

2022 年全国乙理综-物理

二、选择题：

1. 2022 年 3 月，中国航天员翟志刚、王亚平、叶光富在离地球表面约 400km 的“天宫二号”空间站上通过天地连线，为同学们上了一堂精彩的科学课。通过直播画面可以看到，在近地圆轨道上飞行的“天宫二号”中，航天员可以自由地漂浮，这表明他们（ ）

- A. 所受地球引力的大小近似为零
- B. 所受地球引力与飞船对其作用力两者的合力近似为零
- C. 所受地球引力的大小与其随飞船运动所需向心力的大小近似相等
- D. 在地球表面上所受引力的大小小于其随飞船运动所需向心力的大小

【答案】C

【解析】

【详解】ABC. 航天员在空间站中所受万有引力完全提供做圆周运动的向心力，飞船对其作用力等于零，故 C 正确，AB 错误；

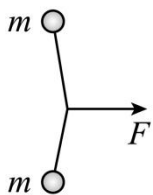
D. 根据万有引力公式

$$F_{\text{万}} = G \frac{Mm}{r^2}$$

可知在地球表面上所受引力的大小大于在飞船所受的万有引力大小，因此地球表面引力大于其随飞船运动所需向心力的大小，故 D 错误。

故选 C。

2. 如图，一不可伸长轻绳两端各连接一质量为 m 的小球，初始时整个系统静置于光滑水平桌面上，两球间的距离等于绳长 L 。一大小为 F 的水平恒力作用在轻绳的中点，方向与两球连线垂直。当两球运动至二者相距 $\frac{3}{5}L$ 时，它们加速度的大小均为（ ）

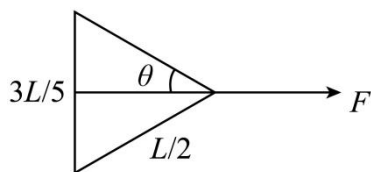


- A. $\frac{5F}{8m}$
- B. $\frac{2F}{5m}$
- C. $\frac{3F}{8m}$
- D. $\frac{3F}{10m}$

【答案】A

【解析】

【详解】当两球运动至二者相距 $\frac{3}{5}L$ 时，，如图所示



由几何关系可知

$$\sin \theta = \frac{\frac{3L}{5}}{\frac{L}{2}} = \frac{3}{5}$$

设绳子拉力为 T ，水平方向有

$$2T \cos \theta = F$$

解得

$$T = \frac{5}{8}F$$

对任意小球由牛顿第二定律可得

$$T = ma$$

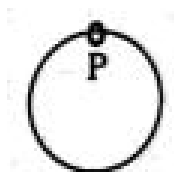
解得

$$a = \frac{5F}{8m}$$

故 A 正确，BCD 错误。

故选 A。

3. 固定于竖直平面内的光滑大圆环上套有一个小环，小环从大圆环顶端 P 点由静止开始自由下滑，在下滑过程中，小环的速率正比于（ ）

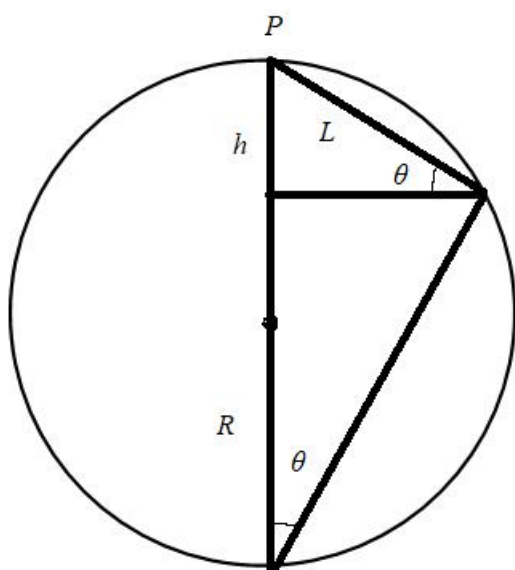


- A. 它滑过的弧长
- B. 它下降的高度
- C. 它到 P 点的距离
- D. 它与 P 点的连线扫过的面积

【答案】C

【解析】

【详解】如图所示



设圆环下降的高度为 h ，圆环的半径为 R ，它到 P 点的距离为 L ，根据机械能守恒定律得

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

由几何关系可得

$$h = L \sin \theta$$

$$\sin \theta = \frac{L}{2R}$$

联立可得

$$h = \frac{L^2}{2R}$$

可得

$$v = L \sqrt{\frac{g}{R}}$$

故 C 正确，ABD 错误。

故选 C。

4. 一点光源以 113W 的功率向周围所有方向均匀地辐射波长约为 $6 \times 10^{-7}\text{m}$ 的光，在离点光源距离为 R 处每秒垂直通过每平方米的光子数为 3×10^{14} 个。普朗克常量为 $h = 6.63 \times 10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}$ 。 R 约为（ ）

A. $1 \times 10^2\text{m}$

B. $3 \times 10^2\text{m}$

C. $6 \times 10^2\text{m}$

D. $9 \times 10^2\text{m}$

【答案】B

【解析】

【详解】一个光子的能量为

$$E = h\nu$$

ν 为光的频率，光的波长与频率有以下关系

$$c = \lambda\nu$$

光源每秒发出的光子的个数为

$$n = \frac{P}{h\nu} = \frac{P\lambda}{hc}$$

P 为光源的功率，光子以球面波的形式传播，那么以光源为原点的球面上的光子数相同，此时距光源的距离为 R 处，每秒垂直通过每平方米的光子数为 3×10^{14} 个，那么此处的球面的表面积为

$$S = 4\pi R^2$$

则

$$\frac{n}{S} = 3 \times 10^{14}$$

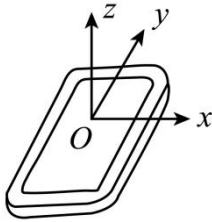
联立以上各式解得

$$R \approx 3 \times 10^2 \text{m}$$

故选 B。

5. 安装适当的软件后，利用智能手机中的磁传感器可以测量磁感应强度 B 。如图，在手机上建立直角坐标系，手机显示屏所在平面为 xOy 面。某同学在某地对地磁场进行了四次测量，每次测量时 y 轴指向不同方向而 z 轴正向保持竖直向上。根据表中测量结果可推知（ ）

测量序号	$B_x/\mu\text{T}$	$B_y/\mu\text{T}$	$B_z/\mu\text{T}$
1	0	21	- 45
2	0	- 20	- 46
3	21	0	- 45
4	- 21	0	- 45



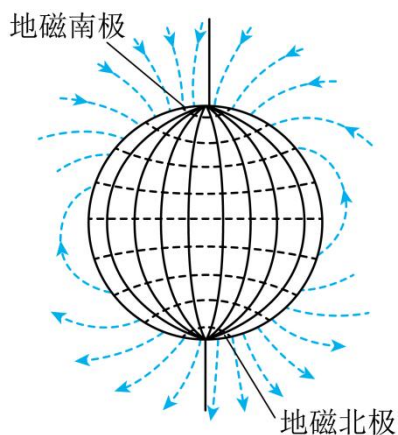
A. 测量地点位于南半球

- B. 当地的地磁场大小约为 $50\mu\text{T}$
- C. 第 2 次测量时 y 轴正向指向南方
- D. 第 3 次测量时 y 轴正向指向东方

【答案】BC

【解析】

【详解】A. 如图所示



地球可视为一个磁偶极，磁南极大致指向地理北极附近，磁北极大致指向地理南极附近。通过这两个磁极的假想直线（磁轴）与地球的自转轴大约成 11.3° 的倾斜。由表中 z 轴数据可看出 z 轴的磁场竖直向下，则测量地点应位于北半球，A 错误；

B. 磁感应强度为矢量，故由表格可看出此处的磁感应强度大致为

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_z^2} = \sqrt{B_y^2 + B_z^2}$$

计算得

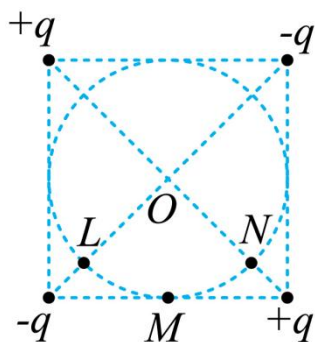
$$B \approx 50\mu\text{T}$$

B 正确；

CD. 由选项 A 可知测量地在北半球，而北半球地磁场指向北方斜向下，则第 2 次测量，测量 $B_y < 0$ ，故 y 轴指向南方，第 3 次测量 $B_x > 0$ ，故 x 轴指向北方而 y 轴则指向西方，C 正确、D 错误。

故选 BC。

6. 如图，两对等量异号点电荷 $+q$ 、 $-q$ ($q > 0$) 固定于正方形的 4 个顶点上。 L 、 N 是该正方形两条对角线与其内切圆的交点， O 为内切圆的圆心， M 为切点。则 ()



- A. L 和 N 两点处的电场方向相互垂直
- B. M 点的电场方向平行于该点处的切线，方向向左
- C. 将一带正电的点电荷从 M 点移动到 O 点，电场力做正功
- D. 将一带正电的点电荷从 L 点移动到 N 点，电场力做功为零

【答案】AB

【解析】

【详解】A. 两个正电荷在 N 点产生的场强方向由 N 指向 O ， N 点处于两负电荷连线的中垂线上，则两负电荷在 N 点产生的场强方向由 N 指向 O ，则 N 点的合场强方向由 N 指向 O ，同理可知，两个负电荷在 L 处产生的场强方向由 O 指向 L ， L 点处于两正电荷连线的中垂线上，两正电荷在 L 处产生的场强方向由 O 指向 L ，则 L 处的合场方向由 O 指向 L ，由于正方向两对角线垂直平分，则 L 和 N 两点处的电场方向相互垂直，故 A 正确；

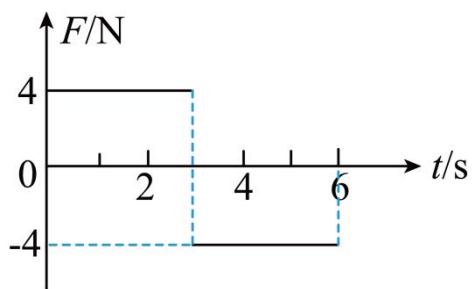
B. 正方向底边的一对等量异号电荷在 M 点产生的场强方向向左，而正方形上方的一对等量异号电荷在 M 点产生的场强方向向右，由于 M 点离上方一对等量异号电荷距离较远，则 M 点的场方向向左，故 B 正确；

C. 由图可知， M 和 O 点位于两等量异号电荷的等势线上，即 M 和 O 点电势相等，所以将一带正电的点电荷从 M 点移动到 O 点，电场力做功为零，故 C 错误；

D. 由图可知， L 点的电势低于 N 点电势，则将一带正电的点电荷从 L 点移动到 N 点，电场力做功不为零，故 D 错误。

故选 AB。

7. 质量为 1kg 的物块在水平力 F 的作用下由静止开始在水平地面上做直线运动， F 与时间 t 的关系如图所示。已知物块与地面间的动摩擦因数为 0.2 ，重力加速度大小取 $g = 10\text{m/s}^2$ 。则 ()



- A. 4s时物块的动能为零
 B. 6s时物块回到初始位置
 C. 3s时物块的动量为 $12\text{kg}\cdot\text{m/s}$
 D. 0~6s时间内 F 对物块所做的功为 40J

【答案】AD

【解析】

【详解】物块与地面间的摩擦力为

$$f = \mu mg = 2\text{N}$$

AC. 对物块从 0~3 内由动量定理可知

$$(F - f)t_1 = mv_3$$

即

$$(4 - 2) \times 3 = 1 \times v_3$$

得

$$v_3 = 6\text{m/s}$$

3s 时物块的动量为

$$p = mv_3 = 6\text{kg}\cdot\text{m/s}$$

设 3s 后经过时间 t 物块的速度减为 0, 由动量定理可得

$$-(F + f)t = 0 - mv_3$$

即

$$-(4 + 2)t = 0 - 1 \times 6$$

解得

$$t = 1\text{s}$$

所以物块在 4s 时速度减为 0，则此时物块的动能也为 0，故 A 正确，C 错误；

B. 0~3 物块发生的位移为 x_1 ，由动能定理可得

$$(F - f)x_1 = \frac{1}{2}mv_3^2$$

即

$$(4 - 2)x_1 = \frac{1}{2} \times 1 \times 6^2$$

得

$$x_1 = 9\text{m}$$

3s~4s 过程中，对物块由动能定理可得

$$-(F + f)x_2 = 0 - \frac{1}{2}mv_3^2$$

即

$$-(4 + 2)x_2 = 0 - \frac{1}{2} \times 1 \times 6^2$$

得

$$x_2 = 3\text{m}$$

4s~6s 物块开始反向运动，物块的加速度大小为

$$a = \frac{F - f}{m} = 2\text{m/s}^2$$

发生的位移为

$$x_3 = \frac{1}{2} \times 2 \times 2^2 \text{m} = 4\text{m} < x_1 + x_2$$

即 6s 时物块没有回到初始位置，故 B 错误；

D. 物块在 6s 时的速度大小为

$$v_6 = 2 \times 2\text{m/s} = 4\text{m/s}$$

0~6s 拉力所做的功为

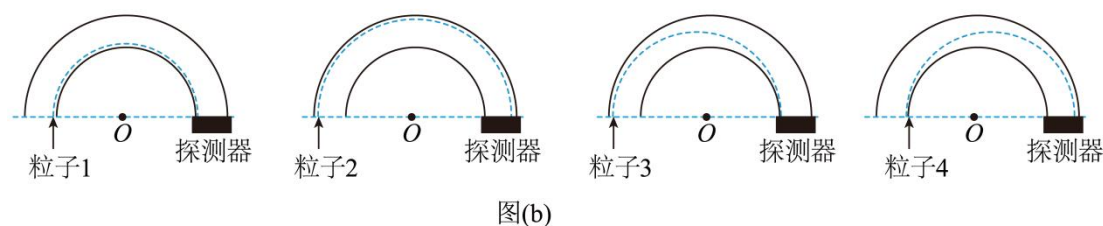
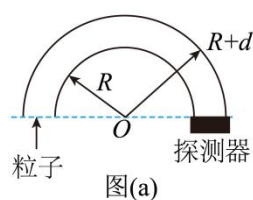
$$W = (4 \times 9 - 4 \times 3 + 4 \times 4)\text{J} = 40\text{J}$$

故 D 正确。

故选 AD。

8. 一种可用于卫星上的带电粒子探测装置，由两个同轴的半圆柱形带电导体极板（半径分别为 R 和 $R + d$ ）和探测器组成，其横截面如图（a）所示，点 O 为圆心。在截面内，极板间各点的电场强度大小与其到 O 点的距离成反比，方向指向 O 点。4 个带正电的同种粒子从极板间通过，到达探测器。不计重力。粒子 1、2

做圆周运动，圆的圆心为 O 、半径分别为 r_1 、 r_2 ($R < r_1 < r_2 < R + d$)；粒子 3 从距 O 点 r_2 的位置入射并从距 O 点 r_1 的位置出射；粒子 4 从距 O 点 r_1 的位置入射并从距 O 点 r_2 的位置出射，轨迹如图 (b) 中虚线所示。则 ()



- A. 粒子 3 入射时的动能比它出射时的大
- B. 粒子 4 入射时的动能比它出射时的大
- C. 粒子 1 入射时的动能小于粒子 2 入射时的动能
- D. 粒子 1 入射时的动能大于粒子 3 入射时的动能

【答案】BD

【解析】

【详解】C. 在截面内，极板间各点的电场强度大小与其到 O 点的距离成反比，可设为

$$Er = k$$

带正电的同种粒子 1、2 在均匀辐向电场中做匀速圆周运动，则有

$$qE_1 = m \frac{v_1^2}{r_1}, \quad qE_2 = m \frac{v_2^2}{r_2}$$

可得

$$\frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{qE_1 r_1}{2} = \frac{qE_2 r_2}{2}$$

即粒子 1 入射时的动能等于粒子 2 入射时的动能，故 C 错误；

A. 粒子 3 从距 O 点 r_2 的位置入射并从距 O 点 r_1 的位置出射，做向心运动，电场力做正功，则动能增大，粒子 3 入射时的动能比它出射时的小，故 A 错误；

B. 粒子 4 从距 O 点 r_1 的位置入射并从距 O 点 r_2 的位置出射，做离心运动，电场力做负功，则动能减小，

粒子 4 入射时的动能比它出射时的大，故 B 正确；

D. 粒子 3 做向心运动，有

$$qE_2 > m \frac{v_3^2}{r_2}$$

可得

$$\frac{1}{2}mv_3^2 < \frac{qE_2 r_2}{2} = \frac{1}{2}mv_1^2$$

粒子 1 入射时的动能大于粒子 3 入射时的动能，故 D 正确；

故选 BD。

三、非选择题：

（一）必考题：

9. 用雷达探测一高速飞行器的位置。从某时刻（ $t=0$ ）开始的一段时间内，该飞行器可视为沿直线运动，每隔 1s 测量一次其位置，坐标为 x ，结果如下表所示：

t/s	0	1	2	3	4	5	6
x/m	0	507	1094	1759	2505	3329	4233

回答下列问题：

- （1）根据表中数据可判断该飞行器在这段时间内近似做匀加速运动，判断的理由是：_____；
- （2）当 $x=507\text{m}$ 时，该飞行器速度的大小 $v=$ _____ m/s ；
- （3）这段时间内该飞行器加速度的大小 $a=$ _____ m/s^2 （保留 2 位有效数字）。

【答案】 ①. 相邻 1s 内的位移之差接近 $\Delta x=80\text{m}$ ②. 547 ③. 79

【解析】

【详解】（1）[1]第 1s 内的位移 507m，第 2s 内的位移 587m，第 3s 内的位移 665m，第 4s 内的位移 746m，第 5s 内的位移 824m，第 6s 内的位移 904m，则相邻 1s 内的位移之差接近 $\Delta x=80\text{m}$ ，可知判断飞行器在这段时间内做匀加速运动；

（2）[2]当 $x=507\text{m}$ 时飞行器的速度等于 0-2s 内的平均速度，则

$$v_1 = \frac{1094}{2} \text{m/s} = 547 \text{m/s}$$

（3）[3]根据

$$a = \frac{x_{36} - x_{03}}{9T^2} = \frac{4233 - 2 \times 1759}{9 \times 1^2} \text{m/s}^2 \approx 79 \text{m/s}^2$$

10. 一同学探究阻值约为 550Ω 的待测电阻 R_x 在 $0 \sim 5\text{mA}$ 范围内的伏安特性。可用器材有：电压表 V（量程为 3V ，内阻很大），电流表 A（量程为 1mA ，内阻为 300Ω ），电源 E（电动势约为 4V ，内阻不计），

滑动变阻器 R (最大阻值可选 10Ω 或 $1.5k\Omega$)，定值电阻 R_0 (阻值可选 75Ω 或 150Ω)，开关 S ，导线若干。

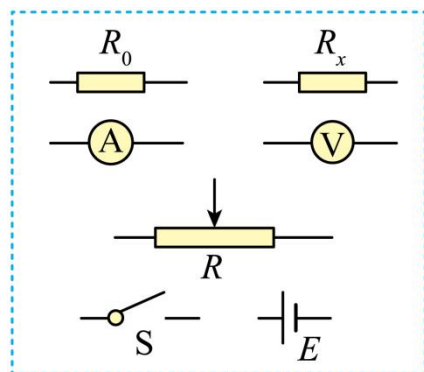


图 (a)

(1) 要求通过 R_x 的电流可在 $0 \sim 5\text{mA}$ 范围内连续可调，在答题卡上将图 (a) 所示的器材符号连线，画出实验电路的原理图_____；

(2) 实验时，图 (a) 中的 R 应选最大阻值为_____ (填 “ 10Ω ” 或 “ $1.5k\Omega$ ”) 的滑动变阻器， R_0 应选阻值为_____ (填 “ 75Ω ” 或 “ 150Ω ”) 的定值电阻；

(3) 测量多组数据可得 R_x 的伏安特性曲线。若在某次测量中，电压表、电流表的示数分别如图 (b) 和图 (c) 所示，则此时 R_x 两端的电压为_____V，流过 R_x 的电流为_____mA，此组数据得到的 R_x 的阻值为_____ Ω (保留 3 位有效数字)。

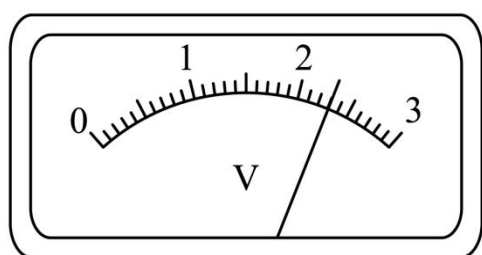


图 (b)

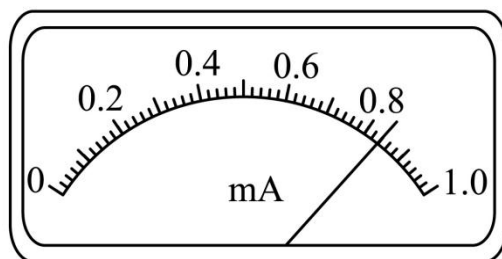
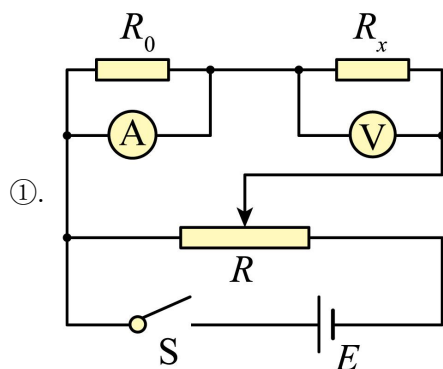


图 (c)



【答案】

①.

②. 10Ω

③. 75Ω

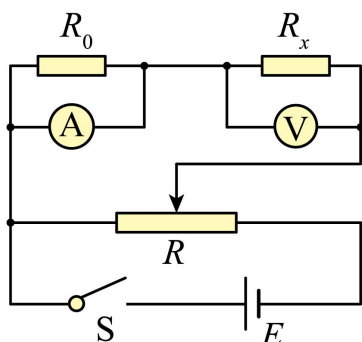
④. 2.30

⑤. 4.20

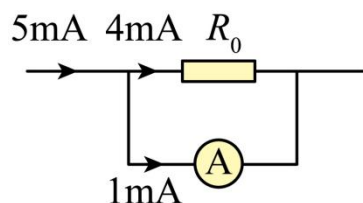
⑥. 548

【解析】

【详解】(1) [1] 电流表内阻已知，电流表与 R_0 并联扩大电流表量程，进而准确测量通过 R_x 的电流，电压表单独测量 R_x 的电压；滑动变阻器采用分压式接法，电表从 0 开始测量，满足题中通过 R_x 的电流从 0 ~ 5mA 连续可调，电路图如下



(2) [2] 电路中 R 应选最大阻值为 10Ω 的滑动变阻器，方便电路的调节，测量效率高、实验误差小；
[3] 通过 R_x 的电流最大为 5mA ，需要将电流表量程扩大为原来的 5 倍，根据并联分流的规律示意图如下



根据并联分流，即并联电路中电流之比等于电阻的反比，可知

$$\frac{4\text{mA}}{1\text{mA}} = \frac{300\Omega}{R_0}$$

解得

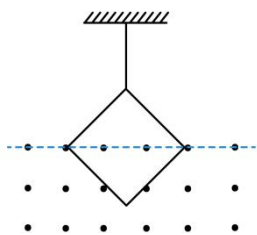
$$R_0 = 75\Omega$$

(3) [4] 电压表每小格表示 0.1V ，向后估读一位，即 $U = 2.30\text{V}$ ；
[5] 电流表每小格表示 0.02mA ，本位估读，即 0.84mA ，电流表量程扩大 5 倍，所以通过 R_x 的电流为 $I = 4.20\text{mA}$ ；
[6] 根据欧姆定律可知

$$R_x = \frac{U}{I} = \frac{2.30}{4.20 \times 10^{-3}} \Omega \approx 548\Omega$$

11. 如图，一不可伸长的细绳的上端固定，下端系在边长为 $l = 0.40\text{m}$ 的正方形金属框的一个顶点上。金属框的一条对角线水平，其下方有方向垂直于金属框所在平面的匀强磁场。已知构成金属框的导线单位长度的阻值为 $\lambda = 5.0 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$ ；在 $t = 0$ 到 $t = 3.0\text{s}$ 时间内，磁感应强度大小随时间 t 的变化关系为 $B(t) = 0.3 - 0.1t(\text{SI})$ 。求：

- (1) $t = 2.0\text{s}$ 时金属框所受安培力的大小；
 (2) 在 $t = 0$ 到 $t = 2.0\text{s}$ 时间内金属框产生的焦耳热。



【答案】(1) $0.04\sqrt{2}\text{N}$ ；(2) 0.016J

【解析】

【详解】(1) 金属框的总电阻为

$$R = 4l\lambda = 4 \times 0.4 \times 5 \times 10^{-3} \Omega = 0.008 \Omega$$

金属框中产生的感应电动势为

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B \times \frac{l^2}{2}}{\Delta t} = 0.1 \times \frac{1}{2} \times 0.4^2 \text{V} = 0.008 \text{V}$$

金属框中的电流为

$$I = \frac{E}{R} = 1 \text{A}$$

$t = 2.0\text{s}$ 时磁感应强度为

$$B_2 = (0.3 - 0.1 \times 2) \text{T} = 0.1 \text{T}$$

金属框处于磁场中的有效长度为

$$L = \sqrt{2}l$$

此时金属框所受安培力大小为

$$F_A = B_2 IL = 0.1 \times 1 \times \sqrt{2} \times 0.4 \text{N} = 0.04\sqrt{2} \text{N}$$

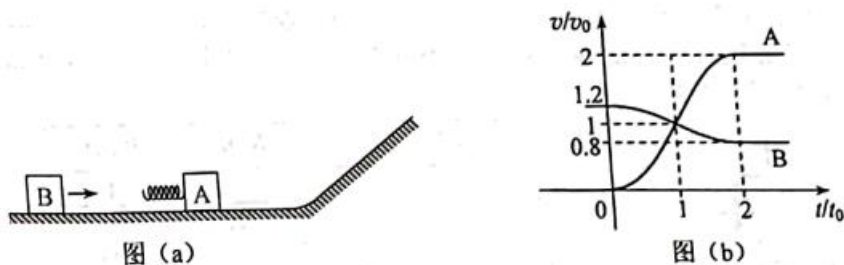
(2) $0 : 2.0\text{s}$ 内金属框产生的焦耳热为

$$Q = I^2 R t = 1^2 \times 0.008 \times 2 \text{J} = 0.016 \text{J}$$

12. 如图 (a)，一质量为 m 的物块 A 与轻质弹簧连接，静止在光滑水平面上：物块 B 向 A 运动， $t = 0$ 时与弹簧接触，到 $t = 2t_0$ 时与弹簧分离，第一次碰撞结束，A、B 的 $v-t$ 图像如图 (b) 所示。已知从 $t = 0$ 到 $t = t_0$ 时间内，物块 A 运动的距离为 $0.36v_0 t_0$ 。A、B 分离后，A 滑上粗糙斜面，然后滑下，与一直在水平面上运

动的 B 再次碰撞，之后 A 再次滑上斜面，达到的最高点与前一次相同。斜面倾角为 θ ($\sin \theta = 0.6$)，与水平面光滑连接。碰撞过程中弹簧始终处于弹性限度内。求

- (1) 第一次碰撞过程中，弹簧弹性势能的最大值；
- (2) 第一次碰撞过程中，弹簧压缩量的最大值；
- (3) 物块 A 与斜面间的动摩擦因数。



【答案】(1) $0.6mv_0^2$ ；(2) $0.768v_0t_0$ ；(3) 0.45

【解析】

【详解】(1) 当弹簧被压缩最短时，弹簧弹性势能最大，此时 A、B 速度相等，即 $t = t_0$ 时刻，根据动量守恒定律

$$m_B \cdot 1.2v_0 = (m_B + m)v_0$$

根据能量守恒定律

$$E_{\text{pmax}} = \frac{1}{2}m_B(1.2v_0)^2 - \frac{1}{2}(m_B + m)v_0^2$$

联立解得

$$m_B = 5m$$

$$E_{\text{pmax}} = 0.6mv_0^2$$

(2) 同一时刻弹簧对 A、B 的弹力大小相等，根据牛顿第二定律

$$F = ma$$

可知同一时刻

$$a_A = 5a_B$$

则同一时刻 A、B 的瞬时速度分别为

$$v_A = a_A t$$

$$v_B = 1.2v_0 - \frac{a_A t}{5}$$

根据位移等速度在时间上的累积可得

$$s_A = v_A t (\text{累积})$$

$$s_B = v_B t (\text{累积})$$

又

$$s_A = 0.36v_0 t_0$$

解得

$$s_B = 1.128v_0 t_0$$

第一次碰撞过程中，弹簧压缩量的最大值

$$\Delta s = s_B - s_A = 0.768v_0 t_0$$

(3) 物块 A 第二次到达斜面的最高点与第一次相同，说明物块 A 第二次与 B 分离后速度大小仍为 $2v_0$ ，方向水平向右，设物块 A 第一次滑下斜面的速度大小为 v'_A ，设向左为正方向，根据动量守恒定律可得

$$mv'_A - 5m \cdot 0.8v_0 = m \cdot (-2v_0) + 5mv'_B$$

根据能量守恒定律可得

$$\frac{1}{2}mv'^2_A + \frac{1}{2} \cdot 5m \cdot (0.8v_0)^2 = \frac{1}{2}m \cdot (-2v_0)^2 + \frac{1}{2} \cdot 5mv'^2_B$$

联立解得

$$v'_A = v_0$$

设在斜面上滑行的长度为 L ，上滑过程，根据动能定理可得

$$-mgL \sin \theta - \mu mgL \cos \theta = 0 - \frac{1}{2}m(2v_0)^2$$

下滑过程，根据动能定理可得

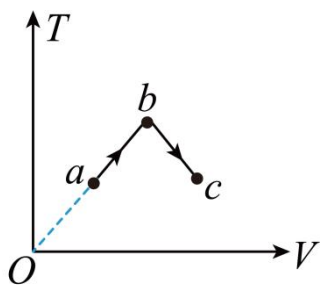
$$mgL \sin \theta - \mu mgL \cos \theta = \frac{1}{2}mv_0^2 - 0$$

联立解得

$$\mu = 0.45$$

(二) 选考题

13. 一定量的理想气体从状态 a 经状态 b 变化状态 c ，其过程如 $T-V$ 图上的两条线段所示，则气体在()



- A. 状态 a 处的压强大于状态 c 处的压强
- B. 由 a 变化到 b 的过程中，气体对外做功
- C. 由 b 变化到 c 的过程中，气体的压强不变
- D. 由 a 变化到 b 的过程中，气体从外界吸热
- E. 由 a 变化到 b 的过程中，从外界吸收的热量等于其增加的内能

【答案】ABD

【解析】

【详解】AC. 根据理想气体状态方程可知

$$T = \frac{p}{nR} \cdot V$$

即 $T-V$ 图像的斜率为 $\frac{p}{nR}$ ，故有

$$p_a = p_b > p_c$$

故 A 正确，C 错误；

B. 理想气体由 a 变化到 b 的过程中，因体积增大，则气体对外做功，故 B 正确；

DE. 理想气体由 a 变化到 b 的过程中，温度升高，则内能增大，由热力学第一定律有

$$\Delta U = Q + W$$

而 $\Delta U > 0$ ， $W < 0$ ，则有

$$\Delta U = Q - |W|$$

可得

$$Q > 0, Q > \Delta U$$

即气体从外界吸热，且从外界吸收的热量大于其增加的内能，故 D 正确，E 错误；

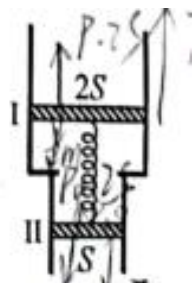
故选 ABD。

14. 如图，一竖直放置的汽缸由两个粗细不同的圆柱形筒组成，汽缸中活塞 I 和活塞 II 之间封闭有一定量的理想气体，两活塞用一轻质弹簧连接，汽缸连接处有小卡销，活塞 II 不能通过连接处。活塞 I、II 的质量

分别为 $2m$ 、 m ，面积分别为 $2S$ 、 S ，弹簧原长为 l 。初始时系统处于平衡状态，此时弹簧的伸长量为 $0.1l$ ，活塞 I、II 到汽缸连接处的距离相等，两活塞间气体的温度为 T_0 。已知活塞外大气压强为 p_0 ，忽略活塞与缸壁间的摩擦，汽缸无漏气，不计弹簧的体积。

(1) 求弹簧的劲度系数；

(2) 缓慢加热两活塞间的气体，求当活塞 II 刚运动到汽缸连接处时，活塞间气体的压强和温度。



【答案】(1) $k = \frac{40mg}{l}$ ；(2) $p_2 = p_0 + \frac{3mg}{S}$ ， $T_2 = \frac{4}{3}T_0$

【解析】

【详解】(1) 设封闭气体的压强为 p_1 ，对两活塞和弹簧的整体受力分析，由平衡条件有

$$mg + p_0 \cdot 2S + 2mg + p_1 S = p_0 S + p_1 \cdot 2S$$

解得

$$p_1 = p_0 + \frac{3mg}{S}$$

对活塞 I 由平衡条件有

$$2mg + p_0 \cdot 2S + k \cdot 0.1l = p_1 \cdot 2S$$

解得弹簧的劲度系数为

$$k = \frac{40mg}{l}$$

(2) 缓慢加热两活塞间的气体使得活塞 II 刚运动到汽缸连接处时，对两活塞和弹簧的整体由平衡条件可知，气体的压强不变依然为

$$p_2 = p_1 = p_0 + \frac{3mg}{S}$$

即封闭气体发生等压过程，初末状态的体积分别为

$$V_1 = \frac{1.1l}{2} \times 2S + \frac{1.1l}{2} \times S = \frac{3.3lS}{2}, \quad V_2 = l_2 \cdot 2S$$

由气体的压强不变，则弹簧的弹力也不变，故有

$$l_2 = 1.1l$$

有等压方程可知

$$\frac{V_1}{T_0} = \frac{V_2}{T_2}$$

解得

$$T_2 = \frac{4}{3}T_0$$

15. 介质中平衡位置在同一水平面上的两个点波源 S_1 和 S_2 ，二者做简谐运动的振幅相等，周期均为 0.8s ，当 S_1 过平衡位置向上运动时， S_2 也过平衡位置向上运动。若波速为 5m/s ，则由 S_1 和 S_2 发出的简谐横波的波长均为_____m。 P 为波源平衡位置所在水平面上的一点，与 S_1 、 S_2 平衡位置的距离均为 10m ，则两波在 P 点引起的振动总是相互_____（填“加强”或“削弱”）的；当 S_1 恰好在平衡位置向上运动时，平衡位置在 P 处的质点_____（填“向上”或“向下”）运动。

【答案】 ①. 4 ②. 加强 ③. 向下

【解析】

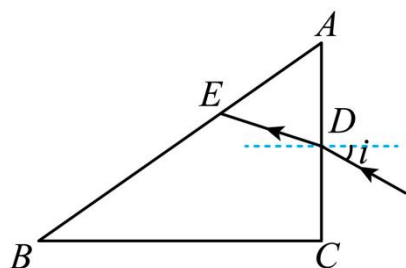
【详解】[1]因周期 $T=0.8\text{s}$ ，波速为 $v=5\text{m/s}$ ，则波长为

$$\lambda = vT = 4\text{m}$$

[2]因两波源到 P 点的距离之差为零，且两振源振动方向相同，则 P 点的振动是加强的；

[3]因 $S_1P=10\text{m}=2.5\lambda$ ，则当 S_1 恰好的平衡位置向上运动时，平衡位置在 P 点的质点向下振动。

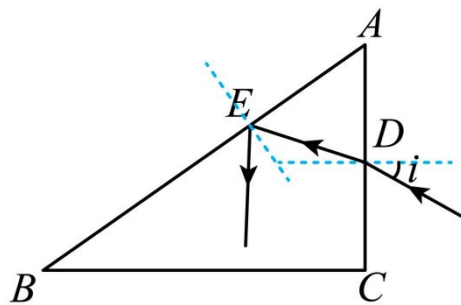
16. 一细束单色光在三棱镜 ABC 的侧面 AC 上以大角度由 D 点入射（入射面在棱镜的横截面内），入射角为 i ，经折射后射至 AB 边的 E 点，如图所示，逐渐减小 i ， E 点向 B 点移动，当 $\sin i = \frac{1}{6}$ 时，恰好没有光线从 AB 边射出棱镜，且 $DE = DA$ 。求棱镜的折射率。



【答案】 1.5

【解析】

【详解】



因为当 $\sin i = \frac{1}{6}$ 时，恰好没有光线从 AB 边射出，可知光线在 E 点发生全反射，设临界角为 C ，则

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

由几何关系可知，光线在 D 点的折射角为

$$r = 90^\circ - 2C$$

则

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

联立可得

$$n=1.5$$

