

名校联盟全国优质校 2023 届高三大联考

物理试题

一、单项选择题：本题共 4 小题，每小题 4 分，共 16 分。在每小题给出的四个选项中，只有一项是符合题目要求的。

1. 2022 年 11 月 30 日，在距地面 400km 的近圆轨道运行的天和核心舱与神舟十五号载人飞船成功对接，两个航天员乘组首次实现了“太空会师”。已知天和核心舱质量约为 24 吨，推进系统配置 4 台霍尔推进器用于轨道高度调整，总推力为 0.32N，则（ ）

- A. 神舟十五号载人飞船从发射到对接，运动路程为 400km
- B. 天和核心舱在轨道上绕行的速度大于 7.9km/s
- C. 能使质量为 0.32kg 物体产生 1cm/s^2 加速度的力为 0.32N
- D. 若 4 台霍尔推进器用于加速核心舱，持续运行一天，最大能使核心舱产生约 1.15m/s 的速度增量

【答案】D

【解析】

【详解】A. 神州十五号载人飞船从发射到对接过程中飞船运行轨迹不是直线，所以运动路程不为 400km，故 A 错误；

B. 根据

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

可得

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

可知，半径越大，速度越小，所以天和核心舱在轨道上绕行的速度小于 7.9km/s，故 B 错误；

C. 由牛顿第二定律可得

$$F = ma = 0.32 \times 1 \times 10^{-2} \text{N} = 3.2 \times 10^{-3} \text{N}$$

故 C 错误；

D. 速度增量为

$$\Delta v = at = \frac{0.32}{24 \times 10^3} \times 24 \times 3600 \text{m/s} = 1.152 \text{m/s}$$

故 D 正确。

故选 D。

2. 有一项理论认为所有比铁重的元素都是超新星爆炸时形成的。已知 ^{235}U 和 ^{236}U 的半衰期分别为 0.704×10^9 年和 4.47×10^9 年，若地球上的铀来自 5.94×10^9 年前的恒星爆炸，且爆炸时产生相同数量的

^{235}U 和 ^{236}U ，则目前地球上两者的数量比 $\frac{^{235}\text{U}}{^{236}\text{U}}$ 约为 ()

- A. $\left(\frac{1}{2}\right)^9$ B. $\left(\frac{1}{2}\right)^7$ C. $\left(\frac{1}{2}\right)^5$ D. $\left(\frac{1}{2}\right)^3$

【答案】B

【解析】

【详解】设 ^{235}U 和 ^{236}U 爆炸时数量为 m ，则有

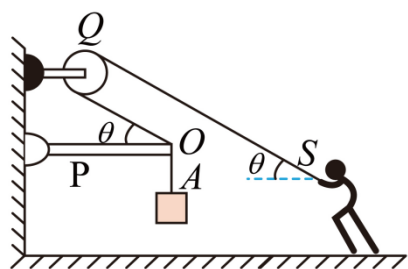
$$m_{^{235}\text{U余}} = m \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{5.94 \times 10^9}{0.704 \times 10^9}}, \quad m_{^{236}\text{U余}} = m \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{5.94 \times 10^9}{4.47 \times 10^9}}$$

则

$$\frac{m_{^{235}\text{U余}}}{m_{^{236}\text{U余}}} \approx \left(\frac{1}{2}\right)^{6.35}$$

故选 B。

3. 如图所示为某健身器械的原理示意图，轻杆 P 一端通过铰链固定在墙壁，另一端通过轻绳 OA 与一重为 G 的重物连接。某同学利用轻绳 OS 绕过光滑轻质定滑轮 Q 吊起重物并保持静止，此时轻杆 P 保持水平，绳 QS 段与 OQ 段与水平方向夹角均为 $\alpha = 30^\circ$ ，则 ()

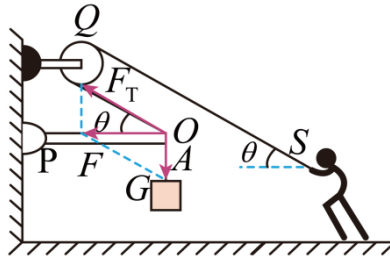


- A. 轻杆对节点 O 的作用力大小为 G
B. 细绳对人的拉力大小为 G
C. 地面对人的摩擦力大小为 $\sqrt{3}G$
D. 地面对人的支持力的大小等于人和重物的总重力大小

【答案】C

【解析】

【详解】A. 对节点 O 进行受力分析，如图



轻杆与节点 O 之间的作用力大小为

$$F = \frac{G}{\tan 30^\circ} = \sqrt{3}G$$

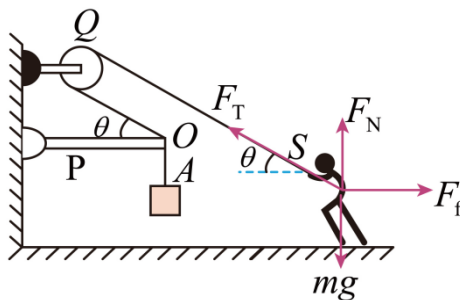
故 A 错误；

B. 细绳对人的拉力大小即为绳上拉力大小

$$F_T = \frac{G}{\sin 30^\circ} = 2G$$

故 B 错误；

C. 对人进行受力分析，如图



地面对人的摩擦力大小为

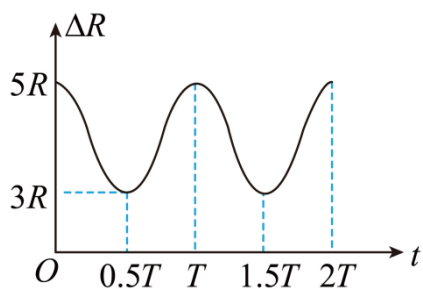
$$F_f = F_T \cos 30^\circ = \sqrt{3}G$$

故 C 正确；

D. 由于有绳子的拉力，地面对人的支持力的大小小于人自身重力。故 D 错误。

故选 C。

4. A、B 两颗卫星在同一平面内沿同一方向绕地球做匀速圆周运动，它们之间的距离 R 随时间变化的关系如图所示，已知地球的半径为 R ，卫星 A 的线速度大于卫星 B 的线速度，A、B 之间的万有引力忽略不计，则（ ）



- A. 卫星 A、B 轨道半径分别为 $3R$ 、 $5R$
- B. 卫星 A、B 做圆周运动周期之比为 $1:4$

C. 卫星 A 绕地球做圆周运动的周期为 $\frac{1}{8}T$

D. 地球的第一宇宙速度为 $\frac{16\pi R}{7T}$

【答案】D

【解析】

【详解】A. 由图可知，卫星 A 与卫星 B 的最大距离为 $5R$ ，卫星 A 与卫星 B 的最小距离为 $3R$ ，设卫星 A 的轨道半径为 r_A ，卫星 B 的轨道半径为 r_B ，则全科试题免费下载公众号《高中僧课堂》

$$r_B + r_A = 5R$$

$$r_B - r_A = 3R$$

解得

$$r_A = R$$

$$r_B = 4R$$

A 错误；

B. 由万有引力提供向心力可知

$$\frac{GMm}{r^2} = m \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

得

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$$

故卫星 A、B 做圆周运动周期之比为

$$\frac{T_A}{T_B} = \sqrt{\frac{r_A^3}{r_B^3}} = \frac{1}{8}$$

C. 由图可知每隔时间 T 两卫星相距最远一次，即

$$\frac{T}{T_A} - \frac{T}{T_B} = 1$$

解得卫星 A 绕地球做圆周运动的周期为

$$T_A = \frac{7}{8}T$$

C 错误；

D. 由万有引力提供向心力可知，对地球有

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

对卫星 A 有

$$\frac{GMm}{r_A^2} = m \frac{4\pi^2 r_A}{T_A^2}$$

联立解得

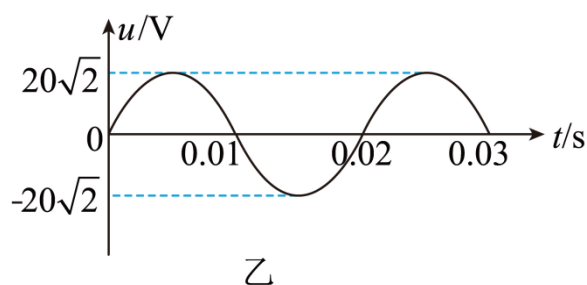
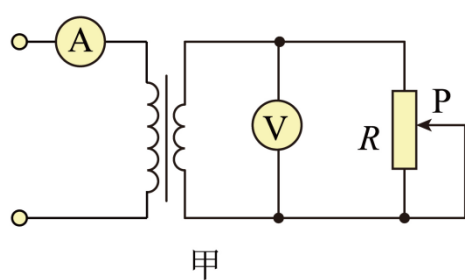
$$v = \frac{16\pi R}{7T}$$

D 正确。

故选 D。

二、多项选择题：本题共 4 小题，每小题 6 分，共 24 分。每小题有多项符合题目要求，全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

5. 图甲为一理想变压器，原副线圈匝数比为 2:1， R 为滑动变阻器，A、V 均为理想交流电表。若原线圈接入如图乙所示的正弦交变电压，则（ ）



- A. 电压表 V 的示数为 $10\sqrt{2}\text{V}$
- B. 该交变电流的方向每秒改变 100 次
- C. 滑动变阻器滑片 P 向下滑动时，电压表 V 示数增大
- D. 滑动变阻器滑片 P 向下滑动时，电流表 A 示数减小

【答案】BD

【解析】

【详解】A. 原线圈中接入的正弦交流电的电压有效值为

$$U_1 = \frac{20\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \text{V} = 20\text{V}$$

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

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

$$U_2 = \frac{n_2}{n_1} U_1 = \frac{1}{2} \times 20\text{V} = 10\text{V}$$

即电压表的示数为 10V，故 A 错误；

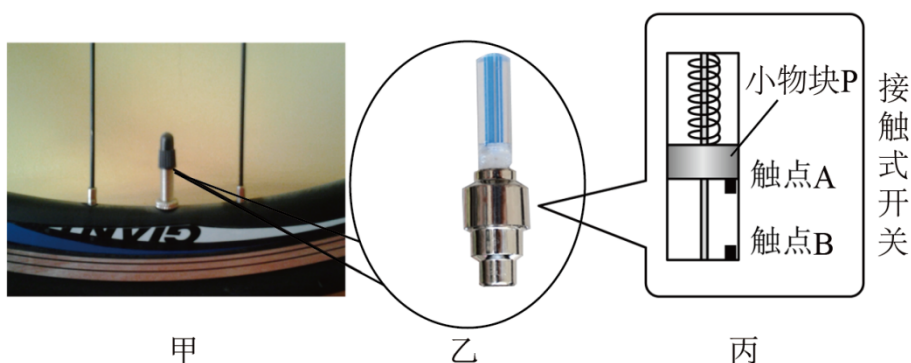
B. 由图乙可知，周期为 0.02s，一个周期内电流方向改变 2 次，则该交变电流的方向每秒改变 100 次，故 B 正确；

C. 副线圈两端电压由原线圈两端电压与匝数比决定，则滑动变阻器滑片 P 向下滑动时，电压表 V 示数不变，故 C 错误；

D. 由于副线圈两端电压不变，滑动变阻器滑片 P 向下滑动时，滑动变阻器接入电路中的电阻变大，则副线圈中的电流变小，所以原线圈中的电流变小，即电流表示数减小，故 D 正确。

故选 BD。

6. 如图甲、乙所示为自行车气嘴灯，气嘴灯由接触式开关控制，其结构如图丙所示，弹簧一端固定在顶部，另一端与小物块 P 连接，当车轮转动的角速度达到一定值时， P 拉伸弹簧后使触点 A 、 B 接触，从而接通电路使气嘴灯发光。触点 B 与车轮圆心距离为 R ，车轮静止且气嘴灯在最低点时触点 A 、 B 距离为 d ，已知 P 与触点 A 的总质量为 m ，弹簧劲度系数为 k ，重力加速度大小为 g ，不计接触式开关中的一切摩擦，小物块 P 和触点 A 、 B 均视为质点，则 ()



A. 要使气嘴灯能发光，车轮匀速转动的最小角速度为 $\sqrt{\frac{kd}{mR}}$

B. 要使气嘴灯能发光，车轮匀速转动的最小角速度为 $\sqrt{\frac{kd - mg}{mR}}$

C. 要使气嘴灯一直发光，车轮匀速转动的最小角速度为 $\sqrt{\frac{kd + 2mg}{mR}}$

D. 要使气嘴灯一直发光，车轮匀速转动的最小角速度为 $\sqrt{\frac{kd + mg}{mR}}$

【答案】AC

【解析】

【详解】AB. 当气嘴灯运动到最低点时发光，此时车轮匀速转动的角速度最小，则有

$$kd = m\omega^2 R$$

得

$$\omega = \sqrt{\frac{kd}{mR}}$$

故 A 正确，B 错误；

CD. 当气嘴灯运动到最高点时能发光，则

$$kd + 2mg = m\omega'^2 R$$

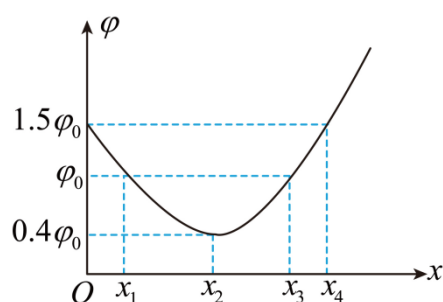
得

$$\omega' = \sqrt{\frac{kd + 2mg}{mR}}$$

即使气嘴灯一直发光，车轮匀速转动的最小角速度为 $\sqrt{\frac{kd + 2mg}{mR}}$ ，故 C 正确，D 错误。

故选 AC。

7. 在光滑绝缘水平面内有一沿 x 轴的静电场，其电势 φ 随 x 变化的图像如图所示。现有一质量为 m 、电荷量为 $-q(q>0)$ 的带电滑块，从 x_1 处开始以初速度 v_0 向 x 轴正方向运动，则 ()



A. $x_1 \sim x_4$ 之间电场强度先减小后增大

B. 滑块向右运动的过程中，加速度可能一直减小

C. 滑块最终可能在 $O \sim x_4$ 区间往复运动

D. 若滑块初速度 $v_0 > \sqrt{\frac{q\varphi_0}{m}}$ ，则滑块一定能到达 x_4

【答案】AB

【解析】

【详解】A. $\varphi-x$ 图线斜率表示场强，由图可知， $x_1 \sim x_4$ 之间电场强度先减小后增大，故 A 正确；

BCD. 当滑块运动到 x_2 处速度为 0，则有

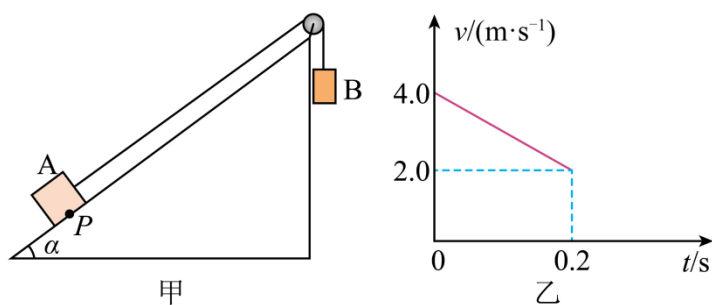
$$-q(\varphi_0 - 0.4\varphi_0) = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

得

$$v_0 = \sqrt{\frac{1.2q\varphi_0}{m}}$$

此过程中滑块向右运动，加速度一直减小，只要滑块的速度大于 v_0 就一定能到达 x_4 ， x_2 右侧的电场强度方向向左，电场力方向向右，在 x_2 右侧做加速运动，不可能在 $O \sim x_4$ 区间往复运动，故 B 正确，CD 错误。故选 AB。

8. 如图甲所示，倾角为 $\alpha = 37^\circ$ 的足够长粗糙斜面固定在水平地面上，物块 A、B 通过不可伸长的轻绳绕过光滑轻质定滑轮连接，静止时物体 A 处于 P 点且与斜面刚好无摩擦力。 $t = 0$ 时刻给物块 A 一个沿斜面向上的初速度， $t = 0$ 到 $t = 0.2\text{s}$ 内物块 A 速度随时间变化情况如图乙所示。物块 A、B 均可视为质点，物块 B 距地面足够高，已知最大静摩擦力等于滑动摩擦力， $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8$ ，重力加速度 g 取 10m/s^2 ，则 ()



A. 物块 A、B 的质量之比为 5:3

B. 物块 A 与斜面之间的动摩擦因数 $\mu = 0.4$

C. 物体 B 下落的最大高度为 2m

D. 物体 B 下落的最大高度为 1.25m

【答案】AD

【解析】

【详解】A. 设 A 的质量为 m_A ，B 的质量为 m_B ，根据题意可知静止时物体 A 处于 P 点且与斜面刚好无摩擦力，则由平衡条件可得

$$m_A g \sin 37^\circ = m_B g$$

解得

$$m_A : m_B = 5 : 3$$

故 A 正确；

B. 由图乙可得物体 A 的加速度大小为

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{4.0 - 2.0}{0.2} \text{ m/s}^2 = 10 \text{ m/s}^2$$

而在物块 A 沿着斜面体向上运动的过程中物块 B 做自由落体运动，0.2s 末的速度设为 v_B ，则有

$$v_B = gt = 10 \times 0.2 \text{ m/s} = 2 \text{ m/s}$$

可知在 0.2s 末物块 A 和物块 B 达到共速，在此过程中物块 A 的速度始终大于物块 B 的速度，因此连接 A、B 的绳子上拉力为零，由牛顿第二定律可得

$$\mu m_A g \cos 37^\circ + m_A g \sin 37^\circ = m_A a$$

解的

$$\mu = 0.5$$

故 B 错误；

CD. 0~0.2s 内，A 沿斜面上滑位移为

$$x_{A1} = \frac{v_0 + v_1}{2} t_1 = \frac{4 + 2}{2} \times 0.2 \text{ m} = 0.6 \text{ m}$$

B 自由下落高度为

$$x_{B1} = \frac{1}{2} g t_1^2 = 0.2 \text{ m}$$

二者沿绳子方向距离缩小了

$$\Delta x = x_{A1} - x_{B1} = 0.4 \text{ m}$$

设再经过 t_2 时间轻绳再次拉直，则对 A，有

$$x_{A2} = v_1 t_2 - \frac{1}{2} a t_2^2, \quad v_{A2} = v_1 - a t_2$$

对 B, 有

$$x_{B2} = v_1 t_2 + \frac{1}{2} g t_2^2, \quad v_{B2} = v_1 + g t_2$$

又

$$x_{B2} - x_{A2} = \Delta x = 0.4 \text{m}$$

联立可解得

$$t_2 = 0.2 \text{s}, \quad x_{B2} = 0.6 \text{m} \quad v_{A2} = 0 \quad v_{B2} = 4 \text{m/s}$$

0.4s 末轻绳绷紧, 系统内轻绳拉力大小远大于两物体的重力及摩擦力大小, 设轻绳拉力瞬间冲量为 I , 绷紧后二者速度大小为 v , 对 A 和 B 分别有

$$I = m_A v - 0, \quad -I = m_B v - m_B v_{B2}$$

解得

$$v = 1.5 \text{m/s}$$

绷紧后一起做匀减速直线运动, 由牛顿第二定律

$$m_A g \sin \alpha - \mu m_A g \cos \alpha - m_B g = (m_A + m_B) a'$$

解得

$$a' = 2.5 \text{m/s}^2$$

对 B 知其减速阶段位移

$$x_{B3} = \frac{v^2}{2a'} = \frac{1.5^2}{2 \times 2.5} \text{m} = 0.45 \text{m}$$

物体 B 下落的最大高度为

$$H = x_{B1} + x_{B2} + x_{B3} = 1.25 \text{m}$$

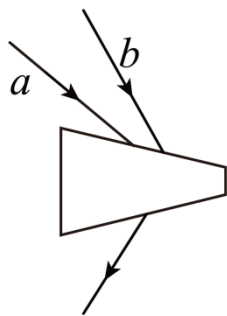
故 C 错误, D 正确。

故选 AD。

三、非选择题：共 60 分。考生根据要求作答。

9. 如图所示, a 、 b 为两束颜色不同的单色光, 它们以不同的入射角从空气射入梯形玻璃棱镜, 两条出射光线恰好合为一束, 则 b 光在玻璃中的折射率_____ (选填“大于”“等于”或“小于”) a 光在玻璃中的折射率; 若两束光通过同一双缝装置且都能形成干涉图样, 则_____ (选填“ a ”或“ b ”) 光条纹间

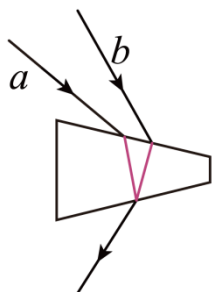
距较大。



【答案】 ①. 小于 ②. b

【解析】

【详解】 [1] 根据题意画出光路图，两束光出棱镜时，折射率相同， a 光的入射角小， b 光的入射角大，可得 a 光的折射率大， b 光的折射率小；

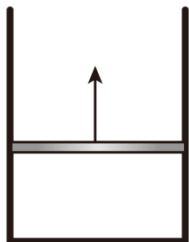


[2] 折射率大的光束波长小，根据条纹间距公式

$$\Delta x = \frac{l}{d} \lambda$$

知， b 光的折射率小，故 b 光条纹间距较大。

10. “天问一号”的发射开启了我国对火星的研究，假设未来人类在火星完成如下实验：将一导热性能良好的汽缸竖直固定在火星表面，用重力为 G 、横截面积为 S 的活塞封闭一定质量的理想气体，用竖直向上的外力将活塞缓慢上拉，当活塞距离汽缸底部的距离为原来的 2 倍时，拉力大小为 $2G$ ，已知实验过程中火星表面温度不变，则在此过程中理想气体_____（选填“吸热”或“放热”），火星表面的大气压为_____。



【答案】 ①. 吸热 ②. $\frac{2G}{S}$

【解析】

【详解】[1]由题意可知，理想气体温度不变，内能不变，体积增大，对外做功，由热力学第一定律

$\Delta U = Q + W$ 可知，则在此过程中理想气体吸热；

[2]设火星表面的大气压为 p_0 ，开始时有

$$p_1 = p_0 + \frac{G}{S}$$

后来有

$$p_2 S + 2G = G + p_0 S$$

得

$$p_2 = p_0 - \frac{G}{S}$$

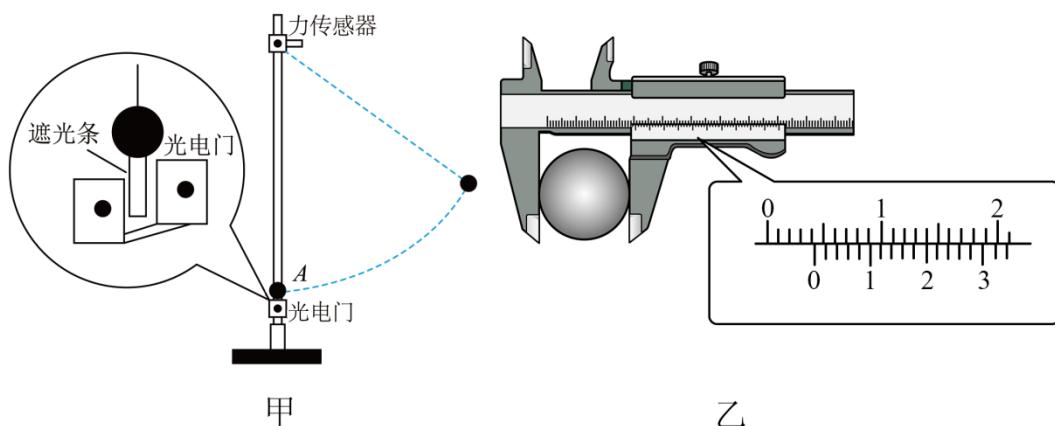
由等温变化得

$$p_1 S L = p_2 S \times 2L$$

解得

$$p_0 = \frac{2G}{S}$$

11. 某同学用如图甲所示的装置研究圆周运动的向心力与线速度的关系。细线的一端系住钢球，另一端连接在固定于铁架台上端的力传感器上，直径远小于细线长度的钢球静止于 A 点，将光电门固定在 A 的正下方，钢球底部竖直地粘住一片轻质遮光条。



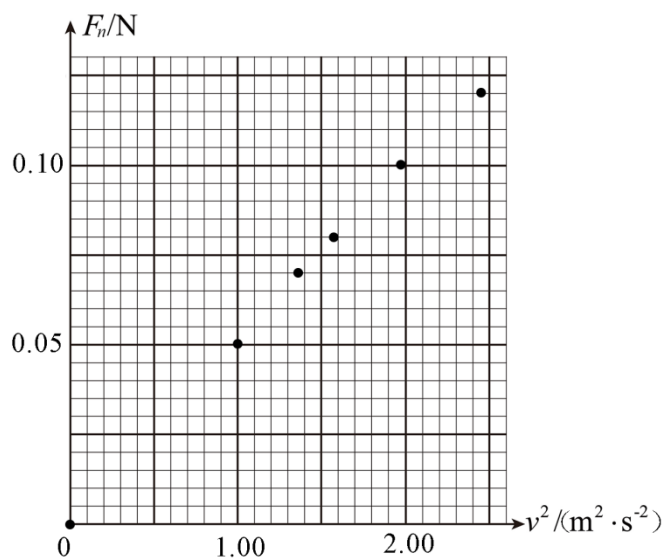
(1) 如图乙所示，用游标卡尺测得遮光条宽度 $x = \underline{\quad\quad\quad}$ mm。

(2) 将钢球拉至不同位置由静止释放，读出钢球经过 A 点时力传感器的读数 F 及光电门的遮光时间 Δt ，并算出经过 A 点时钢球的速度的平方值，记录数据如下：

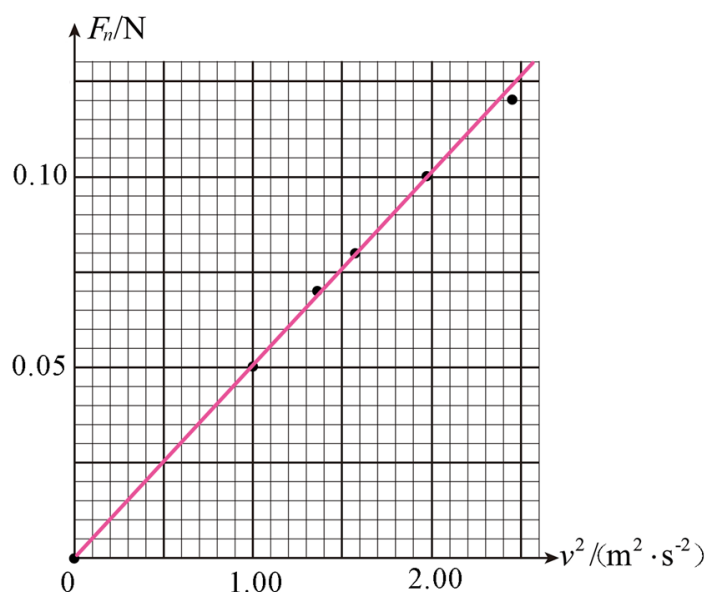
序号	1	2	3	4	5	6
F / N	0.49	0.54	0.56	0.57	0.59	0.61

$v^2 / \text{m}^2 \cdot \text{s}^2$	0	1.00	1.37	1.57	1.96	2.55
-------------------------------------	---	------	------	------	------	------

请根据表中数据在下图中描点，其中有 5 个数据点已描出，请补全第 5 个数据点，并作出向心力 F_n 与速度平方 v^2 的关系图像。_____



(3) 根据数据和图像，得到的实验结论是：_____。



【答案】 ①. 4.20 ②. ③. 在钢球质量和细线长度一定的情况下，在误差允许的范围内圆周运动的向心力大小与线速度的平方成正比

【解析】

【详解】(1) [1]通过读数得用游标卡尺测得遮光条宽度为

$$4\text{mm} + 0.02 \times 10\text{mm} = 4.20\text{mm}$$

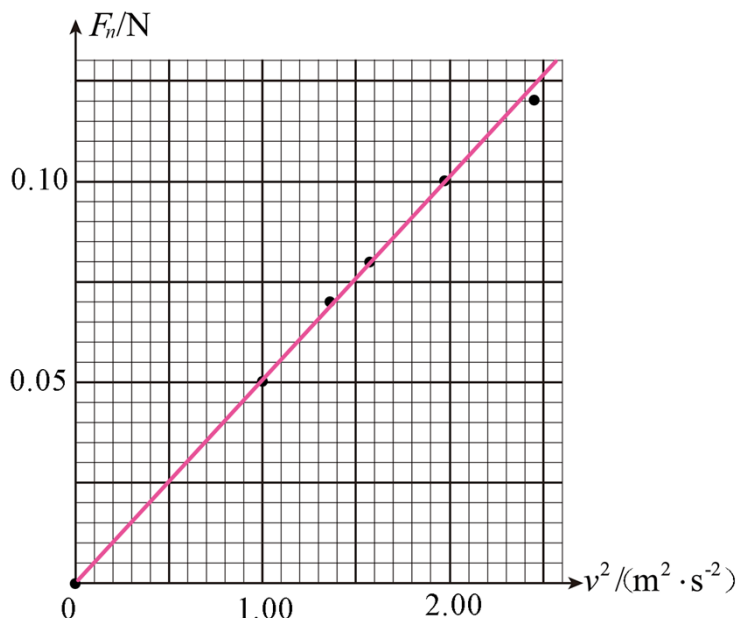
(2) [2]由第一组数据知钢球的重力大小为 0.49N，则小球过最低点时的向心力

$$F_n = F - mg$$

则其余各组数据对应的向心力大小都为各自的 F 减去 0.49N ，即

$F_2=0.06\text{N}$ ， $F_3=0.07\text{N}$ ， $F_4=0.08\text{N}$ ， $F_5=0.10\text{N}$ ， $F_6=0.12\text{N}$ ；将第 5 个数据点描入图中并拟合成一条直线如下

图

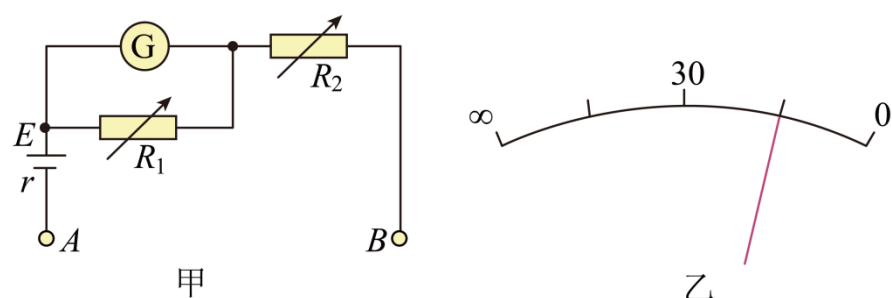


[3]图线是一条经过原点的倾斜的直线，说明在钢球质量和细线长度一定的情况下，在误差允许的范围内圆周运动的向心力大小与线速度的平方成正比。

12. 某同学根据闭合电路欧姆定律自制了一个两挡位欧姆表（“ $\times 10$ ”和“ $\times 100$ ”），其内部结构如图甲所示，

表盘部分刻度值如图乙所示，电池电动势为 $E=3\text{V}$ ，内阻 $r = 0.4\Omega$ 。表头的满偏电流 $I = 250\mu\text{A}$ ，内阻

$R = 480\Omega$ ，两电阻箱 R_1 、 R_2 调节范围均为 $0 \sim 9999.9\Omega$ 。回答以下问题：



(1) A 是该欧姆表的_____表笔（选填“红”或“黑”）；

(2) 使用欧姆表的“ $\times 100$ ”挡位测量电阻时，电阻箱 R_1 接入电路的阻值比“ $\times 10$ ”挡位时的阻值_____（选填“大”或“小”）；

(3) 使用欧姆表“ $\times 100$ ”挡位测量电阻时，应将两电阻箱的阻值分别调整为

$R_1 = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ ， $R_2 = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ ；

(4) 改装完成后, 使用欧姆表“ $\times 100$ ”挡位测量电阻时, 指针指在如图乙所示(指针相对初始位置偏转至四分之三), 则待测电阻的大小为 $R = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ 。

【答案】 ①. 红 ②. 大 ③. 160 ④. 2879.6 ⑤. 1000

【解析】

【详解】(1) [1]根据“红进黑出”可知, A 表笔为红表笔;

(2) [2]由题意可知, 欧姆表换挡通过改变电流表的量程进行的, “ $\times 100$ ”挡位时的中值电阻比“ $\times 10$ ”挡位时的大, 所以“ $\times 100$ ”挡位时电流表量程更小, 由电表的改装可知, 电阻箱 R_1 接入电路的阻值更大;

(3) [3][4]由图乙可知, “ $\times 100$ ”挡位时的中值电阻为 3000Ω , 则有

$$3000 = \frac{E}{I + \frac{IR}{R_1}} = \frac{3}{2.5 \times 10^{-4} + \frac{2.5 \times 10^{-4} \times 480}{R_1}}$$

解得

$$R_1 = 160\Omega$$

且有

$$3000 = r + \frac{RR_1}{R + R_1} + R_2$$

代入数据解得

$$R_2 = 2879.6\Omega$$

(4) [5]由闭合电路欧姆定律可得

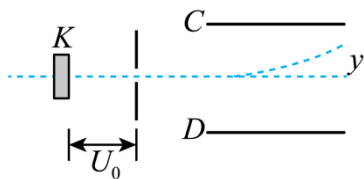
$$\frac{3}{4} \left(I + \frac{IR}{R_1} \right) = \frac{E}{R_{\text{中}} + R} = \frac{3}{3000 + R}$$

解得

$$R = 1000\Omega$$

13. 1897 年, 物理学家汤姆孙正式测定了电子的比荷, 揭开了原子神秘的面纱。如图所示为汤姆孙测定电子比荷装置的简化示意图, 阴极 K 发出的电子由静止经过加速电压 U_0 加速后, 沿轴线进入两平行极板 C、D 间。仅在 C、D 极板间施加一定电压, 电子从 C、D 右侧离开时偏离轴线距离为 y ; 若保持电压不变, 在 C、D 间加上与纸面垂直的磁场, 发现电子沿直线前进。已知电子的电荷量大小为 e , 质量为 m 。C、D 极板间距为 d , 长度为 L 。求:

- (1) 电子经过加速电压 U_0 加速后的速度大小 v_0 ；
- (2) C、D 极板间所加的电压大小 U ；
- (3) C、D 极板间所加磁场的磁感应强度的大小 B 。



【答案】(1) $v_0 = \sqrt{\frac{2U_0 e}{m}}$ ；(2) $U = \frac{4ydU_0}{L^2}$ ；(3) $B = \frac{4y}{L^2} \sqrt{\frac{U_0 m}{e}}$

【解析】

【详解】(1) 电子经过加速电压 U_0 加速后有

$$U_0 e = \frac{1}{2} m v_0^2$$

得

$$v_0 = \sqrt{\frac{2U_0 e}{m}}$$

(2) 粒子进入极板间之后做类平抛运动，竖直方向和水平方向上有

$$y = \frac{1}{2} a t^2$$

$$L = v_0 t$$

由

$$\frac{U}{d} e = ma$$

得加速度为

$$a = \frac{Ue}{md}$$

联立各式可得

$$U = \frac{4ydU_0}{L^2}$$

(3) 若保持电压不变，在 C、D 间加上与纸面垂直的磁场，发现电子沿直线前进，说明电子所受电场力和洛伦兹力平衡

$$eE = ev_0 B$$

又有

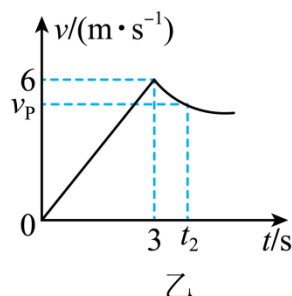
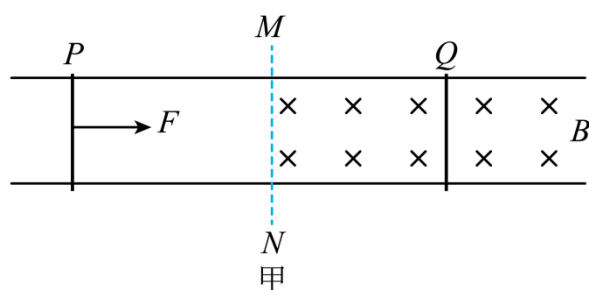
$$E = \frac{U}{d}$$

得

$$B = \frac{4y}{L^2} \sqrt{\frac{U_0 m}{2e}}$$

14. 如图甲所示，间距为 $L = 1\text{m}$ 的长直平行导轨固定在水平面上，虚线 MN 与导轨垂直，在其右侧有垂直导轨平面向下的匀强磁场，磁感应强度大小为 $B = 1\text{T}$ ，质量均为 $m = 1\text{kg}$ 的金属棒 P、Q 垂直放在导轨上，P、Q 与导轨间的动摩擦因数均为 μ ，P 棒到 MN 存在一段距离， $t = 0$ 时刻起，P 棒始终受到一方向水平向右、大小为 $F = 4\text{N}$ 的恒定拉力作用，其运动的 $v-t$ 图像如图乙所示，其中 $t = 0$ 到 $t_1 = 3\text{s}$ 的图像为直线。已知 P、Q 棒接入电路的总电阻为 $R = 1\Omega$ ，运动过程中两棒未发生碰撞，不计导轨的电阻，重力加速度 g 取 10m/s^2 。求：

- (1) 金属棒与导轨间的动摩擦因数大小 μ ；
- (2) P 棒刚进入磁场时的加速度大小 a ；
- (3) 在 t_2 时刻，电路电流为 4A ，则此时 P 棒的速度大小 v_P 。



【答案】(1) $\mu = 0.2$ ；(2) 4m/s^2 ；(3) $v_P = 5\text{m/s}$

【解析】

【详解】(1) 对导体棒受力分析，水平方向上有

$$F - \mu mg = ma_0$$

从图像可以读出，0~3s 的倾斜直线的斜率即为加速度大小，即

$$a_0 = k = 2\text{m/s}^2$$

联立可得

$$\mu = 0.2$$

(2) 刚进入磁场的导体棒受到运动方向的 F ，滑动摩擦力和导体棒所受安培力，此时有

$$F - \mu mg - BIL = ma$$

其中

$$I = \frac{BLv}{R}$$

联立可得

$$a = -4\text{m/s}^2$$

即加速度大小为 4m/s^2 。

(3) 对 P 和 Q 整体进行分析，在 $3 \sim t_2$ 时间内，由动量定理可得

$$(F - \mu \cdot 2mg)(t_2 - 3) = m(v_p + v_Q) - mv$$

且此时有

$$I = \frac{BL(v_p - v_Q)}{R}$$

计算中发现

$$F = \mu \cdot 2mg$$

联立得

$$v_p = 5\text{m/s}$$

15. 如图所示，表面光滑的水平面中间存在水平光滑凹槽 MN 。质量为 $m_c = 4\text{kg}$ 、长度 $L = 0.60\text{m}$ 的木板 C 放置在凹槽内，其上表面恰好与水平面平齐。开始时木板 C 静置在凹槽左端 M 处，其右端与凹槽右端 N 距离为 d 。水平面左侧有质量分别为 $m_A = 2\text{kg}$ 与 $m_B = 1\text{kg}$ 的物块 A、B。二者之间锁定一压缩轻弹簧，其弹性势能为 $E = 3\text{J}$ 。弹簧解除锁定后，将 A、B 两物块弹开，物块 B 滑上木板 C ，当 B 刚滑到 C 右端时， C 恰好第一次碰到 N 点。已知物块与木板间的动摩擦因数 $\mu = 0.2$ ，重力加速度 g 取 10m/s^2 ，求：

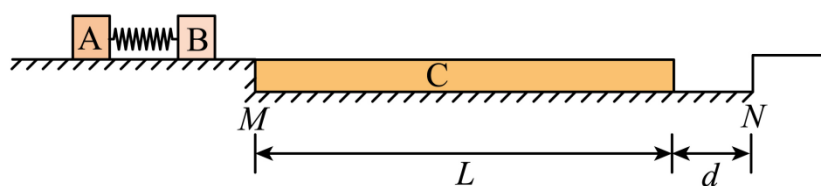
(1) 物块 B 刚滑上木板 C 时的速度大小 v_B ；

(2) 初始时木板 C 右端距 N 点的距离 d ；

(3) 若 C 的质量减为 m'_c ，则在 C 第 k 次碰撞 N 点时，木块 B 恰好滑到 C 右端，且此时 $v'_B > v_c$ 。已知

$$\frac{m'_C}{m_C}$$

C 不与 M 碰撞，与 N 的碰撞为弹性碰撞，求 $\frac{m'_C}{m_C}$ 与 k 的关系。



【答案】(1) 2m/s; (2) 0.04m; (3) $\frac{m'_C}{m_C} = \frac{1}{(2k-1)^2} (k=2,3)$

【解析】

【详解】(1) 弹簧解除锁定后，根据机械能守恒，可知 A、B 物块弹开过程中弹性势能转化为 A、B 物块的动能，即

$$E = \frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2$$

水平面光滑，则 A、B 系统动量守恒，则 A、B 物块动量大小相等

$$m_A v_A = m_B v_B$$

联立以上两式可得

$$v_B = 2\text{m/s}$$

(2) 对 B、C 分别受力分析得

$$a_B = \frac{-\mu m_B g}{m_B} = -\mu g = -2\text{m/s}^2, \quad a_C = \frac{\mu m_B g}{m_C} = 0.5\text{m/s}^2$$

对 B、C 运动进行分析，二者运动位移之差为木板长度，即

$$v_B t + \frac{1}{2} a_B t^2 - \frac{1}{2} a_C t^2 = L$$

解得

$$t = 1.2\text{s} \text{ 或 } t = 0.4\text{s}$$

由于 $t = 1.2\text{s}$ 时

$$v'_B = v_B + a_B t = -0.4\text{m/s}$$

不符合题意，需要舍弃。当 $t = 0.4\text{s}$ 时

$$v'_B = v_B + a_B t = 1.2\text{m/s}, \quad v_C = a_C t = 0.2\text{m/s}$$

符合题意，故当 B 刚滑到 C 右端时 $t = 0.4\text{s}$ 。此时木板的位移为 d ，即

$$d = \frac{1}{2} a_c t^2 = 0.04\text{m}$$

(3) 根据分析可得，每次木板与右侧 N 碰撞后均会以相同大小的速度向左减速运动，假设木板第一次与 N 碰撞的时间为 t'_c ，则根据匀变速直线运动规律可知，碰撞后木板向左以相同大小加速度减速到最左侧恰好速度为 0，时间也是 t'_c 。故第 k 次碰撞 N 点时，木板恰好运动了 $(2k-1)t'_c$ ，而物块 B 的受力情况与运动情况和 (2) 中完全一致。故

$$t_c = (2k-1)t'_c$$

根据

$$d = \frac{1}{2} a_c t_c^2, \quad d = \frac{1}{2} a'_c t'^2_c$$

得

$$\frac{a_c}{a'_c} = \frac{t'^2_c}{t^2_c}$$

又根据牛顿第二定律可得

$$a_c = \frac{\mu m_B g}{m_c}, \quad a'_c = \frac{\mu m_B g}{m'_c}$$

则

$$\frac{a_c}{a'_c} = \frac{t'^2_c}{t^2_c} = \frac{m'_c}{m_c}$$

故联立以上各式可得

$$\frac{m'_c}{m_c} = \frac{1}{(2k-1)^2}$$

又由于 $v'_B > v_c$ ，则

$$d = \frac{v_c \cdot t'_c}{2} < \frac{v'_B \cdot t'_c}{2}$$

解得

$$t'_c > \frac{1}{15}\text{s}$$

故

$$\frac{t'_c}{t_c} = \frac{1}{2k-1} > \frac{\frac{1}{15}\text{s}}{0.4\text{s}} = \frac{1}{6}$$

可得

$$k < 3.5$$

则 $1 < k < 3.5$ ，由于碰撞次数 k 为整数，则 k 可取值 2, 3。故 $\frac{m'_C}{m_C}$ 与 k 的关系为

$$\frac{m'_C}{m_C} = \frac{1}{(2k-1)^2} (k=2,3)$$