

2022—2023 衡水中学下学期高三年级五调考试

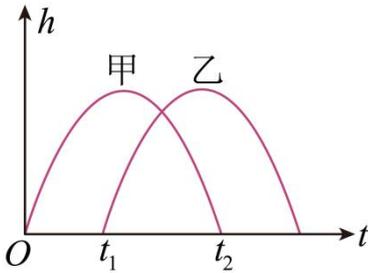
物理

本试卷分第 I 卷（选择题）和第 II 卷（非选择题）两部分。共 8 页，总分 100 分，考试时间 75 分钟。

第 I 卷（选择题共 46 分）

一、选择题：本题共 10 小题，共 46 分。在每小题给出的四个选项中，第 1~7 题只有一项符合题目要求，每小题 4 分；第 8~10 题有多项符合题目要求，每小题 6 分，全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

1. 甲、乙两小球先后从同一水平面的两个位置，以相同的初速度竖直向上抛出，小球距抛出点的高度 h 与时间 t 的关系如图所示。不计空气阻力，重力加速度为 g ，则两小球在图中的交点位置时，距离抛出点的高度为（ ）



A. $\frac{1}{2}gt_2$

B. $\frac{1}{8}g(t_2^2 - t_1^2)$

C. $\frac{1}{4}g(t_2^2 - t_1^2)$

D. $\frac{1}{2}g(t_2^2 - t_1^2)$

【答案】B

【解析】

【详解】物体能上升的最大高度为

$$h_1 = \frac{1}{2}g\left(\frac{t_2}{2}\right)^2$$

从最高点到交点位置下落的时间

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

从最高点到交点位置下落的高度

$$h_2 = \frac{1}{2}g\left(\frac{t_1}{2}\right)^2$$

则两小球在图中的交点位置时，距离抛出点的高度为

$$h = h_1 - h_2 = \frac{1}{8}g(t_2^2 - t_1^2)$$

故选 B。

2. 2023 年 1 月，“中国超环”成为世界上首个实现维持和调节超过 1000 秒的超长时间持续脉冲的核反应堆。

其核反应方程 ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + \text{X}$ ，已知 ${}^2_1\text{H}$ 的质量 m_1 ， ${}^3_1\text{H}$ 的质量 m_2 ， ${}^4_2\text{He}$ 的质量 m_3 ，反应中释放出 γ 光子，下列说法正确的是（ ）

- A. 该核反应在高温高压下才能发生，说明该核反应需要吸收能量
- B. γ 光子来源于核外电子的能级跃迁
- C. X 是中子，该核反应为核聚变反应
- D. X 的质量为 $m_1 + m_2 - m_3$

【答案】C

【解析】

【详解】A. 该核反应为核聚变反应，释放能量，故 A 错误；

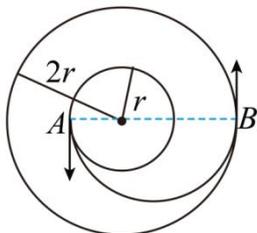
B. 光子来源于原子核的能级跃迁，而不是核外电子的能级跃迁，故 B 错误；

C. 根据电荷数和质量数守恒可知 X 是中子，该核反应为核聚变反应，故 C 正确；

D. 该反应释放能量，有质量损失，则 X 的质量小于 $m_1 + m_2 - m_3$ ，故 D 错误。

故选 C。

3. 2018 年 1 月 12 日，我国成功发射北斗三号组网卫星。如图为发射卫星的示意图，先将卫星发射到半径为 r 的圆轨道上做圆周运动，到 A 点时使卫星加速进入椭圆轨道，到椭圆轨道的远地点 B 点时，再次改变卫星的速度，使卫星进入半径为 $2r$ 的圆轨道。已知卫星在椭圆轨道时距地球的距离与速度的乘积为定值，卫星在椭圆轨道上 A 点时的速度为 v ，卫星的质量为 m ，地球的质量为 M ，引力常量为 G ，则发动机在 A 点对卫星做的功与在 B 点对卫星做的功之差为(忽略卫星的质量变化)（ ）



- A. $\frac{3}{4}mv^2 - \frac{3GMm}{4r}$
- B. $\frac{5}{8}mv^2 - \frac{3GMm}{4r}$
- C. $\frac{3}{4}mv^2 + \frac{3GMm}{4r}$

D. $\frac{5}{8}mv^2 + \frac{3GMm}{4r}$

【答案】B

【解析】

【详解】由 $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v_1^2}{r}$ 可知，卫星在轨道半径为 r 的圆轨道上运动的线速度大小 $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ，在半径为

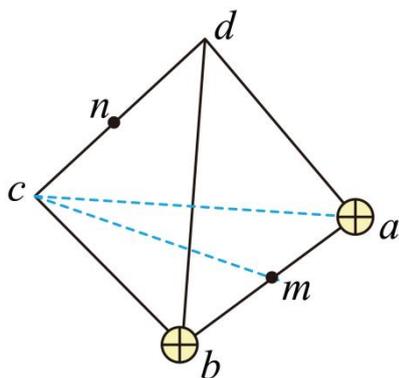
$2r$ 的圆轨道上做圆周运动的线速度大小为 $v_2 = \sqrt{\frac{GM}{2r}}$ ，设卫星在椭圆轨道上 B 点的速度为 v_B ，由

$vr = v_B \cdot 2r$ ，可知在 A 点时发动机对卫星做功 $W_1 = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ ，在 B 点时发动机对卫星做的功为

$W_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}m(\frac{v}{2})^2$ ，因此 $W_1 - W_2 = \frac{5}{8}mv^2 - \frac{3GMm}{4r}$ ，B 正确，ACD 错误。

故选：B。

4. 空间中 a 、 b 、 c 、 d 四点位于正四面体的四个顶点， m 、 n 两点分别 ab 是和 cd 的中点。在 a 、 b 两点分别固定等量正电荷，正四面体对电场分布没有影响。下列说法正确的是（ ）



A. m 、 n 两点的电势相等

B. c 、 d 两点的电场强度相同

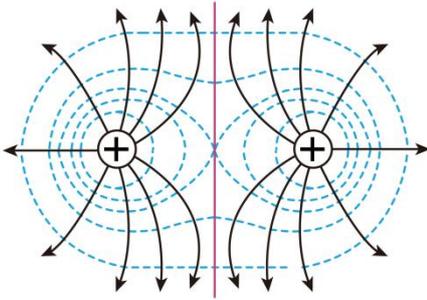
C. 带正电的试探电荷从 c 点沿 cm 移动到 m 点，试探电荷的电势能减小

D. 带负电的试探电荷从 c 点沿 cd 移动到 d 点，试探电荷的电势能先减少后增加

【答案】D

【解析】

【详解】A. 根据题意可知，等量同种电荷的等势面分布图，如图所示



由沿电场线方向，电势逐渐降低可知，离两个点电荷的距离越远电势越低，由于 n 点离两个点电荷的距离大于 m 点离两个点电荷的距离，则有

$$\varphi_m > \varphi_n$$

故 A 错误；

BD. c 、 d 两点离两个点电荷的距离相等，由对称性可知， c 、 d 两点电势相等，电场强度的大小相等，但方向不同，由于 n 点离两个点电荷的距离小于 c 、 d 两点离两个点电荷的距离，则有

$$\varphi_c = \varphi_d < \varphi_n$$

由 $E_p = \varphi q$ 可知，带负电的试探电荷从 c 点沿 cd 移动到 d 点，试探电荷的电势能先减少后增加，故 B 错误，

D 正确；

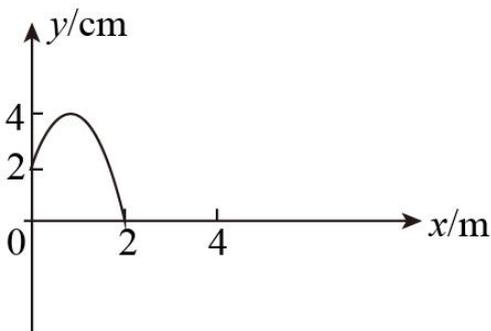
C. 由于 c 点离两个点电荷的距离大于 m 点离两个点电荷的距离，则有

$$\varphi_c < \varphi_m$$

则带正电的试探电荷从 c 点沿 cm 移动到 m 点，试探电荷的电势能增加，故 C 错误。

故选 D。

5. 空间中有一列简谐横波沿 x 轴正方向传播， $t=0$ s 时位于 O 点的波源开始振动。0.4s 时的波形如图所示，波源的位移 $y=2$ cm，下列说法正确的是 ()



A. 波源起振方向是沿 y 轴负方向

B. 波源的振动周期是 0.8s

C. 简谐波的波长 4.2m

D. 再经过 0.64s 时, $x=4\text{m}$ 处的质点到达波峰

【答案】D

【解析】

【分析】

【详解】A. 根据波形的平移法判断可知, 图示时刻 $x=2\text{m}$ 处质点的振动方向沿 y 轴正方向, 因此波源开始振动时的方向也为沿 y 轴正方向运动, 故 A 错误;

B. 由波形图可知

$$\frac{5}{12}T = 0.4\text{s}$$

则周期为

$$T = 0.96\text{s}$$

故 B 错误;

C. 波速为

$$v = \frac{s}{t} = 5\text{m/s}$$

波长为

$$\lambda = vT = 4.8\text{m}$$

故 C 错误;

D. 0.4s 时的波形如图所示, 波峰位于

$$x = 0.8\text{m}$$

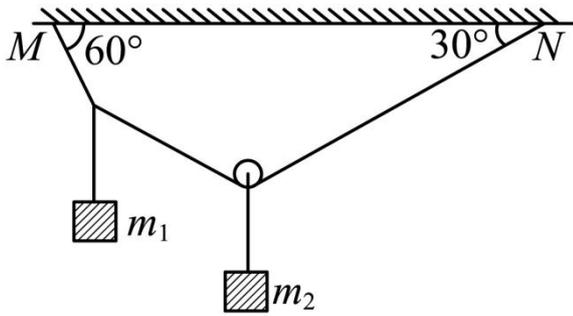
再经过 0.64s 时, 波向前传播

$$s = vt = 3.2\text{m}$$

则 $x=4\text{m}$ 处的质点到达波峰, 故 D 正确。

故选 D。

6. 如图所示, 轻绳 MN 的两端固定在水平天花板上, 物体 m_1 通过另一段轻绳系在轻绳 MN 的某处, 光滑轻滑轮跨在轻绳 MN 上, 可通过其下边的一段轻绳与物体 m_2 一起沿 MN 自由移动。系统静止时轻绳 MN 左端与水平方向的夹角为 60° , 右端与水平方向的夹角为 30° 。则物体 m_1 与 m_2 的质量之比为 ()



A. 1: 1

B. 1: 2

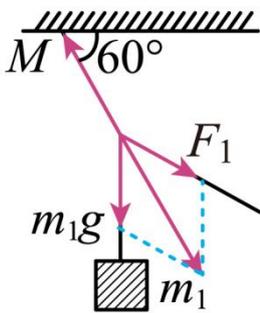
C. $1:\sqrt{3}$

D. $\sqrt{3}:2$

【答案】A

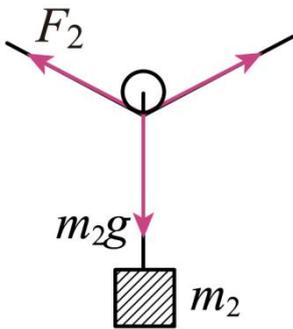
【解析】

【详解】对物体 m_1 上端绳结受力分析如图所示



根据共点力平衡及几何关系，合力正好平分两个分力的夹角，可得

$$F_1 = m_1 g$$



对滑轮受力分析得

$$F_2 = m_2 g$$

根据轻绳拉力特点可知

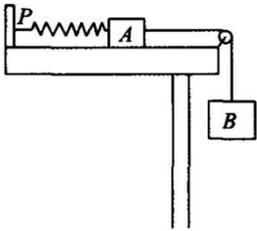
$$F_1 = F_2$$

则

$$m_1 = m_2$$

A 正确。故选 A。

7. 如图所示，轻质弹簧的一端与固定的竖直挡板 P 拴接，另一端与物体 A 相连，物体 A 置于光滑水平桌面上（桌面足够大）， A 右端连接一细线，细线绕过光滑的定滑轮与物体 B 相连。开始时托住 B ，让 A 处于静止且细线恰好水平伸直，然后由静止释放 B ，直至其获得最大速度。已知物体 A 始终没有碰到滑轮，弹簧始终在弹性限度内，不计空气阻力。关于该过程，下列说法正确的是（ ）



- A. 物体 B 受到细线的拉力保持不变
- B. 物体 B 机械能的减少量等于弹簧弹性势能的增加量
- C. 物体 A 动能的增量小于物体 B 所受重力对 B 做的功与弹簧弹力对 A 做的功之和
- D. 物体 A 与弹簧所组成的系统机械能的增加量等于物体 B 所受重力对 B 做的功

【答案】 C

【解析】

【详解】 A. 物体 B 下降的过程中， B 的速度逐渐增大，弹簧弹力逐渐增大，因此加速度逐渐减小，对物体 B 进行受力分析可知，绳子拉力逐渐增大， A 错误；

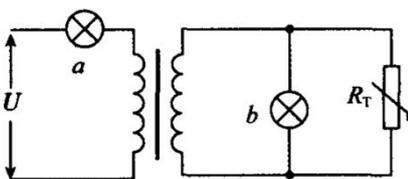
B. 根据能量守恒可知，物体 B 机械能的减小量等于弹簧弹性势能的增量和物体 A 动能的增量之和， B 错误；

C. 根据动能定理可知物体 A 动能的增量等于弹簧对 A 做的负功与绳子拉力对 A 做的正功之和，而由于物体 B 加速下降，绳子拉力小于 B 的重力，因此物体 A 动能的增量小于物体 B 所受重力对 B 做的功与弹簧弹力对 A 做的功之和， C 正确；

D. 物体 A 与弹簧所组成的系统机械能的增加量等于绳子拉力对 A 做的功，而绳子拉力小于 B 所受的重力， D 错误。

故选 C 。

8. 如图所示，输入电压有效值 $U = 3U_0$ 且保持不变，完全相同的灯泡 a 、 b 两端的电压均为 U_0 ，已知 R_T 为随温度升高阻值减小的热敏电阻，变压器为理想变压器，两灯泡阻值不变且始终未烧坏，下列说法正确的是（ ）



- A. 原、副线圈的匝数之比为3:1
- B. 流经灯泡 a 的电流与热敏电阻的电流之比为1:1
- C. 若热敏电阻 R_T 温度升高, 灯泡 a 变亮、 b 变暗
- D. 若热敏电阻 R_T 温度升高, 灯泡 a 变亮、 b 变亮

【答案】BC

【解析】

【详解】A. 由于灯泡 a 两端的电压为 U_0 , 因此加在原线圈两端的电压为 $2U_0$, 根据

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

可知原、副线圈的匝数之比

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{2U_0}{U_0} = \frac{2}{1}$$

A 错误;

B. 根据

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

原、副线圈电流之比

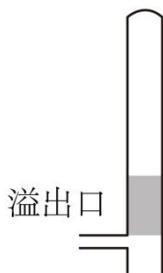
$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{2}{1}$$

而流过灯泡的电流相等, 因此流经灯泡 a 的电流与热敏电阻的电流之比为1:1, B 正确;

CD. 若热敏电阻 R_T 温度升高, 电阻减小, 副线圈的总电阻减小, 总电流增大, 导致原线圈的电流增大, 加在灯泡 a 两端的电压升高, 灯泡 a 变亮, 原线圈分得的电压降低, 从而副线圈电压降低, 灯泡 b 变暗, C 正确, D 错误。

故选 BC。

9. 如图所示, 一开口竖直向下导热良好的玻璃管用水银柱封闭一定质量的空气。水银柱长度为 15cm, 下端刚好与玻璃管溢出口平齐; 被封闭的空气柱长度为 30cm。此时周围环境温度为 27°C , 大气压强为 75cmHg 。现将玻璃管缓慢旋转至开口竖直向上(水银没溢出玻璃管), 然后再加热至 231°C 。下列说法正确的是()



- A. 玻璃管刚好旋转至开口向上时管内空气柱长度为 20cm
- B. 玻璃管刚好旋转至开口向上时管内空气柱长度为 25cm
- C. 将玻璃管加热至 231°C 时空气柱长度为 33.6cm
- D. 将玻璃管加热至 231°C 时空气柱长度为 36cm

【答案】 AD

【解析】

【详解】 AB. 设玻璃管横截面积为 S ，则倒置时管内气体压强为 p_1 ，由平衡条件可知

$$p_1 S + \rho S h g = p_0 S$$

解得

$$p_1 = 60 \text{cmHg}$$

管内气柱体积为

$$V_1 = h_1 S$$

将玻璃管缓慢倒置过来，稳定后管内气体压强为 p_2 ，由平衡条件得

$$p_2 S = p_0 S + \rho S h g$$

解得

$$p_2 = 90 \text{cmHg}$$

设此时管内气体气柱长度为 h_2 ，则

$$V_2 = h_2 S$$

根据玻意耳定律可得

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

解得

$$h_2 = 20 \text{cm}$$

故 A 正确，B 错误；

CD. 假设加热过程中, 水银未溢出。将玻璃管加热至 231°C 的过程中管内气体为等压变换, 玻璃管气柱高度为 h_3 , 则

$$V_3 = h_3 S$$

由盖—吕萨克定律得

$$\frac{V_2}{T_1} = \frac{V_3}{T_2}$$

由单位换算

$$T_1 = 300\text{K}, T_2 = 504\text{K}$$

解得

$$h_3 = 33.6\text{cm} > 30\text{cm}$$

故有部分水银溢出, 此种结果不符合题意, 需要舍弃。

设水银溢出后, 水银柱高度为 h' , 则

$$p_0 g h' S + p_0 S = p_3 S$$

设温度加热到 T_3 时, 水银柱上端正好与溢出口平齐且不溢出, 则由盖—吕萨克定律得

$$\frac{V_2}{T_1} = \frac{V_1}{T_3}$$

解得

$$T_3 = 450\text{K}$$

水银柱上端正好与溢出口平齐后再继续加热到 $T_2 = 504\text{K}$, 则

$$\frac{p_2 S h_1}{T_3} = \frac{p_3 S (L - h')}{T_2}$$

联立以上方程, 解得

$$h' = 9\text{cm}$$

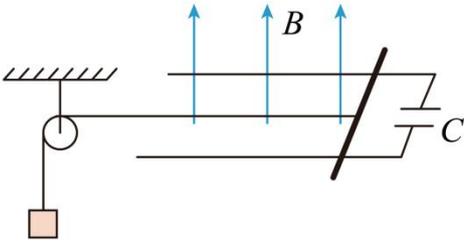
则空气柱长度为

$$h_3 = L - h' = 36\text{cm}$$

故 C 错误, D 正确。

故选 AD。

10. 如图所示，水平面内有两根间距为 d 的光滑平行导轨，右端接有电容为 C 的电容器。一质量为 m 的导体棒固定于导轨上某处，轻绳一端连接导体棒，另一端绕过定滑轮下挂一质量为 M 的物块。由静止释放导体棒，物块下落从而牵引着导体棒向左运动。空间中存在垂直导轨平面的匀强磁场，磁场磁感应强度大小为 B ，不计导体棒和导轨的电阻，忽略绳与定滑轮间的摩擦。若导体棒运动过程中电容器未被击穿，导体棒始终与导轨接触良好并保持垂直，重力加速度为 g ，则在物块由静止下落高度为 h 的过程中（ ）



- A. 物块做加速度逐渐减小的加速运动
- B. 物块与导体棒组成的系统减少的机械能等于导体棒克服安培力做的功
- C. 轻绳的拉力大小为 $\frac{Mg(m + B^2 d^2 C)}{M + m + B^2 d^2 C}$
- D. 电容器增加的电荷量为 $CBd\sqrt{\frac{2Mgh}{M + m + B^2 d^2 C}}$

【答案】BCD

【解析】

【详解】A. 根据法拉第电磁感应定律可知，导体棒产生的感应电动势为

$$U = Bdv$$

电容器两端电压在 Δt 时间内的变化量为

$$\Delta U = Bd\Delta v$$

在 Δt 时间内电容器储存的电荷量的变化量为

$$\Delta Q = C\Delta U$$

则回路中的电流为

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

导体棒所受安培力为

$$F = BId$$

根据牛顿第二定律可得

$$Mg - F = (M + m)a$$

联立解得

$$a = \frac{Mg}{M + m + B^2 d^2 C}$$

易知物块做匀加速直线运动。故 A 错误；

B. 根据能量守恒可知物块与导体棒组成的系统减少的机械能等于导体棒克服安培力做的功。故 B 正确；

C. 对物块受力分析，由牛顿第二定律可知

$$Mg - T = Ma$$

解得

$$T = \frac{Mg(m + B^2 d^2 C)}{M + m + B^2 d^2 C}$$

故 C 正确；

D. 电容器增加的电荷量为

$$\Delta Q = CBd\Delta v$$

又

$$v^2 = 2ah$$

解得

$$\Delta Q = CBd\sqrt{\frac{2Mgh}{M + m + B^2 d^2 C}}$$

故 D 正确。

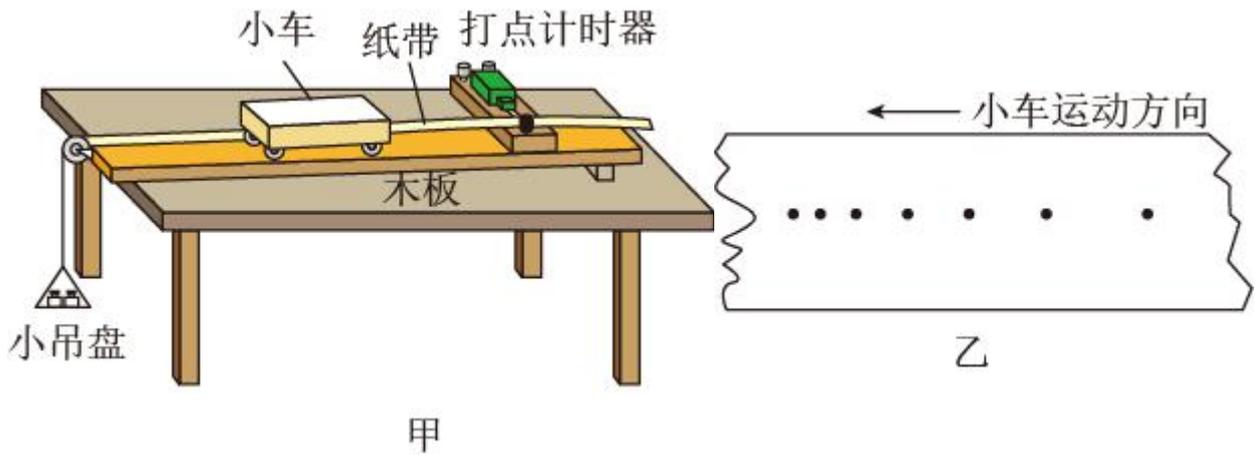
故选 BCD。

第II卷（非选择题共 54 分）

二、非选择题：本题共 5 小题，共 54 分。带*题目为能力提升题，分值不计入总分。

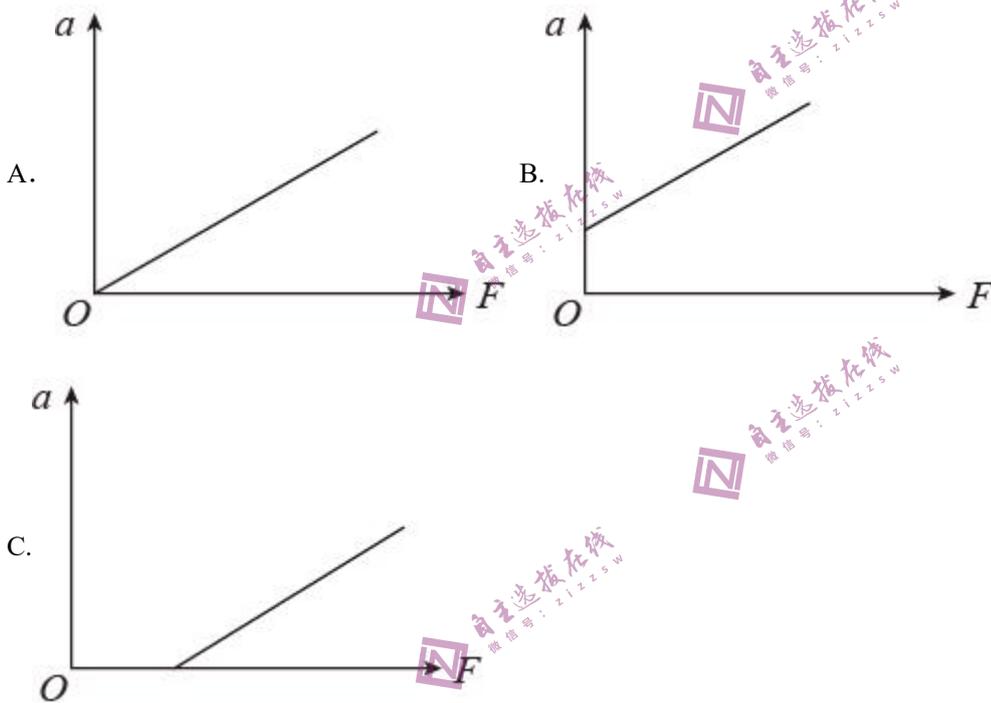
11. 某同学进行“探究加速度与物体受力的关系”的实验。将实验器材按图甲所示安装好。已知打点计时器的工作频率为 50 Hz。请完成下列相关内容：

(1) 该同学在进行平衡摩擦力的操作时，将木板垫高后，在_____（选填“挂”或“不挂”）小吊盘（含砝码）的情况下，轻推小车，让小车拖着纸带运动，得到了如图乙所示的纸带，则该同学平衡摩擦力时木板的倾角_____（选填“过大”“过小”或“适中”）。

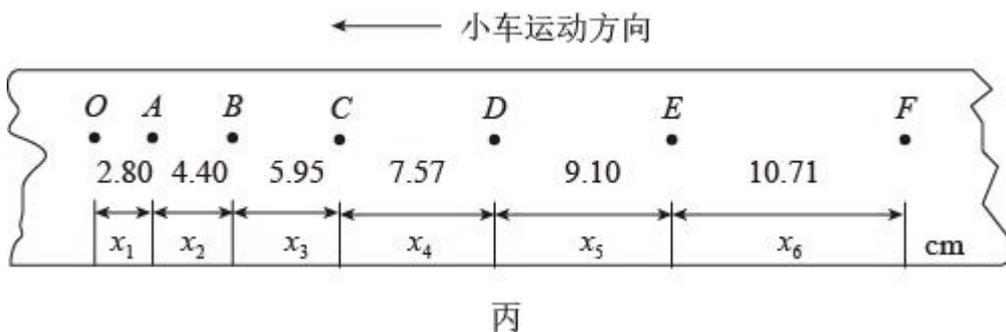


(2) 该同学按步骤(1)操作后,保持小车质量不变,通过改变小吊盘中砝码的质量来改变小车受到的合外力,得到了多组数据。

①根据实验数据作出了如下 $a-F$ 图像,则符合该同学实验结果的是_____。



②某次实验打出的纸带如图丙所示,其中每两个计数点之间有四个计时点未画出,则对应的小车加速度为_____ m/s^2 ; 打点计时器打 E 点时,对应的小车速度为_____ m/s 。(计算结果保留两位有效数字)



【答案】 ①. 不挂 ②. 过大 ③. B ④. 1.6 ⑤. 0.99

【解析】

【详解】(1) [1]在平衡摩擦力时，小车在运动方向上只受到摩擦力和重力的分力，所以不挂小吊盘（含砝码）。

[2]由题图乙可知纸带上点间距随小车的运动不断增大，说明小车做加速运动，即平衡摩擦力过度，则该同学平衡摩擦力时木板的倾角过大。

(2) ①[3]当平衡摩擦力过度时，小车在 $F=0$ 时即具有加速度，故 B 图像符合该同学的实验结果。故选 B。

②[4]由题意可知相邻两计数点间的时间间隔为

$$T=5 \times 0.02\text{s}=0.1\text{s}$$

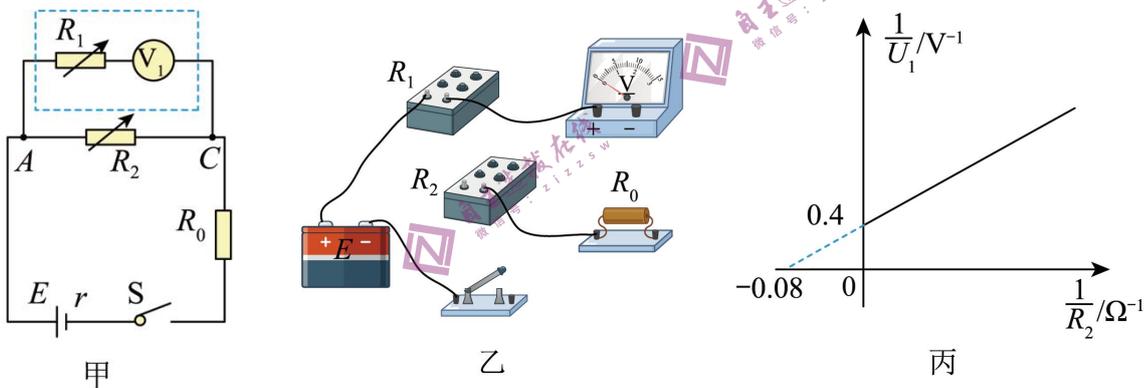
根据逐差法可得小车的加速度为

$$a = \frac{x_{CD} + x_{DE} + x_{EF} - x_{OA} - x_{AB} - x_{BC}}{9T^2} = \frac{(7.57 + 9.10 + 10.71 - 2.80 - 4.40 - 5.95) \times 10^{-2}}{9 \times 0.1^2} \text{m/s}^2 \approx 1.6 \text{m/s}^2$$

[5]打点计时器打 E 点时，对应的小车速度为 D、F 间的平均速度，即

$$v_E = \frac{x_{DF}}{2T} = \frac{(9.10 + 10.71) \times 10^{-2}}{2 \times 0.1} \text{m/s} \approx 0.99 \text{m/s}$$

12. 某实验小组用如图甲所示的电路测量电池的电动势和内阻，该电池的电动势 E 约为 9V、内阻 r 约为 2Ω ，允许流过的最大电流为 0.9A。现有量程为 0~2.5V、内阻为 $2\text{k}\Omega$ 的电压表 V_1 ，电阻箱 R_1 、 R_2 和定值电阻 $R_0=10\Omega$ ，开关 S，导线若干。请回答下列问题：



(1) 将电压表 V_1 和电阻箱 R_1 改装成量程为 0~10V 的新电压表 V_2 ，电阻箱 R_1 的阻值应该调节为 $\text{k}\Omega$ 。

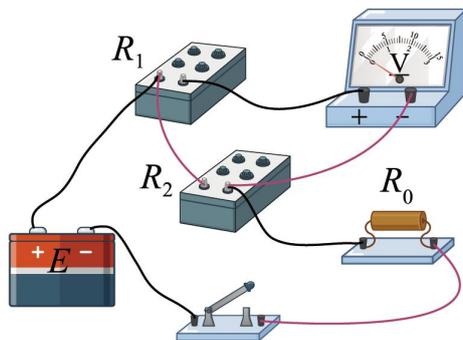
(2) 该小组将改装好的新电压表 V_2 （虚线框内）正确接在 A、C 之间，如图甲所示。请根据图甲中的电路图用笔画线代替导线，将图乙中的实物图连接成完整电路 。

(3) 正确连接电路后，闭合开关 S，调节电阻箱 R_2 ，测出多组 R_2 的阻值和原电压表 V_1 的示数 U_1 ，根据实验数据，用描点法绘出 $\frac{1}{U_1} - \frac{1}{R_2}$ 图像，如图丙所示。依据图像，可得电源的电动势 $E=$ V，内阻 $r=$ Ω

（结果均保留两位有效数字）。

【答案】 ①. 6##6.0 ②.

③. 10 ④. 2.5



【解析】

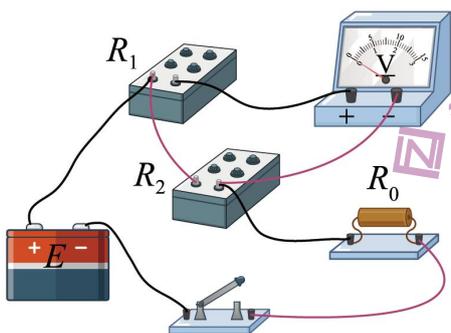
【详解】(1) [1]根据电压表改装原理有

$$10\text{V} = 2.5\text{V} + \frac{2.5}{2 \times 10^3} R_1$$

解得

$$R_1 = 6\text{k}\Omega$$

(2) [2]实物图连接如图所示



(3) [3][4]根据电路图可知 R_2 两端的电压为

$$U_2 = U_1 + \frac{U_1 R_1}{R_{V1}} = \frac{U_1 (R_{V1} + R_1)}{R_{V1}}$$

则干路中的电流为

$$I = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_1 (R_{V1} + R_1)}{R_{V1} R_2}$$

根据闭合电路欧姆定律有

$$E = U_2 + I(R_0 + r)$$

将电流 I 代入得

$$E = \frac{U_1 (R_{V1} + R_1)}{R_{V1}} + \frac{U_1 (R_{V1} + R_1)}{R_{V1} R_2} (R_0 + r)$$

变形得

$$\frac{1}{U_1} = \frac{(R_{V1} + R_1)}{ER_{V1}} + \frac{(R_{V1} + R_1)(R_0 + r)}{ER_{V1}} \times \frac{1}{R_2}$$

对比乙图可得

$$0.4 = \frac{(R_{V1} + R_1)}{ER_{V1}}, \quad \frac{0.4}{0.08} = \frac{(R_{V1} + R_1)(R_0 + r)}{ER_{V1}}$$

联立解得

$$E = 10V, \quad r = 2.5\Omega$$

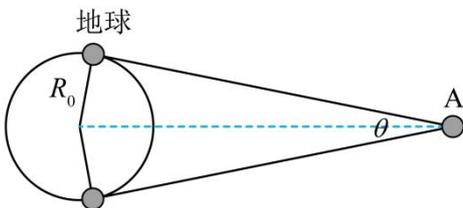
13. 人类太空探测计划旨在探测恒星亮度以寻找适合人类居住的宜居行星。在某次探测中发现距地球数光年处有一颗相对太阳静止的质量为 M 的恒星 A，将恒星 A 视为黑体，根据斯特藩-玻尔兹曼定律：一个黑体表面单位面积辐射出的功率与黑体本身的热力学温度 T 的四次方成正比，即黑体表面单位面积辐射出的功率为 σT^4 （其中 σ 为常数），A 的表面温度为 T_0 ，地球上正对 A 的单位面积接收到 A 辐射出的功率为 I 。已知 A 在地球轨道平面上，地球公转半径为 R_0 ，一年内地球上的观测者测得地球与 A 的连线之间的最大夹角为 θ （角 θ 很小，可认为 $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$ ）。恒星 A 有一颗绕它做匀速圆周运动的行星 B，该行星也可视为黑体，其表面的温度保持为 T_1 ，恒星 A 射向行星 B 的光可看作平行光。已知引力常量为 G ，求：

- (1) 恒星 A 的半径 R_A ；
- (2) 行星 B 的运动周期 T_B 。

【答案】(1) $R_A = \frac{2R_0}{T_0^2 \theta} \sqrt{\frac{I}{\sigma}}$ ；(2) $T_B = \sqrt{\frac{4\pi R_0^3 I^{\frac{3}{2}}}{GMT_1^6 \theta^3 \sigma^{\frac{3}{2}}}}$

【解析】

【详解】(1) 根据题意可得恒星 A 与地球的位置关系如下图



恒星 A 辐射的总功率为

$$P_0 = 4\pi R_A^2 \sigma T_0^4$$

由于恒星 A 距地球数光年，远远大于地球绕太阳公转的半径，因此可认为一年内恒星 A 与地球的距离大小不变，设该距离为 L ，根据题意，由几何知识可得

$$L = \frac{R_0}{\tan \frac{\theta}{2}} \approx \frac{R_0}{\frac{\theta}{2}} = \frac{2R_0}{\theta}$$

故地球上正对 A 的单位面积接收到 A 辐射出的功率为

$$I = \frac{P_0}{4\pi L^2}$$

解得

$$R_A = \frac{2R_0}{T_0^2 \theta} \sqrt{\frac{I}{\sigma}}$$

(2) 设行星 B 的半径为 r ，轨道半径为 R ，由于恒星 A 射向行星 B 的光可看作平行光，则行星 B 接收到的来自恒星 A 的辐射总功率为

$$P_1 = \frac{P_0}{4\pi R^2} \cdot \pi r^2$$

行星 B 辐射出的总功率为

$$P_2 = 4\pi r^2 \sigma T_1^4$$

由于行星 B 温度恒定，因此行星 B 接收到的来自恒星 A 的辐射总功率与自身辐射出的总功率相等，即

$$P_1 = P_2$$

联合解得

$$R = \frac{R_0}{T_1^2 \theta} \sqrt{\frac{I}{\sigma}}$$

行星 B 绕恒星 A 做匀速圆周运动，根据万有引力提供向心力可得

$$T_B = \sqrt{\frac{4\pi R^3}{GM}} = \sqrt{\frac{4\pi R_0^3 I^2}{GMT_1^6 \theta^3 \sigma^2}}$$

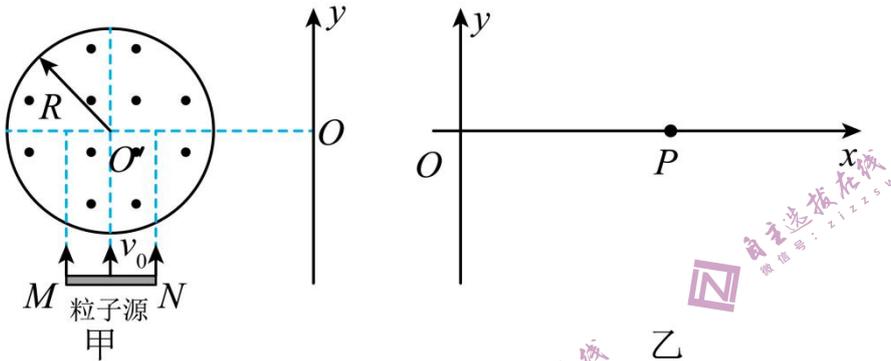
14. 为了探测带电粒子，研究人员设计了如图甲所示的装置。纸面内存在一个半径为 R 、圆心为 O' 的圆形匀强磁场区域，磁场方向垂直纸面向外，磁感应强度大小为 B ，该磁场区域在垂直纸面的方向上足够长。以 O' 右边的 O 点为坐标原点建立一平面直角坐标系 xOy ， O 和 O' 两点间距离为 $2R$ 。 y 轴与 OO' 连线垂直， x 轴（图甲中未画出）正方向垂直纸面向里，在 xOy 平面内存在一个足够大的探测屏。纸面内圆形磁场区域正下方存在一个长度为 R 且与 y 轴垂直的线状粒子源 MN ， O' 在 MN 的中垂线上， O' 到 MN 的垂直距离为 $1.5R$ 。该粒子源各处均能持续不断的发射质量为 m 、电荷量为 $+q$ 的粒子，粒子发射时的速度大小均相同，方向均沿 y 轴正方向，从粒子源 MN 中点发射的粒子离开磁场时速度恰好沿 $O'O$ 方向，不计粒子重力和粒子间相互作用力。

(1) 求粒子发射时的速度大小 v_0 ;

(2) 求粒子源左端点 M 与右端点 N 发射的粒子从发射到打到屏上所经历的时间之差 Δt ;

(3) 若在圆形区域内再加上一个沿 x 轴正方向、场强 $E = \frac{qRB^2}{m}$ 且足够长的匀强电场，此时从粒子源发射的粒子都能打到探测屏上，其中，粒子源中点发射的粒子打在屏上的 P 点，如图乙所示，求该粒子打到屏上时的速度大小 v_P ;

(4) 在 (3) 问条件下，求从粒子源右端点 N 发射的粒子打在屏上的位置坐标。



【答案】(1) $\frac{qBR}{m}$; (2) $\frac{\pi m}{3qB}$; (3) $\frac{\sqrt{\pi^2 + 4}}{2m} qRB$; (4) $\left(\frac{\pi^2 + 4\sqrt{3}\pi}{18} R, \frac{\sqrt{3}}{3} R \right)$

【解析】

【详解】(1) 分析可知粒子做圆周运动的半径为 R ，由

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

得

$$v_0 = \frac{qBR}{m}$$

(2) 分析可知粒子源左端点 M 与右端点 N 发射的粒子均从磁场边界与 OO' 交点射出，且转过的圆心角分别为：

$$\theta_M = \frac{2\pi}{3}$$

$$\theta_N = \frac{\pi}{3}$$

两粒子在磁场中运动的周期为

$$T = \frac{2\pi R}{v_0}$$

两粒子在磁场中运动的时间分别为

$$t_M = \frac{\theta_M}{2\pi} T$$

$$t_N = \frac{\theta_N}{2\pi} T$$

由于两个粒子在匀强磁场区域外部运动的时间相等，所以 Δt 即为在磁场中运动的时间差即

$$\Delta t = t_M - t_N$$

得

$$\Delta t = \frac{\pi m}{3qB}$$

(3) 对从粒子源中点发射的粒子沿电场方向有

$$Eq = ma$$

$$v_x = at_{\text{中}}$$

运动时间

$$t_{\text{中}} = \frac{T}{4}$$

出磁场时的速度

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_x^2}$$

由于此粒子出磁场后做匀速直线运动故当其打在屏上时的速度

$$v_P = v$$

得

$$v_P = \frac{\sqrt{\pi^2 + 4}}{2m} qRB$$

(4) N 点发出的粒子出磁场时沿 x 轴方向的速度为

$$v'_x = at_N$$

它在磁场外匀速运动的时间为

$$t_{\text{匀}} = \frac{R}{v_0 \cos 30^\circ}$$

则其横坐标为

$$x = \frac{1}{2} at_N^2 + v'_x \cdot t_{\text{匀}}$$

纵坐标为

$$y = R \tan 30^\circ$$

综上所述，所求坐标为 $\left(\frac{\pi^2 + 4\sqrt{3}\pi}{18}R, \frac{\sqrt{3}}{3}R\right)$ 。

15. 如图所示，倾角 $\theta=30^\circ$ 的足够长光滑斜面固定在水平面上，斜面上某位置固定有垂直于斜面的挡板 P 。

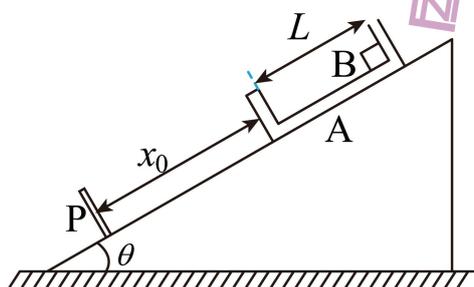
质量 $M = 0.5\text{kg}$ 的凹槽 A 在外力作用下静止在斜面上，凹槽 A 下端与固定挡板间的距离 $x_0 = 2.5\text{m}$ ，凹槽两端挡板厚度不计。质量 $m = 0.5\text{kg}$ 的小物块 B （可视为质点）紧贴凹槽上端放置，物块与凹槽间的动摩擦

因数 $\mu = \frac{\sqrt{3}}{3}$ 。 $t = 0$ 时撤去外力，凹槽与物块一起自由下滑， $t = 1.5\text{s}$ 时物块与凹槽发生了第一次碰撞。整个

运动过程中，所有碰撞均为弹性碰撞，且碰撞时间极短，可忽略不计。重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$ ， $\sqrt{6} = 2.4$ 。

求：

- (1) 凹槽与挡板发生第一次碰撞前瞬间物块的速度大小；
- (2) 凹槽的长度；
- (3) 凹槽与挡板发生第二次碰撞时，物块到挡板 P 的距离；
- (4) 从凹槽与物块一起自由下滑开始 ($t = 0$)，到物块与凹槽发生第二次碰撞时所用的时间。



【答案】 (1) 5m/s ；(2) 3.75m ；(3) 0.9375m ；(4) 1.90s

【解析】

【详解】 (1) 以整体为研究对象，从开始到凹槽与挡板发生第一次碰撞的过程中。由牛顿第二定律得

$$(m + M)g \sin \theta = (m + M)a_1$$

由运动学规律得

$$x_0 = \frac{1}{2}a_1 t_1^2$$

解得

$$v_0 = a_1 t_1 = 5\text{m/s}$$

(2) 由题意可知

$$Mg \sin \theta = mg \sin \theta = \mu mg \cos \theta$$

则凹槽与挡板发生第一次碰撞后，物块将以 v_0 匀速下滑，凹槽匀减速上滑。由牛顿第二定律得

$$Mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta = Ma_2$$

凹槽与物块第一次碰撞前瞬间的速度大小为

$$v_{A1} = v_0 - a_A(t - t_1) = 0$$

解得凹槽的长度为

$$L = \frac{v_0}{2} t_2 + v_0(t - t_1) = 3.75\text{m}$$

(3) 凹槽与物块发生第一次碰撞过程中，由动量守恒定律

$$mv_0 = Mv_{A2} + mv_{B1}$$

根据机械能守恒定律

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}Mv_{A2}^2 + \frac{1}{2}mv_{B1}^2$$

此时凹槽距挡板的距离

$$x_1 = \frac{v_0}{2}(t - t_1) = 1.25\text{m}$$

凹槽与物块发生第一次碰撞后，凹槽以 v_{A2} 匀速下滑，物块匀加速下滑。由牛顿第二定律得

$$mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = ma_2$$

凹槽从此位置到与挡板第二次碰撞时间为

$$t_2 = \frac{x_1}{v_{A2}} = 0.25\text{s}$$

此时物块与挡板间的距离为

$$x_2 = v_{A2}t_2 - \frac{1}{2}a_2t_2^2 = \frac{15}{16}\text{m} = 0.9375\text{m}$$

(4) 凹槽与挡板第二次碰撞后，凹槽沿斜面匀减速上滑，物块匀速下滑。此时物块的速度大小为

$$v_{B2} = a_2t_2$$

从此时到凹槽与物块发生第二次碰撞的过程中

$$x_2 = v_{A2}t_4 - \frac{1}{2}a_1t_4^2 + v_{B2}t_4$$

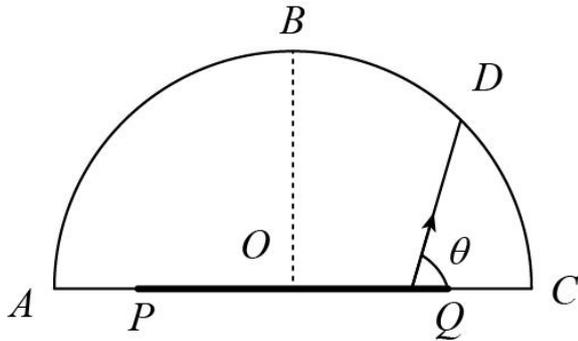
从开始到凹槽与物块发生第二次碰撞时的总时间为

$$t_{\text{总}} = t + t_3 + t_4 = 1.90\text{s}$$

16. 某型发光二极管的结构如图所示，其由半径为 $R=4\text{mm}$ 的半球体介质和发光管芯组成，发光管芯区域呈一个圆面，其圆心与半球体介质的球心 O 重合，圆弧 ABC 是半球体介质过球心 O 的纵截面， B 为圆弧 ABC 的中点， D 为圆弧 BDC 的中点， PQ 为发光管芯圆面的直径。由 PQ 上的某点发出的一条光线与半径 OC 的夹角为 $\theta=75^\circ$ ，这条光线经 D 点后的出射光线平行于半径 OB ，求：

(1) 介质的折射率；

(2) 为使从发光圆面沿平行于 OB 方向射向半球面上的所有光线都能直接射出，求发光管芯区域圆面的最大面积。（ π 取 3.14，结果保留两位有效数字）

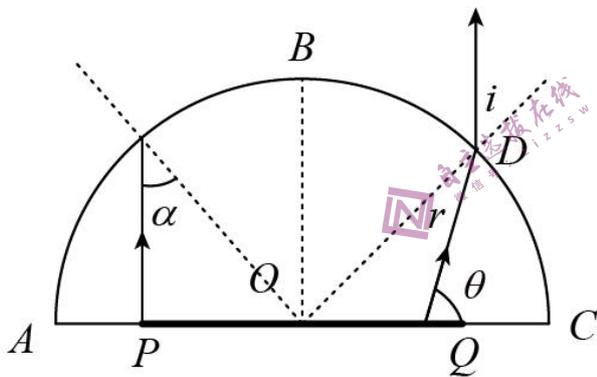


【答案】(1) $\sqrt{2}$ ；(2) $2.5 \times 10^{-5} \text{m}^2$

【解析】

【分析】

【详解】(1)如图所示，光线在 D 点折射时



$$n = \frac{\sin i}{\sin r}$$

由于 $i=45^\circ$ ， $r=30^\circ$ ，所以

$$n = \sqrt{2}$$

(2)沿平行 OB 方向入射的光，从 P 点或 Q 点入射时入射角最大，设此时入射角为 α ，发光圆面半径为 R_0 ，

则

$$\sin \alpha = \frac{R_0}{R}$$

设光发生全反射的临界角为 C ，则

$$\sin C = \frac{1}{n}$$

要使所有光能直接射出，需使 $\alpha \leq C$ ，当 $\alpha = C = 45^\circ$ 时， R_0 最大

$$\frac{R_0}{R} = \sin 45^\circ$$

解得

$$R_0 = \frac{\sqrt{2}}{2} R$$

则管芯发光区域面积最大值为

$$S = \pi R_0^2$$

解得

$$S = 2.5 \times 10^{-5} \text{m}^2$$