

## 物 理

本试题卷分选择题和非选择题两部分,共 10 页。时量 75 分钟,满分 100 分。

一、单项选择题:本题共 6 小题,每小题 4 分,共计 24 分。每小题给出的四个选项中,只有一项是符合题目要求的。

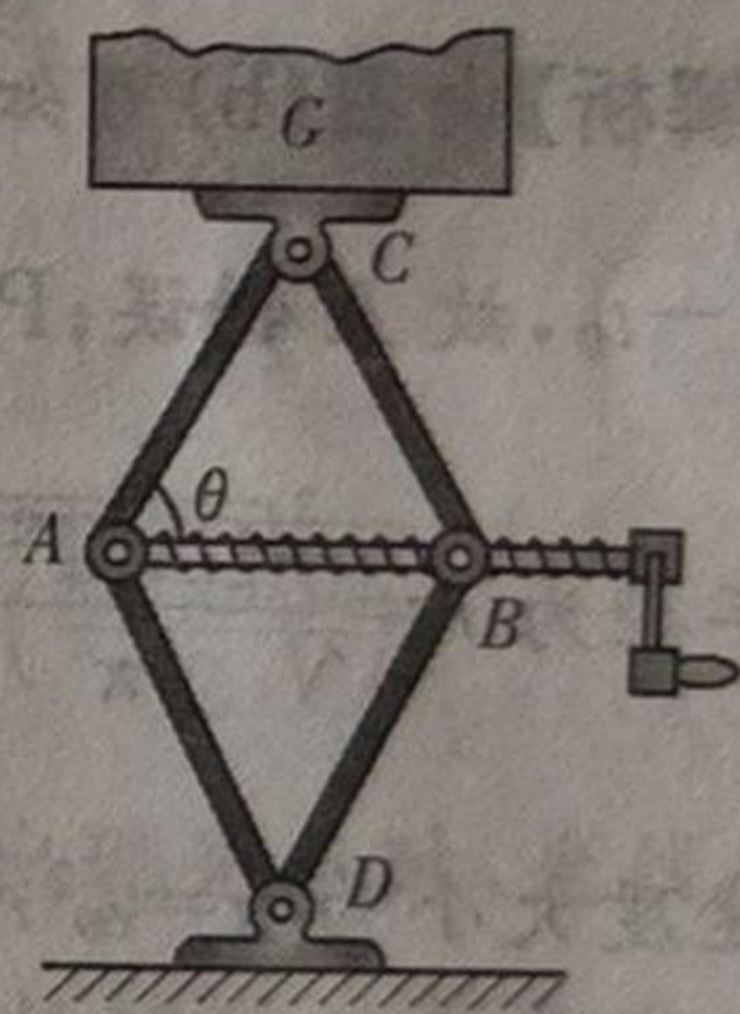
1. 如图为我国研制的一种全新微型核能电池,可以实现五十年稳定安全发电。它利用镍核( ${}_{28}^{63}\text{Ni}$ )同位素衰变成铜核( ${}_{29}^{63}\text{Cu}$ )同位素,释放的能量被半导体转换器吸收并转化为电能。下列说法正确的是 (C)



- A. 镍核衰变产生的射线是  $\alpha$  粒子流  
 B. 铜核的质量数等于 64  
 C. 镍核( ${}_{28}^{63}\text{Ni}$ )的比结合能比产生的铜核( ${}_{29}^{63}\text{Cu}$ )比结合能小  
 D. 衰变中伴随产生的  $\gamma$  射线是由外层电子跃迁产生的

【解析】依题意,镍核衰变方程  ${}_{28}^{63}\text{Ni} \rightarrow {}_{29}^{63}\text{Cu} + {}_{-1}^0\text{e}$ ,可知镍核衰变产生的射线是  $\beta$  粒子流,故 A 错误;铜核的质量数等于 63, B 错误;核反应后释放核能,反应朝着比结合能增大的方向进行,所以镍核( ${}_{28}^{63}\text{Ni}$ )的比结合能比铜( ${}_{29}^{63}\text{Cu}$ )核比结合能小,故 C 正确; $\gamma$  射线是铜原子核跃迁发出的。故 D 错误。故选 C。

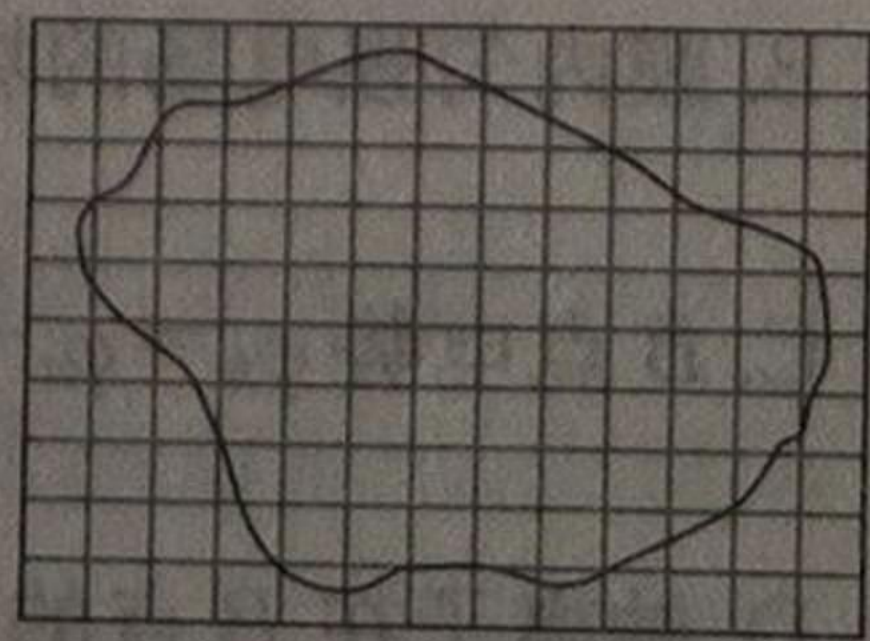
2. 千斤顶在汽车维修、地震救灾中经常用到。如图所示是剪式(菱形)千斤顶,当摇动把手时,螺纹杆迫使 A、B 间距离变小,千斤顶的两臂靠拢(螺旋杆始终保持水平),从而将重物缓慢顶起。若物重为  $G$ , AB 与 AC 间的夹角为  $\theta$ ,不计千斤顶杆件自重,下列说法正确的是 (A)



- A. AC、BC 两杆受到的弹力大小均为  $F = \frac{G}{2\sin\theta}$   
 B. 当  $\theta = 60^\circ$  时, AC、BC 两杆受到的弹力大小均为  $G$   
 C. 摇动把手将重物缓慢顶起的过程, AC、BC 杆受到的弹力将增大  
 D. 摇动把手将重物缓慢顶起的过程,重物受到的支持力将增大

【解析】根据题意,设 AC、BC 两杆受到的弹力大小均为  $F$ ,由平衡条件及几何关系有,  $2F\cos(\frac{180^\circ - 2\theta}{2}) = G$ ,解得  $F = \frac{G}{2\sin\theta}$ ,故 A 正确;由 A 分析可知,当  $\theta = 60^\circ$  时, AC、BC 两杆受到的弹力大小均为  $F = \frac{G}{2\sin 60^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{3}G$ ,故 B 错误;摇动把手将重物缓慢顶起的过程,  $\theta$  增大,  $\sin\theta$  增大,则  $F$  减小,故 C 错误;摇动把手将重物缓慢顶起的过程,重物所受合力为零,则重物受到的支持力大小一直等于重物重力的大小,保持不变,故 D 错误。故选 A。

3. 在“用油膜法估测分子的大小”实验中,将体积为  $V_1$  的纯油酸配成总体积为  $V_2$  的油酸酒精溶液,用注射器取体积为  $V_0$  的上述溶液,再把它一滴一滴地全部滴入烧杯,滴数为  $N$ 。把这样的一滴油酸酒精溶液滴入浅盘中,待稳定后得到油酸薄膜的轮廓形状和尺寸如图所示。图中每个小正方形格的边长为  $a$ ,可估算出油酸分子的直径为 (C)



A.  $\frac{58V_1V_0N}{V_2a^2}$

B.  $\frac{58V_1V_0}{NV_2a^2}$

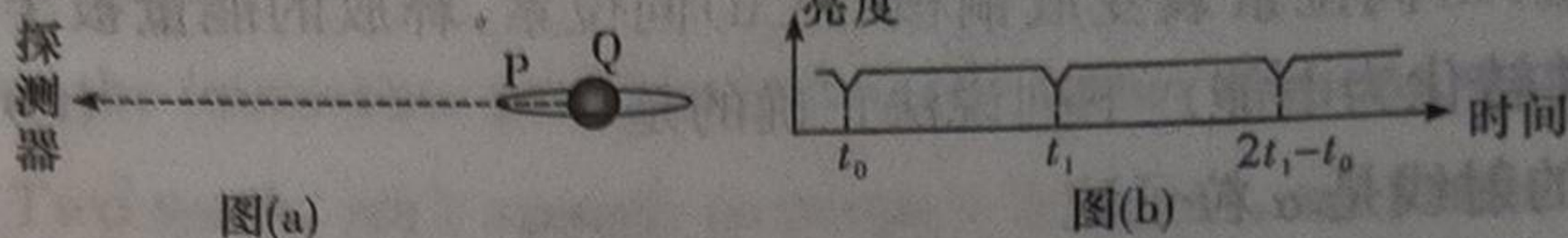
C.  $\frac{V_1V_0}{70NV_2a^2}$

D.  $\frac{V_1V_0N}{70V_2a^2}$

【解析】轮廓包围方格约为 70 个，故油酸薄膜的面积为  $S=70a^2$ ，每滴溶液中含有纯油酸的体积为

$V_N = \frac{V_0}{N} \times \frac{V_1}{V_2}$ ，油酸分子的直径为  $d = \frac{V_N}{S} = \frac{V_0V_1}{70NV_2a^2}$ ，故选 C。

4. 如图(a)所示，太阳系外的一颗行星 P 绕恒星 Q 做匀速圆周运动。由于 P 的遮挡，探测器探测到 Q 的亮度随时间做如图(b)所示的周期性变化，该周期与 P 的公转周期相同。已知 Q 的质量为 M，引力常量为 G。关于 P 的公转，下列说法正确的是 (D)



A. 周期为  $2t_1 - t_0$

B. 加速度的大小为  $\sqrt{\frac{2\pi GM}{t_1 - t_0}}$

C. 角速度的大小为  $\frac{\pi}{t_1 - t_0}$

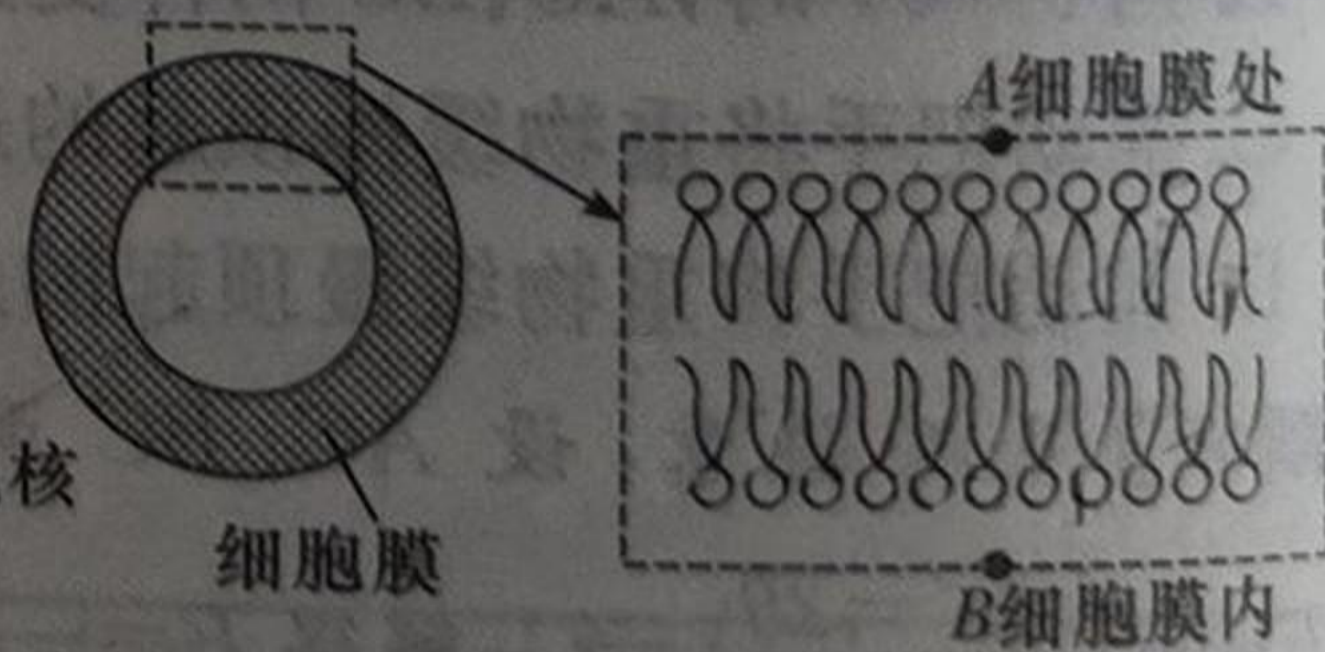
D. 半径为  $\sqrt{\frac{GM(t_1 - t_0)^2}{4\pi^2}}$

【解析】由图(b)可知探测器探测到 Q 的亮度随时间变化的周期为  $T = t_1 - t_0$ ，则 P 的公转周期为  $t_1 - t_0$ ，故 A 错误；P 绕恒星 Q 做匀速圆周运动，由万有引力提供向心力可得  $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ ，解得

半径为  $r = \sqrt{\frac{GMT^2}{4\pi^2}} = \sqrt{\frac{GM(t_1 - t_0)^2}{4\pi^2}}$ ，故 D 正确；P 的角速度为  $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{t_1 - t_0}$ ，故 C 错误；P 的加

速度大小为  $a = \omega^2 r = \left(\frac{2\pi}{t_1 - t_0}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{GM(t_1 - t_0)^2}{4\pi^2}} = \frac{2\pi}{t_1 - t_0} \cdot \sqrt{\frac{2\pi GM}{t_1 - t_0}}$ ，故 B 错误。故选 D。

5. 如图所示，人体的细胞膜由磷脂双分子层组成，双分子层之间存在电压(医学上称为膜电位)，使得只有带特定电荷的粒子才能通过细胞膜进入细胞内。初速度为  $v_0$  的正一价钠离子仅在电场力的作用下，从细胞膜外 A 点刚好运动到细胞膜内 B 点。将膜内的电场看作匀强电场，已知 A



点电势为  $\varphi_a$ ，正一价钠离子质量为  $m$ ，质子电荷量为  $e$ ，细胞膜的厚度为  $d$ 。下列说法正确的是 (D)

A. 钠离子匀减速直线运动的加速度大小  $a = \frac{v_0^2}{d}$

B. 膜内匀强电场的场强  $E = \frac{mv_0^2}{ed}$

C. B 点电势  $\varphi_b = \varphi_a + \frac{mv_0^2}{e}$

D. 钠离子在 B 点的电势能为  $E_b = \varphi_a e + \frac{mv_0^2}{2}$

【解析】正一价钠离子做匀减速直线运动，刚好到达 B 点，即到达 B 点时速度为零，由  $0 - v_0^2 = -2ad$  解得加速度大小  $a = \frac{v_0^2}{2d}$ ，故 A 错误；由牛顿第二定律可知  $Ee = ma$ ，联立解得  $E = \frac{mv_0^2}{2ed}$ ，故 B 错误；由动能定理可得  $(\varphi_a - \varphi_b)e = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$ ，解得 B 点电势为  $\varphi_b = \varphi_a + \frac{mv_0^2}{2e}$ ，故 C 错误；钠离子在 B 点电势能为  $E_b = \varphi_a e + \frac{mv_0^2}{2}$ ，故 D 正确。

6. 测量透明溶液折射率的装置如图 1 所示。在转盘上共轴放置一圆柱形容器，容器被透明隔板平分为两部分，一半充满待测溶液，另一半是空气。一束激光从左侧沿直径方向入射，右侧放置足够大的观测屏。在某次实验中，容器从图 2(俯视图)所示位置开始逆时针匀速旋转，此时观测屏上无亮点；随着继续转动，亮点突然出现，并开始计时，经  $\Delta t$  后亮点消失。已知转盘转动角速度为  $\omega$ ，空气折射率为 1，隔板折射率为  $n$ ，待测溶液折射率为  $n_x$  ( $n_x < n$ )，则  $n_x$  为(光从折射率  $n_1$  的介质射入折射率  $n_2$  的介质，入射角与折射角分别为  $\theta_1$  与  $\theta_2$ ，有  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$ ) (C)

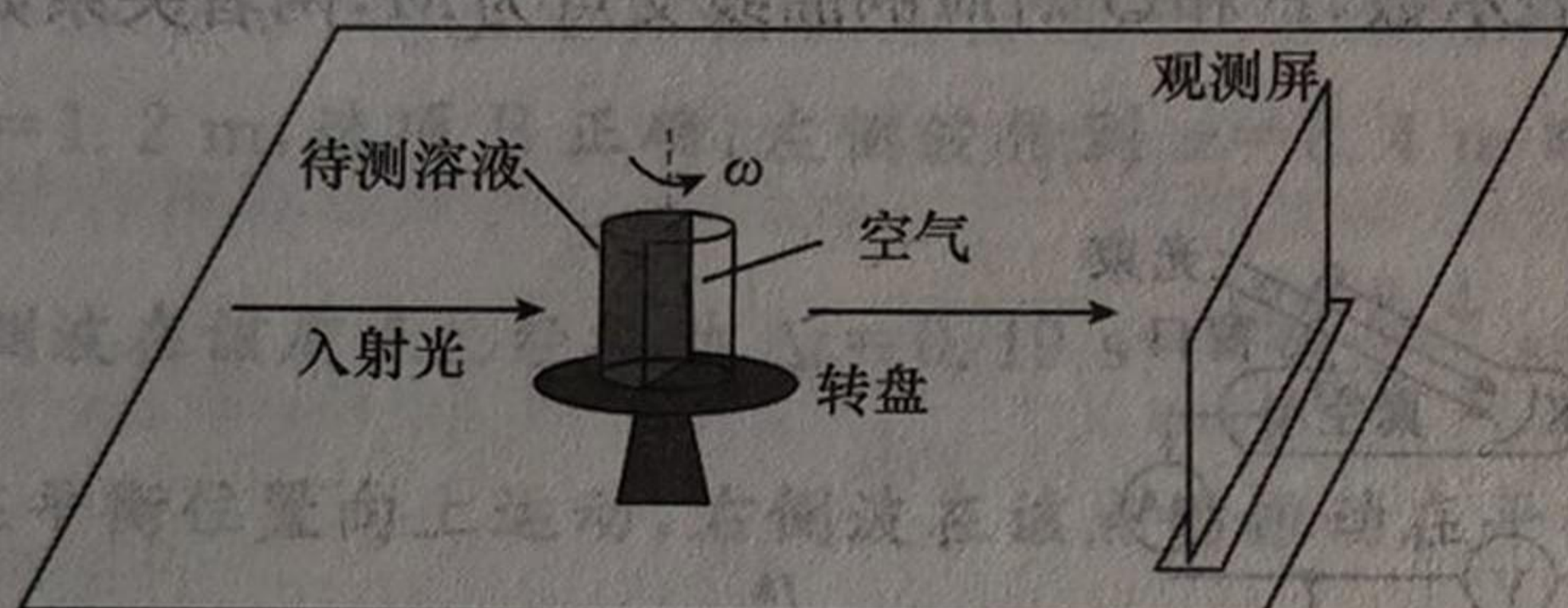


图 1

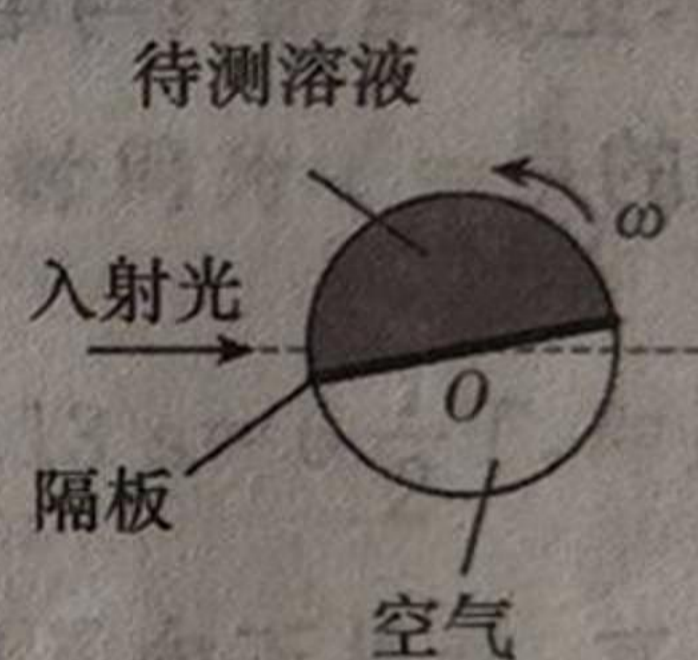


图 2

A.  $\frac{n}{\sin(\frac{\omega\Delta t}{2})}$

B.  $\frac{n}{\sin(\frac{\pi - \omega\Delta t}{2})}$

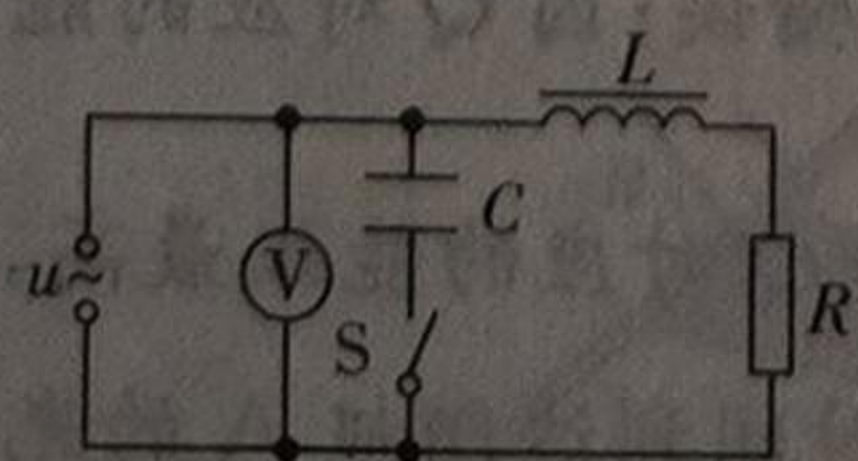
C.  $\frac{1}{\sin(\frac{\omega\Delta t}{2})}$

D.  $\frac{1}{\sin(\frac{\pi - \omega\Delta t}{2})}$

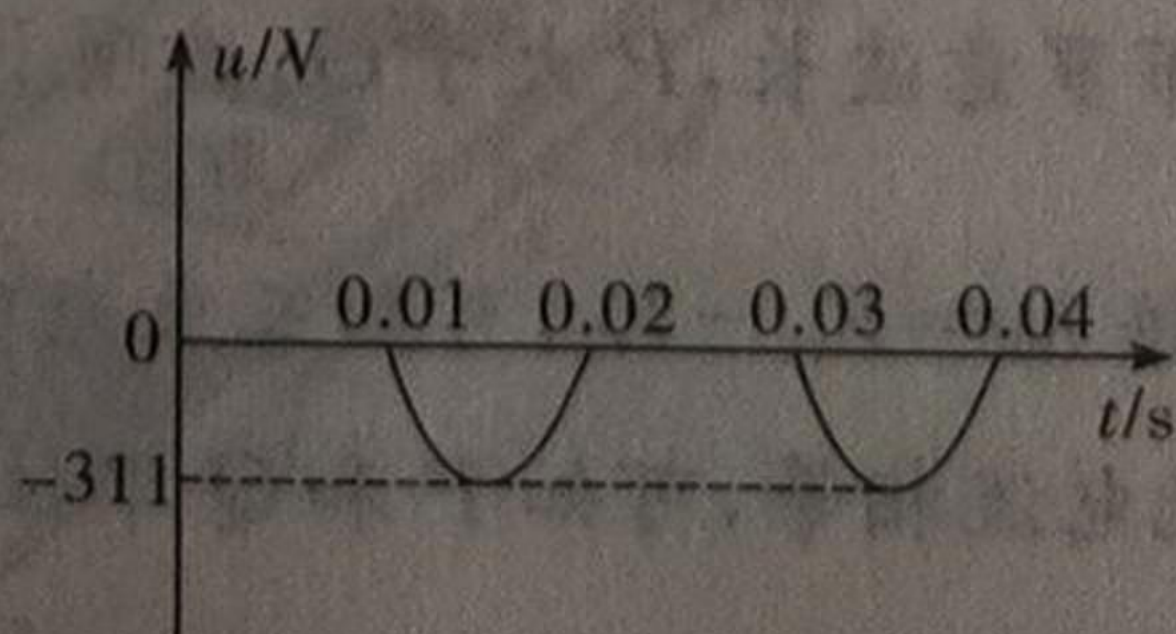
【解析】由题意可知当屏上无光点时，光线从隔板射到空气上时发生了全发射，出现亮点时，光线从溶液射到隔板再射到空气时发生了折射。设刚出现亮点时光线从液体射向隔板时的入射角为  $\theta$ ，光线在隔板和空气界面发生全反射，在隔板和液体界面，有  $\frac{\sin \theta}{\sin C} = \frac{n}{n_x}$ ，在隔板和空气界面  $n = \frac{1}{\sin C}$ ，由题意可知  $\theta = \frac{\omega\Delta t}{2}$ ，解得  $n_x = \frac{1}{\sin(\frac{\omega\Delta t}{2})}$ ，故选 C。

二、选择题：本题共 4 小题，每小题 5 分，共 20 分。每小题有多个选项符合题目要求。全部选对的得 5 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

7. 如图甲所示电路中，电阻  $R$  的阻值为  $484 \Omega$ ， $C$  为电容器， $L$  为直流电阻不计的自感线圈，开关  $S$  断开，现通以如图乙所示的电压  $u$ ，下列说法正确的是 (BC)



甲



乙

A. 电阻  $R$  两端的电压为  $155.5\text{ V}$

B. 电压表的示数为  $155.5\text{ V}$

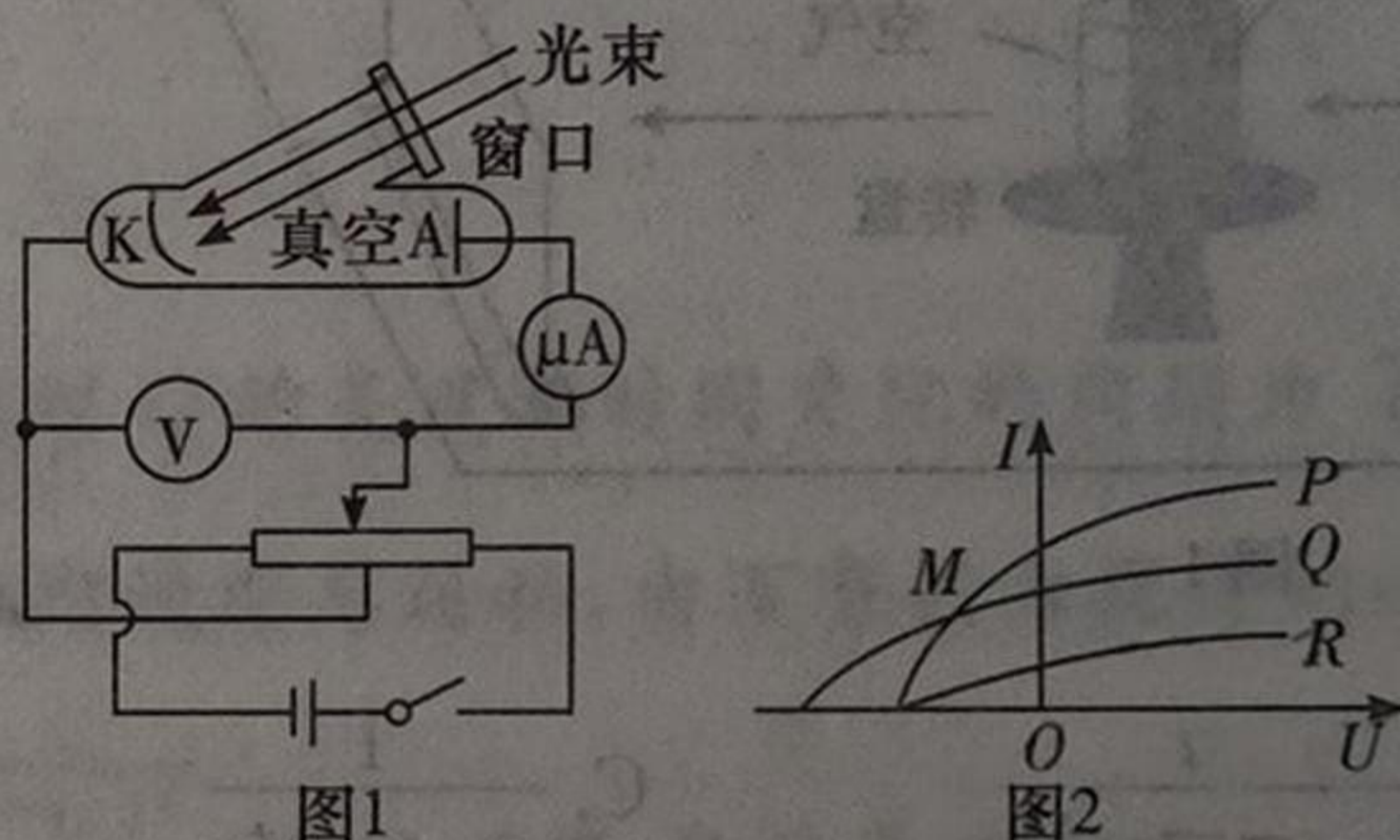
C. 电阻  $R$  消耗的功率小于  $50\text{ W}$

D. 为保证闭合开关  $S$  后电容器不被击穿, 该电容器的耐压值不得小于  $155.5\text{ V}$

【解析】设电压表的读数为  $U$ , 根据电压有效值的概念有,  $\frac{U^2}{R} \times 0.02\text{ s} = 0 + \frac{(\frac{311\text{ V}}{\sqrt{2}})^2 \times 0.01\text{ s}}{R}$ , 解得  $U = 155.5\text{ V}$ , 即电压表的示数应为  $155.5\text{ V}$ , 由于线圈的自感作用, 电阻  $R$  两端的电压应小于  $155.5\text{ V}$ , 所以 A 错误, B 正确; 若不考虑线圈的自感作用, 电阻  $R$  消耗的功率为  $P = \frac{U^2}{R} = \frac{155.5^2}{484}\text{ W} = 50\text{ W}$ , 由于线圈的自感作用影响, 电阻  $R$  消耗的功率一定小于  $50\text{ W}$ , 所以 C 正确; 根

据电源电压图像可知, 电源的最大电压为  $311\text{ V}$ , 电容器的耐压值不能小于  $311\text{ V}$ , 所以 D 错误。

8. 如图 1 所示, 三束由氢原子发出的可见光  $P$ 、 $Q$ 、 $R$  分别由真空玻璃管的窗口射向阴极  $K$ 。调节滑动变阻器, 记录电流表与电压表示数,  $P$  和  $Q$  对应的曲线交点为  $M$ , 两者关系如图 2 所示。下列说法正确的是 (AD)



A. 三束光分别射入同一单缝衍射装置时,  $Q$  的中央亮纹比  $R$  窄

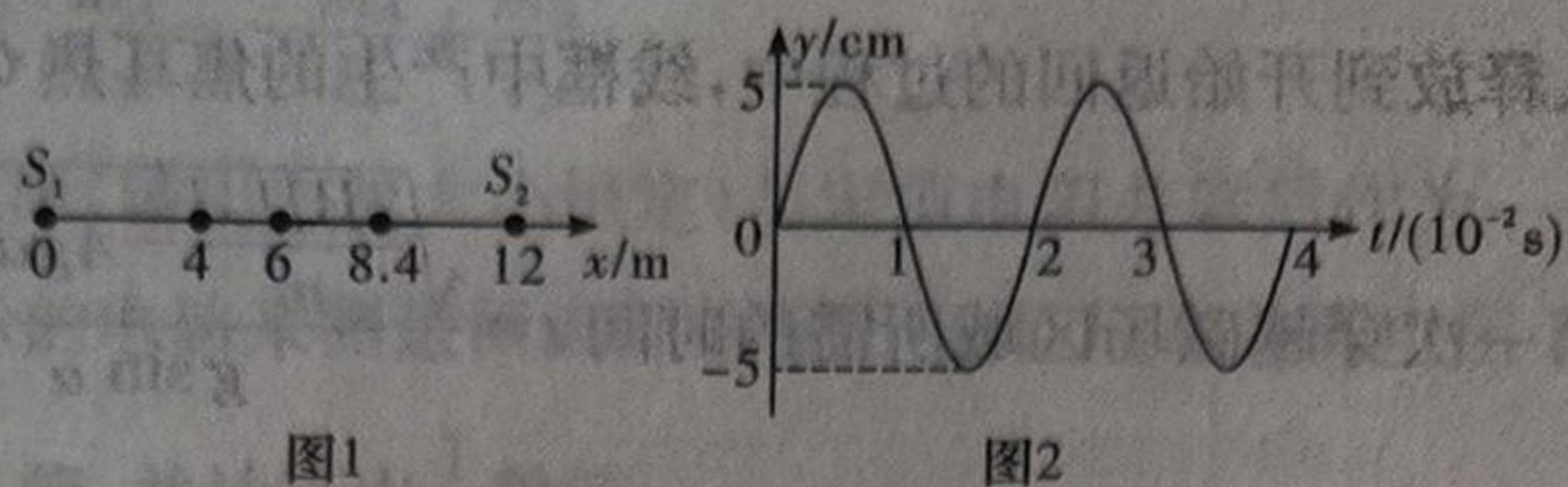
B.  $P$  光照射阴极  $K$  产生的光电子的最小德布罗意波长小于  $Q$  光照射阴极  $K$  产生的光电子的最小德布罗意波长

C. 若三束可见光为氢原子从相应高能级向第一激发态跃迁时产生, 则三束光中  $Q$  对应的能级最低

D. 对应于图 2 中的  $M$  点,  $P$ 、 $Q$  光照射阴极  $K$  时, 单位时间到达阳极  $A$  的光电子数目相等

【解析】根据  $U_c e = \frac{1}{2} m v_m^2 = h\nu - W_{\text{逸出功}}$ , 因  $Q$  的截止电压大于  $R$ , 可知  $Q$  的频率大于  $R$  的频率,  $Q$  的波长小于  $R$  的波长, 则分别射入同一单缝衍射装置时,  $R$  的衍射现象比  $Q$  更明显, 则  $Q$  的中央亮纹比  $R$  窄, 选项 A 正确; 同理可知  $P$ 、 $Q$  产生的光电子在  $K$  处  $Q$  的最大初动能比  $P$  大, 根据  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_{km}}}$ , 可知最小德布罗意波长,  $P$  大于  $Q$ , 选项 B 错误; 因  $Q$  对应的能量最大, 则氢原子向第一激发态跃迁发光时, 根据  $h\nu = E_m - E_2$ , 可知三束光中  $Q$  对应的能级最高, 选项 C 错误; 对应于图 2 中的  $M$  点,  $P$  和  $Q$  的光电流相等, 可知  $P$  和  $Q$  单位时间到达阳极  $A$  的光电子数目相等, 选项 D 正确。故选 AD。

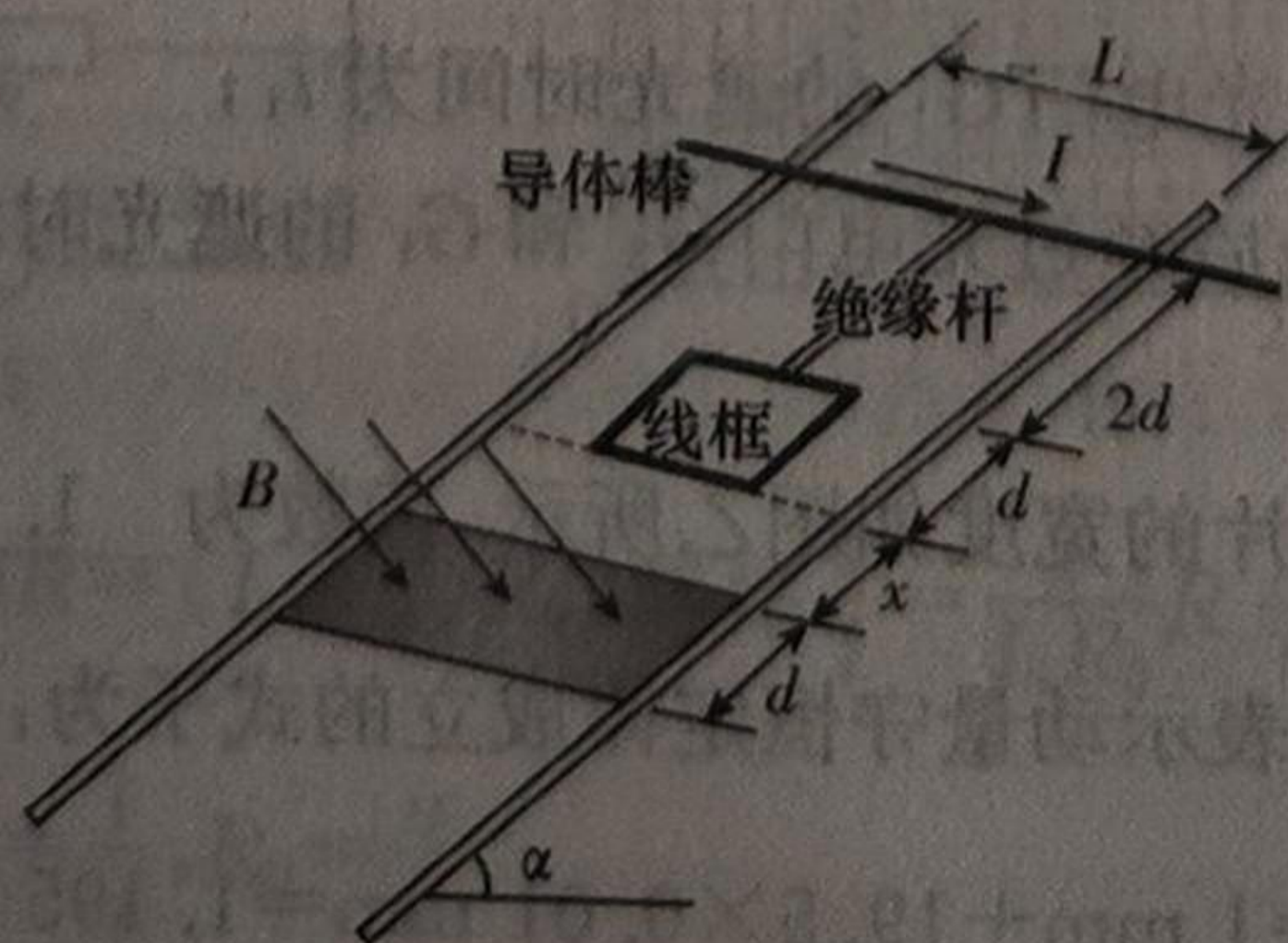
9. 如图 1 所示, 两波源  $S_1$  和  $S_2$  分别位于  $x=0$  与  $x=12$  m 处, 以  $x=6$  m 为边界, 两侧为不同的均匀介质。  $t=0$  时两波源同时开始振动, 其振动图像相同, 如图 2 所示。  $t=0.1$  s 时  $x=4$  m 与  $x=6$  m 两处的质点开始振动。 不考虑反射波的影响, 则 (BCD)



- A.  $t=0.15$  s 时两列波开始相遇
- B. 在  $6\text{ m} < x \leq 12\text{ m}$  间  $S_2$  波的波长为  $1.2\text{ m}$
- C. 两列波叠加稳定后,  $x=8.4\text{ m}$  处的质点振动减弱
- D. 两列波叠加稳定后, 在  $0 < x < 6\text{ m}$  间共有 15 个加强点

**【解析】**波在  $x=6$  m 左侧的波速  $v_1 = \frac{4}{0.1} \text{ m/s} = 40 \text{ m/s}$ , 右侧的波速  $v_2 = \frac{6}{0.1} \text{ m/s} = 60 \text{ m/s}$ , 两列波相遇时  $v_1 t + v_2 t = 12 \text{ m}$ , 解得  $t = 0.12 \text{ s}$ , 选项 A 错误; 在  $6\text{ m} < x \leq 12\text{ m}$  间  $S_2$  波的波长为  $\lambda_2 = v_2 T = 60 \times 0.02 \text{ m} = 1.2 \text{ m}$ , 选项 B 正确; 左侧波传到  $x=8.4\text{ m}$  时所用时间为  $t' = \frac{6}{40} \text{ s} + \frac{8.4-6}{60} \text{ s} = 0.19 \text{ s}$ , 此时右侧波在该质点已经振动  $\Delta t = 0.19 \text{ s} - \frac{12-8.4}{60} \text{ s} = 0.13 \text{ s} = 6 \frac{1}{2} T$ , 即此时刻左侧波在该点的振动在平衡位置向上运动, 右侧波在该点的振动在平衡位置向下振动, 可知该点的振动减弱, 选项 C 正确; 当右侧波传到  $x=6\text{ m}$  位置时所用时间为  $0.1 \text{ s} = 5T$ , 即此时  $x=6\text{ m}$  处质点从平衡位置向上振动; 此时  $x=0$  处的波源  $S_1$  也在平衡位置向上振动, 即振动方向相同, 可知在  $0 < x < 6\text{ m}$  内到  $x=0$  和  $x=6\text{ m}$  两点的路程差为波长整数倍时振动加强, 波在该区间内的波长  $\lambda_1 = v_1 T = 40 \times 0.02 \text{ m} = 0.8 \text{ m}$ , 可知  $x - (6 - x) = n\lambda = 0.8n$ , 即  $x = 3 + 0.4n$ , 其中  $n$  取  $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5, \pm 6, \pm 7$ , 则共有 15 个振动加强点, 选项 D 正确。 故选 BCD。

10. 如图, 两平行足够长且电阻可忽略的光滑金属导轨安装在倾角为  $\alpha$  光滑绝缘斜面上, 导轨间距为  $L$ , 磁感应强度为  $B$  的有界匀强磁场宽度为  $d$ , 磁场方向与导轨平面垂直; 长度为  $2d$  的绝缘杆将导体棒和边长为  $d$  的正方形单匝金属线框连接在一起组成如图装置, 其总质量  $m$ , 导体棒中通以大小为  $I$  的恒定电流 (由外接恒流源产生, 图中未画出)。 线框的总电阻为  $R$ , 其下边与磁场区域边界平行。 情形 1: 将线框下边置于距磁场上边界  $x$  处由静止释放, 线框恰好可匀速穿过磁场区域; 情形 2: 线框下边与磁场区域上边界重合时将线框由静止释放, 导体棒恰好运动到磁场区域下边界处返回。 导体棒在整个运动过程中始终与导轨垂直, 重力加速度为  $g$ 。 则 (CD)



- A. 情形 1 中,从释放到线框下边刚穿过磁场过程通过线框截面的电荷量  $q = \frac{BLd}{R}$
- B. 情形 1 中,线框下边与磁场上边界的距离  $x = \frac{m^2 R^2 g \sin \alpha}{B^4 d^4}$
- C. 情形 2 中,装置从释放到开始返回的过程中,线框中产生的焦耳热  $Q = 4mgd \sin \alpha - BILd$
- D. 情形 2 中,线框第一次穿越磁场区域所需的时间  $t = \frac{\sqrt{\frac{2BILd}{m} - 4gd \sin \alpha}}{g \sin \alpha} + \frac{2B^2 d^3}{mRg \sin \alpha}$

【解析】情形 1 中,线框刚穿过磁场过程通过线框截面的电荷量  $q = I \Delta t = \frac{E}{R} \Delta t = \frac{\Delta \Phi}{R} = \frac{Bd^2}{R}$ ,故 A 错

误;情形 1 中,对装置,当线框在磁场中匀速时  $mg \sin \alpha = BId = \frac{B^2 d^2 v}{R}$ ,可得  $v = \frac{mgR \sin \alpha}{B^2 d^2}$ ,装置在

进入磁场前做匀变速直线运动,由动能定理  $mg \sin \alpha \cdot x = \frac{1}{2} m v^2 - 0$  可得  $x = \frac{m^2 R^2 g \sin \alpha}{2B^4 d^4}$ ,故 B 错

误;设装置由静止释放到导体棒运动到磁场下边界的过程中,作用在线框上的安培力做功为  $W$ ,由动能定理  $mg \sin \alpha \cdot 4d + W - BILd = 0 - 0$ ,其中  $Q = -W$ ,解得  $Q = 4mgd \sin \alpha - BILd$ ,故 C 正确;

设线框刚离开磁场下边界时的速度为  $v_1$ ,对装置在接着向下运动  $2d$  过程中,由动能定理

$mg \sin \alpha \cdot 2d - BILd = 0 - \frac{1}{2} m v_1^2$ ,可得  $v_1 = \sqrt{\frac{2BILd}{m} - 4gd \sin \alpha}$ . 对线框在磁场中运动时,由牛顿

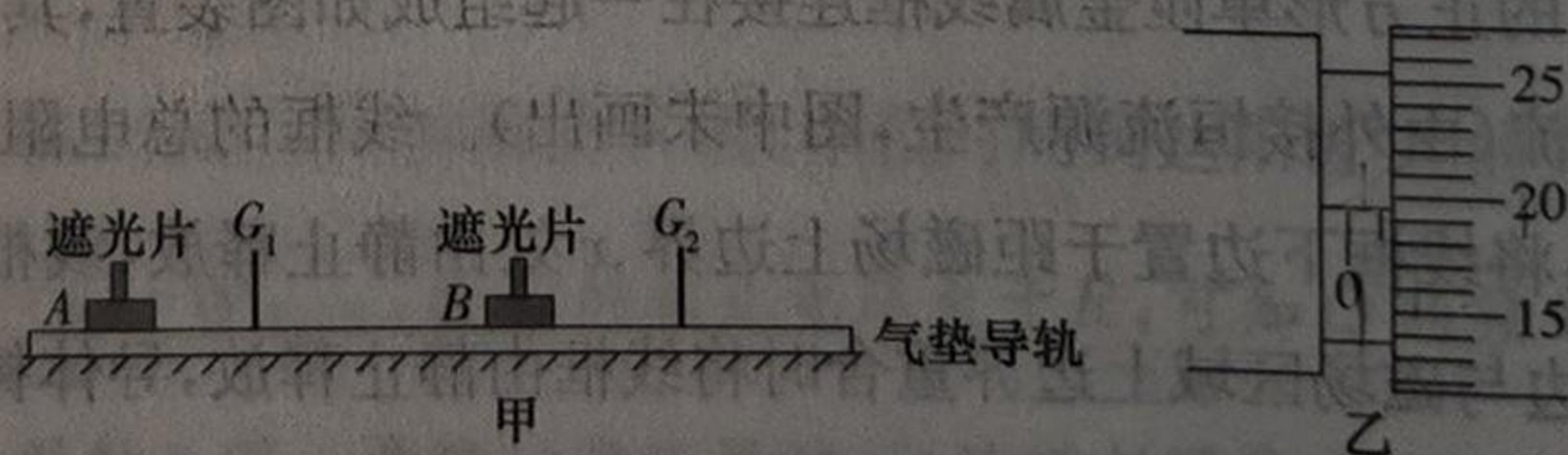
第二定律  $mg \sin \alpha - \frac{B^2 d^2 v}{R} = ma$  可得  $a = g \sin \alpha - \frac{B^2 d^2 v}{mR}$ ,在时间  $\Delta t$  内,有  $\Delta v = a \Delta t$ ,则  $\sum \Delta v =$

$\sum \left[ g \sin \alpha - \frac{B^2 d^2 v}{mR} \right] \Delta t$ ,有  $v_1 = g t \sin \alpha - \frac{B^2 d^2}{mR} x_1$ ,而  $x_1 = 2d$ ,解得  $t = \frac{\sqrt{\frac{2BILd}{m} - 4gd \sin \alpha}}{g \sin \alpha} +$

$\frac{2B^2 d^3}{mRg \sin \alpha}$ ,故 D 正确。故选 CD。

### 三、实验题:本题共 2 小题,11 题 6 分、12 题 8 分,共 14 分。

11. (6 分,每空 3 分)如图甲所示为验证动量守恒的实验装置,气垫导轨置于水平桌面上, $G_1$  和  $G_2$  为两个光电门,A、B 均为弹性滑块,质量(含遮光片)分别为  $m_A$ 、 $m_B$ ,两遮光片沿运动方向的宽度均为  $d$ ,实验过程如下:



- ①调节气垫导轨成水平状态;
- ②轻推滑块 A,测得 A 通过光电门  $G_1$  的遮光时间为  $t_1$ ;
- ③A 与 B 相碰后,B 和 A 先后经过光电门  $G_2$  和  $G_1$  的遮光时间分别为  $t_2$  和  $t_3$ 。

回答下列问题:

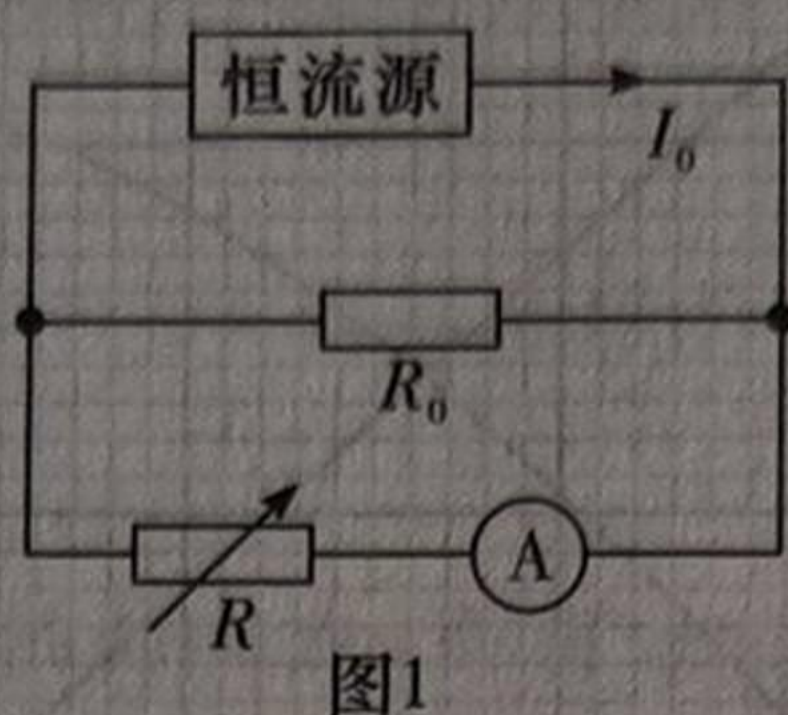
(1)用螺旋测微器测得遮光片的宽度如图乙所示,读数为 1.195 (1.193~1.197 均可) mm;

(2)利用所测物理量的符号表示动量守恒定律成立的式子为:  $\frac{m_A}{t_1} = -\frac{m_A}{t_3} + \frac{m_B}{t_2}$ 。

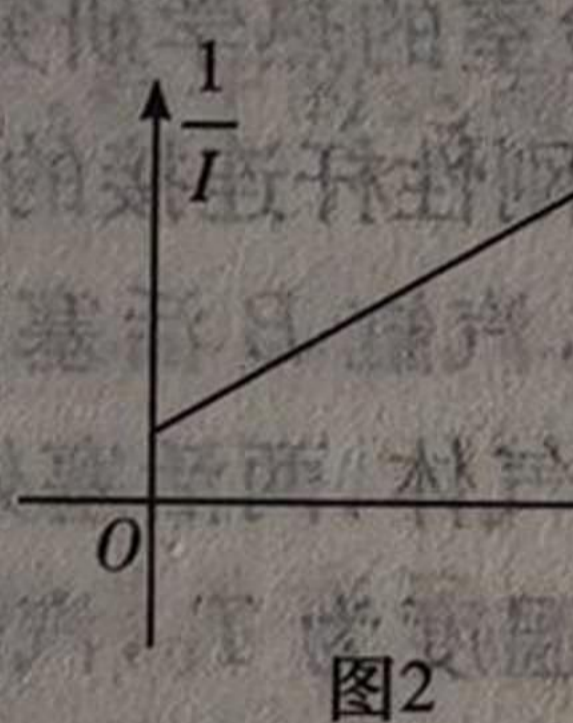
【解析】(1)遮光片的宽度为  $d = 1 \text{ mm} + 19.5 \times 0.01 \text{ mm} = 1.195 \text{ mm}$ 。

(2) 滑块经过光电门时挡光时间极短, 则平均速度可近似代替滑块的瞬时速度, 则碰前 A 的速度  $v_A = \frac{d}{t_1}$ , 碰后 A 的速度  $v_A' = -\frac{d}{t_3}$ , 碰后 B 的速度  $v_B' = \frac{d}{t_2}$ ; 弹性碰撞, 系统动量守恒, 有:  $m_A v_A = m_A v_A' + m_B v_B'$ , 化简可得表达式:  $\frac{m_A}{t_1} = -\frac{m_A}{t_3} + \frac{m_B}{t_2}$ 。

12. (8分, 每空2分) 恒流源(输出电流大小恒定)与定值电阻并联后作为一个整体可看作一个实际电源, 现用如图1所示的电路来测量恒流源的输出电流  $I_0$  和并联电阻  $R_0$ 。调节电阻箱  $R$  的阻值, 电流表测得多组  $I$  值, 并计算出  $\frac{1}{I}$  数值。

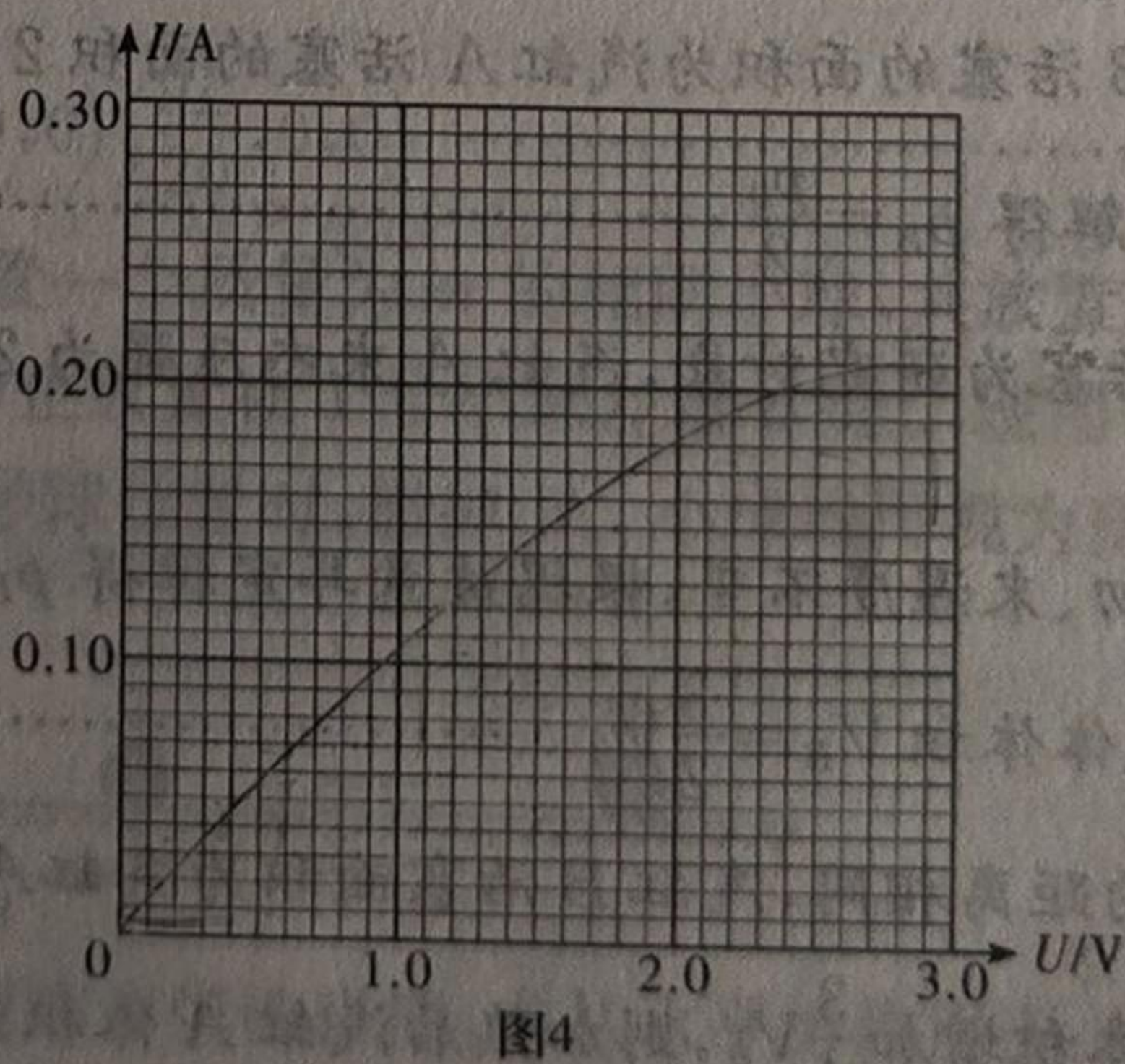
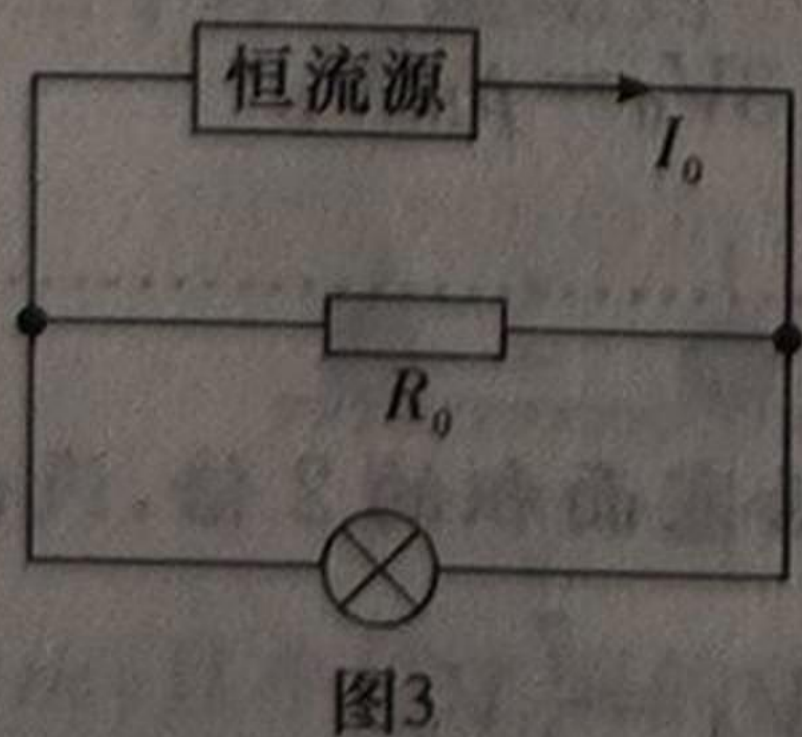


(1) 根据测量数据, 作出  $\frac{1}{I} - R$  函数关系曲线如图2所示, 图中直线纵截距为  $a$ , 斜率为  $k$ , 不考虑电流表内阻, 则  $I_0 = \frac{1}{a}$ ,  $R_0 = \frac{a}{k}$ ; (用  $a$  和  $k$  表示)



(2) 若考虑电流表内阻带来的系统误差, 则  $I_0$  测量值 < (填“>”“=”或“<”) 真实值;

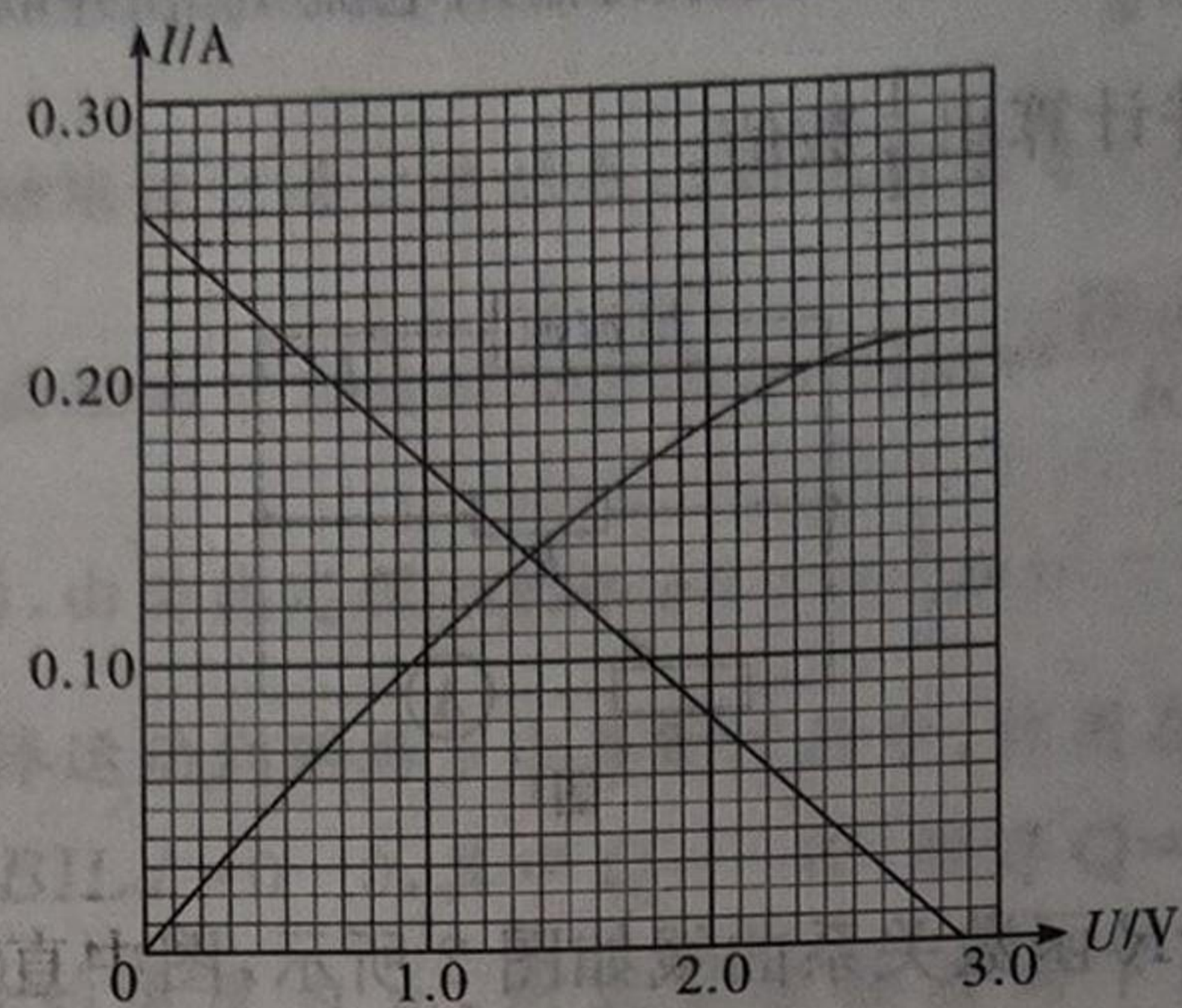
(3) 把一小灯泡接在恒流源和定值电阻两端, 如图3所示, 小灯泡伏安特性曲线如图4所示, 若测得  $I_0 = 0.26 \text{ A}$ ,  $R_0 = 11.0 \Omega$ , 则小灯泡实际功率为 0.19 (0.17~0.20 均可) W (保留两位有效数字)。



【解析】(1) 由图1所示电路图得  $IR = (I_0 - I)R_0$ , 解得  $\frac{1}{I} = \frac{1}{I_0 R_0} R + \frac{1}{I_0}$ , 由于直线纵截距为  $a$ , 斜率为  $k$ , 则,  $\frac{1}{I_0} = a$ ,  $\frac{1}{I_0 R_0} = k$ , 解得,  $I_0 = \frac{1}{a}$ ,  $R_0 = \frac{a}{k}$ 。

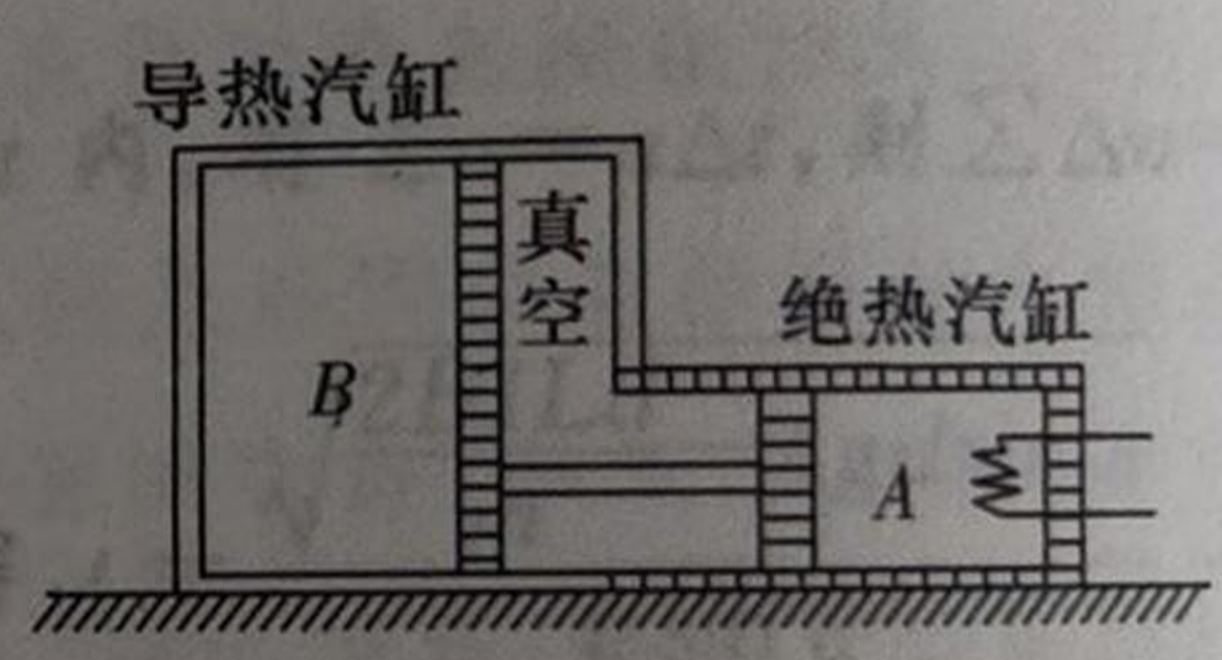
(2)若考虑电流表内阻带来的系统误差,则  $I(R+R_A) = (I_0' - I)R_0'$ , 解得,  $\frac{1}{I} = \frac{1}{I_0'R_0'}R + \frac{R_A + R_0'}{I_0'R_0'}$ , 由于直线纵截距为  $a$ , 斜率为  $k$ , 则  $I_0' = \frac{1}{a - kR_A}$ ,  $R_0' = \frac{a}{k} - R_A$ ,  $R_0$  的测量值大于真实值,  $I_0$  的测量值小于真实值。

(3)由图 3 可得  $U = (I_0 - I)R_0$ , 解得  $U = -11I + 2.86$ , 在图 4 中作出电源的  $I-U$  图像, 两图像的交点  $U = 1.38 \text{ V}$ ,  $I = 0.138 \text{ A}$ , 则小灯泡实际功率为  $P = UI = 1.38 \times 0.138 \text{ W} \approx 0.19 \text{ W}$



四、解答题:本题共 3 小题,共 42 分。其中第 13 题 12 分,第 14 题 14 分,第 15 题 16 分,写出必要的推理过程,仅有结果不得分。

13. (12 分)如图所示是某热学研究所实验室的热学研究装置,绝热汽缸 A 与导热汽缸 B 均固定于桌面,由刚性杆连接的绝热活塞与两汽缸间均无摩擦,两活塞之间为真空,汽缸 B 活塞面积为汽缸 A 活塞面积的 2 倍。两汽缸内装有理想气体,两活塞处于平衡状态,汽缸 A 中气体体积为  $V_0$ ,压强为  $p_0$ ,温度为  $T_0$ ,汽缸 B 中气体体积为  $3V_0$ ,缓慢加热 A 中气体,停止加热达到稳定后,A 中气体压强为原来的 2 倍。设环境温度始终保持不变,汽缸 A 中活塞不会脱离汽缸 A,求:



- (1)加热前汽缸 B 中气体的压强;
- (2)加热达到稳定后汽缸 B 中气体的体积  $V_B$ ;
- (3)加热达到稳定后汽缸 A 中气体的温度  $T_A$ 。

【解析】(1)汽缸 B 活塞的面积为汽缸 A 活塞的面积 2 倍,初状态选两活塞为研究对象,根据平衡条件  $p_0 S_A = p_B S_B$ , 解得  $p_B = \frac{p_0}{2}$  ..... 3 分

(2)末状态选两活塞为研究对象,汽缸 A 末态压强为  $2p_0$ , 根据平衡条件  $2p_0 S_A = p_B' S_B$  解得  $p_B' = p_0$   
 汽缸 B 中气体,初、末温度不变,根据玻意耳定律得  $p_B \cdot 3V_0 = p_B' V_B$   
 解得汽缸 B 中气体体积  $V_B = \frac{3}{2}V_0$  ..... 4 分

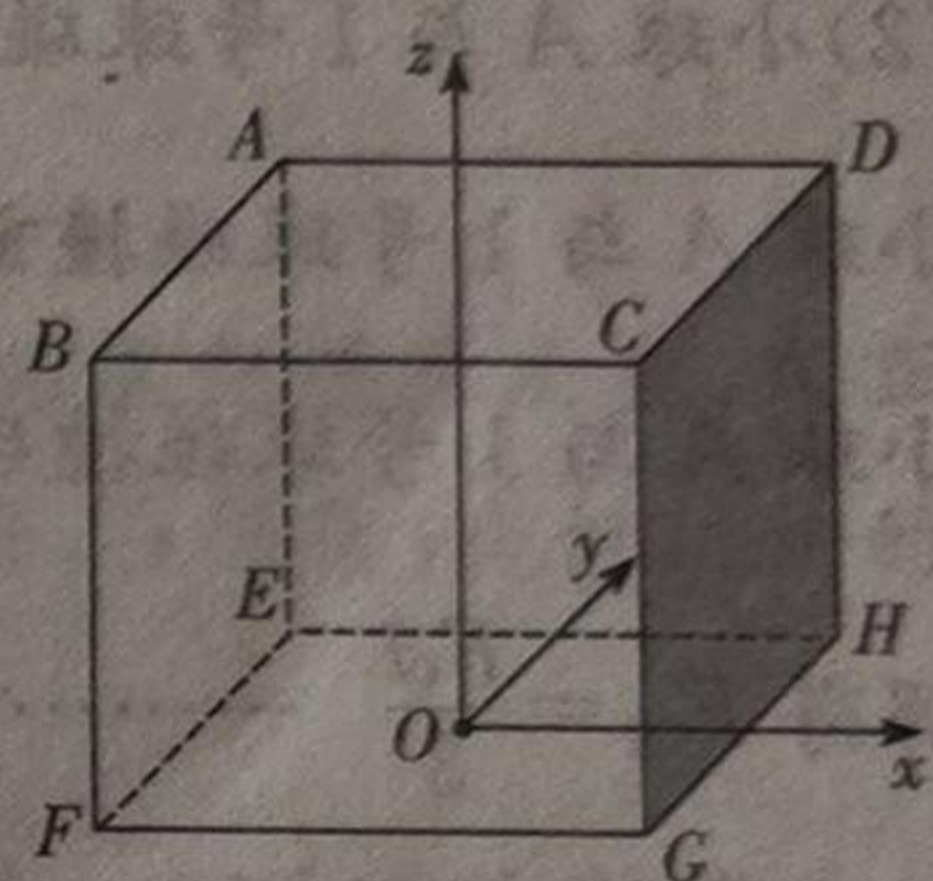
(3)两活塞移动的距离相同,汽缸 B 活塞面积为汽缸 A 活塞面积的 2 倍,汽缸 B 中气体体积减小了  $\frac{3}{2}V_0$ , 则汽缸 A 体积增加  $\frac{3}{4}V_0$ , 则加热后汽缸 A 体积为  $V_A = \frac{7}{4}V_0$   
 根据理想气体状态方程得  $\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{2p_0 V_A}{T_A}$   
 解得  $T_A = \frac{7}{2}T_0$  ..... 5 分

14. (14分) 如图所示, 立方体空间的边长为  $L$ , 侧面  $CDHG$  为荧光屏, 能完全吸收打在屏上的带电粒子并发光, 三维坐标系坐标原点  $O$  位于底面  $EFGH$  的中心,  $Ox \parallel FG, Oy \parallel GH$ 。已知从原点  $O$  向  $xOy$  平面内各个方向均匀持续发射速率为  $v_0$ 、质量为  $m$ 、电荷量为  $+q$  的粒子。不计粒子重力及粒子间的相互作用。

(1) 若在立方体空间内仅存在方向平行于  $z$  轴的匀强磁场, 沿  $y$  轴正方向射出的粒子恰好打在荧光屏上的  $H$  点。求磁场的磁感应强度  $B$  和粒子从原点  $O$  运动到荧光屏的最短时间  $t$ ;

(2) 若在立方体空间内仅存在  $x$  轴负方向的匀强电场  $E = \frac{24\pi m v_0^2}{5qL}$  和沿  $y$  轴正方向的匀强磁场

$B = \frac{8\pi m v_0}{qL}$ , 沿  $x$  轴正方向射出的粒子, 经某些位置恰好与射出时速度相同, 求这些位置的坐标。



【解析】(1) 根据几何关系有  $r_1 = \frac{L}{2}$

粒子在磁场中做圆周运动, 由洛伦兹力提供向心力, 则有  $qv_0 B = m \frac{v_0^2}{r_1}$

解得  $B = \frac{2mv_0}{qL}$

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

由题意可知, 粒子从  $y$  轴射出, 弦长最短为  $\frac{L}{2}$ , 粒子的运动时间最短。此时圆心角为  $60^\circ$ , 运动的最

短时间为  $t = \frac{T}{6} = \frac{\pi L}{6v_0}$  ..... 7分

(2) 根据题中给出的电场强度与磁感应强度的关系有  $Eq = Bq \frac{3v_0}{5}$

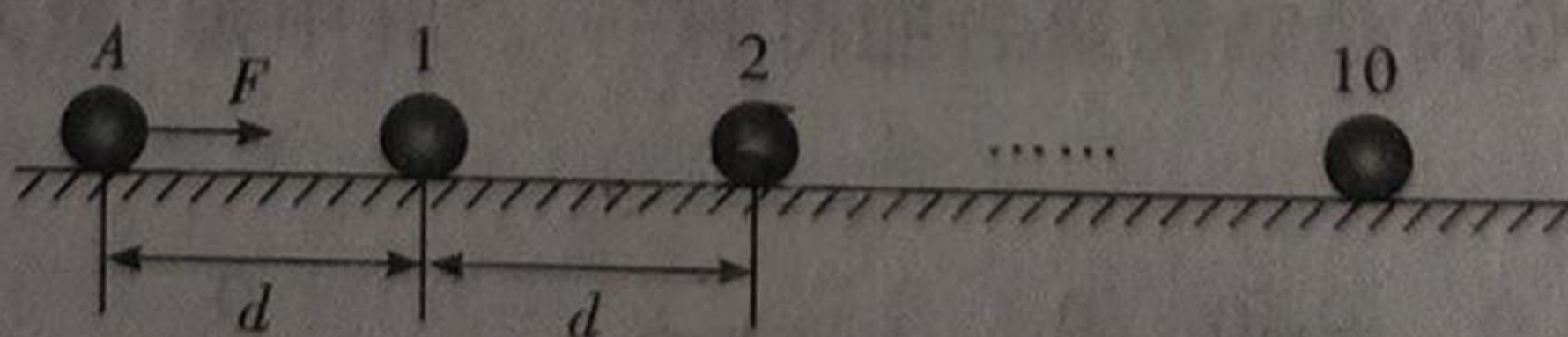
所以, 粒子以  $\frac{3}{5}v_0$  做匀速直线运动, 以  $\frac{2}{5}v_0$  做匀速圆周运动, 一个周期时与原速度方向相同, 此时

沿  $x$  轴方向的位移为  $x_0 = \frac{3v_0}{5} \cdot \frac{2\pi m}{Bq} = \frac{3L}{20}$

由于  $x = nx_0 = n \frac{3L}{20}$

该结果需小于  $\frac{L}{2}$ , 故坐标为  $(\frac{3L}{20}, 0, 0)$  和  $(\frac{3L}{10}, 0, 0)$  ..... 7分

15. (16分) 光滑水平面上每隔距离  $d$  静止放置一个质量为  $m$  的相同小球, 共放置 10 个小球, 从左至右依次标号为 1、2、3、...、10。小球 A 静止放置在 1 号小球左端  $d$  处。现用一水平向右的恒力  $F$  作用于小球 A, 当小球 A 运动到 10 号球位置时, 撤掉  $F$ 。小球均可视为质点, 小球间碰撞时间忽略不计。



(1) 若小球 A 质量为  $m$ , 且小球之间的碰撞均为弹性碰撞, 求从水平力作用于 A 球到 10 号球开始运动经历的时间;

(2) 若小球 A 质量为  $2m$ , 且小球之间的碰撞均为完全非弹性碰撞, 求小球 A 与 1 号球碰撞过程中的能量损失;

(3) 在(2)中条件下, 求小球 A 运动过程中的最大速度。

【解析】(1) 小球 A 与 1 号球碰前, 做匀加速直线运动, 对小球 A 由牛顿第二定律得  $F=ma$

由运动学公式得  $d=\frac{1}{2}at_1^2, v=at_1$

小球 A 与 1 号球碰撞过程动量守恒, 机械能守恒, 有  $mv=mv_A+mv', \frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}mv_A^2+\frac{1}{2}mv'^2$

联立解得  $v_A=0, v'=v$

1 号球碰后以速度  $v$  匀速运动, 同理可得,  $n$  号球与  $n+1$  号球碰撞后速度交换,  $n+1$  号球碰后也以速度  $v$  匀速运动, 所以 10 号球开始运动的时间  $t=t_1+\frac{9d}{v}$

解得  $t=\frac{11}{2}\sqrt{\frac{2md}{F}}$  ..... 5 分

(2) 小球 A 与 1 号球碰前, 对小球 A 由动能定理得  $Fd=\frac{1}{2}\times 2mv_1^2$

小球 A 与 1 号球碰撞前后动量守恒, 有  $2mv_1=(2m+m)v_1'$

小球 A 与 1 号球碰撞后能量损失  $E_{损}=\frac{1}{2}\times 2mv_1^2-\frac{1}{2}(2m+m)v_1'^2$

解得  $E_{损}=\frac{Fd}{3}$  ..... 5 分

(3) 设小球 A 和前  $(n-1)$  个小球组成的系统与第  $n$  号小球碰前的速度为  $v_n$ , 与第  $n$  号小球碰后, 小球 A 和  $n$  个小球组成的系统的速度为  $v_n'$ , 小球 A 与前  $(n-2)$  个小球组成的系统与第  $(n-1)$  号小球碰后的速度为  $v_{n-1}'$ , 从小球 A 和前  $(n-2)$  个小球组成的系统与第  $(n-1)$  号球碰后到与第  $n$  号球碰前的过程中, 对小球 A 和前  $(n-1)$  个小球, 由动能定理得  $Fd=\frac{1}{2}[2m+(n-1)m]v_n^2-\frac{1}{2}[2m+(n-1)m]v_{n-1}'^2$

小球 A 和前  $(n-1)$  个小球组成的系统与第  $n$  号球碰撞前后, 对小球 A 和前  $n$  个小球, 由动量守恒定律, 有  $[2m+(n-1)m]v_n=(2m+nm)v_n'$

由上式解得  $v_n'=\frac{n+1}{n+2}v_n$ , 同理可推出  $v_{n-1}'=\frac{n}{n+1}v_{n-1}$

联立可得  $(n+1)^2v_n^2=n^2v_{n-1}'^2+(n+1)\frac{2Fd}{m}$

同理可推出

$n^2v_{n-1}'^2=(n-1)^2v_{n-2}'^2+n\frac{2Fd}{m}, (n-1)^2v_{n-2}'^2=(n-2)^2v_{n-3}'^2+(n-1)\frac{2Fd}{m}, \dots, (2+1)^2v_2^2=2^2v_1^2+(2+1)\frac{2Fd}{m}$

以上式子相加得  $(n+1)^2v_n^2=2^2v_1^2+(n+4)(n-1)\frac{Fd}{m}$

又  $v_1^2=\frac{Fd}{m}$

解得  $v_n^2=\left[-\frac{2}{(n+1)^2}+\frac{1}{n+1}+1\right]\frac{Fd}{m}$

根据数学知识可知, 当  $\frac{1}{n+1}=-\frac{1}{2\times(-2)}=\frac{1}{4}$ , 即  $n=3$  时  $v_n$  有最大值  $v_{Amax}=v_3=\frac{3}{2}\sqrt{\frac{Fd}{2m}}$  ..... 6 分