 根据动能的表达式 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$, 由于 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 的质量大于 α 粒子的质量,则衰变后 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 的动能小于 α 粒子的动能,故 B 错误;由于发生 α 衰变时要伴随释放一定的能量,由质能方程可知, ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ 的质量大于 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 与 α 粒子质量之和,故 C 正确;激发态 ${}^{222}_{86}\text{Rn}^*$ 释放光子至 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 基态不是 β 衰变,故 D 错误。

9. C 【解析】嫦娥六号在环月轨道 2 上的 P 减速进入环月轨道 1,嫦娥六号向运动反方向喷气,做负功,机械能减小,在环月轨道 1 上的机械能比在环月轨道 2 上的机械能小,A 错误;根据开普勒第三定律可得 $\frac{a_2^3}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{T_1^2}$, 由于 $a_2 > a_1$, 可得在绕地轨道 1 上的周期比在绕地轨道 2 上的周期小,B 错误;从绕地轨道进入地月转移轨道在 Q 点加速,从低轨道进入高轨道,嫦娥六号被月球捕获,在 P 点减速,使其绕月飞行,C 正确;根据 $G \frac{Mm}{r^2} = ma, M = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3$, 得离地表面 h 处

的加速度为 $a = G \frac{\rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3}{(R+h)^2}$, 由于地

球、月球的平均密度不同,星球半径也不同,所以无动力情形下,在离地球表面和离月球表面相同高度处的加速度大小不相同,D 错误。

10. C 【解析】电子受到的电场力大小为 $F = |q|E = \frac{|q|U}{d} = 3.6 \times 10^{-15} \text{ N}$, 故 A 错误;运动的时间为 $t = \frac{l}{v_0} = 2.0 \times 10^{-9} \text{ s}$, 故 B 错误;电子在电场中的加速度大小为 $a = \frac{F}{m} = 4 \times 10^{15} \text{ m/s}^2$, 离开电场时偏移的距离为 $y = \frac{1}{2}at^2 = 0.8 \text{ cm}$, 故 C 正确;离开电场时的动能为 $E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 + Fy = 4.338 \times 10^{-16} \text{ J}$, 故 D 错误。

11. D 【解析】由于 $\frac{U_1}{U_2} \neq \frac{N_1}{N_2}$, 该变压器不是理想变压器,故 A 正确;开关 K 闭合后,副线圈中电流增大,相应原线圈内电流增大,但 U_3 小于 U_2 , 因此线圈存在电阻,使得线圈电阻分压增多,故 B 正确; $\frac{U_1}{U_2} > \frac{N_1}{N_2}$ 的主要原因是变压器使用过程中有能量损耗,故 C 正确;变压器使用过程中有能量损耗,若以 N_2 为原线圈、 N_1 为副线圈,输入和输出电压分别为 U_2', U_1' , 则有 $\frac{U_2'}{U_1'} > \frac{N_2}{N_1}$, 故 D 错误。

12. D 【解析】水流由出水口水平喷出时的速度为 4 m/s , 每秒出水量为 3 kg , 根据 $m = \rho Sv$, 代入数据解得 $S = 7.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, 故 A 错误;每秒内水流机械能增加 $\Delta E = mgh + \frac{1}{2}mv^2$, 其中 $h = 6 + 0.45 \text{ m} = 6.45 \text{ m}$, 代入数据解得 $\Delta E = 217.5 \text{ J}$, 故 B 错误;水泵的输出功率 $P_{\text{出}} = \frac{P}{75\%} = \frac{W}{75\%} = \frac{\Delta E}{75\%} = \frac{217.5}{75\%} \text{ W} = 290 \text{ W}$, 故 C 错误;对电动机,有 $P_{\text{总}} = P_{\text{出}} + I^2 r$, 其中 $P_{\text{总}} = UI$, 联立解得 $r = \frac{160}{9} \Omega$, 故 D 正确。

13. D 【解析】若小车做匀减速直线运动,则有 $v^2 - v_0^2 = -2ax$, 整理有 $v^2 = v_0^2 - 2ax$, 所以以 v^2 为纵坐标, x 为横坐标,其图像为一条倾斜直

线,与题图不符合,故小车向右做的不是匀减速直线运动,故 A 项错误;由于线圈 ab 切割磁感线相当于电源,电流方向沿逆时针方向, $U_{ba} < BLv_0$, 故 B 项错误;线圈切割磁感线产生的电动势为 $E = BLv$, 线圈的电流为 $I = \frac{E}{R}$, 线圈受到的安培力大小 $F = BIL$, 则由动量定理有 $-\bar{F} \cdot \Delta t = mv - mv_0$, 整理有 $-\frac{B^2 L^2}{R} \bar{v} \cdot \Delta t = mv - mv_0$, 由于线圈受到的安培力是小车对线圈的作用力,所以由牛顿第三定律可知,线圈对小车的作

用力与线圈受到的安培力大小相等,所以从开始到停下对小车有 $-\frac{B^2 L^2}{R} x = 0 - mv_0$, 对小车,前半程有 $-\frac{B^2 L^2}{R} \cdot \frac{x}{2} = mv_1 - mv_0$, 解得 $v_1 = \frac{1}{2}v_0$, 由能量守恒,前半程线圈产生的热量为 Q_1 , 有 $Q_1 = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$, 同理后半程线圈产生的热量为 Q_2 , 有 $Q_2 = \frac{1}{2}mv_1^2$, 所以 $Q_1 : Q_2 = 3 : 1$, 故 C 项错误;在考虑摩擦时,对前半程,由动量定理可得 $-\frac{B^2 L^2}{R} \cdot \frac{x}{2} - I_{\text{阻}} = mv_1' - mv_0$, 对后半程,由动量定理可得 $-\frac{B^2 L^2}{R} \cdot \frac{x}{2} - I_{\text{阻}} = 0 - mv_1'$, 走相同的位移,因前半程速度快,时间小,即 $I_{\text{阻}} < I_{\text{阻}}$, 即 $\frac{B^2 L^2}{R} \cdot \frac{x}{2} + I_{\text{阻}} < \frac{B^2 L^2}{R} \cdot \frac{x}{2} + I_{\text{阻}}$, 解得 $v_1' > \frac{v_0}{2}$, 故 D 项正确。

14. AC 【解析】水波、声波和电磁波等一切波都能发生干涉和衍射,因为干涉和衍射是波的特性,所以 A 正确;波源不动,若观察者相对波源运动,则接收到的波的频率就跟波源发出的频率不一样,所以 B 错误;当 LC 振荡电路中电流最大时,电容器放电完毕,两极板间的电场能最小,所以 C 正确;在电磁波发射技术中,使电磁波随各种信号而改变的技术叫调制,所以 D 错误。

15. ABC 【解析】根据题意可知,波长为 $\lambda = \frac{v}{f} = 5 \text{ m}$, 因为振源反相振动,

故当 $\Delta x = n\lambda$ 时,是振动减弱点,甲听不到声音,由于 $\frac{x_{AB}}{\lambda} = 4$,则有 $(R+x) - (R-x) = n\lambda$ ($n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$), 即 $x = \frac{n\lambda}{2}$ ($n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$), 满足上式时,听不到声音,当 $n = 0$ 时, $x = 0$, 当 $n = \pm 1$ 时, $x = \pm 2.5 \text{ m}$, 当 $n = \pm 2$ 时, $x = \pm 5 \text{ m}$, 当 $n = \pm 3$ 时, $x = \pm 7.5 \text{ m}$, 共 7 次听不到声音,故 A、B 正确;根据题意,设乙听不到声音的位置坐标为 (x, y) , 则有 $\sqrt{(R+x)^2 + y^2} - \sqrt{(R-x)^2 + y^2} = n\lambda$ ($n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$), 且 $x^2 + y^2 = R^2$, 整理可得,乙同学听不见声音的点的位置坐标方程为 $\sqrt{(10+x)^2 + y^2} - \sqrt{(10-x)^2 + y^2} = 5n$ ($n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$), 且 $x^2 + y^2 = 100$, 联立可得 $\sqrt{(10+x)^2 + y^2} - \sqrt{(10-x)^2 + y^2} = 5n$ ($n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$), 可知乙同学有 7 次听不到声音,故 C 正确, D 错误。

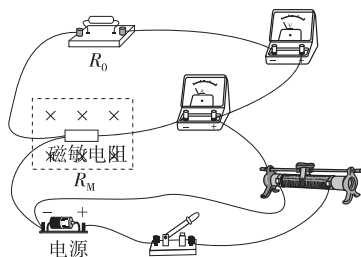
16. I. (1) 1 (2) $\frac{\sqrt{13}}{2}$ (3) 0.5 0.25

【解析】(1) 竖直方向有 $\Delta y = 4(y_{BC} - y_{AB}) = gT^2$, 水平方向有 $4x_{AB} = v_0 T$, 解得 $v_0 = 1 \text{ m/s}$.

(2) B 点竖直方向的速度为 $v_{By} = \frac{4y_{AC}}{2T}$, 则 B 点的速度为 $v_B = \sqrt{v_0^2 + v_{By}^2}$, 解得 $v_B = \frac{\sqrt{13}}{2} \text{ m/s}$.

(3) 小球在最低点根据牛顿第二定律有 $F - mg = m \frac{v_0^2}{R}$, 根据平抛运动规律有 $x = v_0 t$, $y = \frac{1}{2} g t^2$, 解得 $F = 10m + \frac{m}{2R} \cdot \frac{1}{y}$, 根据图像的斜率与截距有 $10m = 5.0 \text{ N}$, $\frac{m}{2R} = \frac{7.0 - 5.0}{2} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$, 解得 $m = 0.5 \text{ kg}$, $R = 0.25 \text{ m}$.

II. (1) 如图所示 (2) 1.30 3900 (3) R_2 2.8



【解析】(2) 电压表的分度值为 0.1 V , 如图丙所示, 电压表的读数为 1.30 V , 根据串联电路电压与电阻成正比的关系, 磁敏电阻两端的电压为

$$U_M = \frac{1.30 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega} \times (2 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega) = 1.95 \text{ V},$$

电流表读数为 0.5 mA , 故此时磁敏电阻的阻值为 $R_M = \frac{1.95}{0.5 \times 10^{-3}} \Omega = 3900 \Omega$.

(3) 根据闭合电路可得输出电压为

$$U = \frac{ER_2}{R_1 + R_2},$$

要求输出电压达到或超过 2.0 V 时报警, 即要求磁感应强度增大时, 电阻的阻值增大, 从而需要输出电压增大, 故需要 R_2 的阻值增大才能实现此功能, 故 R_2 为磁敏电阻; 开始报警时磁感应强度为 0.2 T , 此时 $R_2 = 1.4 \text{ k}\Omega$, 电压 $U = 2.0 \text{ V}$, 根据电路关系有 $\frac{U}{R_2} = \frac{E}{R_1 + R_2}$, 解得另一固定电阻的阻值应为 $R_1 = 2.8 \text{ k}\Omega$.

题解小卷 8 “1~15 选择 + 16 实验”限时练

题解小卷 8 “1~15 选择 + 16 实验”限时练

1. D 【解析】电势只有大小, 没有方向, 属于标量, 但 eV 不是国际基本单位, 故 A 错误; 电压只有大小, 没有方向, 属于标量, 但单位用国际基本单位表示应为 $\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$, 故 B 错误; 磁感应强度是有大小、方向的矢量, 单位为 $\frac{\text{kg}}{\text{A} \cdot \text{s}^2}$, 故 C 错误; 功率都只有大小, 没有方向, 属于标量, 单位也正确, 故 D 正确。

2. C 【解析】10 min 指的是时间间隔, A 错误; 在考虑篮球从被投出到进篮的路线时, 该篮球可以看作质点, B 错误; 手对篮球产生弹力是因为手发生了形变且要恢复原状, 于是对与手接触的篮球发生了弹力的作用, C 正确; 篮球刚被投出后受到重力和空气阻力, D 错误。

3. B 【解析】当游客位于圆心上方时加速度竖直方向分量向下, 处于失重状态, 位于圆心下方时加速度竖直方向分量向上, 处于超重状态, A 错误; 游客的线速度大小 $v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2 \times 3.14 \times \frac{52}{2}}{13 \times 60 + 14} \approx 0.2 \text{ m/s}$, B 正确; 游客

$$\text{的角速度 } \omega = \frac{v}{r} = \frac{0.2}{\frac{52}{2}} \text{ rad/s} \approx 7.69 \times 10^{-3} \text{ rad/s}, \text{ C 错误; 游客所受合力大小不变, 方向始终指向圆心, 重力大小方向不变, 因此轿厢对游客的作用力的大小变化, D 错误.}$$

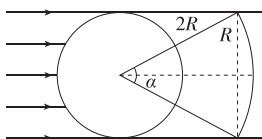
4. B 【解析】根据题意可知, 极紫外线波长小于深紫外线, 根据 $E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$, 可知, 深紫外线光子的能量小于极紫外线光子的能量, 故 A 错误; 极紫外线波长小于深紫外线, 则频率高, 所以极紫外线折射率大, 根据 $v = \frac{c}{n}$ 可知, 极紫外线在水中的传播速度小, 故 B 正确; 利用同一装置进行双缝干涉实验时, 根据 $\Delta x = \frac{\lambda L}{d}$ 可知, 极紫外线的条纹间距较小, 故 C 错误; 极紫外线比深紫外线波长短, 更不容易发生衍射, 故 D 错误。

5. A 【解析】将四个点电荷看成两组等量异种电荷, M 点和 P 点均在两组等量异种电荷的中垂线上, 电势均为零, 在 P 点放置一带负电的试探电荷, 其电势能为零, A 正确, D 错误; 设单位长度为 a , 根据电场强度的叠加可得 Q 点的电场强度为 $E_Q = \frac{kq}{(2\sqrt{2}a)^2} + \frac{kq}{(6\sqrt{2}a)^2} - 2 \times \frac{kq}{(2\sqrt{10}a)^2} \times \frac{4\sqrt{2}a}{2\sqrt{10}a} \neq 0$, B 错误; 点电荷 A 所受的电场力 $F = 2 \times \frac{kq^2}{(4a)^2} \times \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{kq^2}{(4\sqrt{2}a)^2} \neq 0$, C 错误。

6. D 【解析】由图可知, 在 t_1 时刻线圈 A 中的电流最大, 此时产生的磁通量的变化率是最小的, 为零, 所以线圈 B 感应电流为零, 因此两线圈间作用力为零, 故 A 错误; 在 t_2 时刻, 线圈 A 中的电流为零, 而磁通量的变化率是最大的, 所以线圈 B 感应电流也是最大, 但 A、B 间的相互作用力为零, 故 B 错误; 在 t_1 到 t_2 时间内, 若设顺时针(从右向左看)方向为正, 则线圈 A 电流方向沿顺时针方向且大小减小, 所以根据右手螺旋定则可判定穿过线圈 B 方向向左的磁通量大小减小, 由楞次定律可知, 线圈 B 的电流方向沿顺时针方向, 因此 A、B 中电流方向相同,

出现相互吸引现象,故 C 错误;在 t_2 到 t_3 时间内,若设顺时针方向(从右向左看)为正,则线圈 A 电流方向沿逆时针方向且大小增大,所以根据右手螺旋定则可判定穿过线圈 B 方向向右的磁通量大小增大,由楞次定律可知,线圈 B 的电流方向沿顺时针方向,因此 A、B 中电流方向相反,A、B 出现互相排斥,故 D 正确。

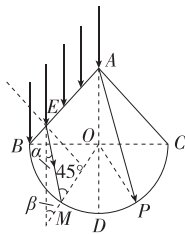
7. A 【解析】由题意可知该人造卫星的轨道半径为 $r=2R$,根据万有引力提供向心力可得 $\frac{GMm}{(2R)^2} = \frac{m \cdot 4\pi^2 \cdot (2R)}{T^2}$,解得 $T = 4\pi R \sqrt{\frac{2R}{GM}}$,由几何关系得人造卫星太阳能电池板接收不到太阳光的范围如图所示,由几何知识可得 $\alpha=60^\circ$,故一个周期内卫星的太阳能电池板接收不到太阳光的时间为 $t = \frac{\alpha}{360^\circ} \cdot T = \frac{2\pi R}{3} \sqrt{\frac{2R}{GM}}$,故选 A。



8. C 【解析】根据动能定理,有 $qU = \frac{1}{2}mv^2$,解得 $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$,对 Δt 时间内喷射出的氦离子,根据动量定理,有 $\Delta Mv = F\Delta t$,其中 $\Delta M = Nm\Delta t$,联立有 $F = Nm v = N \cdot m \cdot \sqrt{\frac{2qU}{m}} = N\sqrt{2qUm}$,故选 C。
9. D 【解析】增大电阻箱 R_1 的阻值,则红外光源发出的红外线强度减小,若烟雾浓度降低,则光敏电阻接收到的光强降低,阻值变大,则干簧管的电流减小,则干簧管中的两个簧片不能被磁化而接通,不能触发蜂鸣器报警,选项 A 错误;同理,若烟雾浓度降低,则光敏电阻接收的光强降低,阻值变大,若再增大电阻箱 R_2 的阻值,则干簧管的电流减小,则干簧管中的两个簧片不能被磁化而接通,不能触发蜂鸣器报警,选项 B 错误;增大电源 E_3 的电动势,对干簧管的通断无影响,选项 C 错误;增大干簧管上线圈的匝数,可使干簧管在电流减小时增加磁性,使干簧管中的两个簧片被磁化而接通,触发蜂鸣器报警,选项 D 正确。

10. B 【解析】10 立方米的水从水库上游流下时减少的重力势能为 $E_p = mgh = \rho Vgh = 7.3 \times 10^6 \text{ J}$,而一度电 $1\text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$,选项 A 错误;由 $200 \times 12 \times n = 18.6 \times 10^8$,可得 $n = 7.75 \times 10^5$,B 正确。由 $18.6 \times 10^8 \times 10^3 = P \times 365 \times 24$,得 $P = 212$ 兆瓦,大约 3 台发电机组的功率,C 错误。转化效率 $\eta = \frac{18.6 \times 10^{11} \times 3600}{113 \times 10^8 \times 10^3 \times 10 \times 73} = 81\%$,D 错误。

11. C 【解析】由几何知识可知从 A 点射入玻璃的光的入射角为 45° ,故有 $\frac{\sin 45^\circ}{\sin \angle PAC} = n$,解得 $\angle PAC = 30^\circ$,故可知 $\angle PAD = 45^\circ - 30^\circ = 15^\circ$,故 A 错误;光线在该玻璃工件内发生全反射的临界角为 $\sin C = \frac{1}{n}$,即临界角 $C = 45^\circ$, $\triangle OAP$ 为等腰三角形,故光射到 P 点时的入射角 $\angle OPA = 15^\circ < 45^\circ$,可知从 A 点射到 P 点的光不能发生全反射,故 B 错误;根据几何知识可知从 AB 面上射到圆弧界面上光的路径中沿 A 点射入到达 P 点时的路程最大,光在玻璃中的速度为 v ,可知最长时间为 $t = \frac{AP}{v}$,同时有 $n = \frac{c}{v}$, $AP = 2R \cos 15^\circ$,解得 $t = \frac{2\sqrt{2}R \cos 15^\circ}{c}$,故 C 正确;设从 E 点入射的光线刚好在圆弧界面上 M 点发生全反射,由几何知识可得 $\alpha = 15^\circ$, $\beta = 45^\circ - 15^\circ = 30^\circ$,故 $\angle MOD = 30^\circ$,故可知 $\angle MOP = 30^\circ + 30^\circ = 60^\circ$,可知圆弧 $\widehat{MP}$ 都有光线射出,故圆弧界面上有光射出部分长为 $L = \frac{\pi R}{3}$,故 D 错误。



12. C 【解析】机械波波速由介质决定,则两波在同一均匀介质中传播,波速相同,设为 v ,则有 $x_{AB} = 2vt$,代入数据解得 $v = 10 \text{ m/s}$,由图知 A 的周期 $T_A = 0.2 \text{ s}$,则波长为 $\lambda_A = vT_A = 2 \text{ m}$,由图知 B 的周期 $T_B = 0.4 \text{ s}$,则波长为 $\lambda_B = vT_B = 4 \text{ m}$,故 A、B 错误;A 向右传播的波

与 B 向左传播的波在 0.5 s 时相遇,即在 C 点相遇,再经过 0.2 s 就到了 $t = 0.7 \text{ s}$ 时刻,由图乙可知 A 波再经过 0.2 s 引起 C 点处于平衡位置向上振动,由丙图可知 B 波再经 0.2 s 引起 C 点处于平衡位置向上振动,故此时 C 点是振动加强点,故 C 正确;由题可知,B 的右边只接收到波源 A 传过去的波,A 波的频率为 $f = \frac{1}{T_A} = 5 \text{ Hz}$,当在 B 的右边有一观察者向右运动时,远离波源 A,根据多普勒效应,接收频率小于波源频率为 5 Hz ,故 D 错误。

13. D 【解析】电梯刚接触井底缓冲弹簧时的速度为 4 m/s ,缓冲弹簧被压缩 2 m 时电梯停止了运动,根据能量守恒,得 $\frac{1}{2}mv^2 + mg \cdot \Delta x = \frac{1}{2}k\Delta x^2 + F_{\text{弹}} \cdot \Delta x$,代入数据解得 $k = 11\,000 \text{ N/m}$,故 A 错误;与弹簧接触前,电梯做匀加速直线运动,接触弹簧后,先做加速度逐渐减小的加速运动后做加速度逐渐增加的减速运动,故 B 错误;电梯停止在井底时,由受力平衡得 $k\Delta x = mg + F_{\text{弹}}$,代入数据解得 $F_{\text{弹}} = k\Delta x - mg = (22\,000 - 20\,000) \text{ N} = 2\,000 \text{ N}$,故 C 错误;当电梯速度最大时,此时加速度为零,则有 $k\Delta x' + F_{\text{弹}} = mg$,解得 $\Delta x' = \frac{mg - F_{\text{弹}}}{k} = \frac{20\,000 - 17\,000}{11\,000} \text{ m} = \frac{3}{11} \text{ m}$,从电梯接触弹簧到速度最大的过程中,电梯和弹簧组成的系统损失的机械能等于摩擦力做的负功,则 $\Delta E = F_{\text{弹}} \cdot \Delta x' = 17\,000 \times \frac{3}{11} \text{ J} \approx 4636 \text{ J} \approx 4600 \text{ J}$,故 D 正确。

14. AD 【解析】在不同的参考系中光传播的速度都是一样的,故 A 正确;第二类永动机违反了热力学第二定律,故 B 错误;用碾子压紧土壤,使土壤中的毛细管变得更细,增强毛细现象,使地下水到地面上来,故 C 错误;根据多普勒效应可知,当波源与观察者相互接近时,观察者观测到波的频率大于波源振动的频率,故 D 正确。

15. BD 【解析】根据题意分析可知,从 $n=5$ 能级的氢原子跃迁时发出的第一种光为从 $n=5$ 跃迁到 $n=3$ 能

$$\text{级 } \nu_1 = \frac{0.97 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} \text{ Hz} =$$

$2.34 \times 10^{14} \text{ Hz}$, 第二种光为从 $n=3$

跃迁到 $n=2$ 能级 $\nu_2 =$

$$\frac{1.89 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} \text{ Hz} = 4.56 \times$$

10^{14} Hz , 第三种光为从 $n=2$ 跃迁

到 $n=1$ 能级 $\nu_3 =$

$$\frac{10.2 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} \text{ Hz} = 2.46 \times$$

10^{15} Hz , 所以, 可见光 a 光为第二种,

属于红光; 从 $n=4$ 能级的氢原子跃

迁时发出的第一种光为从 $n=4$ 跃迁

到 $n=2$ 能级 $\nu_4 =$

$$\frac{2.55 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} \text{ Hz} = 6.15 \times$$

10^{14} Hz , 第二种光为从 $n=2$ 跃迁

到 $n=1$ 能级 $\nu_5 =$

$$\frac{10.2 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} \text{ Hz} = 2.46 \times$$

10^{15} Hz , 所以, 可见光 b 光为第一种,

属于蓝光; 由 $\lambda = \frac{c}{\nu}$, 可知 $\lambda_a > \lambda_b$, 由

康普顿效应有 $p = \frac{h}{\lambda}$, 可知 $p_a < p_b$,

故 A 错误. 由于 a 光波长大于 b 光波

长, 所以水对 a 光的折射率小于对 b

光的折射率, 由光在介质中传播的速

度 $v = \frac{c}{n}$ 可知, 在水中 a 光的传播速

度更大, 故 B 正确. 由 A 选项可知

$\nu_a < \nu_b$, 频率越大, 越容易发生光电

效应, 所以, b 光更容易发生光电效

应, 故 C 错误. 双缝干涉中, 相邻两个

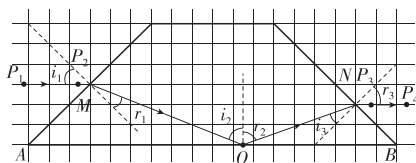
亮条纹或暗条纹的间距 $\Delta x = \frac{l}{d} \lambda$, 因

为 a 光波长大于 b 光波长, 所以 a 光

的干涉条纹间距更大, 故 D 正确.

16. I. (1)①ABD (2)①如图所示

$$\textcircled{2} \frac{\sqrt{194}}{8}$$



【解析】(1) 实验中要保证气体质量

不变, 所以要用橡胶塞密封注射器的

下端, 防止漏气, 选项 A 正确; 实验

中需要测量气体的压强, 所以需要读取

压力表上显示的值, 选项 B 正确; 实

验中封闭气体的注射器上下粗细一

致, 所以可用气体长度值代替体积

值, 读取刻度尺上显示的空气柱长度即可, 不需要用游标卡尺测量柱塞的直径, 选项 C 错误, D 正确.

(2)①设图中方格的边长为 l , 根据几

何关系可知玻璃砖截面为等腰梯形,

且两底角均为 45° , 因为玻璃砖左腰

界面的入射光线与右腰界面的出射

光线平行, 所以 $i_1 = r_3 = 45^\circ$, 假设光

线在 AB 面的 O 点发生反射, 所以

$\triangle AMO$ 与 $\triangle BNO$ 相似, 则 $\frac{AM}{BN} =$

$$\frac{AO}{BO} = \frac{3}{2}, \text{ 而 } AO + BO = 18l, \text{ 解得}$$

$AO = 10.8l$, 由此可以确定 O 点的位

置, 连接 MO 和 NO 即可得到光

路图.

②在 $\triangle AMO$ 中, 根据余弦定理可得

$$MO = \sqrt{AM^2 + AO^2 - 2AM \cdot AO \cos 45^\circ},$$

根据正弦定理可得 $\frac{MO}{\sin 45^\circ} =$

$$\frac{AO}{\sin (90^\circ + r_1)}, \text{ 根据三角函数知识}$$

有 $\sin (90^\circ + r_1) = \cos r_1 =$

$$\sqrt{1 - \sin^2 r_1}, \text{ 根据折射定律有 } n =$$

$$\frac{\sin i_1}{\sin r_1}, \text{ 联立以上各式解得 } n = \frac{\sqrt{194}}{8}.$$

II. (1) A (2) B (3) 0.20

0.50 (4) 乙 (5) 2.0

【解析】(1) 由于电流表的内阻很小,

所以需选择 $\times 1$ 挡, 故选 A.

(2) 在三个图中, 能准确获得 2Ω 电

阻的仪器只能是电阻箱, 故选 B.

(3) 由图知, 电流表的示数是 0.20 A,

电压表的示数是 0.50 V, 根据欧姆定

$$\text{律得 } R_{\text{测}} = \frac{U}{I} = \frac{0.50}{0.20} \Omega = 2.50 \Omega, \text{ 而}$$

此测量电阻 $R_{\text{测}} = r_A + R_0$, 由题意知

$R_0 = 2 \Omega$, 故 $r_A = 0.50 \Omega$.

(4) 采用图乙电路测得的 $E_{\text{测}} =$

$E_{\text{真}}, r_{\text{测}} = r_A + r_{\text{真}}$, 由于已知电流表

内阻, 故 $r_{\text{真}}$ 可求, 故应选乙.

(5) 由闭合电路欧姆定律 $E = U +$

$$Ir_{\text{测}} \text{ 得 } U = E - Ir_{\text{测}}, r_{\text{测}} =$$

$$\frac{3.0 - 1.0}{0.8} \Omega = 2.5 \Omega, \text{ 则电池组内阻}$$

$$\text{为 } r_{\text{真}} = r_{\text{测}} - r_A = (2.5 -$$

$$0.50) \Omega = 2.0 \Omega.$$

题型小卷 9 “1~15 选择 +

16 实验”限时练

1. D 【解析】瞬时速、磁通量和电势均

为标量, 磁感应强度是矢量. 故选 D.

2. D 【解析】质点是一理想化模型, 无

论物体质量大小, 体积大小, 只要在研

究的问题中处于次要因素, 都可以看作

质点, 雪花虽很小, 能否看成质点, 要看

对雪花下落研究的问题性质决定, 因此

不一定可以看成质点, A 错误; 雪花质

量很小, 在下落过程中受到重力和空气

阻力作用, 因此雪花的运动轨迹不一定

是直线运动, 所以雪花位移的大小不一

定等于路程, B 错误; 在无风环境中, 雪

花除受重力作用外, 还有空气阻力作

用, 因此雪花不是做自由落体运动, C

错误; 由运动的相对性, 要描述一个物

体的运动, 首先要选定某个其他物体做

参考, 因此要研究雪花的运动必须先选

定参考系, D 正确.

3. B 【解析】气泡是光疏介质, 光经过

水照射气泡时, 一部分光会发生全反

射, 因此水中气泡看上去特别明亮, 故

A 错误; 乙图, 火焰在肥皂膜上形成明

暗相间条纹像, 是薄膜干涉现象, 即光

的干涉原理, 故 B 正确; 丙图, 相机特

制滤光片能阻挡特定方向的偏振光,

因此能减弱汽车玻璃表面反射光, 是

光的偏振现象, 故 C 错误; 丁图, 显微

镜下光经过大头针的图像, 是光的衍

射现象, 故 D 错误.

4. D 【解析】滑翔的过程中除重力做功

外, 还有空气阻力做功, 机械能不守

恒, 故 A 错误; 由功能关系可知, 重力

势能的减小量等于重力做的功, 故 B

错误; 由能量守恒可知, 重力势能的减

小量等于动能的增加和克服阻力所做

的功, 故 C 错误; 由动能定理可知, 合

外力所做的功等于动能的变化量, 故

D 正确.

5. C 【解析】将两小球看作一个整体,

对整体受力分析, 如图所示, 根据平衡

条件可得 $F_a \cos 30^\circ = 2G$,

$$F_a \sin 30^\circ = F_c, \text{ 联立得 } F_a =$$

$$\frac{4\sqrt{3}}{3}G, F_c = \frac{2\sqrt{3}}{3}G, \text{ 联立可得 } \frac{F_a}{F_c} =$$

$$\frac{2}{1}, \text{ 故 A、B 错误, C 正确; 对 2 小球隔}$$

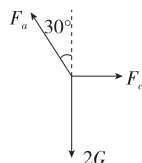
$$\text{离分析, 利用平衡条件可得 } F_b =$$

$$\sqrt{G^2 + F_c^2} = \frac{\sqrt{21}}{3}G,$$

则细线 b 对小球 2 和

小球 1 的拉力都为

$$\frac{\sqrt{21}}{3}G, \text{ 故 D 错误.}$$



6. C 【解析】球运动到最高点时速度为零,受重力作用,合力不为零,处于非平衡状态,故 A 错误;球离开手瞬间,受到竖直向下的重力和阻力,则合力向下,加速度向下,由于阻力恒定,则加速度大小不变,为匀减速直线运动,可得球从离开手到最高点的过程中的平均速度为 $\bar{v} = \frac{v}{2}$,设阻力大小为 F ,则有 $F + mg = ma$,球从离开手到最高点的过程运动时间为 $t = \frac{v}{a} < \frac{v}{g}$,故 B、D 错误, C 正确。

7. C 【解析】喷出去的水做斜抛运动,可拆分为水平方向的匀速直线运动与竖直方向的上抛运动,则可知最高点越高的水柱,竖直分速度越大,则在空中上升的时间越长,由于水平分速度未知,则无法判断水喷出速度大小关系以及喷出水的距离大小,进而无法判断喷水口处的水柱与水平面的夹角变化,故选 C。

8. A 【解析】在地球表面根据万有引力与重力的关系有 $\frac{GMm}{R^2} = mg$,设该卫星的质量为 m' ,则有 $\frac{GMm'}{(R+h)^2} = m'g'$,解得 $g' \approx 8.4 \text{ m/s}^2$,故 A 正确;根据万有引力提供向心力有 $\frac{GMm'}{(R+h)^2} = m'(R+h)\frac{4\pi^2}{T^2}$,代入数据解得该卫星圆周运动的周期 $T \approx 95 \text{ min}$,故 B 错误;第一宇宙速度是卫星做圆周运动的最大速度,该卫星圆周运动的速度小于第一宇宙速度,故 C 错误;由于红外线衍射能力强,容易被云雾里的小分子散射掉,穿过云雾的能力比较好,用于遥感技术,故 D 错误。

9. D 【解析】质子在漂移管内做匀速直线运动,漂移管内电场强度为零,根据静电屏蔽,漂移管需要用金属材料制成,故 A 错误;质子在漂移管间被电场加速,在漂移管内做匀速直线运动,质子在每个管内运动时间视为电源周期的 $\frac{1}{2}$,各漂移管的长度应逐渐增大,故 B 错误;电源周期为 $T = \frac{1}{f} = 1 \times 10^{-7} \text{ s}$,漂移管 B 的长度为 $L_B = v \frac{T}{2} = 8 \times 10^6 \times \frac{1}{2} \times 1 \times 10^{-7} \text{ m} = 0.4 \text{ m}$,故 C 错误;从 B 到 E,根据动

能定理 $3qU = \frac{1}{2}mv_E^2 - \frac{1}{2}mv_B^2$,解得相邻漂移管间的加速电压 $U = 6 \times 10^4 \text{ V}$,故 D 正确。

10. D 【解析】若 A 接 a, B 接 b, cd 空置,则线圈 cd 的存在不影响变压器的工作,开关闭合前后, U_2 不会发生变化,负载变化时,根据 $P = \frac{U_2^2}{R}$,可知电源输出功率不恒定,故 A、B 错误;若 A 接 a, B 接 c, b 接 d, 双线圈 ab 和 cd 产生的磁场会相互抵消,理想变压器不会正常工作,副线圈的电压为零,故 C 错误;若 A 接 a, B 接 d, b 接 c, 双线圈 ab 和 cd 为串联关系,满足 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{2n_1}$,可知负载变化时, I_1 和 I_2 相应变化且成正比,故 D 正确。

11. C 【解析】由题意可知,该光伏项目年发电量约为 $W = Pt = 3 \times (13+8) \times \frac{365}{2} \text{ kW} \cdot \text{h} \approx 1.15 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$, A 错误;该光伏项目的工作总电流约为 $I = \frac{P}{U} = \frac{3 \times 10^3}{380} \text{ A} \approx 7.9 \text{ A}$, B 错误;该光伏项目平均每天的发电量大约可供当地一盏 60 W 的白炽灯工作时间为 $t' = \frac{Pt \times 30\%}{P_L} = \frac{3 \times \left(\frac{13+8}{2}\right) \times 30\%}{0.06} \text{ h} = 157.5 \text{ h}$, C 正确;该光伏项目富余发电的年收入约为 $1.15 \times 10^4 \times 70\% \times 0.4 \text{ 元} = 3220 \text{ 元}$, D 错误。

12. C 【解析】根据质量数与电荷数守恒,可得氟-18 的衰变方程 ${}^{18}_{9}\text{F} \rightarrow {}^{18}_{8}\text{O} + {}^0_{+1}\text{e}$,故 A 错误;依题意,正负电子湮灭方程为 ${}^0_{+1}\text{e} + {}^0_{-1}\text{e} = 2\gamma$,故 B 错误;由质能方程,可得 $\Delta E = \Delta mc^2 = 2mc^2$,根据能量守恒,可得 $\Delta E = 2h\nu = 2h \frac{c}{\lambda}$,联立解得 $\lambda = \frac{h}{mc}$,故 C 正确;由乙图可知氟-18 的半衰期为 $T = 100 \text{ min}$,根据 $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$,又 $t = 5 \times 60 \text{ min} = 300 \text{ min}$,联立解得 $\frac{N}{N_0} = 12.5\%$,故 D 错误。

13. B 【解析】薄板的加速度相比自由落体时减小了千分之一,根据牛顿第二定律可得 $BId = \frac{1}{1000}mg$,解得 $I = 9 \times 10^{-5} \text{ A}$,根据 $C = \frac{Q}{U} = \frac{I\Delta t}{Bdv} = \frac{I}{Bla} = 9 \times 10^{-9} \text{ F}$,故选 B。

14. ACD 【解析】霓虹灯发光是气体原子从高能级向低能级跃迁产生的,故 A 正确;LC 振荡电路中,当电容器电压最大时极板上电荷量最多,回路电流最小,故 B 错误;电阻应变片是一种将被测件上的形状变化转换为一种电信号的敏感器件,其阻值会随着机械形变而发生变化,故 C 正确;光从水中进入空气,可能发生全反射,根据光路的可逆性,站在岸边的人可能因为全反射而看不到湖中的鱼,故 D 正确。

15. ACD 【解析】振动频率相同均为 1 Hz,可知 $T = \frac{1}{f} = 1 \text{ s}$,根据波形图是振动半个周期的波形图,可以判断得出两波源开始起振方向垂直纸面向外,首先波源用 $\frac{1}{4}T$ 到达最大位移处,然后再用 $\frac{1}{4}T$ 将波峰状态传播如题图位置,因此 $\lambda_1 = 4 \text{ m}$, $\lambda_2 = 8 \text{ m}$,根据 $v = \frac{\lambda}{T}$ 可知,两列波的波速分别为 4 m/s, 8 m/s,波速之比为 1:2,故 A 正确;根据 $x = vt$ 可知,在 $t = 3 \text{ s}$ 时两波传播的距离分别为 12 m, 24 m,则两波不是第一次在原点处相遇,故 B 错误; S_1 的波形传到 O 点用时 $t_1 = \frac{x_1}{v_1} = 1.5 \text{ s}$, S_2 的波形传到 O 点用时 $t_2 = \frac{x_2}{v_2} = 1.5 \text{ s}$,可知 $t = 1.5 \text{ s}$ 时 O 点开始振动,且为加强点,振幅为 $A' = 2A = 20 \text{ cm}$,根据振动的周期性可知,在 $t = 3.75 \text{ s}$ 时原点的位移大小为 20 cm,故 C 正确; S_1 的波形传到 $x = -3 \text{ m}$ 处的时间为 $t_1' = \frac{x_1'}{v_1} = 0.75 \text{ s}$, S_2 的波形传到 $x = -3 \text{ m}$ 处的时间为 $t_2 = \frac{x_2}{v_2} + \frac{x_2'}{v_1} = \frac{12}{8} \text{ s} + \frac{3}{4} \text{ s} = 2.25 \text{ s}$,则 $x = -3 \text{ m}$ 处的质点在 0.75~2.25 s 的路程为 $s = 6A = 60 \text{ cm}$,根据该质点的振动情况可知,在 2.25 s 后两波叠加为减弱点,振幅为 0,所以从 $t = 0$ 到 $t = 3 \text{ s}$ 的过程中 $x = -3 \text{ m}$ 处质点振动的路程为 60 cm,故 D 正确。

16. I. (1)B (2)C (3)0.7
(4)3.16(3.00~3.30 均可)

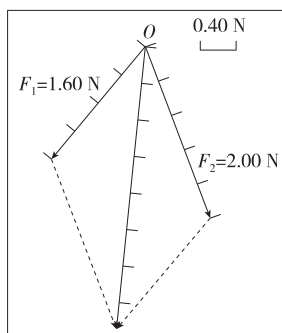
【解析】(1)探究两个互成角度的力

的合成规律实验需要刻度尺确定力的方向和作图,故选B.

(2)测力计若直接钩住小圆环进行实验,会在确定力的方向时出现误差,故A错误;实验过程中,弹簧测力计与木板保持平行即可,故B错误;实验过程中用一个弹簧测力计的作用效果替代两个弹簧测力计作用效果,只需同一次实验“结点”的位置相同即可,但完成后重复实验再次探究时,小圆环的位置可以与前一组实验不同,故C正确;画平行四边形时,夹角大的话画出的平行四边形会准确些,但不是要求夹角尽量大,故D错误.

(3)弹簧测力计的分度值为0.2 N,根据指针位置可以确定拉力为0.7 N.

(4)根据平行四边形定则得出如图



由图可知合力大小约为3.16 N.

II. (1) A_1 V_1 R_2

(2) 2.26 (2.24~2.28 均可)

1.10×10^3 ($1.09 \times 10^3 \sim 1.11 \times 10^3$ 均可) (3) D

【解析】(1)水果电池的短路电流约为2 mA,则实验中电流表应选 A_1 ;电动势约为2 V,则电压表应选 V_1 ;水果电池组内阻约为1000 Ω ,则滑动变阻器应选 R_2 ;

(2)根据闭合回路欧姆定律有 $U = E - Ir$,结合图像可知,该水果电池组的电动势 $E = 2.26$ V,内电阻 $r = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{2.26 - 0.50}{1.6 \times 10^{-3}} \Omega = 1.10 \times 10^3 \Omega$.

(3)该实验的误差产生于电流表的内阻,而该电路对电动势的测量不会产生误差,由于考虑电流表内阻,则 $r_{测} = r_{真} + r_A$,可知考虑电表内阻影响有误差时内阻测量值偏大,即虚线和实线应该过纵轴上同一点,且实线的斜率偏大,故A、B错误;图C中 $I_2 - I_1$ 表示电压为 U_1 时通过电流

表的电流之差;图D中 $U_2 - U_1$ 表示电流为 I_1 时电流表两端电压,故C错误,D正确.

III. (3)调高 (5) $\frac{m_2}{t_3} - \frac{m_1}{t_2}$

【解析】(3)同一滑块通过两个光电门,由 $v = \frac{d}{t}$ 知,时间长的速度小,可知滑块做加速运动,导轨右端应调高一点,直至两个计时器显示的时间相等,即说明滑块做匀速直线运动,导轨已调成水平;

(5)滑块A经光电门1时的速度,即碰撞前的速度为 $v = \frac{d}{t_1}$,滑块A与滑

块B碰撞后A的速度为 $v_1 = \frac{d}{t_2}$,滑

块B被碰撞后的速度为 $v_2 = \frac{d}{t_3}$,在

实验误差允许范围内,若表达式 $m_1 v = -m_1 v_1 + m_2 v_2$,即为 $\frac{m_1}{t_3} - \frac{m_1}{t_2}$ 成立,说明滑块A、B在碰撞过程中动量守恒.

题型小卷 10 “17~20 解答”

规范练

17. (1) 不太低 不太大 (2) 2.65 g (3) 10 J

【解析】(1)瓶内气体在温度不太低,压强不太大时,可视为理想气体.

(2 分)

(2)瓶内空气体积 $V_1 = 2.24$ L

温度为 $T_1 = 25 + 273 = 298$ K

转化为标准状态,有 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

解得 $V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{2.24 \times 273}{298}$ L $\approx$ 2.05 L (1 分)

物质的量为 $n = \frac{2.05}{22.4}$ mol $\approx$

0.091 5 mol (1 分)

故质量 $m = nM = 0.091 5 \text{ mol} \times 29 \text{ g/mol} \approx 2.65 \text{ g}$. (1 分)

(3)由V-T图像可知,由状态a到状态b的过程中,气体发生等压变化

气体对外做功为 $W = p_0 \cdot \Delta V = 1 \times 10^5 \times (2.5 - 2) \times 10^{-3} \text{ J} = 50 \text{ J}$

(1 分)

根据热力学第一定律有 $\Delta U = -W + Q = -50 \text{ J} + 60 \text{ J} = 10 \text{ J}$ (1 分)

则气体的内能增加了10 J. (1 分)

18. (1) $3mg$, 方向竖直向下 (2) $0 < h \leq 0.2R$ (3) $0.025R$

【解析】(1)从静止释放到C点过程中,根据机械能守恒有

$$mgh + mg(R - R \sin 37^\circ) = \frac{1}{2}mv_C^2 \quad (1 \text{ 分})$$

在C点由牛顿第二定律有

$$F_N - mg = m \frac{v_C^2}{R} \quad (1 \text{ 分})$$

联立解得 $F_N = 3mg$

由牛顿第三定律得路面受到的压力为

$$F_N' = F_N = 3mg \quad (1 \text{ 分})$$

(2)分析可知 $h > 0$ 时小球即可通过E点,刚好到达F点时有 $mg \cos 37^\circ =$

$$m \frac{v_F^2}{R} \quad (1 \text{ 分})$$

根据机械能守恒有

$$mgh' + mg(R \cos 37^\circ - R \sin 37^\circ) = \frac{1}{2}mv_F^2$$

$$\text{联立解得 } h' = 0.2R \quad (1 \text{ 分})$$

故可知h的范围为

$$0 < h \leq 0.2R \quad (1 \text{ 分})$$

(3)设在G点时速度为v,根据机械能守恒有

$$mgh + mg(R \cos \theta - R \sin 37^\circ) = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1 \text{ 分})$$

该处重力的瞬时功率为 $P = mgv \sin \theta$ (1 分)

联立解得 $P^2 = m^2 g^2 [2gh + 2gR(\cos \theta - 0.6)] \cdot \sin^2 \theta = m^2 g^2 [2gh + 2gR(\cos \theta - 0.6)] \cdot (1 - \cos^2 \theta)$

设 $x = \cos \theta$, $y = [2gh + 2gR(\cos \theta - 0.6)] \cdot (1 - \cos^2 \theta)$

讨论y-x函数的极值,即 $y = [2gh + 2gR(x - 0.6)] \cdot (1 - x^2)$

(1 分)

展开得 $y = -2gRx^3 + (1.2gR - 2gh)x^2 + 2gRx + 2gh - 1.2gR$

对y求导得 $y' = -6gRx^2 + 2(1.2gR - 2gh)x + 2gR$ (1 分)

根据题意 $\theta = 37^\circ$ 时取极大值,可知此时 $y' = 0$

将 $x = 0.8$ 代入得 $h = 0.025R$ (1 分)

19. (1) 垂直纸面向里 (2) $\frac{mgr}{B^2 l^2}$

$$(3) \frac{16gm^2 r^2}{3RB^4 l^4}$$

【解析】 (1) 由右手定则判断可得 a 棒中的感应电流方向为垂直纸面向里 (2分)

(2) 当重锤下落速度最大时, 为匀速下落状态, 此时重力对重锤的功率等于导体棒克服安培力的功率, 即

$$3mgv_m = I^2 L B v \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{又有 } v_m = \omega R, v = \omega \cdot 2R \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{可得 } v = 2v_m \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{感应电流为 } I = \frac{Blv}{r + \frac{r}{3}} = \frac{3Blv}{4r} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{联立解得 } v_m = \frac{mgr}{B^2 l^2} \quad (1 \text{ 分})$$

(3) 安培力的冲量等于 4 个导体棒切向动量的变化量, 则

$$- \bar{I} L B t = 0 - 4mv \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{平均感应电流为 } \bar{I} = \frac{B \bar{v}}{r + \frac{r}{3}} = \frac{3B \bar{v}}{4r} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{弧长为 } \bar{v} t = \theta \cdot 2R \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{联立解得 } \theta = \frac{16gm^2 r^2}{3RB^4 l^4} \quad (1 \text{ 分})$$

$$20. (1) \frac{mv_0}{qd}, \text{ 方向垂直纸面向外}$$

$$(2) \frac{\sqrt{3}mv_0}{3} \quad (3) \frac{2\pi d}{3v_0} \quad (4) \frac{d}{\tan \theta} - \frac{L}{2}$$

【解析】 (1) 偏转电场的电压为 0 时, 离子能垂直磁场的边界 OQ 出磁场, 所以磁场中离子做圆周运动的半径为 $R = d$

$$\text{又 } qv_0 B = \frac{mv_0^2}{R} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{所以 } B = \frac{mv_0}{qd} \quad (1 \text{ 分})$$

方向垂直纸面向外

(2) 当偏转电压最大时, 动量变化量最大, 为 $\Delta p_{\max} = mv_y$ (1分)

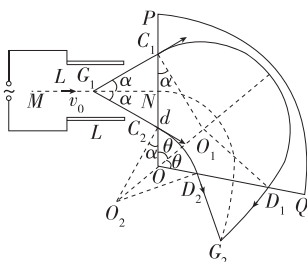
离子在电场中的偏转过程有 $v_y = at$

$$a = \frac{Eq}{m} = \frac{qU_m}{mL} \quad (\text{其中 } U_m = \frac{\sqrt{3}mv_0^2}{3q}) \quad (1 \text{ 分})$$

$$L = v_0 t$$

$$\text{解得 } v_y = \frac{\sqrt{3}v_0}{3}, \Delta p_{\max} = \frac{\sqrt{3}mv_0}{3} \quad (1 \text{ 分})$$

(3) 如图所示, 进入磁场的离子速度方向反向延长都会聚于 G_1 , 最后出磁场后都会聚于一点 G_2 , 故离子在磁场中的圆周运动圆心均在 $\angle POQ$ 的角平分线上。



离子在磁场中的运动周期与离子的速度无关, 所以

$$T = \frac{2\pi m}{qB} = \frac{2\pi d}{v_0} \quad (1 \text{ 分})$$

设下极板带正电时电压为正, 当偏转电场的电压正向最大时, 圆周运动轨迹为 $\widehat{C_1 D_1}$, 所对应圆心角最大, 大小为 $2(\theta + \alpha)$, 运动的时间为

$$t_{\max} = \frac{2(\theta + \alpha)}{2\pi} T$$

当偏转电场的电压负向最大时, 圆周运动轨迹为 $\widehat{C_2 D_2}$, 所对应圆心角最小, 大小为 $2(\theta - \alpha)$, 运动时间为

$$t_{\min} = \frac{2(\theta - \alpha)}{2\pi} T$$

由(2)可知

$$\tan \alpha = \frac{v_y}{v_0} = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$\text{可得 } \alpha = \frac{\pi}{6}$$

$$\text{以上式子联立可得 } \Delta t = t_{\max} - t_{\min} = \frac{2\pi d}{3v_0} \quad (2 \text{ 分})$$

(4) 设 OP 边与极板右端的距离为 x , 由离子在电场中偏转可求得 $NC_1 = \left(\frac{L}{2} + x\right) \cdot \tan \alpha$

当电压为峰值, 离子在磁场中做圆周运动时有 $qvB = \frac{mv^2}{R_{\max}}$ (1分)

$$\text{其中 } v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2}$$

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

在 $\triangle OO_1 C_1$ 中, 根据正弦定理知

$$\frac{d + NC_1}{\sin(\theta + \alpha)} = \frac{O_1 C_1}{\sin \theta} = \frac{R_{\max}}{\sin \theta} \quad (1 \text{ 分})$$

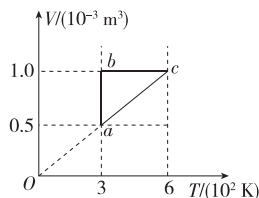
联立解得扇形区域的 OP 边与极板右端的距离为

$$x = \frac{d}{\tan \theta} - \frac{L}{2} \quad (1 \text{ 分})$$

题型小卷 11 “17~20 解答”

规范练

17. (1) 如图所示 (2) 增加 100 J
(3) 150 J



【解析】 (1) 该理想气体经历的三个过程的 V - T 图像如图 (2分)

(2) 加热过程中, 气体温度从 T_0 升高到 $2T_0$, 气体的体积不变, 则 $W = 0$

$$(1 \text{ 分})$$

缸内气体吸收热量 $Q = 100 \text{ J}$ (1分)

则气体的内能增加 $\Delta U = Q = 100 \text{ J}$

$$(1 \text{ 分})$$

(3) 撤去外力后, 气体进行等压压缩, 气体温度从 $2T_0$ 降低到 T_0 , 内能减小 $\Delta U' = 100 \text{ J}$ (1分)

$$\text{外界对气体做功 } W' = p_0 S L_0 = 1.0 \times 10^5 \times 100 \times 10^{-4} \times 5 \times 10^{-2} \text{ J} = 50 \text{ J} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{则气体放热 } Q' = 100 \text{ J} + 50 \text{ J} = 150 \text{ J} \quad (1 \text{ 分})$$

$$18. (1) 1.8 \text{ J} \quad (2) 0 \leq v \leq 5.5 \text{ m/s}$$

$$(3) \text{ 不会 } 0.84 \text{ m}$$

【解析】 (1) 设滑块经过 C 点的速度

$$\text{为 } v, \text{ 根据题目信息有 } mg = m \frac{v_c^2}{R} \quad (1 \text{ 分})$$

根据机械能守恒定律, 弹簧的弹性势

$$\text{能 } E_p = \frac{1}{2} m v_c^2 + 2mgR + \mu mg L_1$$

$$\text{解得 } E_p = 1.8 \text{ J} \quad (1 \text{ 分})$$

(2) 若传送带不动, 设滑块运动到 F 点时速度为 v_1

$$\text{根据能量守恒定律有 } E_p = \mu mg(L_1 + L_2) + \frac{1}{2} m v_1^2$$

$$\text{解得 } v_1 = 2 \text{ m/s} \quad (1 \text{ 分})$$

若传送带一直对滑块做正功, 设滑块运动到 F 点时速度为 v_2

$$\text{根据能量守恒定律有 } E_p = \mu mg(L_1 - L_2) + \frac{1}{2} m v_2^2$$

$$\text{解得 } v_2 = 6 \text{ m/s} \quad (1 \text{ 分})$$

设滑块从 F 点飞出后能够到达平板的最小速度为 v_3 , 最大速度为 v_4 , 根据

$$h = \frac{1}{2} g t^2$$

$$L_3 = v_3 t$$

$$L_3 + L_4 = v_4 t$$

$$\text{解得 } v_3 = 1 \text{ m/s}, v_4 = 5.5 \text{ m/s}$$

$$(2 \text{ 分})$$

要使滑块从 A 点由静止释放时落在平板上,传送带的速度范围为 $0 \leq v \leq 5.5 \text{ m/s}$

(3)由(2)可知,当传送带向右传动速度 $v=3 \text{ m/s}$ 时,滑块离开 F 点速度大小为 $v_0=3 \text{ m/s}$ (1分)

平抛运动的水平位移 $x_0=v_0 t=1.2 \text{ m}$ (1分)

根据题目信息,后续碰撞过程中水平

$$\text{总位移 } x = \frac{1}{8} x_0 \times \frac{1 - \left(\frac{1}{16}\right)^n}{1 - \frac{1}{16}} =$$

$$0.16 \text{ m} \quad (1 \text{ 分})$$

所以滑块在平板上水平方向总位移

$$x_{\text{总}} = x_0 + x = 1.36 \text{ m} \quad (1 \text{ 分})$$

滑块不会离开平板,停在离 Q 点的

$$\text{距离 } L = L_3 + L_4 - x_{\text{总}} = 0.84 \text{ m}$$

(1分)

$$19. (1) \frac{2Bbv_1}{R} \quad (2) \frac{4B^2 b^2 v_1}{gR}$$

$$(3) v_2 - v_1 \quad (4) v_1 : v_2 : v_3$$

【解析】(1)磁场以 v_1 匀速运动时金属框处于静止状态,金属框中的电流大小为

$$I_1 = \frac{2Bbv_1}{R} \quad (2 \text{ 分})$$

(2)由平衡关系得

$$2BI_1 b = Mg \quad (1 \text{ 分})$$

得金属框、电梯轿厢及电梯负载的总质量为

$$M = \frac{4B^2 b^2 v_1}{gR} \quad (1 \text{ 分})$$

(3)当磁场以 v_2 运动时,金属框向上运动,当金属框的加速度为零时,轿厢向上能达到最大速度,则

$$2B \frac{2Bb(v_2 - v_{\perp})}{R} b = Mg \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{得 } v_{\perp} = v_2 - v_1 \quad (1 \text{ 分})$$

(4)电梯悬停时,外界每秒提供给轿厢系统的总能量等于金属框的焦耳热,则

$$E_1 = I_1^2 R = \left(\frac{2Bbv_1}{R}\right)^2 R = \frac{4B^2 b^2 v_1^2}{R} \quad (1 \text{ 分})$$

电梯向上匀速运动时,外界每秒提供给轿厢系统的总能量等于金属框的焦耳热与重力势能增加量之和

$$E_2 = \left[\frac{2Bb(v_2 - v_{\perp})}{R}\right]^2 R + Mg v_{\perp} = \frac{4B^2 b^2 v_1 v_2}{R} \quad (1 \text{ 分})$$

同理电梯向下匀速运动的速度为

$$v_{\text{下}} = v_1 - v_3 \quad (1 \text{ 分})$$

电梯向下匀速运动时,外界每秒提供给轿厢系统的总能量等于金属框的焦耳热与重力势能减少量之差

$$E_3 = \left[\frac{2Bb(v_3 + v_{\text{下}})}{R}\right]^2 R - Mg v_{\text{下}} = \frac{4B^2 b^2 v_1 v_3}{R} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{则 } E_1 : E_2 : E_3 = v_1 : v_2 : v_3$$

(1分)

$$20. (1) \sqrt{\frac{2qU}{m}} \quad (2) E \sqrt{\frac{m}{2qU}}$$

$$(3) \left(0, \frac{Ed^2}{U} + \frac{2}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}\right)$$

$$(4) \frac{\sqrt{q^2 B_0^2 + 2qk} \sqrt{2qUm} - qB_0}{qk}$$

【解析】(1)离子在加速电场中加速,

$$\text{由动能定理有 } qU = \frac{1}{2} mv^2, \text{ 得 } v =$$

$$\sqrt{\frac{2qU}{m}} \quad (2 \text{ 分})$$

(2)离子通过速度选择器,故由力的平衡条件有 $qE = qvB_1$, 得

$$B_1 = E \sqrt{\frac{m}{2qU}} \quad (2 \text{ 分})$$

(3)若撤去极板间磁场 B_1 , 设离子在电场中偏转距离为 y_1 , 则

$$y_1 = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} \left(\frac{2d}{v}\right)^2, \text{ 得 } y_1 = \frac{Ed^2}{U}$$

进入右侧磁场速度为 v_1 , 与 x 轴正方向夹角为 θ , 设圆周运动半径为 R

(1分)

根据牛顿第二定律 $qv_1 B = m \frac{v_1^2}{R}$, 且

$$v_1 \cos \theta = v \quad (1 \text{ 分})$$

射入磁场位置与到达 y 轴位置距离

$$y_2 = 2R \cos \theta$$

$$\text{解得 } y_2 = 2 \frac{mv}{qB} = \frac{2}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}} \quad (1 \text{ 分})$$

$$y = y_1 + y_2 = \frac{Ed^2}{U} + \frac{2}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$$

离子射到 y 轴的位置坐标为

$$\left(0, \frac{Ed^2}{U} + \frac{2}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}\right) \quad (1 \text{ 分})$$

(4)因为 $B_2 = B_0 + kx$, 离子运动到离 y 最远时, 速度为 v , 方向沿 y 轴方向. 在 y 轴方向上由动量定理有

$$\sum qv_x B_2 \Delta t = mv \quad (1 \text{ 分})$$

$$\Delta x = v_x \Delta t$$

$$\sum q(B_0 + kx) \Delta x = mv$$

$$qB_0 x_m + \frac{qkx_m^2}{2} = mv$$

$$\text{得 } x_m = \frac{\sqrt{q^2 B_0^2 + 2qk} \sqrt{2qUm} - qB_0}{qk}$$

(2分)

题型小卷 12 “17~20 解答”

规范练

$$17. (1) V_0 - \frac{l_2 ST_1 - l_1 ST_2}{T_2 - T_1} \quad (2) (p_0 +$$

$$\rho g l)(l_2 - l_1)S + kT_2 - kT_1$$

【解析】(1)设室内牛奶盒内空气体积 V , 将牛奶盒拿到室外为等压变化, 根据 $\frac{V+l_1 S}{T_1} = \frac{V+l_2 S}{T_2}$ (1分)

$$\text{化, 根据 } \frac{V+l_1 S}{T_1} = \frac{V+l_2 S}{T_2} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{得 } V = \frac{l_2 ST_1 - l_1 ST_2}{T_2 - T_1} \quad (1 \text{ 分})$$

剩余牛奶的体积 $V_{\text{剩}} = V_0 - V = V_0 -$

$$\frac{l_2 ST_1 - l_1 ST_2}{T_2 - T_1} \quad (1 \text{ 分})$$

(2)牛奶盒在室内时封闭气体的内能

$$U_1 = kT_1$$

牛奶盒在室外时封闭气体的内能

$$U_2 = kT_2$$

内能变化量 $\Delta U = U_2 - U_1 =$

$$kT_2 - kT_1 \quad (2 \text{ 分})$$

该过程气体对外界做功

$$W = -(p_0 + \rho g l)(l_2 - l_1)S \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{根据 } \Delta U = W + Q \quad (1 \text{ 分})$$

该过程封闭气体吸收的热量

$$Q = (p_0 + \rho g l)(l_2 - l_1)S + kT_2 - kT_1 \quad (1 \text{ 分})$$

$$18. (1) 0.24 \text{ s} \quad (2) 49.2 \text{ N}$$

$$(3) 2 \text{ N} \cdot \text{s} \quad (4) \frac{1000}{81} \text{ J}$$

【解析】(1)滑块从 P 点抛出时竖直方向的分速度

$$v_y = v_0 \sin \theta \quad (1 \text{ 分})$$

滑块从 P 点抛出落到 a 点所需要的运动时间

$$t_0 = \frac{2v_0 \sin \theta}{g} = 0.24 \text{ s} \quad (1 \text{ 分})$$

(2)根据动能定理有

$$mgx_{ab} \sin \theta + mgR(1 - \cos \theta) -$$

$$\mu mgx_{ab} \cos \theta = \frac{1}{2} mv_c^2 - \frac{1}{2} mv_0^2$$

(1分)

$$\text{解得 } v_c = 7 \text{ m/s}$$

在 c 点, 根据牛顿第二定律可得

$$F_{\text{Nc}} - mg = \frac{mv_c^2}{R}$$

$$F_{\text{Nc}} = 49.2 \text{ N} \quad (1 \text{ 分})$$

根据牛顿第三定律可得滑块滑到圆弧轨道的最低点 c 时对轨道的压力大小

$$F_{Nc}' = F_{Nc} = 49.2 \text{ N} \quad (1 \text{ 分})$$

(3) 滑块在传送带上的加速度

$$a = \mu g = 5 \text{ m/s}^2$$

滑块速度与传送带速度相等的所需的时间

$$t_1 = \frac{v_c - v}{a} = 0.4 \text{ s}$$

此过程滑块的位移

$$x_1 = \frac{v_c^2 - v^2}{2a} = 2.4 \text{ m} < L \quad (1 \text{ 分})$$

所以滑块在传送带上先匀减速后匀速, 匀速阶段滑块与传送带间没有摩擦力, 滑块第一次向右通过传送带的过程中, 摩擦力对滑块的冲量大小

$$I = \mu m g t_1 = 2 \text{ N} \cdot \text{s} \quad (1 \text{ 分})$$

(4) 滑块第一次与小球发生弹性碰撞, 根据动量守恒定律和能量守恒定律可得

$$mv = mv_1 + m_0 u_1$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}m_0 u_1^2$$

$$\text{解得 } v_1 = -\frac{1}{3}v, u_1 = \frac{2}{3}v \quad (2 \text{ 分})$$

由于小球质量相等均为 m_0 , 且发生的都是弹性碰撞, 他们之间将进行速度交换, 分析可知, 物块第一次返回还没到传送带左端速度就减小为零, 接下来将再次返回做匀加速运动, 直到速度增加到 v_1 , 再与小球 1 发生弹性碰撞. 同理可得, 第二次碰撞后, 物块和小球的速度大小分别为

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

$$u_2 = \frac{2}{3}v \times \left(\frac{1}{3}\right) \quad (1 \text{ 分})$$

则 2 个小球的总动能为

$$E_k = \frac{1}{2}m_0(u_1^2 + u_2^2) = \frac{1000}{81} \text{ J} \quad (1 \text{ 分})$$

$$19. (1) \frac{E}{R+r} \quad \frac{BLE}{R+r} \quad (2) \frac{E}{BdL}$$

$$(3) \frac{mRE^2}{4(R+r)B^2L^2}$$

$$(4) \frac{mCE}{2B^2L^2C+m} \quad \frac{Cm^2E^2}{2(2B^2L^2C+m)^2}$$

【解析】(1) 由闭合电路欧姆定律, 可得

$$I = \frac{E}{R+r} \quad (1 \text{ 分})$$

ab 边受到的安培力的大小为 $F =$

$$BIL = \frac{BLE}{R+r} \quad (1 \text{ 分})$$

$$(2) \text{依题意, 有 } I = \frac{E - 2BLv}{R+r} \quad (1 \text{ 分})$$

当 $I = 0$ 时, 转速达到最大, 可得

$$v_m = \frac{E}{2BL}, \omega_m = \frac{E}{BdL} \quad (1 \text{ 分})$$

(3) 对导线框 ab 、 dc 应用动量定理, 可得 $2B\bar{I}Lt = 2mv_m$ (1 分)

$$\text{通过电路的电荷量为 } q = \bar{I}t = \frac{mE}{2B^2L^2} \quad (1 \text{ 分})$$

导线框产生的焦耳热为

$$Q = \frac{R}{R+r} \left[Eq - \frac{1}{2}(2m)(v_m^2) \right] = \frac{mRE^2}{4(R+r)B^2L^2} \quad (1 \text{ 分})$$

(4) 导线框从最大速度减至 v 时稳定, 对该过程应用动量定理有

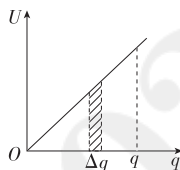
$$-2B\bar{I}Lt = 2mv - 2mv_m \quad (1 \text{ 分})$$

电路中流过的电荷量为 $q = \bar{I}t$

此时电容器所带电荷量为 $q = 2BLvC$

$$\text{解得 } q = \frac{mCE}{2B^2L^2C+m} \quad (1 \text{ 分})$$

如图作 $U-q$ 图像, 由微元法可知图像下面积等于电容器储存的电能



$$W = \frac{1}{2}Uq = \frac{q^2}{2C} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{联立, 解得 } W = \frac{Cm^2E^2}{2(2B^2L^2C+m)^2} \quad (1 \text{ 分})$$

$$20. (1) 4 \times 10^{-7} \text{ s} \quad (2) 33.3\%$$

$$(3) \frac{\sqrt{2}}{10} \text{ T} \leq B \leq \frac{\sqrt{2}}{5} \text{ T}$$

$$(4) \left(\frac{13\pi}{4} + 3 \right) \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

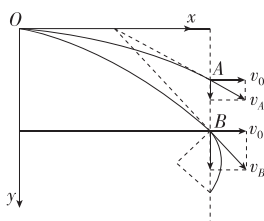
【解析】(1) 在加速电场中, 根据动能

$$\text{定理 } qU = \frac{1}{2}mv_0^2 - 0 \quad (1 \text{ 分})$$

解得进入偏转电场的初速度为 $v_0 =$

$$\sqrt{2} \times 10^5 \text{ m/s}$$

粒子在偏转电场中的运动, 如图所示



穿过偏转电场时, 水平方向做匀速直线运动, 有 $2\sqrt{2}d = v_0 t$

解得从偏转电场出射的粒子通过偏

$$\text{转电场的时间为 } t = \frac{2\sqrt{2}d}{v_0} = 4 \times$$

$$10^{-7} \text{ s} \quad (1 \text{ 分})$$

(2) 粒子恰好从下极板右端飞出时, 根据类平抛运动的规律, 有

$$2\sqrt{2}d = v_0 t, d = \frac{1}{2}at^2, a = \frac{qU_0}{md}$$

$$\text{解得 } U_0 = \frac{U}{2} = 50 \text{ V} \quad (1 \text{ 分})$$

所以一个周期 T 内, 从偏转电场出射的粒子数占粒子源全部发射粒子

$$\text{数的百分比为 } \eta = \frac{U_0 - \frac{U}{4}}{U - \frac{U}{4}} \times 100\% =$$

$$33.3\% \quad (1 \text{ 分})$$

(3) 设粒子飞入磁场时的速度为 v , 在磁场中做匀速圆周运动, 根据洛伦

$$\text{兹力提供向心力, 有 } qvB = m \frac{v^2}{r} \quad (1 \text{ 分})$$

设粒子飞入磁场时, 其速度与水平方向的夹角为 θ , 则有 $v \cos \theta = v_0$

设粒子进入磁场后, y 方向偏移的位移为 Δy , 由几何关系可知 $\Delta y = 2r \cos \theta$

$$\text{解得 } \Delta y = \frac{2mv_0}{qB}, \text{ 与速度 } v \text{ 无关} \quad (1 \text{ 分})$$

设粒子在偏转电场中的最小偏移量

$$\text{为 } y_{\min}, \text{ 则有 } y_{\min} = \frac{1}{2} \frac{q}{md} \frac{U}{4} t^2 = \frac{d}{2}$$

若偏转电场出射的粒子全部能够到

$$\text{达探测板, 需满足 } \frac{d}{2} \leq \Delta y \leq d$$

$$\text{解得 } \frac{2mv_0}{qd} \leq B \leq \frac{4mv_0}{qd}$$

因此从偏转电场出射的粒子全部能够到达探测板时, 磁感应强度 B 需要

$$\text{满足的条件为 } \frac{\sqrt{2}}{10} \text{ T} \leq B \leq \frac{\sqrt{2}}{5} \text{ T} \quad (1 \text{ 分})$$

(4) 由洛伦兹力提供向心力, 有

$$qv_y B = m \frac{v_y^2}{r}$$

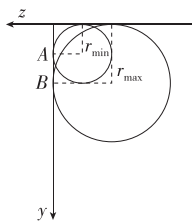
$$\text{解得 } r = \frac{mv_y}{qB} = \frac{mv_0 \tan \theta}{qB}, \tan \theta =$$

$$\frac{y}{x} = \frac{y}{\sqrt{2}d} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{联立代入数据解得 } r = \frac{mv_0 y}{\sqrt{2}qBd} = y$$

$$(2 \text{ 分})$$

粒子打在光屏 PQ 上留下的所有痕迹如图所示



当 $U_1 = \frac{1}{4}U$, $y_{\min} = \frac{d}{2} = 0.01 \text{ m}$ 时,

有 $r_{\min} = 0.01 \text{ m}$

当 $U_2 = U_0$, $y_{\max} = d = 0.02 \text{ m}$ 时,

有 $r_{\max} = 0.02 \text{ m}$

所以粒子打在光屏 PQ 上留下的所有痕迹围成的面积为

$$S = \frac{1}{4} \pi r_{\min}^2 + \frac{3}{4} \pi r_{\max}^2 + (r_{\max}^2 - r_{\min}^2) = \left(\frac{13\pi}{4} + 3 \right) \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (1 \text{ 分})$$

题型小卷 13 “17~20 解答”

规范练

17. (1) $1.8 \times 10^3 \text{ kg}$ (2) 气体对外界放出的热量为 $7.2 \times 10^3 \text{ J}$ (3) $2.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

【解析】(1) 最终稳定时, 封闭气体温度不变, 则

$$p_0 L S = p_1 h S$$

$$\text{可得 } p_1 = 4 p_0 \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{又因为 } p_1 = p_0 + \frac{Mg}{S} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{代入相关已知数据求得 } M = 1.8 \times 10^3 \text{ kg} \quad (1 \text{ 分})$$

(2) 设外界大气压力和重物对封闭气体做功为 W , 则

$$W = (Mg + p_0 S)(L - h) \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{代入数据求得 } W = 7.2 \times 10^3 \text{ J} \quad (1 \text{ 分})$$

在(1)问的情况下, 封闭气体内能不变 ($\Delta U = 0$), 根据热力学第一定律 $\Delta U = Q + W$ 可得, 气体对外界放出的热量为

$$Q = 7.2 \times 10^3 \text{ J} \quad (1 \text{ 分})$$

(3) 外界大气压强不变, 所以环境温度变化时, 满足

$$\frac{V_0}{T} = \frac{V_1}{T'}$$

$$\text{即 } \frac{V_0}{300 \text{ K}} = \frac{V_1}{270 \text{ K}}$$

$$\text{解得 } V_1 = 0.9 V_0 \quad (1 \text{ 分})$$

所以应充装同温同压的气体体积为 $\Delta V = V_0 - 0.9 V_0 = 0.1 L S = 2.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (1 分)

18. (1) 30 N , 方向竖直向上

(2) 5 m/s (3) 见解析

【解析】(1) 滑块从 B 到 C 由动能定

$$\text{理有 } -m_1 g \cdot 2R_1 = \frac{1}{2} m_1 v_C^2 - E_{k0} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{在 } C \text{ 点, } m_1 g + F_N = m_1 \frac{v_C^2}{R_1} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } F_N = 30 \text{ N}$$

由牛顿第三定律知轨道所受压力大小为 30 N , 方向竖直向上 (1 分)

(2) 质量为 m_1 的滑块在传送带上一一直匀加速运动时, 出传送带时的速度最大, 则两滑块碰撞后损失的能量最大

从弹出滑块到 F 处, 由动能定

$$\text{理 } \mu m_1 g L_1 = \frac{1}{2} m_1 v^2 - E_{k0} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } v = 5 \text{ m/s}$$

所以传送带速度的最小值为 5 m/s

$$(1 \text{ 分})$$

(3) ① 当传送带速度 $v \geq 5 \text{ m/s}$ 时, 质量为 m_1 的滑块出传送带时 $v_F = 5 \text{ m/s}$

质量为 m_1 的滑块从 F 到 G 过程,

$$\text{由动能定理 } -\mu m_1 g L_2 = \frac{1}{2} m_1 v_G^2 -$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_F^2$$

$$\text{解得 } v_G = 4 \text{ m/s} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{两滑块碰撞过程动量守恒 } m_1 v_G = (m_1 + m_2) v_{\text{共}}$$

$$\text{解得 } v_{\text{共}} = 0.4 \text{ m/s} \quad (1 \text{ 分})$$

两滑块碰后能上升的最大高度为 h ,

$$\text{由动能定理 } \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_{\text{共}}^2 =$$

$$(m_1 + m_2) g h$$

$$\text{解得 } h = 0.008 \text{ m} \ll R_2 = 10 \text{ m}$$

故两滑块在半径为 R_2 的圆内运动可看为单摆模型, 周期 $T =$

$$2\pi \sqrt{\frac{R_2}{g}} = 2\pi \text{ s} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{时间 } t_1 = \frac{T}{2} = \pi \text{ s}$$

两滑块返回 G 点后到停止运动有

$$v_{\text{共}}^2 = 2\mu g s$$

$$\text{解得 } s = \frac{4}{225} \text{ m} \ll L_2$$

$$\text{对应时间 } t_2 = \frac{v_{\text{共}}}{\mu g} = \frac{4}{45} \text{ s}$$

$$t = t_1 + t_2 = \left(\frac{4}{45} + \pi \right) \text{ s} \quad (1 \text{ 分})$$

② 出 F 后恰好运动到 G 点时有

$$v_F^2 = 2\mu g L_2, \text{ 此时 } v_F = 3 \text{ m/s} \quad (1 \text{ 分})$$

当传送带速度满足 $3 \text{ m/s} < v \leq$

$$5 \text{ m/s} \text{ 时, } t = \frac{v_{\text{共}}}{\mu g} + \frac{T}{2}$$

$$\text{解得 } t = \left(\frac{\sqrt{v^2 - 9}}{45} + \pi \right) \text{ s} \quad (1 \text{ 分})$$

19. (1) 50 V (2) 10 C (3) $1.0 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ (4) 33%

【解析】(1) 交流电电压的有效值为

$$U_1 = \frac{12.5\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \text{ V} = 12.5 \text{ V} \quad (1 \text{ 分})$$

根据变压器的电压匝数关系有

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1 \text{ 分})$$

由题意可知直流转换模块输出端的电压

$$U_{MN} = U_2$$

$$\text{解得 } U_{MN} = 50 \text{ V} \quad (1 \text{ 分})$$

(2) 根据电容的定义式有

$$C = \frac{Q}{U_{MN}}$$

$$\text{解得 } Q = 10 \text{ C} \quad (1 \text{ 分})$$

(3) MN 由静止开始运动时的电流

$$I = \frac{U_{MN}}{R} \quad (1 \text{ 分})$$

此时对金属棒进行分析, 根据牛顿第二定律有

$$BIL = ma$$

$$\text{解得 } a = 1.0 \times 10^3 \text{ m/s}^2 \quad (1 \text{ 分})$$

(4) MN 开始向右加速运动达到最大速度时, 金属棒切割磁感线产生的感应电动势与此时电容器极板电压相等, 则有

$$U = BLv_{\text{max}} \quad (1 \text{ 分})$$

根据动量定理有

$$B\bar{I}L t = m v_{\text{max}} - 0 \quad (1 \text{ 分})$$

该过程通过金属棒的电荷量

$$q = \bar{I} t = 2C(U_{MN} - U) \quad (1 \text{ 分})$$

结合上述解得

$$v_{\text{max}} = 50 \text{ m/s}$$

考虑最后电容器还有电场能储存, 则有

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} m v_{\text{max}}^2}{\frac{1}{2} \times 2C U_{MN}^2 - \frac{1}{2} \times 2C U^2} \quad (1 \text{ 分})$$

结合上述解得

$$\eta = \frac{1}{3} \approx 33\% \quad (1 \text{ 分})$$

20. (1) $\frac{v_0}{Bd}$ (2) $\frac{2v_0 B}{3} \quad \frac{d}{2}$

$$(3) \frac{3\pi d}{2v_0} \quad d$$

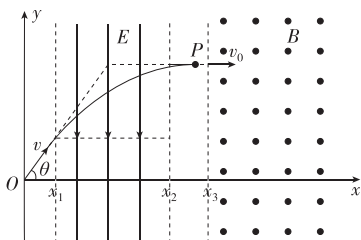
【解析】(1) 粒子在磁场中, 由洛伦兹

力提供向心力可得 $qv_0B = m \frac{v_0^2}{R}$ (1分)

又 $R = d$

联立解得粒子的比荷为 $\frac{q}{m} = \frac{v_0}{Bd}$ (1分)

(2) 粒子的轨迹如图所示



粒子在电场中可逆向看成做类平抛运动, 则有

$$2d = v_0 t_1$$

$$v_y = v_0 \tan 53^\circ = at_1$$

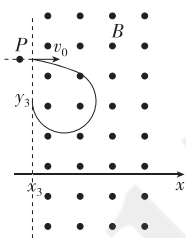
$$a = \frac{qE}{m}$$

联立解得匀强电场强度大小为 $E = \frac{2v_0 B}{3}$ (2分)

由几何关系可得 $x_1 \tan 53^\circ + \frac{1}{2} at_1^2 = 2d$

解得 $x_1 = \frac{d}{2}$ (2分)

(3) 若粒子进入磁场后受到了与速度大小成正比、方向相反的阻力, 粒子在磁场的运动轨迹如图所示

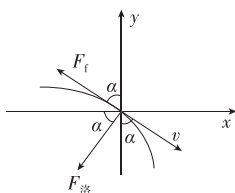


由 $qvB = m\omega v$ 可得 $\omega = \frac{qB}{m}$ (1分)

即角速度为一定值, 又可知粒子与磁场左边界相切时转过的弧度为 $\frac{3}{2}\pi$

则有 $t_3 = \frac{\frac{3}{2}\pi}{\omega} = \frac{3\pi d}{2v_0}$ (1分)

取一小段时间 Δt , 在 x 方向上应用对粒子动量定理(如图), 有



$$-kv \sin \alpha \cdot \Delta t - qvB \cos \alpha \cdot \Delta t = m \Delta v_x$$
 (1分)

两边同时对过程求和得

$$\sum -kv \sin \alpha \cdot \Delta t + \sum -qvB \cos \alpha \cdot \Delta t = \sum m \Delta v_x$$

可得 $k \sum -v \sin \alpha \cdot \Delta t + qB \sum -v \cos \alpha \cdot \Delta t = m \sum \Delta v_x$

即 $k \sum -\Delta x + qB \sum \Delta y = m \sum \Delta v_x$

其中 $k \sum -\Delta x = 0$

则有 $qB \Delta y = -m v_0$ (1分)

结合 $\frac{q}{m} = \frac{v_0}{Bd}$

可得 $\Delta y = -\frac{mv_0}{qB} = -d$

故有 $y_3 = 2d - d = d$ (1分)

题型小卷 14 “17~20 解答”

规范练

17. (1) 1.075×10^5 Pa (2) 100 K (3) 293.5 J

【解析】(1) 由平衡条件知 $pS = Mg + p_0 S$ (1分)

压强为 $p = p_0 + \frac{Mg}{S} = 1.075 \times 10^5$ Pa (1分)

(2) 气体做等压变化, 由盖-吕萨克定律可得

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T_1}$$
 (1分)

解得 $T_1 = 350$ K

则 $\Delta T = T_1 - T_0 = 100$ K (1分)

(3) 气体增加的内能为 $\Delta U = \frac{5nR\Delta T}{2} = 207.5$ J (1分)

外界对气体做功为 $W = -pS\Delta h = -86$ J (1分)

根据热力学第一定律有 $\Delta U = W + Q$ (1分)

解得 $Q = 293.5$ J

故气体吸收的热量为 293.5 J (1分)

18. (1) 15 N (2) 见解析 (3) 1 m/s

【解析】(1) 滑块 P 从 A 端点滑到圆弧 B 端点, 根据动能定理有 $m_1 g R = \frac{1}{2} m_1 v_B^2$

解得 $v_B = \sqrt{10}$ m/s (1分)

在 B 点, 根据牛顿第二定律有

$$F_N - m_1 g = m_1 \frac{v_B^2}{R}$$

解得 $F_N = 15$ N (2分)

(2) 滑块 P 由 C 抛出后, 做平抛运动, 则

$$h = \frac{1}{2} g t^2$$

解得 $t = 0.6$ s (1分)

若滑块在传送带上一直减速, 根据动能定理有

$$-\mu m_1 g d = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 - \frac{1}{2} m_1 v_B^2$$

解得 $v_1 = 2$ m/s

若滑块在传送带上一直加速, 根据动能定理有

$$\mu m_1 g d = \frac{1}{2} m_1 v_2^2 - \frac{1}{2} m_1 v_B^2$$

解得 $v_2 = 4$ m/s

则若 $0 < v \leq 2$ m/s, 滑块 P 由 C 抛出的水平距离为

$$x = v_1 t = 1.2$$
 m (1分)

若 2 m/s $< v < 4$ m/s, 滑块 P 由 C 抛出的水平距离为

$$x = vt = (0.6v)$$
 m (1分)

若 $v \geq 4$ m/s, 滑块 P 由 C 抛出的水平距离为

$$x = v_2 t = 2.4$$
 m (1分)

(3) 由(2)知 C 飞出时为

$$v_2 = 4$$
 m/s

滑块 P 、小球 Q 碰撞前后水平方向动量守恒, 则

$$m_1 v_2 = (m_1 + m_2) v_3$$

解得 $v_3 = 2$ m/s (1分)

根据系统动量守恒以及机械能守恒有

$$(m_1 + m_2) v_3 = (m_1 + m_2) v_4 + (m_3 + m_4) v_5$$
 (1分)

$$\frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_3^2 = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_4^2 + \frac{1}{2} (m_3 + m_4) v_5^2$$
 (1分)

解得 $v_4 = -1$ m/s, $v_5 = 1$ m/s 或 $v_4 = 2$ m/s, $v_5 = 0$ (不符, 舍去)

故木块 M 与 N 分离时 S 的速度大小为 1 m/s (1分)

19. (1) $0 \sim t_0$ 时间内, $F = \frac{nB_0^2 \pi L r^2}{3R t_0}$; $t_0 \sim 2t_0$ 时间内 $F = 0$

(2) $d = \frac{3mRv_0}{B_0^2 L^2} - 3Q + \frac{1}{2} m v_0^2$

(3) $v_0 = \frac{2\sqrt{3} B_0^2 L^3}{3mR}$

【解析】(1) $0 \sim t_0$ 时间内, 由法拉第电磁感应定律得 $E = n \frac{\Delta B}{\Delta t} S =$

$$n \frac{B_0}{t_0} \pi r^2 \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{由闭合电路欧姆定律得 } I = \frac{E}{3R} =$$

$$\frac{nB_0 \pi r^2}{3Rt_0} \quad (1 \text{ 分})$$

0~ t_0 时间内, PT 棒所受水平外力

$$\text{为 } F = F_A = B_0 IL = \frac{nB_0^2 \pi L r^2}{3Rt_0} \quad (1 \text{ 分})$$

$t_0 \sim 2t_0$ 时间内, 磁场不变化, 回路电动势为零, 无电流, 则外力 $F=0$

(1 分)

(2) PT 棒向右加速过程中, 由动量

$$\text{定理得 } \frac{B_0^2 L^2 \Delta x}{3R} = mv_0 \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{得 } x_0 = d - \Delta x = d - \frac{3mRv_0}{B_0^2 L^2} \quad (1 \text{ 分})$$

PT 棒向右加速过程中, 回路中的总焦耳热为 $Q_{\text{总}} = 3Q$

由功能关系和能量守恒得 $W = 3Q +$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 \quad (1 \text{ 分})$$

(3) 棒 PT 从磁场区域 II 左边界向右运动距离 x 时, 回路中棒 PT 的长

$$\text{度为 } l_x = 2\sqrt{\frac{3}{3}}x + L \quad (1 \text{ 分})$$

回路中总电阻为

$$R_{\text{总}x} = \frac{R}{L} \left(l_x + 2\sqrt{\frac{3}{3}}x \right) + 2R =$$

$$\frac{R}{L} \left(2\sqrt{\frac{3}{3}}x + L + 2\sqrt{\frac{3}{3}}x \right) + 2R =$$

$$\frac{R}{L} (2\sqrt{3}x + 3L) \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{回路中电流为 } I_x = \frac{B_0 l_x v_x}{R_{\text{总}x}} =$$

$$\frac{B_0 (2\sqrt{\frac{3}{3}}x + L) v_x}{\frac{R}{L} (2\sqrt{3}x + 3L)} = \frac{B_0 v_x}{3} = \frac{B_0 L v_x}{3R}$$

$$\frac{R}{L} (2\sqrt{3}x + 3L) \quad (1 \text{ 分})$$

棒 PT 所受安培力为 $F_{Ax} =$

$$B_0 I_x l_x = \frac{B_0^2 L v_x l_x}{3R}$$

棒 PT 从磁场区域 II 左边界运动到

EG 过程, 由动量定理得

$$- \sum \frac{B_0^2 L v_x l_x}{3R} \Delta t = mv - mv_0$$

$$\quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{即 } - \frac{B_0^2 LS_{\text{棒}}}{3R} = mv - mv_0$$

其中 $S_{\text{棒}} = 2\sqrt{3}L^2$

$$\text{所以 } v = v_0 - \frac{2\sqrt{3}B_0^2 L^3}{3mR} \quad (1 \text{ 分})$$

$$20. (1) qBa \quad (2) \frac{\sqrt{3}a}{2} \leq x \leq a$$

$$(3) 2\sqrt{3}a \quad (4) 0.25NqBa$$

【解析】(1) 由题意可知离子做圆周运动的半径 $R=a$ (1 分)

$$\text{洛伦兹力提供向心力, 有 } qvB = \frac{mv^2}{r} \quad (1 \text{ 分})$$

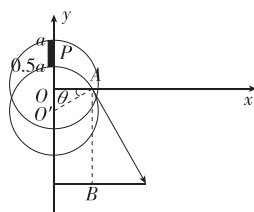
$$\text{又 } p = mv$$

$$\text{联立解得 } p = qBa \quad (1 \text{ 分})$$

(2) 依题意, $y=a$ 射出的离子从 $x=a$ 处射出 x 轴, $y=0.5a$ 射出的离子从 $x=a \cos \theta$ 处射出 x 轴 (1 分)

$$\text{又 } \sin \theta = \frac{a-0.5a}{a} = \frac{1}{2} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } \frac{\sqrt{3}a}{2} \leq x \leq a \quad (1 \text{ 分})$$



$$(3) \text{ 由图可知 } \left(2 + \frac{\sqrt{3}}{2} \right) a = x_A +$$

$$L_{AB} \tan \theta, \text{ 解得 } L_{AB} = 2\sqrt{3}a \quad (1 \text{ 分})$$

(4) 设离子从 y 处射入磁场, 射出磁场速度与 y 轴成 α 角度, 则 $\sin \alpha =$

$$\frac{a-y}{a} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{可得 } v_x = v \sin \alpha = v \frac{a-y}{a} \quad (1 \text{ 分})$$

可知 v_x 与 y 成线性关系, 则有 $\overline{v_x} =$

$$\frac{v(a-0.75a)}{a} = 0.25v$$

$$\text{由 } F_x \Delta t = N \Delta t m \overline{v_x} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{可得 } F_x = 0.25Nmv = 0.25NqBa \quad (1 \text{ 分})$$

题型小卷 15 “17~20 解答”

规范练

$$17. (1) \text{ 变大 } \quad \text{变大} \quad (2) 1.47 \text{ m}$$

$$(3) 80 \text{ kJ}$$

【解析】(1) 汽缸从深海上浮到海面, 海水温度升高, 气体的温度升高, 则分子平均动能变大, 内能变大 (2 分)

$$(2) \text{ 初始时压强 } p_1 = p_0 + \rho gh = 5 \times 10^6 \text{ Pa} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{根据理想气体状态方程 } \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} =$$

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } V_1 = 0.058 \text{ m}^3$$

$$V_0 - V_1 = \Delta h S$$

$$\text{解得 } \Delta h = 1.47 \text{ m} \quad (1 \text{ 分})$$

(3) 根据热力学第一定律有

$$\Delta U = W + Q \quad (1 \text{ 分})$$

$$\Delta U = \frac{m}{M} k \Delta T = 25 \text{ kJ} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } W = -80 \text{ kJ}$$

$$\text{即对外做功 } 80 \text{ kJ} \quad (1 \text{ 分})$$

$$18. (1) \frac{140}{3} \text{ N} \quad (2) 32 \text{ J}$$

$$(3) 0.15 \leq \mu_2 < 0.4$$

【解析】(1) 小球 1 从 A 运动到 B 点, 根据能量守恒定律有 $E_p -$

$$\mu_1 m_1 g x = \frac{1}{2} m_1 v_B^2 \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } v_B = 1 \text{ m/s}$$

小球 1 从 B 到 C 做平抛运动, 则有

$$v_C = \frac{v_B}{\cos 60^\circ} = 2 \text{ m/s}$$

小球 1 从 C 到 D, 根据机械能守恒定律有

$$\frac{1}{2} m_1 v_C^2 + m_1 g R (1 - \cos 60^\circ) =$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_D^2 \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } v_D = 4 \text{ m/s}$$

小球 1 在 D 点, 根据牛顿第二定律

$$\text{有 } F_N - m_1 g = m_1 \frac{v_D^2}{R} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } F_N = \frac{140}{3} \text{ N}$$

根据牛顿第三定律可知小球 1 对轨

$$\text{道的压力大小为 } \frac{140}{3} \text{ N} \quad (1 \text{ 分})$$

(2) 炸药爆炸过程中, 根据动量守恒定律有

$$m_1 v_D = -m_1 v_D' + m_2 v \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{其中 } v_D' = v_D = 4 \text{ m/s}$$

$$\text{则机械能的增加量为 } \Delta E = \frac{1}{2} m_1 v_D'^2 +$$

$$\frac{1}{2} m_2 v^2 - \frac{1}{2} m_1 v_D^2 \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } \Delta E = 32 \text{ J}, v = 4 \text{ m/s} \quad (1 \text{ 分})$$

(3) ① 当小球 2 刚好运动到小球 3 处时速度为零, 则有

$$-\mu_2 m_2 g s = 0 - \frac{1}{2} m_2 v^2 \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } \mu_2 = 0.4$$

② 设小球 2 运动到小球 3 处的速度为 v_2' (此时未与小球 3 碰撞), 则

$$\text{有 } -\mu_2 m_2 g s = \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 - \frac{1}{2} m_2 v^2$$

$$\quad (1 \text{ 分})$$

之后小球 2 与小球 3 发生弹性碰撞,

由于两球的质量相等,则速度交换,故碰撞后小球3的速度为 $v_3=v_2'$,为保证整个过程中绳子始终不松弛,且最终小球2仍停在平台上,则小球3最多运动到右侧圆心 O' 等高处,则有

$$\frac{1}{2}m_3v_3^2=m_3gL \quad (1 \text{ 分})$$

联立解得 $\mu_2=0.15$

当 $\mu_2=0.15$ 时,小球3从圆心 O' 等高处回到最低点与小球2再次相碰后,又交换速度,可计算出小球2不会从左侧轨道C处飞出,最终会停在平台上

综上所述可知 $0.15 \leq \mu_2 < 0.4$ (1分)

19. (1)①方向由 a 到 b ② $\frac{4mgR}{B^2d^2}$ ③

$$\frac{2mgR}{B^2d^2} \left(2t - \frac{16mR}{B^2d^2} \right) \quad (2) \quad \frac{m^2g^2R}{B^2d^2}$$

$$\left(10t' + \frac{18mR}{B^2d^2} \right) - 2mgh'$$

【解析】(1)①导体棒向上运动,根据右手定则,电流方向由 a 到 b (1分)

②设导体棒以速度 v_1 匀速上升,感应电流为 $I = \frac{Bdv_1}{2R}$ (1分)

由平衡得 $BId + mg = 3mg$ (1分)

$$\text{得 } v_1 = \frac{4mgR}{B^2d^2} \quad (1 \text{ 分})$$

③根据动量定理有 $(3mg - mg)t - Bdq = 4mv_1$ (1分)

$$\text{电荷量为 } q = \bar{I}\Delta t = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t \cdot 2R} \Delta t = \frac{Bdh}{2R}$$

$$\text{得 } h = \frac{2mgR}{B^2d^2} \left(2t - \frac{16mR}{B^2d^2} \right) \quad (1 \text{ 分})$$

(2)开关K接2,导体棒匀速运动时的电流为

$$I' = \frac{E - Bdv_2}{2R} \quad (1 \text{ 分})$$

由平衡得 $BI'd = 3mg - mg$ (1分)

$$\text{得 } v_2 = \frac{mgR}{B^2d^2}$$

根据动量定理有 $Bdq' - (3mg - mg)t' = 4mv_2$ (1分)

$$\text{得 } q' = \frac{2mgt'}{Bd} + \frac{4m^2gR}{B^3d^3}$$

由能量守恒有 $Eq' = \frac{1}{2} \times 4mv_2^2 +$

$$(3mg - mg)h' + Q \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{得 } Q = \frac{m^2g^2R}{B^2d^2} \left(10t' + \frac{18mR}{B^2d^2} \right) -$$

$$2mgh' \quad (1 \text{ 分})$$

20. (1) $\frac{qdB_0}{m}$ (2) $\frac{2qdB_0}{m}$ (3) $\frac{\pi m}{3qB_0}$

$$(4) 3d + \sqrt{\frac{2d}{k}}$$

【解析】(1)由题可知粒子做圆周运动的轨道半径为 d ,由匀速圆周运动洛伦兹力提供圆周运动的向心力可知

$$d = \frac{mv_0}{qB_0}$$

$$\text{解得 } v_0 = \frac{qdB_0}{m} \quad (2 \text{ 分})$$

$$(2) \text{ 由题可知 } Eqd = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } v = 2v_0 = \frac{2qdB_0}{m} \quad (1 \text{ 分})$$

$$(3) \text{ 在 } AB、CD \text{ 间的磁场区域内 } R = \frac{m2v_0}{qB_0} = 2d \quad (1 \text{ 分})$$

圆周运动弦长最短为 $2d$,圆心角为 $\frac{\pi}{3}$,分析可知当粒子从 N 点出发时

符合条件,轨迹如图所示

$$T = \frac{2\pi m}{qB_0} \quad (1 \text{ 分})$$

$$t = \frac{T}{6} = \frac{\pi m}{3qB_0} \quad (1 \text{ 分})$$

(4)对运动粒子 y 轴方向动量定理,在 x 轴方向最远时速度方向为 y 轴负方向,有

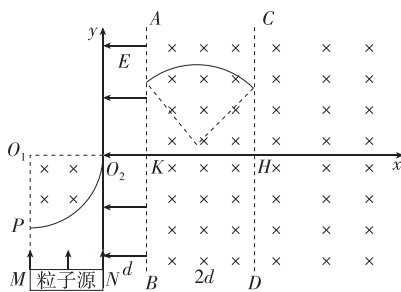
$$-\sum qv_x B_0 \Delta t - \sum qkx'B_0 v_x \Delta t' = -mv - mv_0$$

$$-\sum qv_x B_0 \Delta t - \sum qkB_0 x' \Delta x' = -mv - mv_0 \quad (1 \text{ 分})$$

$$qB_0 2d + qkB_0 \frac{x'^2}{2} = mv + mv_0 \quad (1 \text{ 分})$$

$$x' = \sqrt{\frac{2d}{k}}$$

$$\text{坐标值为 } 3d + \sqrt{\frac{2d}{k}} \quad (2 \text{ 分})$$



题型小卷 16 “17~20 解答”

规范练

17. (1) 360 K (2) 128 J 增大 (3) $\frac{1}{4}$

【解析】(1)A到B为等压过程,根据

盖-吕萨克定律有

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{即 } \frac{Sh_1}{T_1} = \frac{Sh_2}{T_2}$$

$$\text{得 } T_2 = 360 \text{ K} \quad (1 \text{ 分})$$

(2)设气体压强为 p ,由活塞受力平衡有

$$mg + pS = p_0 S \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{得 } p = 8 \times 10^4 \text{ Pa}$$

气体对外界做功

$$W = pS(h_2 - h_1) = 128 \text{ J} \quad (1 \text{ 分})$$

理想气体的分子势能忽略不计,而温度升高则分子动能增加,内能由分子势能和分子动能组成,所以气体内能增大. (1分)

(3)由(2)可知气体初状态压强为

$$p_2 = p = 8 \times 10^4 \text{ Pa}, V_2 = h_2 S \quad (1 \text{ 分})$$

悬挂质量为 m' 的重物后由活塞受力平衡有 $m'g + p_3 S = p_0 S$

$$\text{得压强 } p_3 = 6 \times 10^4 \text{ Pa}$$

若不打开阀门,气体体积变为

$$V_3 = h_3 S$$

$$\text{该等温过程有 } p_2 h_2 S = p_3 h_3 S \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{得 } h_3 = 0.32 \text{ m}$$

吸走气体的质量与原来汽缸内气体质量的比值

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{h_3 - h_2}{h_3} = \frac{1}{4} \quad (1 \text{ 分})$$

18. (1) ① 2 m/s ② $0.2 \text{ m} \leq R \leq 0.4 \text{ m}$ ③ 1.4 m (2) $0 \leq F_N < 30 \text{ N}$

【解析】(1)①滑块P从静止到C点,根据动能定理有

$$mgh - \mu mg \frac{h}{\tan 37^\circ} - \mu mgL =$$

$$\frac{1}{2}mv_C^2 \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } v_C = 2 \text{ m/s}$$

滑块P与滑块Q碰撞时动量守恒,有

$$mv_C = mv_C' + mv_D \quad (1 \text{ 分})$$

又因为是弹性碰撞,则机械能守恒

$$\frac{1}{2}mv_C^2 = \frac{1}{2}mv_C'^2 + \frac{1}{2}mv_D^2$$

$$\text{解得 } v_D = 2 \text{ m/s} \quad (1 \text{ 分})$$

②在D点能够做圆周运动,根据牛顿第二定律可知

$$mg \leq m \frac{v_D^2}{R} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } R \leq 0.4 \text{ m}$$

D点到E点的过程,根据能量守恒定

律有

$$\frac{1}{2}mv_E^2 - \frac{1}{2}mv_D^2 = 2mgR \quad (1 \text{ 分})$$

在 E 点,根据牛顿第二定律有

$$F_N - mg = m \frac{v_E^2}{R} \quad (1 \text{ 分})$$

且 $F_N \leq 70 \text{ N}$

联立得 $R \geq 0.2 \text{ m}$

所以 R 的取值范围为

$$0.2 \text{ m} \leq R \leq 0.4 \text{ m} \quad (1 \text{ 分})$$

③自 E 点做平抛运动,则射程为

$$x = v_E t, H - 2R = \frac{1}{2}gt^2 \quad (1 \text{ 分})$$

将②中 v_E 代入得

$$x = \sqrt{(v_D^2 + 4gR) \frac{2(H-2R)}{g}}$$

分析可知当 $R = 0.25 \text{ m}$ 时,解得

$$x_{\max} = 1.4 \text{ m} \quad (1 \text{ 分})$$

(2)设 P 质量为 m_1 ,由动能定理有

$$m_1 gh - \mu m_1 g \frac{h}{\tan 37^\circ} - \mu m_1 g L = \frac{1}{2}m_1 v_C^2$$

解得 $v_C = 2 \text{ m/s}$

滑块 P 与滑块 Q 碰撞时动量守恒,则

$$m_1 v_C = m_1 v_1 + m v_2$$

又因为是弹性碰撞,根据能量守恒定律有

$$\frac{1}{2}m_1 v_C^2 = \frac{1}{2}m_1 v_1^2 + \frac{1}{2}m v_2^2$$

$$\text{解得 } v_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m} v_C$$

$$\text{即 } v_2 = \frac{2}{1 + \frac{m}{m_1}} v_C$$

$$\text{则 } 0 < v_2 < 2v_C \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{由牛顿第二定律有 } F_N + mg = m \frac{v_2^2}{R}$$

$$\text{解得 } 0 \leq F_N < 30 \text{ N} \quad (1 \text{ 分})$$

19. (1) 顺时针方向旋转

$$\frac{2mg(R+r)}{B^2 l^2 d} \quad (2) \quad \textcircled{1} \quad \frac{2IR}{Bl^2}$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{2IRr}{Bl^2(R+2r)}$$

【解析】(1)导体棒 b 平衡,有 $mg = BI_1 d$ (1 分)

$$\text{电流 } I_1 = \frac{E}{R+r}$$

$$\text{电动势 } E = \frac{1}{2}Bl^2 \omega \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{联立得 } \omega = \frac{2mg(R+r)}{B^2 l^2 d} \quad (1 \text{ 分})$$

由左手定则和右手定则得导体棒 a

顺时针方向旋转 (1 分)

(2)①空载时导体棒 a 所受安培力为零,则导体棒 a 的电流为零,导体棒 a 与导体棒 b 两端电压相等,导体棒 b 的电流即恒流源电流 I ,有

$$\frac{1}{2}Bl^2 \omega_0 = IR \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{所以 } \omega_0 = \frac{2IR}{Bl^2} \quad (1 \text{ 分})$$

②法一:设导体棒 a 切割的电动势为 E ,其电流为 i

导体棒 a 与导体棒 b 两端电压相等,即

$$(I-i)R = \frac{1}{2}Bl^2 \omega_2 + ir \quad (1 \text{ 分})$$

由于导体棒 a 上的速度随着到圆心距离均匀增大,电动机功率

$$P_{\text{机}} = F_{\text{安}} \bar{v} \quad (1 \text{ 分})$$

$$P_{\text{机}} = Bil \frac{\omega_2 l}{2} = \frac{Bil^2 \omega_2}{2} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\eta = \frac{P_{\text{机}}}{P_{\text{机}} + P_{\text{热}}} = \frac{Bl^2 \omega_2}{Bl^2 \omega_2 + 2ir} = 50\% \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } \omega_2 = \frac{2IRr}{Bl^2(R+2r)} \quad (1 \text{ 分})$$

法二:设导体棒 a 切割的电动势为 E ,其电流为 i

导体棒 a 与导体棒 b 两端电压相等,即 (1 分)

$$(I-i)R = \frac{1}{2}Bl^2 \omega_2 + ir \quad (2 \text{ 分})$$

$$\eta = \frac{P_{\text{机}}}{P_{\text{机}} + P_{\text{热}}} = \frac{(I-i)Ri - i^2 r}{(I-i)Ri} = 50\% \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } \omega_2 = \frac{2IRr}{Bl^2(R+2r)} \quad (1 \text{ 分})$$

$$20. (1) \sqrt{\frac{qU_0}{m}} \quad \frac{1}{R} \sqrt{\frac{mU_0}{q}}$$

$$(2) \left(1 + \frac{5}{3}\sqrt{3}\right) \pi R \sqrt{\frac{m}{qU_0}} \quad \sqrt{3}$$

$$(3) 0.8 \text{ cm}$$

【解析】(1) $t = \frac{T}{12}$ 时刻的电压为

$$U_{MN} = \frac{U_0}{2}$$

粒子在电场中加速,有 $qU_{MN} =$

$$\frac{1}{2}mv_0^2$$

$$\text{得 } v_0 = \sqrt{\frac{qU_0}{m}} \quad (1 \text{ 分})$$

由几何关系得,从 A 到 B 的过程中的轨迹半径为 R ,由

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

$$\text{联立解得 } B_1 = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{mU_0}{q}} \quad (1 \text{ 分})$$

(2)由(1)得,速度为 v_0 的粒子才能经过 B 孔,进而经过 C 孔和 D 孔,由几何关系得,从 B 孔到 C 孔的轨迹的圆心角为 $\frac{5}{3}\pi$,半径为 $r =$

$$R \tan \frac{\pi}{3} = \sqrt{3}R \quad (1 \text{ 分})$$

从 C 孔到 D 孔的轨迹的圆心角为 $\frac{\pi}{2}$,半径为 R ,则

$$T' = \frac{\frac{\pi}{2}R + \frac{5}{3}\pi \cdot \sqrt{3}R + \frac{\pi}{2}R}{v_0} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } T' = \left(1 + \frac{5}{3}\sqrt{3}\right) \pi R \sqrt{\frac{m}{qU_0}} \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{由 } \frac{B_1}{B_2} = \frac{r}{R}$$

$$\text{得 } \frac{B_1}{B_2} = \sqrt{3} \quad (1 \text{ 分})$$

(3)在 $t = \frac{T}{12} + nT$ 时刻和 $t =$

$\frac{5T}{12} + nT$ 时刻进入 A 孔的粒子能经

过 B 孔,则粒子经过 D 孔的时刻

$$\text{为 } t = \frac{T}{12} + nT + T' \text{ 和 } t = \frac{5T}{12} + nT +$$

$$T', \text{ 设 } t = \frac{T}{12} + nT + T' \text{ 时刻经过 } N'$$

板后的速度为 v_1 ,则

$$q \frac{U_0}{2} - q \frac{U_0}{4} = \frac{1}{2}mv_1^2 \quad (1 \text{ 分})$$

设 $t = \frac{5T}{12} + nT + T'$ 时刻经过 N' 板

后的速度为 v_2 ,则

$$q \frac{U_0}{2} + q \frac{U_0}{2} = \frac{1}{2}mv_2^2 \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{得 } \frac{v_1}{v_2} = \frac{1}{2}$$

由题意得最大圆半径 $r_2 = 2 \text{ cm}$

则最小圆半径 $r_1 = 1 \text{ cm}$

r_1 圆轨迹方程为

$$x^2 + (y-1)^2 = 1$$

设粒子自点 $Q(x_0, y_0)$ 离开轨迹圆沿切线飞出,由几何关系得

$$\frac{x_0}{1-y_0} = \frac{2-y_0}{2-x_0} \quad (1 \text{ 分})$$

同时满足

$$x_0^2 + (y_0-1)^2 = 1 \quad (1 \text{ 分})$$

$$\text{联立得 } x_0 = 0.8 \text{ cm} \quad (1 \text{ 分})$$