

山东省 2021 年普通高中学业水平等级考试

物理

注意事项:

- 1.答卷前,考生务必将自己的姓名、考生号等填写在答题卡和试卷指定位置。
- 2.回答选择题时,选出每小题答案后,用铅笔把答题卡上对应题目的答案标号涂黑。如需改动,用橡皮擦干净后,再选涂其他答案标号。回答非选择题时,将答案写在答题卡上,写在本试卷上无效。
- 3.考试结束后,将本试卷和答题卡一并交回。

一、单项选择题 本题共 8 小题,每小题 3 分,共 24 分。每小题只有一个选项符合题目要求。

1. 在测定年代较近的湖泊沉积物形成年份时,常利用沉积物中半衰期较短的 ${}_{82}^{210}\text{Pb}$, 其衰变方程为

${}_{82}^{210}\text{Pb} \rightarrow {}_{83}^{210}\text{Bi} + \text{X}$ 。以下说法正确的是 ()

- A. 衰变方程中的 X 是电子
- B. 升高温度可以加快 ${}_{82}^{210}\text{Pb}$ 的衰变
- C. ${}_{82}^{210}\text{Pb}$ 与 ${}_{83}^{210}\text{Bi}$ 的质量差等于衰变的质量亏损
- D. 方程中的 X 来自于 ${}_{82}^{210}\text{Pb}$ 内质子向中子的转化

【答案】A

【解析】

【分析】

【详解】A. 根据质量数守恒和电荷数守恒可知, X 是电子, A 正确;

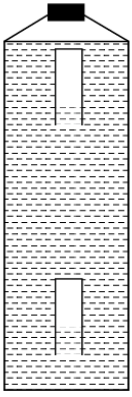
B. 半衰期非常稳定, 不受温度, 压强, 以及该物质是单质还是化合物的影响, B 错误;

C. ${}_{82}^{210}\text{Pb}$ 与 ${}_{83}^{210}\text{Bi}$ 和电子 X 的质量差等于衰变的质量亏损, C 错误;

D. 方程中的 X 来自于 ${}_{82}^{210}\text{Pb}$ 内中子向质子的转化, D 错误。

故选 A。

2. 如图所示, 密封的矿泉水瓶中, 距瓶口越近水的温度越高。一开口向下、导热良好的小瓶置于矿泉水瓶中, 小瓶中封闭一段空气。挤压矿泉水瓶, 小瓶下沉到底部; 松开后, 小瓶缓慢上浮, 上浮过程中, 小瓶内气体 ()



- A. 内能减少
- B. 对外界做正功
- C. 增加的内能大于吸收的热量
- D. 增加的内能等于吸收的热量

【答案】 B

【解析】

【分析】

【详解】 A. 由于越接近矿泉水瓶口，水的温度越高，因此小瓶上浮的过程中，小瓶内温度升高，内能增加，A 错误；

B. 在小瓶上升的过程中，小瓶内气体的温度逐渐升高，压强逐渐减小，根据理想气体状态方程

$$\frac{pV}{T} = C$$

气体体积膨胀，对外界做正功，B 正确；

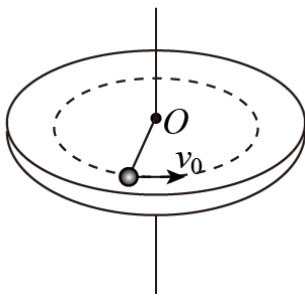
CD. 由 AB 分析，小瓶上升时，小瓶内气体内能增加，气体对外做功，根据热力学第一定律

$$\Delta U = W + Q$$

由于气体对外做功，因此吸收的热量大于增加的内能，CD 错误。

故选 B。

3. 如图所示，粗糙程度处处相同的水平桌面上有一长为 L 的轻质细杆，一端可绕竖直光滑轴 O 转动，另一端与质量为 m 的小木块相连。木块以水平初速度 v_0 出发，恰好能完成一个完整的圆周运动。在运动过程中，木块所受摩擦力的大小为 ()



- A. $\frac{mv_0^2}{2\pi L}$ B. $\frac{mv_0^2}{4\pi L}$ C. $\frac{mv_0^2}{8\pi L}$ D. $\frac{mv_0^2}{16\pi L}$

【答案】 B

【解析】

【分析】

【详解】 在运动过程中，只有摩擦力做功，而摩擦力做功与路径有关，根据动能定理

$$-f \cdot 2\pi L = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

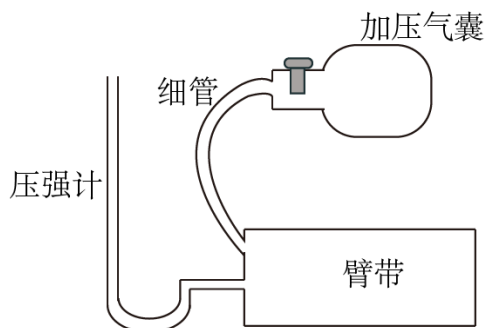
可得摩擦力的大小

$$f = \frac{mv_0^2}{4\pi L}$$

故选 B。

4. 血压仪由加压气囊、臂带，压强计等构成，如图所示。加压气囊可将外界空气充入臂带，压强计示数为臂带内气体的压强高于大气压强的数值，充气前臂带内气体压强为大气压强，体积为 V ；每次挤压气囊都能将 60cm^3 的外界空气充入臂带中，经 5 次充气后，臂带内气体体积变为 $5V$ ，压强计示数为 150mmHg 。

已知大气压强等于 750mmHg ，气体温度不变。忽略细管和压强计内的气体体积。则 V 等于 ()



- A. 30cm^3 B. 40cm^3 C. 50cm^3 D. 60cm^3

【答案】D

【解析】

【分析】

【详解】根据玻意耳定律可知

$$p_0V + 5p_0V_0 = p_1 \times 5V$$

已知

$$p_0 = 750\text{mmHg}, V_0 = 60\text{cm}^3, p_1 = 750\text{mmHg} + 150\text{mmHg} = 900\text{mmHg}$$

代入数据整理得

$$V = 60\text{cm}^3$$

故选D。

5. 从“玉兔”登月到“祝融”探火，我国星际探测事业实现了由地月系到行星际的跨越。已知火星质量约为月球的9倍，半径约为月球的2倍，“祝融”火星车的质量约为“玉兔”月球车的2倍。在着陆前，“祝融”和“玉兔”都会经历一个由着陆平台支撑的悬停过程。悬停时，“祝融”与“玉兔”所受陆平台的作用力大小之比为（ ）



A. 9 : 1

B. 9 : 2

C. 36 : 1

D. 72 : 1

【答案】B

【解析】

【分析】

【详解】悬停时所受平台的作用力等于万有引力，根据

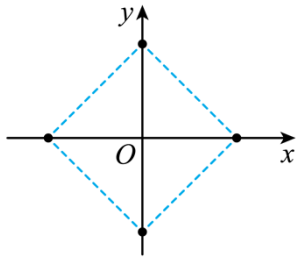
$$F = G \frac{mM}{R^2}$$

可得

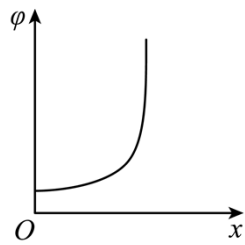
$$\frac{F_{\text{祝融}}}{F_{\text{玉兔}}} = G \frac{M_{\text{火}} m_{\text{祝融}}}{R_{\text{火}}^2} : G \frac{M_{\text{月}} m_{\text{玉兔}}}{R_{\text{月}}^2} = \frac{9}{2^2} \times 2 = \frac{9}{2}$$

故选B。

6. 如图甲所示，边长为 a 的正方形，四个顶点上分别固定一个电荷量为 $+q$ 的点电荷；在 $0 \leq x < \frac{\sqrt{2}}{2}a$ 区间， x 轴上电势 φ 的变化曲线如图乙所示。现将一电荷量为 $-Q$ 的点电荷 P 置于正方形的中心 O 点，此时每个点电荷所受库仑力的合力均为零。若将 P 沿 x 轴向右略微移动后，由静止释放，以下判断正确的是（ ）



图甲



图乙

- A. $Q = \frac{\sqrt{2}+1}{2}q$ ，释放后 P 将向右运动
- B. $Q = \frac{\sqrt{2}+1}{2}q$ ，释放后 P 将向左运动
- C. $Q = \frac{2\sqrt{2}+1}{4}q$ ，释放后 P 将向右运动
- D. $Q = \frac{2\sqrt{2}+1}{4}q$ ，释放后 P 将向左运动

【答案】C

【解析】

【分析】

【详解】对 y 轴正向的点电荷，由平衡知识可得

$$\sqrt{2}k \frac{q^2}{a^2} + k \frac{q^2}{(\sqrt{2}a)^2} = k \frac{Qq}{\left(\frac{\sqrt{2}}{2}a\right)^2}$$

解得

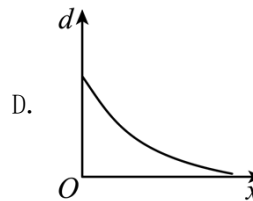
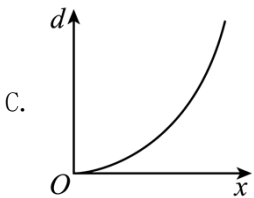
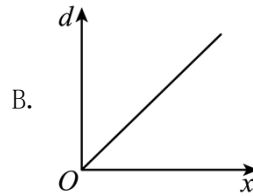
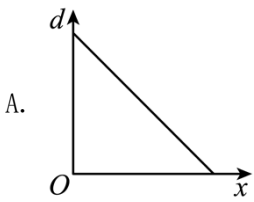
$$Q = \frac{2\sqrt{2}+1}{4}q$$

因在 $0 \leq x < \frac{\sqrt{2}}{2}a$ 区间内沿 x 轴正向电势升高，则场强方向沿 x 轴负向，则将 P 沿 x 轴正向向右略微移动

后释放， P 受到向右的电场力而向右运动。

故选 C。

7. 用平行单色光垂直照射一层透明薄膜，观察到如图所示明暗相间的干涉条纹。下列关于该区域薄膜厚度 d 随坐标 x 的变化图像，可能正确的是 ()



【答案】 D

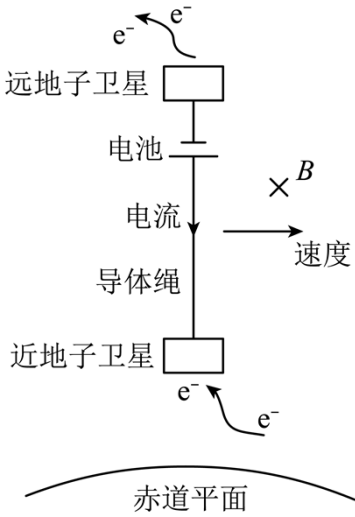
【解析】

【分析】

【详解】 从薄膜的上下表面分别反射的两列光是相干光，其光程差为 $\Delta x = 2d$ ，即光程差为薄膜厚度的 2 倍，当光程差 $\Delta x = n\lambda$ 时此处表现为亮条纹，故相邻亮条纹之间的薄膜的厚度差为 $\frac{1}{2}\lambda$ ，在图中相邻亮条纹（或暗条纹）之间的距离变大，则薄膜层的厚度之间变小，因条纹宽度逐渐变宽，则厚度不是均匀变小。

故选 D。

8. 迷你系绳卫星在地球赤道正上方的电离层中，沿圆形轨道绕地飞行。系绳卫星由两子卫星组成，它们之间的导体绳沿地球半径方向，如图所示。在电池和感应电动势的共同作用下，导体绳中形成指向地心的电流，等效总电阻为 r 。导体绳所受的安培力克服大小为 f 的环境阻力，可使卫星保持在原轨道上。已知卫星离地平均高度为 H ，导体绳长为 L ($L \ll H$)，地球半径为 R ，质量为 M ，轨道处磁感应强度大小为 B ，方向垂直于赤道平面。忽略地球自转的影响。据此可得，电池电动势为 ()



A. $BL\sqrt{\frac{GM}{R+H}} + \frac{fr}{BL}$

B. $BL\sqrt{\frac{GM}{R+H}} - \frac{fr}{BL}$

C. $BL\sqrt{\frac{GM}{R+H}} + \frac{BL}{fr}$

D. $BL\sqrt{\frac{GM}{R+H}} - \frac{BL}{fr}$

【答案】A

【解析】

【分析】

【详解】根据

$$G \frac{Mm}{(R+H)^2} = m \frac{v^2}{(R+H)}$$

可得卫星做圆周运动的线速度

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R+H}}$$

根据右手定则可知，导体绳产生的感应电动势相当于上端为正极的电源，其大小为

$$E' = BLv$$

因导线绳所受阻力 f 与安培力 F 平衡，则安培力与速度方向相同，可知导线绳中的电流方向向下，即电池电动势大于导线绳切割磁感线产生的电动势，可得

$$f = B \frac{E - E'}{r} L$$

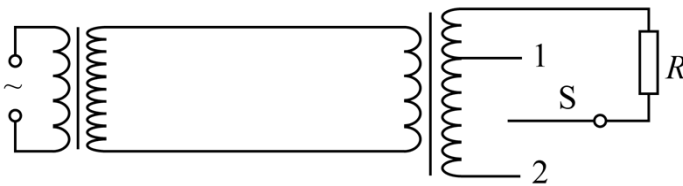
解得

$$E = BL \sqrt{\frac{GM}{R+H}} + \frac{fr}{BL}$$

故选 A。

二、多项选择题：本题共 4 小题，每小题 4 分，共 16 分。每小题有多个选项符合题目要求。全部选对得 4 分，选对但不全的得 2 分，有选错的得 0 分。

9. 输电能耗演示电路如图所示。左侧变压器原、副线圈匝数比为 1:3，输入电压为 7.5V 的正弦交流电。连接两理想变压器的导线总电阻为 r ，负载 R 的阻值为 10Ω 。开关 S 接 1 时，右侧变压器原、副线圈匝数比为 2:1， R 上的功率为 10W；接 2 时，匝数比为 1:2， R 上的功率为 P 。以下判断正确的是（ ）



- A. $r = 10\Omega$
- B. $r = 5\Omega$
- C. $P = 45W$
- D. $P = 22.5W$

【答案】 BD

【解析】

【分析】

【详解】 当开关 S 接 1 时，左侧变压器次级电压

$$U_2 = 3 \times 7.5V = 22.5V$$

电阻 R 上的电压，即右侧变压器的次级电压

$$U_4 = \sqrt{PR} = 10V$$

电流

$$I_4 = \frac{U_4}{R} = 1A$$

则右侧变压器初级电压

$$U_3 = \frac{2}{1} \times 10V = 20V$$

电流

$$I_3 = \frac{1}{2} \times 1\text{A} = 0.5\text{A}$$

则

$$r = \frac{U_2 - U_3}{I_3} = 5\Omega$$

当开关 S 接 2 时，设输电电流为 I ，则右侧变压器的次级电流为 $0.5I$ ；右侧变压两边电压关系可知

$$\frac{U_2 - Ir}{n_3} = \frac{0.5IR}{n_4}$$

解得

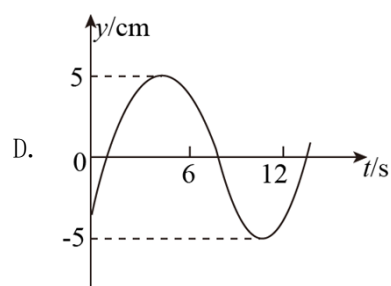
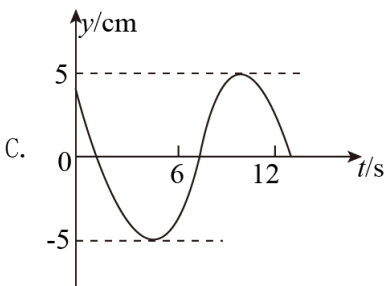
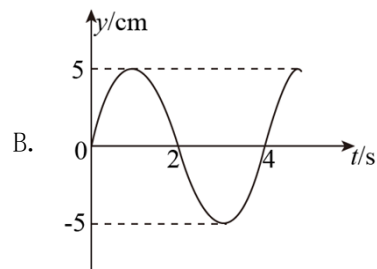
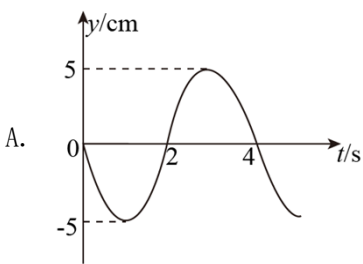
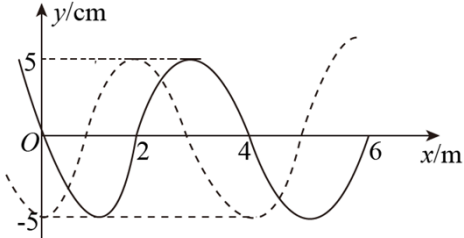
$$I = 3\text{A}$$

则 R 上的功率

$$P = (0.5I)^2 R = 22.5\text{W}$$

故选 BD。

10. 一列简谐横波沿 x 轴传播，如图所示，实线为 $t_1 = 2\text{s}$ 时的波形图，虚线为 $t_2 = 5\text{s}$ 时的波形图。以下关于平衡位置在 O 处质点的振动图像，可能正确的是（ ）



【答案】 AC

【解析】

【分析】

【详解】 机械波的传播方向不确定，所以需要考虑机械波传播方向的不确定性。

AB. 若机械波沿 x 轴正方向传播，在 $t_1 = 2\text{s}$ 时 O 点振动方向竖直向上，则传播时间 $\Delta t = t_2 - t_1 = 3\text{s}$ 满足

$$\Delta t = \frac{3}{4}T + nT \quad (n=0, 1, 2, 3\cdots)$$

解得

$$T = \frac{12}{4n+3}\text{s} \quad (n=0, 1, 2, 3\cdots)$$

当 $n = 0$ 时，解得周期

$$T = 4\text{s}$$

A 正确，B 错误；

CD. 若机械波沿 x 轴负方向传播，在 $t_2 = 5\text{s}$ 时 O 点处于波谷，则

$$\Delta t = \frac{1}{4}T + nT \quad (n=0, 1, 2, 3\cdots)$$

解得

$$T = \frac{12}{4n+1}\text{s} \quad (n=0, 1, 2, 3\cdots)$$

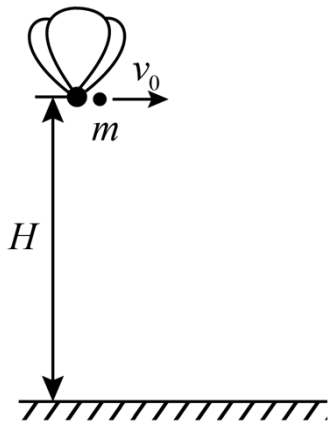
当 $n = 0$ 时，解得周期

$$T = 12\text{s}$$

C 正确，D 错误。

故选 AC。

11. 如图所示，载有物资的热气球静止于距水平地面 H 的高处，现将质量为 m 的物资以相对地面的速度 v_0 水平投出，落地时物资与热气球的距离为 d 。已知投出物资后热气球的总质量为 M ，所受浮力不变，重力加速度为 g ，不计阻力，以下判断正确的是 ()



- A. 投出物资后热气球做匀加速直线运动
 B. 投出物资后热气球所受合力大小为 mg

C. $d = \left(1 + \frac{m}{M}\right) \sqrt{\frac{2Hv_0^2}{g} + H^2}$

D. $d = \sqrt{\frac{2Hv_0^2}{g} + \left(1 + \frac{m}{M}\right)^2 H^2}$

【答案】BC

【解析】

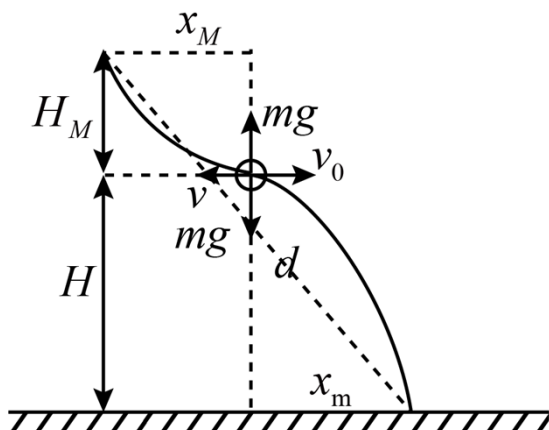
【分析】

【详解】AB. 热气球开始携带物资时处于静止状态，所受合外力为 0，初动量为 0，水平投出重力为 mg 的物资瞬间，满足动量守恒定律

$$Mv = mv_0$$

则热气球和物资的动量等大反向，热气球获得水平向左的速度 v ，热气球所受合外力恒为 mg ，竖直向上，所以热气球做匀加速曲线运动，A 错误，B 正确；

CD. 热气球和物资的运动示意图如图所示



热气球和物资所受合力大小均为 mg ，所以热气球在竖直方向上加速度大小为

$$a = \frac{m}{M}g$$

物资落地 H 过程所用的时间 t 内，根据 $H = \frac{1}{2}gt^2$ 解得落地时间为

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

热气球在竖直方向上运动的位移为

$$H_M = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{M}g \cdot \frac{2H}{g} = \frac{m}{M}H$$

热气球和物资在水平方向均做匀速直线运动，水平位移为

$$x_m = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

$$x_M = vt = \frac{m}{M}v_0 \cdot \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

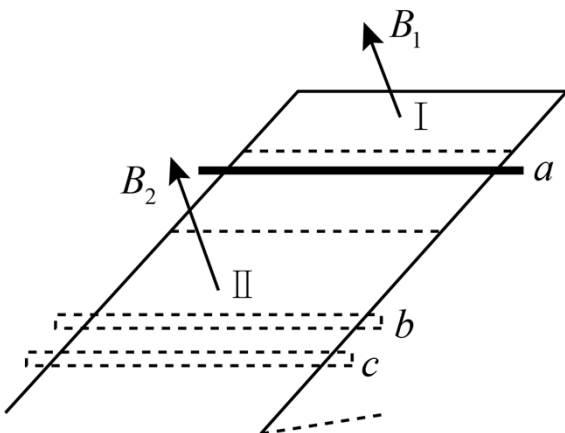
根据勾股定理可知热气球和物资的实际位移为

$$d = \sqrt{(x_m + x_M)^2 + (H + H_M)^2} = \left(1 + \frac{m}{M}\right) \sqrt{\frac{2Hv_0^2}{g} + H^2}$$

C 正确，D 错误。

故选 BC。

12. 如图所示，电阻不计的光滑 U 形金属导轨固定在绝缘斜面上。区域 I、II 中磁场方向均垂直斜面向上，I 区中磁感应强度随时间均匀增加，II 区中为匀强磁场。阻值恒定的金属棒从无磁场区域中 a 处由静止释放，进入 II 区后，经 b 下行至 c 处反向上行。运动过程中金属棒始终垂直导轨且接触良好。在第一次下行和上行的过程中，以下叙述正确的是（ ）



- A. 金属棒下行过 b 时的速度大于上行过 b 时的速度
- B. 金属棒下行过 b 时的加速度大于上行过 b 时的加速度

- C. 金属棒不能回到无磁场区
 D. 金属棒能回到无磁场区，但不能回到 a 处

【答案】 ABD

【解析】

【分析】

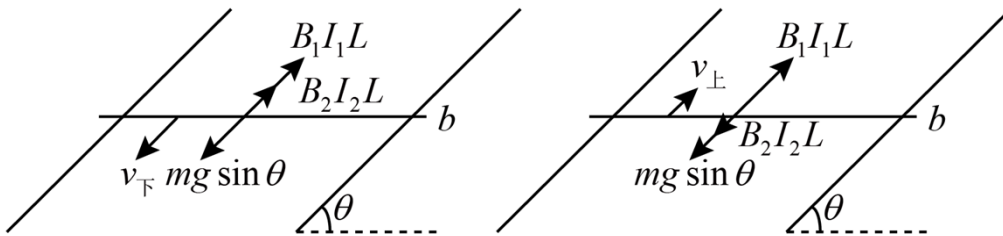
【详解】 AB. 在 I 区域中，磁感应强度为 $B_1 = kt$ ，感应电动势

$$E_1 = \frac{\Delta B_1}{\Delta t} S = kS$$

感应电动势恒定，所以导体棒上的感应电流恒为

$$I_1 = \frac{E_1}{R} = \frac{kS}{R}$$

导体棒进入 II 区域后，导体切割磁感线，产生一个感应电动势，因为导体棒到达 c 点后又能上行，说明加速度始终沿斜面向上，下行和上行经过 b 点的受力分析如图



设下行、上行过 b 时导体棒的速度分别为 v ， v' ，则下行过 b 时导体棒切割磁感线产生的感应电动势为

$$E_2 = B_2 Lv$$

下行过 b 时导体棒上的电流为

$$I_2 = \frac{E_2 + E_1}{R} = \frac{B_2 Lv}{R} + \frac{kS}{R}$$

下行过 b 时，根据牛顿第二定律可知

$$B_2 I_2 L - mg \sin \theta = \frac{B_2^2 L^2 v}{R} + \frac{B_2 kSL}{R} - mg \sin \theta = ma_1$$

上行过 b 时，切割磁感线产生的感应电动势为

$$E_2' = B_2 Lv'$$

上行过 b 时导体棒上的电流为

$$I_3 = \frac{E_1 - E_2'}{R} = \frac{kS}{R} - \frac{B_2 Lv'}{R}$$

根据牛顿第二定律可知

$$B_2 I_3 L - mg \sin \theta = \frac{B_2 k S L}{R} - \frac{B_2^2 L^2 v'}{R} - mg \sin \theta = ma_2$$

比较加速度大小可知

$$a_1 > a_2$$

由于 bc 段距离不变，下行过程中加速度大，上行过程中加速度小，所以金属板下行过经过 b 点时的速度大于上行经过 b 点时的速度，AB 正确；

CD. 导体棒上行时，加速度与速度同向，则导体棒做加速度减小的加速度运动，则一定能回到无磁场区。

由 AB 分析可得，导体棒进磁场 II 区（下行进磁场）的速度大于出磁场 II 区（下行进磁场）的速度，导体棒在无磁场区做加速度相同的减速运动

$$mg \sin \theta = ma_0$$

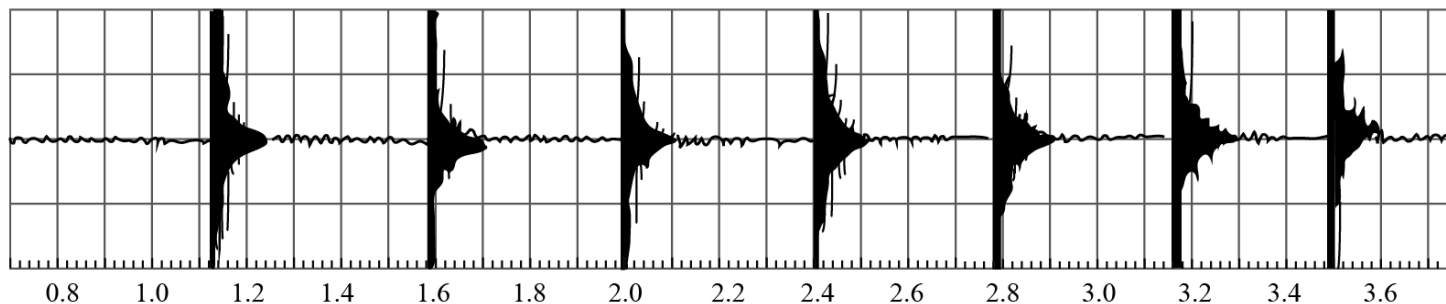
则金属棒不能回到 a 处，C 错误，D 正确。

故选 ABD。

三、非选择题：本题共 6 小题，共 60 分。

13. 某乒乓球爱好者，利用手机研究乒乓球与球台碰撞过程中能量损失的情况。实验步骤如下：

- ①固定好手机，打开录音功能；
- ②从一定高度由静止释放乒乓球；
- ③手机记录下乒乓球与台面碰撞的声音，其随时间（单位：s）的变化图像如图所示。



根据声音图像记录的碰撞次序及相应碰撞时刻，如下表所示。

碰撞次序	1	2	3	4	5	6	7
碰撞时刻 (s)	1.12	1.58	2.00	2.40	2.78	3.14	3.47

根据实验数据，回答下列问题：

- (1) 利用碰撞时间间隔，计算出第 3 次碰撞后乒乓球的弹起高度为 _____ m（保留 2 位有效数字，当地重力加速度 $g = 9.80\text{m/s}^2$ ）。

(2) 设碰撞后弹起瞬间与该次碰撞前瞬间速度大小的比值为 k ，则每次碰撞损失的动能为碰撞前动能的 _____ 倍（用 k 表示），第 3 次碰撞过程中 $k =$ _____ （保留 2 位有效数字）。

(3) 由于存在空气阻力，第 (1) 问中计算的弹起高度 _____ （填“高于”或“低于”）实际弹起高度。

【答案】 ①. 0.20 ②. $1-k^2$ ③. 0.95 ④. 高于

【解析】

【分析】

【详解】(1) [1]第 3 次碰撞到第 4 次碰撞用时 $t_0 = 2.40\text{s} - 2.00\text{s} = 0.40\text{s}$ ，根据竖直上抛和自由落体运动的对称性可知第 3 次碰撞后乒乓球弹起的高度为

$$h_0 = \frac{1}{2}g\left(\frac{t_0}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} \times 9.8 \times 0.2^2 \text{ m} \approx 0.20\text{m}$$

(2) [2]碰撞后弹起瞬间速度为 v_2 ，碰撞前瞬间速度为 v_1 ，根据题意可知

$$\frac{v_2}{v_1} = k$$

则每次碰撞损失的动能与碰撞前动能的比值为

$$\frac{\frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2}{\frac{1}{2}mv_1^2} = 1 - \frac{\frac{1}{2}mv_2^2}{\frac{1}{2}mv_1^2} = 1 - k^2$$

[3]第 2 次碰后从最高点落地瞬间的速度

$$v = gt = \left(\frac{2.00 - 1.58}{2}\right)g = 0.21g$$

第 3 次碰撞后瞬间速度为

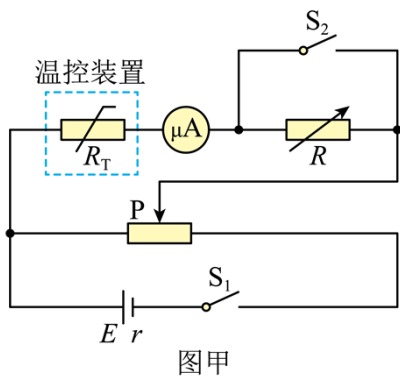
$$v' = gt' = \left(\frac{2.40 - 2.00}{2}\right)g = 0.20g$$

则第 3 次碰撞过程中

$$k = \frac{v'}{v} = \frac{0.20}{0.21} \approx 0.95$$

(3) [4]由于存在空气阻力，乒乓球在上升过程中受到向下的阻力和重力，加速度变大，上升的高度变小，所以第 (1) 问中计算的弹起高度高于实际弹起的高度。

14. 热敏电阻是传感器中经常使用的元件，某学习小组要探究一热敏电阻的阻值随温度变化的规律。可供选择的器材有：



待测热敏电阻 R_T （实验温度范围内，阻值约几百欧到几千欧）；

电源 E （电动势 1.5V ，内阻 r 约为 0.5Ω ）；

电阻箱 R （阻值范围 $0 \sim 9999.99\Omega$ ）；

滑动变阻器 R_1 （最大阻值 20Ω ）；

滑动变阻器 R_2 （最大阻值 2000Ω ）；

微安表（量程 $100\mu\text{A}$ ，内阻等于 2500Ω ）；

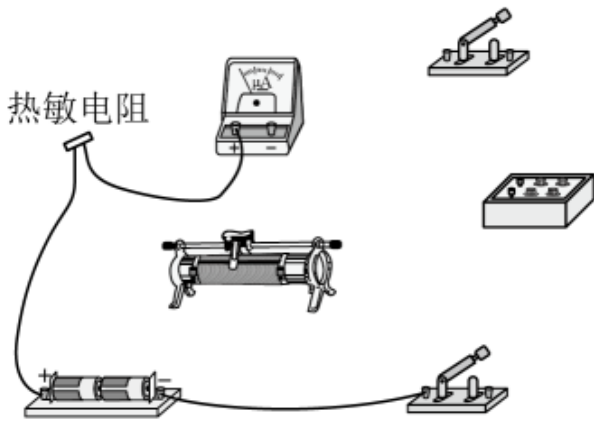
开关两个，温控装置一套，导线若干。

同学们设计了如图甲所示的测量电路，主要实验步骤如下：

- ①按图示连接电路；
- ②闭合 S_1 、 S_2 ，调节滑动变阻器滑片 P 的位置，使微安表指针满偏；
- ③保持滑动变阻器滑片 P 的位置不变，断开 S_2 ，调节电阻箱，使微安表指针半偏；
- ④记录此时的温度和电阻箱的阻值。

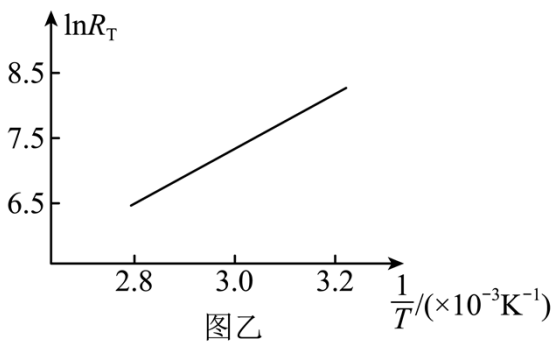
回答下列问题：

- (1) 为了更准确地测量热敏电阻的阻值，滑动变阻器应选用_____（填“ R_1 ”或“ R_2 ”）。
- (2) 请用笔画线代替导线，将实物图（不含温控装置）连接成完整电路_____。



(3) 某温度下微安表半偏时，电阻箱的读数为 6000.00Ω ，该温度下热敏电阻的测量值为 _____ Ω (结果保留到个位)，该测量值 _____ (填“大于”或“小于”) 真实值。

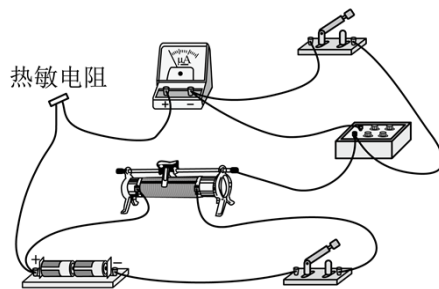
(4) 多次实验后，学习小组绘制了如图乙所示的图像。由图像可知。该热敏电阻的阻值随温度的升高逐渐 _____ (填“增大”或“减小”)。



【答案】

①. R_1

②.



③. 3500

④. 大于

⑤. 减

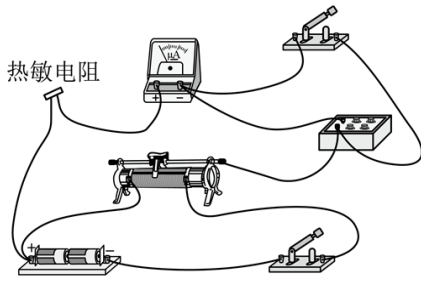
小

【解析】

【分析】

【详解】(1) [1]用半偏法测量热敏电阻的阻值，尽可能让该电路的电压在 S_2 闭合前、后保持不变，由于该支路与滑动变阻器左侧部分电阻并联，滑动变阻器的阻值越小， S_2 闭合前、后并联部分电阻变化越小，从而并联部分的电压值变化越小，故滑动变阻器应选 R_1 。

(2) [2]电路连接图如图所示



(3) [3]微安表半偏时，该支路的总电阻为原来的 2 倍，即

$$R_T + R_{\mu A} = R = 6000.00\Omega$$

可得

$$R_T = 3500\Omega$$

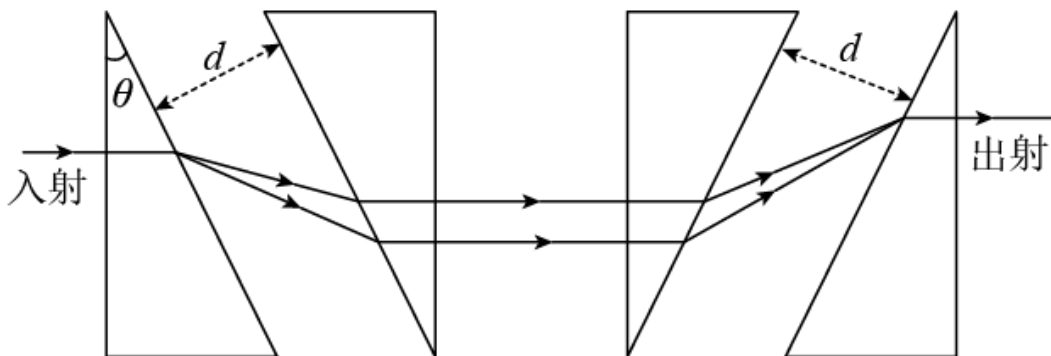
[4]当断开 S_2 ，微安表半偏时，由于该支路的电阻增加，电压略有升高，根据欧姆定律，总电阻比原来 2 倍略大，也就是电阻箱的阻值略大于热敏电阻与微安表的总电阻，而我们用电阻箱的阻值等于热敏电阻与微安表的总电阻来计算，因此热敏电阻的测量值比真实值偏大。

(4) [5]由于是 $\ln R_T - \frac{1}{T}$ 图像，当温度 T 升高时， $\frac{1}{T}$ 减小，从图中可以看出 $\ln R_T$ 减小，从而 R_T 减小，因此热敏电阻随温度的升高逐渐减小。

15. 超强超短光脉冲产生方法曾获诺贝尔物理学奖，其中用到的一种脉冲激光展宽器截面如图所示。在空气中对称放置四个相同的直角三棱镜，顶角为 θ 。一细束脉冲激光垂直第一个棱镜左侧面入射，经过前两个棱镜后分为平行的光束，再经过后两个棱镜重新合成为一束，此时不同频率的光前后分开，完成脉冲展宽。已知相邻两棱镜斜面间的距离 $d = 100.0\text{mm}$ ，脉冲激光中包含两种频率的光，它们在棱镜中的折射率分别为 $n_1 = \sqrt{2}$ 和 $n_2 = \frac{\sqrt{31}}{4}$ 。取 $\sin 37^\circ = \frac{3}{5}$ ， $\cos 37^\circ = \frac{4}{5}$ ， $\frac{5}{\sqrt{7}} = 1.890$ 。

(1) 为使两种频率的光都能从左侧第一个棱镜斜面射出，求 θ 的取值范围；

(2) 若 $\theta = 37^\circ$ ，求两种频率的光通过整个展宽器的过程中，在空气中的路程差 ΔL （保留 3 位有效数字）。



【答案】(1) $0 < \theta < 45^\circ$ (或 $\theta < 45^\circ$); (2) $\Delta L = 14.4\text{mm}$

【解析】

【分析】

【详解】(1) 由几何关系可得, 光线在第一个三棱镜右侧斜面上的入射角等于 θ , 要使得两种频率的光都从左侧第一个棱镜斜面射出, 则 θ 需要比两种频率光线的全反射角都小, 设 C 是全反射的临界角, 根据折射定律得

$$\sin C = \frac{1}{n} \text{①}$$

折射率越大, 临界角越小, 代入较大的折射率得

$$C_{\min} = 45^\circ \text{②}$$

所以顶角 θ 的范围为

$$0 < \theta < 45^\circ \text{ (或 } \theta < 45^\circ \text{)} \text{③}$$

(2) 脉冲激光从第一个三棱镜右侧斜面射出时发生折射, 设折射角分别为 α_1 和 α_2 , 由折射定律得

$$n_1 = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \theta} \text{④}$$

$$n_2 = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \theta} \text{⑤}$$

设两束光在前两个三棱镜斜面之间的路程分别为 L_1 和 L_2 , 则

$$L_1 = \frac{d}{\cos \alpha_1} \text{⑥}$$

$$L_2 = \frac{d}{\cos \alpha_2} \text{⑦}$$

$$\Delta L = 2(L_1 - L_2) \text{⑧}$$

联立④⑤⑥⑦⑧式, 代入数据得

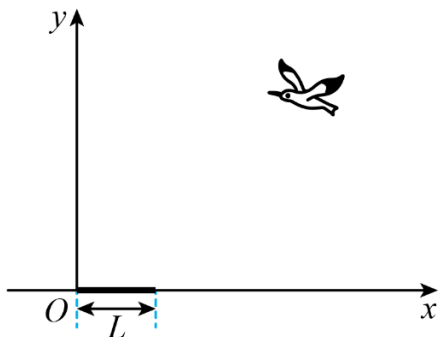
$$\Delta L = 14.4\text{mm} \text{⑨}$$

16. 海鸥捕到外壳坚硬的鸟蛤 (贝类动物) 后, 有时会飞到空中将它丢下, 利用地面的冲击打碎硬壳。一只海鸥叼着质量 $m = 0.1\text{kg}$ 的鸟蛤, 在 $H = 20\text{m}$ 的高度、以 $v_0 = 15\text{m/s}$ 的水平速度飞行时, 松开嘴巴让鸟蛤落到水平地面上。取重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$, 忽略空气阻力。

(1) 若鸟蛤与地面的碰撞时间 $\Delta t = 0.005\text{s}$, 弹起速度可忽略, 求碰撞过程中鸟蛤受到的平均作用力的大

小 F ；（碰撞过程中不计重力）

（2）在海鸥飞行方向正下方的地面上，有一与地面平齐、长度 $L = 6\text{m}$ 的岩石，以岩石左端为坐标原点，建立如图所示坐标系。若海鸥水平飞行的高度仍为 20m ，速度大小在 $15\text{m/s} \sim 17\text{m/s}$ 之间，为保证鸟蛤一定能落到岩石上，求释放鸟蛤位置的 x 坐标范围。



【答案】（1） $F = 500\text{N}$ ；（2） $[34\text{m}, 36\text{m}]$ 或 $(34\text{m}, 36\text{m})$

【解析】

【分析】

【详解】（1）设平抛运动的时间为 t ，鸟蛤落地前瞬间的速度大小为 v 。竖直方向分速度大小为 v_y ，根据运动的合成与分解得

$$H = \frac{1}{2}gt^2, \quad v_y = gt, \quad v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2}$$

在碰撞过程中，以鸟蛤为研究对象，取速度 v 的方向为正方向，由动量定理得

$$-F\Delta t = 0 - mv$$

联立，代入数据得

$$F = 500\text{N}$$

（2）若释放鸟蛤的初速度为 $v_1 = 15\text{m/s}$ ，设击中岩石左端时，释放点的 x 坐标为 x_1 ，击中右端时，释放点的 x 坐标为 x_2 ，得

$$x_1 = v_1 t, \quad x_2 = x_1 + L$$

联立，代入数据得

$$x_1 = 30\text{m}, \quad x_2 = 36\text{m}$$

若释放鸟蛤时的初速度为 $v_2 = 17\text{m/s}$ ，设击中岩石左端时，释放点的 x 坐标为 x_1' ，击中右端时，释放点的 x 坐标为 x_2' ，得

$$x_1' = v_2 t, \quad x_2' = x_1' + L$$

联立，代入数据得

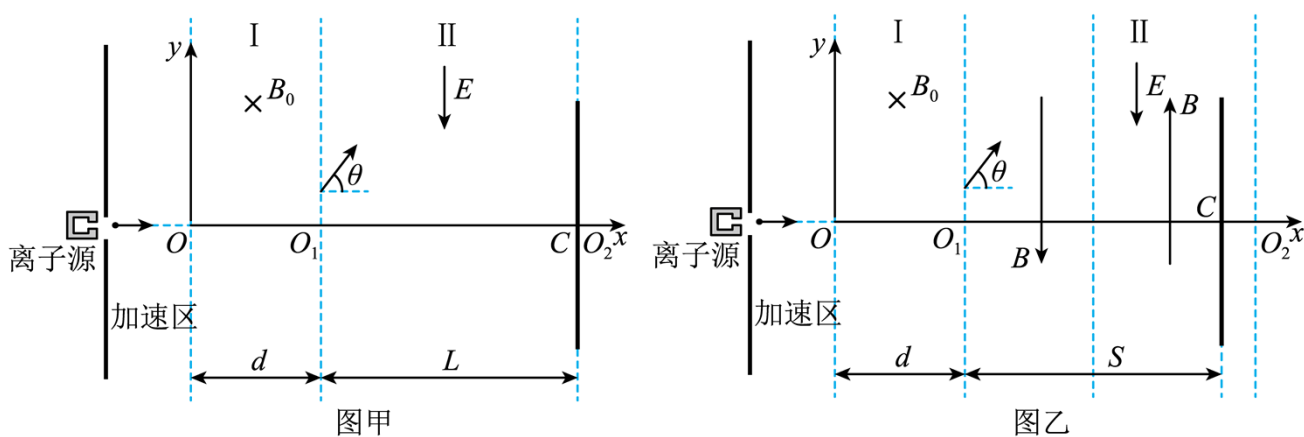
$$x_1' = 34\text{m}, \quad x_2' = 40\text{m}$$

综上得 x 坐标区间

$$[34\text{m}, 36\text{m}] \text{ 或 } (34\text{m}, 36\text{m})$$

17. 某离子实验装置的基本原理如图甲所示。I区宽度为 d ，左边界与 x 轴垂直交于坐标原点 O ，其内充满垂直于 xOy 平面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为 B_0 ；II区宽度为 L ，左边界与 x 轴垂直交于 O_1 点，右边界与 x 轴垂直交于 O_2 点，其内充满沿 y 轴负方向的匀强电场。测试板垂直 x 轴置于II区右边界，其中心 C 与 O_2 点重合。从离子源不断飘出电荷量为 q 、质量为 m 的正离子，加速后沿 x 轴正方向过 O 点，依次经I区、II区，恰好到达测试板中心 C 。已知离子刚进入II区时速度方向与 x 轴正方向的夹角为 θ 。忽略离子间的相互作用，不计重力。

- (1) 求离子在I区中运动时速度的大小 v ；
- (2) 求II区内电场强度的大小 E ；
- (3) 保持上述条件不变，将II区分为左右两部分，分别填充磁感应强度大小均为 B （数值未知）方向相反且平行 y 轴的匀强磁场，如图乙所示。为使离子的运动轨迹与测试板相切于 C 点，需沿 x 轴移动测试板，求移动后 C 到 O_1 的距离 S 。



【答案】(1) $v = \frac{qB_0 d}{m \sin \theta}$; (2) $E = \frac{2qB_0^2 d^2}{mL^2 \tan^2 \theta} \left(L \tan \theta + \frac{d}{\sin \theta} - \frac{d}{\tan \theta} \right)$; (3) $S = \frac{6(\sqrt{3}+1)}{7\pi} L$

【解析】

【分析】

【详解】(1) 设离子在I区内做匀速圆周运动的半径为 r ，由牛顿第二定律得

$$qvB_0 = m \frac{v^2}{r} \quad \text{①}$$

根据几何关系得

$$\sin \theta = \frac{d}{r} \quad \text{②}$$

联立①②式得

$$v = \frac{qB_0 d}{m \sin \theta}$$

(2) 离子在II区内只受电场力， x 方向做匀速直线运动， y 方向做匀变速直线运动，设从进入电场到击中测试板中心 C 的时间为 t ， y 方向的位移为 y_0 ，加速度大小为 a ，由牛顿第二定律得

$$qE = ma$$

由运动的合成与分解得

$$L = (v \cos \theta)t, \quad y_0 = -r(1 - \cos \theta), \quad y_0 = (v \sin \theta)t - \frac{1}{2}at^2$$

联立得

$$E = \frac{2qB_0^2 d^2}{mL^2 \tan^2 \theta} \left(L \tan \theta + \frac{d}{\sin \theta} - \frac{d}{\tan \theta} \right)$$

(3) II区内填充磁场后，离子在垂直 y 轴的方向做线速度大小为 $v \cos \theta$ 的匀速圆周运动，如图所示。设左侧部分的圆心角为 α ，圆周运动半径为 r' ，运动轨迹长度为 l' ，由几何关系得

$$l' = \frac{\alpha}{2\pi} \times 2\pi r' + \frac{\alpha + \frac{\pi}{2}}{2\pi} \times 2\pi r', \quad \cos \alpha = \frac{r'}{2r'}$$

由于在 y 轴方向的运动不变，离子的运动轨迹与测试板相切于 C 点，则离子在II区内的运动时间不变，故有

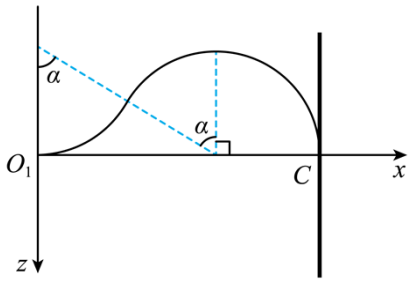
$$\frac{l'}{v \cos \theta} = \frac{L}{v \cos \theta}$$

C 到 O_1 的距离

$$S = 2r' \sin \alpha + r'$$

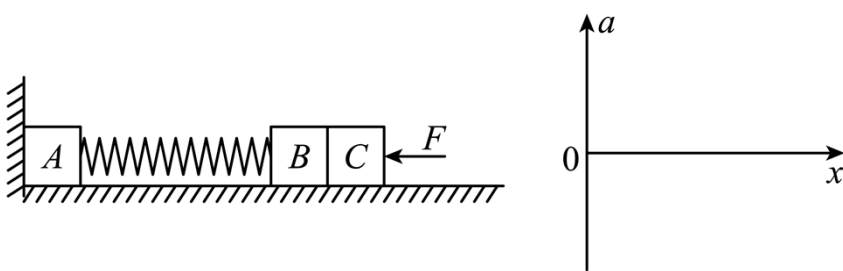
联立得

$$S = \frac{6(\sqrt{3} + 1)}{7\pi} L$$

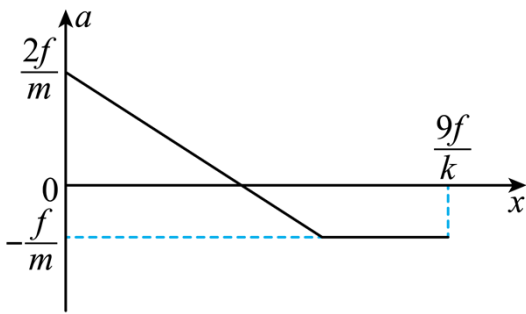


18. 如图所示，三个质量均为 m 的小物块 A、B、C，放置在水平地面上，A 紧靠竖直墙壁，一劲度系数为 k 的轻弹簧将 A、B 连接，C 紧靠 B，开始时弹簧处于原长，A、B、C 均静止。现给 C 施加一水平向左、大小为 F 的恒力，使 B、C 一起向左运动，当速度为零时，立即撤去恒力，一段时间后 A 离开墙壁，最终三物块都停止运动。已知 A、B、C 与地面间的滑动摩擦力大小均为 f ，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，弹簧始终在弹性限度内。（弹簧的弹性势能可表示为： $E_p = \frac{1}{2}kx^2$ ， k 为弹簧的劲度系数， x 为弹簧的形变量）

- (1) 求 B、C 向左移动的最大距离 x_0 和 B、C 分离时 B 的动能 E_k ；
- (2) 为保证 A 能离开墙壁，求恒力的最小值 F_{\min} ；
- (3) 若三物块都停止时 B、C 间的距离为 x_{BC} ，从 B、C 分离到 B 停止运动的整个过程，B 克服弹簧弹力做的功为 W ，通过推导比较 W 与 fx_{BC} 的大小；
- (4) 若 $F = 5f$ ，请在所给坐标系中，画出 C 向右运动过程中加速度 a 随位移 x 变化的图像，并在坐标轴上标出开始运动和停止运动时的 a 、 x 值（用 f 、 k 、 m 表示），不要求推导过程。以撤去 F 时 C 的位置为坐标原点，水平向右为正方向。



【答案】(1) $x_0 = \frac{2F - 4f}{k}$ 、 $E_k = \frac{F^2 - 6fF + 8f^2}{k}$ ；(2) $F_{\min} = (3 + \frac{\sqrt{10}}{2})f$ ；(3) $W < fx_{BC}$ ；(4)



【解析】

【分析】

【详解】(1) 从开始到 B、C 向左移动到最大距离的过程中，以 B、C 和弹簧为研究对象，由功能关系得

$$Fx_0 = 2fx_0 + \frac{1}{2}kx_0^2$$

弹簧恢复原长时 B、C 分离，从弹簧最短到 B、C 分离，以 B、C 和弹簧为研究对象，由能量守恒得

$$\frac{1}{2}kx_0^2 = 2fx_0 + 2E_k$$

联立方程解得

$$x_0 = \frac{2F - 4f}{k}$$

$$E_k = \frac{F^2 - 6fF + 8f^2}{k}$$

(2) 当 A 刚要离开墙时，设弹簧得伸长量为 x ，以 A 为研究对象，由平衡条件得

$$kx = f$$

若 A 刚要离开墙壁时 B 得速度恰好等于零，这种情况下恒力为最小值 F_{\min} ，从弹簧恢复原长到 A 刚要离开墙得过程中，以 B 和弹簧为研究对象，由能量守恒得

$$E_k = \frac{1}{2}kx^2 + fx$$

结合第 (1) 问结果可知

$$F_{\min} = \left(3 \pm \frac{\sqrt{10}}{2}\right)f$$

根据题意舍去 $F_{\min} = \left(3 - \frac{\sqrt{10}}{2}\right)f$ ，所以恒力得最小值为

$$F_{\min} = \left(3 + \frac{\sqrt{10}}{2}\right)f$$

(3) 从 B、C 分离到 B 停止运动，设 B 的路程为 x_B ，C 的位移为 x_C ，以 B 为研究对象，由动能定理得

$$-W - fx_B = 0 - E_k$$

以 C 为研究对象，由动能定理得

$$-fx_C = 0 - E_k$$

由 B、C 得运动关系得

$$x_B > x_C - x_{BC}$$

联立可知

$$W < fx_{BC}$$

(4) 小物块 B、C 向左运动过程中，由动能定理得

$$5fx_1 - 2fx_1 - \frac{1}{2}kx_1^2 = 0$$

解得撤去恒力瞬间弹簧弹力为

$$kx_1 = 6f$$

则坐标原点的加速度为

$$a_1 = \frac{kx_1 - 2f}{2m} = \frac{6f - 2f}{2m} = \frac{2f}{m}$$

之后 C 开始向右运动过程（B、C 系统未脱离弹簧）加速度为

$$a = \frac{kx - 2f}{2m}$$

可知加速度随位移 x 为线性关系，随着弹簧逐渐恢复原长， x 减小， a 减小，弹簧恢复原长时，B 和 C 分离，之后 C 只受地面的滑动摩擦力，加速度为

$$a_2 = -\frac{f}{m}$$

负号表示 C 的加速度方向水平向左；从撤去恒力之后到弹簧恢复原长，以 B、C 为研究对象，由动能定理得

$$\frac{1}{2}kx_1^2 - 2fx_1 = \frac{1}{2} \cdot 2mv^2$$

脱离弹簧瞬间后 C 速度为 v ，之后 C 受到滑动摩擦力减速至 0，由能量守恒得

$$fx_2 = \frac{1}{2}mv^2$$

解得脱离弹簧后，C 运动的距离为

$$x_2 = \frac{1}{2}x_1$$

则 C 最后停止的位移为

$$x_1 + x_2 = \frac{3}{2}x_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{6f}{k} = \frac{9f}{k}$$

所以 C 向右运动的图象为

