

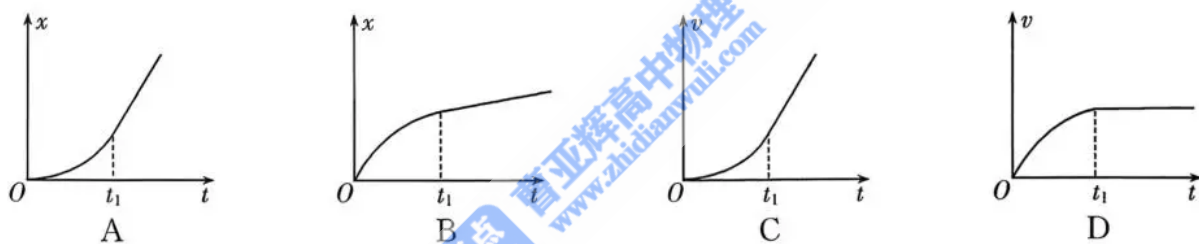
物理(四)试卷

注意事项:

1. 答题前,考生务必将自己的姓名、准考证号填写在答题卡上。
2. 回答选择题时,选出每小题答案后,用 2B 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。

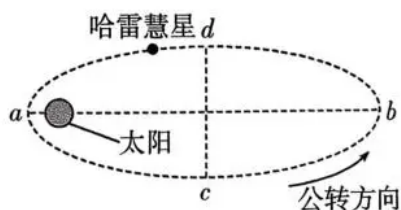
一、选择题:本题共 10 小题,共 46 分。在每小题给出的四个选项中,第 1~7 题只有一项符合题目要求,每小题 4 分;第 8~10 题有多项符合题目要求,每小题 6 分,全部选对的得 6 分,选对但不全的得 3 分,有选错的得 0 分。

1. $t=0$ 时刻,汽车在平直路面从静止开始做匀加速直线运动, t_1 时刻速度达到最大,此后保持最大速度做匀速直线运动。汽车的速度 v 、位移 x 随时间 t 变化的图像可能正确的是

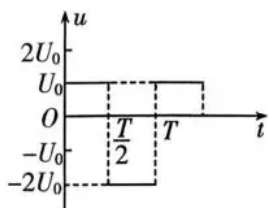


2. 如图所示,哈雷彗星绕太阳运行的轨迹为椭圆, ab 、 cd 分别为椭圆的长轴和短轴。哈雷彗星的运行周期为 76 年。只考虑太阳对哈雷彗星的作用力,则哈雷彗星

- A. 从 d 点运动到 c 点的时间为 38 年
- B. 从 a 点运动到 b 点的过程中速率增大
- C. 在 a 点的加速度大于 b 点的加速度
- D. 在 a 点的机械能大于 b 点的机械能



3. 某交变电流的波形如图所示,其电压有效值为



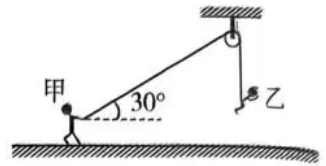
- A. $\frac{\sqrt{5}}{2}U_0$
- B. $\frac{\sqrt{10}}{2}U_0$
- C. $\sqrt{5}U_0$
- D. $\sqrt{10}U_0$

4. 在拍电影时,上,...

...向上拉起,使乙向上

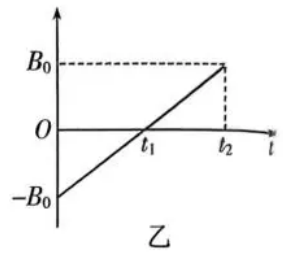
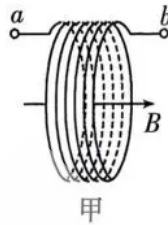
做匀速直线运动。甲、乙均视为质点,质量分别为 80 kg 和 50 kg ,取重力加速度 $g=10\text{ m/s}^2$ 。当定滑轮左侧细绳与水平方向之间的夹角为 30° 时

- A. 甲对地面的压力大小为 800 N
- B. 甲对地面的压力大小为 $800-250\sqrt{3}\text{ N}$
- C. 甲、乙的速度大小之比为 $2:\sqrt{3}$
- D. 甲、乙的速度大小之比为 $2:1$



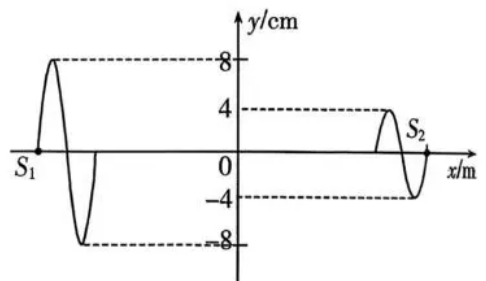
5. 如图甲所示为无线充电技术中使用的受电线圈示意图,线圈匝数为 n ,面积为 S 。匀强磁场平行于线圈轴线穿过线圈,规定向右为磁感应强度的正方向,磁感应强度 B 随时间 t 变化的图像如图乙所示, a 、 b 两点的电势分别用 φ_a 、 φ_b 表示。下列说法正确的是

- A. t_1 时刻, $\varphi_a = \varphi_b$
- B. $0 \sim t_2$ 时间内, φ_a 始终高于 φ_b
- C. $0 \sim t_2$ 时间内, $\varphi_a - \varphi_b$ 从 0 均匀增加到 $\frac{2nB_0S}{t_2}$
- D. $0 \sim t_2$ 时间内, $\varphi_a - \varphi_b$ 恒为 $-\frac{2nB_0S}{t_2}$

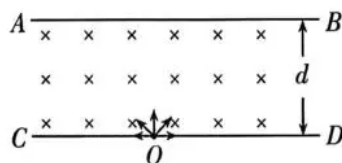


6. 两列简谐横波在同一介质中沿 x 轴相向传播,两波源 S_1 、 S_2 的平衡位置坐标分别为 $x_1 = -6\text{ m}$, $x_2 = 6\text{ m}$ 。 $t=0$ 时刻两波源同时开始振动, $t=0.4\text{ s}$ 时波形如图所示, $t=1.2\text{ s}$ 时坐标原点处的质点开始振动。下列说法正确的是

- A. 两列简谐波的波长均为 4 m
- B. 两列简谐波的波速均为 10 m/s
- C. $0 \sim 2.0\text{ s}$ 时间内,坐标原点处的质点运动的路程为 16 cm
- D. 经过足够长的时间,波源间(不包括波源)振幅为 12 cm 的点共有 12 个

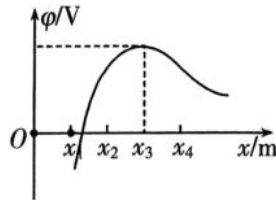


7. 如图所示,在水平放置且足够长的平板 AB 和 CD 之间有匀强磁场,磁场方向垂直纸面向里,两板的板间距为 d 。大量质量为 m 、电荷量为 q ($q > 0$) 的粒子,以相同的速率 v_0 沿纸面内的各个方向,从 O 点射入磁场区域。不计粒子的重力和粒子间的相互作用力,若匀强磁场的磁感应强度大小为 $\frac{8mv_0}{5qd}$, AB 板上被粒子打中的区域长度与 CD 板上被粒子打中的区域长度之比为

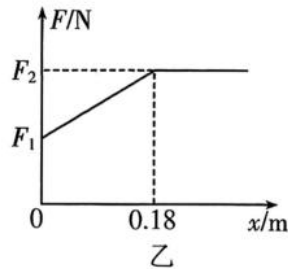
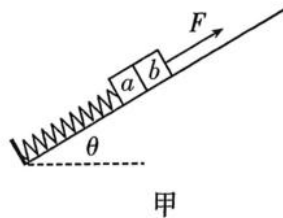


- A. $4:5$
- B. $5:4$
- C. $7:2$
- D. $7:5$

8. 某微型核电池使用了镍 63 核同位素衰变技术, 镍核衰变方程为: ${}_{28}^{63}\text{Ni} \rightarrow {}_{29}^{63}\text{Cu} + \text{X}$, 半衰期为 100 年。下列说法正确的
- A. 该反应释放能量
B. X 来源于原子核外部
C. X 是在核内中子转化为质子的过程中产生的
D. 改变压强和温度, 可以改变镍 63 的半衰期
9. 在 x 轴上的坐标原点 O 和 x_1 处, 分别固定有电荷量为 q_1 、 q_2 的点电荷, 取无穷远为电势零点, 其静电场的电势 φ 在 x 轴上的分布如图所示。下列说法正确的是



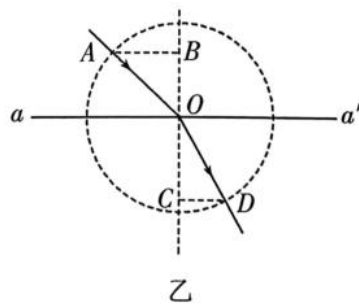
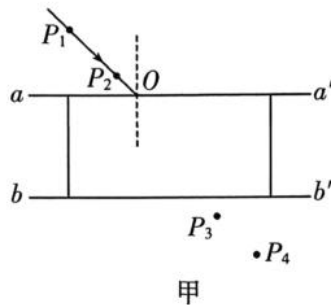
- A. q_1 和 q_2 带同种电荷
B. x_3 处的电场强度为零
C. 将电子沿 x 轴从 x_2 移动到 x_4 , 电势能先增大后减小
D. 将电子沿 x 轴从 x_2 移动到 x_4 , 所受电场力先减小后增大
10. 如图甲所示, 轻弹簧一端固定在倾角 $\theta=30^\circ$ 的足够长的光滑斜面上, 另一端与质量为 $m_1=0.8\text{ kg}$ 的物块 a 相连, 质量 $m_2=0.4\text{ kg}$ 的物块 b 紧靠 a 静止在斜面上。 $t=0$ 时刻, 对物块 b 施加沿斜面向上的力 F , 使得 b 始终做匀加速直线运动, 力 F 随物块 b 的位移 x 变化的关系如图乙所示。已知 $t=0.6\text{ s}$ 时, a 、 b 刚好分离。取重力加速度 $g=10\text{ m/s}^2$ 。下列说法正确的是



- A. $x=0.18\text{ m}$ 时, 弹簧恢复原长
B. F_1 的值为 6.6 N
C. 弹簧的劲度系数为 $\frac{20}{3}\text{ N/m}$
D. $0\sim 0.6\text{ s}$ 时间内, a 对 b 做的功为 0.108 J

二、非选择题: 本题共 5 小题, 共 54 分。

11. (6 分) 在“插针法测量玻璃折射率”的实验中, aa' 、 bb' 是玻璃砖的边界, P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 是正确操作下插的大头针的位置, O 为入射点, 如图甲所示。据此回答下列问题



(1)在插大头针 P_3 时_____

A. 只需挡住 P_1 的像

B. 只需挡住 P_2 的像

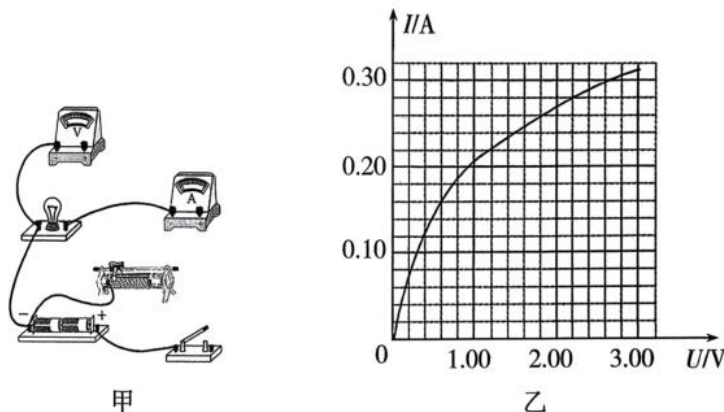
C. 需要同时挡住 P_1 和 P_2 的像

(2)请将图甲中的光路图补充完整。

(3)正确作出光路图后,实验小组以入射点 O 为圆心作圆,与入射光线、折射光线分别交于 A 、 D 点,再过 A 、 D 作法线的垂线,垂足分别为 B 、 C 点,如图乙所示。则玻璃的折射率为_____。

(用图乙中线段的字母表示。)

12. (10分)实验小组要测绘小灯泡 L 的伏安特性曲线,实验室可提供的实验器材有:小灯泡 L (额定电压 3 V)、电流表 A (量程 0.3 A ,内阻约为 $2\ \Omega$)、电压表 V (量程 3 V ,内阻约为 $3\text{ k}\Omega$)、滑动变阻器 R (最大阻值 $10\ \Omega$)、电源 E (电动势 3 V ,内阻不计)、开关和导线若干。



(1)请用笔画代替导线将图甲中的实物图连接完整。

(2)实验小组正确连接电路后,闭合开关,调节滑动变阻器,发现小灯泡不发光,电压表示数变化明显,电流表示数几乎为零,则故障可能是_____。

A. 电流表短路

B. 电流表断路

C. 小灯泡断路

D. 小灯泡短路

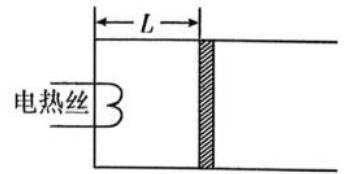
(3)解决故障后,改变滑动变阻器的阻值,得到多组电流表和电压表的示数 U 和 I ,作出 $I-U$ 图像如图乙所示。由图像可知,温度越高,小灯泡的电阻越_____ (选填“大”或“小”),小灯泡的额定功率为_____ W (结果保留 2 位有效数字)。

(4)若将小灯泡直接与电源 E_1 (电动势 3 V ,内阻 $5\ \Omega$) 串联,此时小灯泡的实际功率为_____ W 。(结果保留 2 位有效数字)

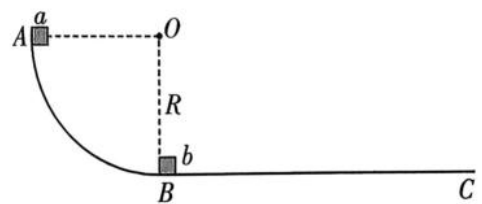
13. (10分)如图所示,一定质量的理想气体被封闭在汽缸中,活塞的横截面积为 S ,与汽缸底部的距离为 L ,汽缸和活塞绝热性能良好,汽缸内壁光滑。初始时活塞静止,汽缸内气体温度为 $T=T_0$ 。现接通电热丝(体积不计)缓慢加热气体,使气体温度缓慢升高至 $2T_0$,此过程中气体吸收热量为 Q 。整个过程中气体无泄漏,大气压强恒为 p_0 。求:

(1) $T=2T_0$ 时,活塞与汽缸底部的距离;

(2) 气体温度从 T_0 升高至 $2T_0$ 的过程中, 气体内能的变化量。



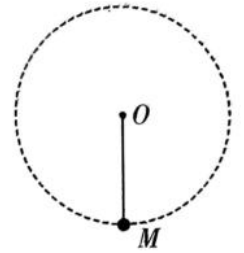
14. (13 分) 如图所示, AB 是固定在竖直平面内半径为 $R_1 = 3.2 \text{ m}$ 的 $\frac{1}{4}$ 光滑圆弧轨道, BC 是粗糙水平轨道, 两轨道平滑连接。物块 a 从 A 点静止释放后, 与静止在 B 点的物块 b 发生碰撞。已知 a 、 b 两物块的质量分别为 $m_1 = 0.5 \text{ kg}$ 、 $m_2 = 3 \text{ kg}$, 恢复系数 $e = \frac{3}{4}$ (恢复系数是反映碰撞时物体形变恢复能力的参数, 它只与碰撞物体的材料有关, 其定义为两物体碰后瞬间相对速度大小与碰前瞬间相对速度大小的比值, 即 $e = \frac{|\text{碰后相对速度}|}{|\text{碰前相对速度}|}$), 两物体与水平轨道 BC 间的动摩擦因数均为 $\mu = 0.2$ 。若 a 、 b 均可视为质点, 碰撞时间极短, 不计空气阻力, 取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求:
- (1) a 、 b 第一次碰撞后瞬间, a 的速度大小;
 - (2) 整个运动过程中, b 的位移大小。



15. (15分) 匀强电场中, 质量为 m 、带电荷量为 q ($q > 0$) 且可视为质点的小球在长为 L 的绝缘轻绳拉力作用下绕固定点 O 在竖直平面内做圆周运动, M 点为圆周上的最低点, 电场方向平行于圆周平面。已知运动过程中小球速度最小值为 $\frac{\sqrt{2gL}}{2}$ (g 为重力加速度), 此时绳子拉力恰好为零。

小球运动到 M 点时速度大小为 $\sqrt{2gL}$, 不计空气阻力。求:

- (1) 电场力和重力合力的大小;
- (2) 绳子对小球拉力的最大值;
- (3) 匀强电场的电场强度大小。



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。

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
答案	A	C	B	C	D	D	A	AC	BD	CD

1.【答案】A

【解析】 $x-t$ 图像中图线斜率表示速度, $v-t$ 图像中图线斜率表示加速度,只有选项 A 中的图像满足题意,选项 B、C、D 错误。

2.【答案】C

【解析】哈雷彗星在近日点运动快,因此从 d 点运动到 c 点的时间小于 38 年,从 a 点运动到 b 点的过程中速率减小,选项 A、B 错误;哈雷彗星在近日点受到的万有引力大,加速度大,选项 C 正确;哈雷彗星运动过程中只有太阳对它的万有引力做功,机械能不变,选项 D 错误。

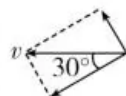
3.【答案】B

【解析】设该交流电的有效值为 U ,由有效值的定义可得: $\frac{U_0^2}{R} \cdot \frac{T}{2} + \frac{(2U_0)^2}{R} \cdot \frac{T}{2} = \frac{U^2}{R}T$,解得:

$$U = \frac{\sqrt{10}}{2}U_0, \text{选项 B 正确,选项 A、C、D 错误。}$$

4.【答案】C

【解析】对甲受力分析易知甲对地面的压力大小为 550 N,选项 A、B 错误;设甲的速度大小为 v ,对甲的速度分解如图所示,可得甲、乙的速度大小之比为 $2 : \sqrt{3}$,选项 C 正确,选项 D 错误。



5.【答案】D

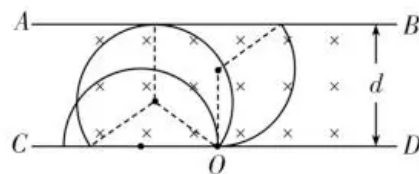
【解析】由楞次定律可知 a 点电势低于 b 点电势,选项 B 错误;由法拉第电磁感应定律可知, $0 \sim t_2$ 时间内, $\varphi_a - \varphi_b$ 恒为: $E = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = -\frac{2nB_0S}{t_2}$,选项 A、C 错误,选项 D 正确。

6.【答案】D

【解析】同一介质中,两列简谐横波的波速相同,周期均为 $T=0.4 \text{ s}$,因此两列简谐横波的波长相同,由题意可得: $v = \frac{6 \text{ m} - \lambda}{0.8 \text{ s}} = \frac{\lambda}{T}$,解得: $\lambda = 2 \text{ m}$, $v = 5 \text{ m/s}$,选项 A、B 错误;坐标原点为振动的减弱点,振幅为 4 cm, $t=1.2 \text{ s}$ 时坐标原点处的质点开始振动,因此 $0 \sim 2.0 \text{ s}$ 时间内,坐标原点处的质点振动了 2 个周期,运动的路程为 32 cm,选项 C 错误;波源间(不包括波源)振幅为 12 cm 的点为振动的加强点,经过足够长的时间,共有 12 个,选项 D 正确。

7.【答案】A

【解析】由牛顿第二定律得: $qv_0B = m \frac{v_0^2}{R}$,解得: $R = \frac{5}{8}d$,可得带电粒子在磁场中的运动轨迹如图所示。则 AB 板上被粒子打中的区域长度为: $L_1 = \frac{4}{5} \times 2R = d$,CD 板上被粒子打中的区域长



度为: $L_2 = 2R = \frac{5}{4}d$,则: $L_1 : L_2 = 4 : 5$,选项 A 正确,选项 B、C、D 错误。

8.【答案】AC

【解析】衰变反应释放能量,选项 A 正确;X 为电子,由核内中子转化为质子的过程中产生,选项 B 错误,选项 C 正确;改变压强和温度,不能改变半衰期,选项 D 错误。

9.【答案】BD

【解析】题图中电势分布有正有负,因此 q_1 和 q_2 带异种电荷,选项 A 错误; $\varphi-x$ 图中图线的斜率表示电场强度, x_3 处的斜率为零,电场强度为零,选项 B 正确;由 $E_p=q\varphi$ 可知,将电子沿 x 轴从 x_2 移动到 x_4 ,电势能先减小后增大,选项 C 错误;将电子沿 x 轴从 x_2 移动到 x_4 ,所受电场力先减小后增大,选项 D 正确。

10.【答案】CD

【解析】 $x=0.18\text{ m}$ 时, a 、 b 刚好分离,此时 a 、 b 的加速度大小相等, a 、 b 之间的相互作用力为零,弹簧未恢复原长,选项 A 错误; b 始终做匀加速直线运动,由匀变速直线运动的规律得:

$x=\frac{1}{2}at^2$,解得: $a=1\text{ m/s}^2$, $t=0$ 时刻,对 a 、 b 整体由牛顿第二定律得: $F_1=(m_1+m_2)a$,解得:

$F_1=1.2\text{ N}$,选项 B 错误;设弹簧的劲度系数为 k ,未对 b 施加力 F 时, $kx_1=(m_1+m_2)g\sin\theta$, a 、 b 分离瞬间,对 a 由牛顿第二定律得: $kx_2-m_1g\sin\theta=m_1a$,由题意知: $x_1-x_2=0.18\text{ m}$,联立解得:

$k=\frac{\Delta F}{\Delta x}=\frac{20}{3}\text{ N/m}$,选项 C 正确; $t=0.6\text{ s}$ 时, a 的速度大小为: $v=at=0.6\text{ m/s}$, 0.6 s 后,对 b

由牛顿第二定律得: $F_2-m_2g\sin\theta=m_2a$,解得: $F_2=2.4\text{ N}$, $0\sim 0.6\text{ s}$ 时间内,力 F 对 b 做的功为:

$W_F=\frac{F_1+F_2}{2}(x_1-x_2)$,对 b 由动能定理得: $W_F+W-m_2g(x_1-x_2)\sin\theta=\frac{1}{2}m_2v^2$, $W=0.108\text{ J}$,

选项 D 正确。

二、非选择题:本题共 5 小题,共 54 分。

11.【答案】(1)C (2)如图所示 (3) $\frac{AB}{CD}$

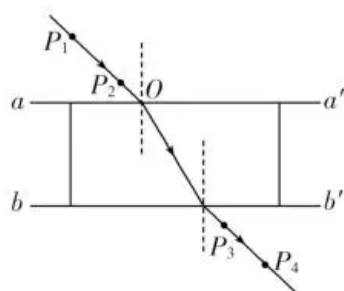
【解析】(1)在插大头针 P_3 时,应同时挡住 P_1 和 P_2 的像,选项 C 正确。

(2)光路图如图所示。

(3)设所作圆的半径为 R ,则入射角、折射角的正弦值分别为: $\sin\theta_1=\frac{AB}{R}$,

$\sin\theta_2=\frac{CD}{R}$,所以折射率: $n=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{AB}{CD}$ 。

评分标准:本题共 6 分。第(1)问 2 分;第(2)问 2 分;第(3)问 2 分。



12.【答案】(1)如图甲所示 (2)C (3)大 0.93 W

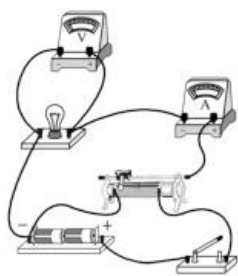
(4)0.42(0.40~0.44)

【解析】(1)由于电流表和小灯泡的电阻较为接近,为了提高实验精度,采用安培表外接法,电路图如图甲所示。

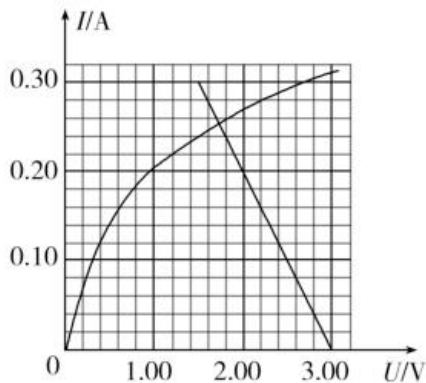
(2)闭合开关,调节滑动变阻器,发现小灯泡不发光,电压表示数变化明显,电流表示数几乎为零,说明电压表和电流串联,因此故障可能是小灯泡断路,选项 C 正确。

(3)从题图乙中可知温度越高,小灯泡的电阻越大;小灯泡的额定电压为 3 V,由题图乙可知小灯泡的额定电流为 0.31 A,因此小灯泡的额定功率为 0.93 W。

(4)在图乙中作出电源 E_1 的输出电压 U 随干路电流 I 变化的图像,如图所示,两条线的交点即为小灯泡实际工作时的电流和电压,可得小灯泡的实际功率为 0.42 W 。



甲



乙

评分标准:本题共 10 分。第(1)问 2 分;第(2)问 2 分;第(3)问 4 分,每空 2 分;第(4)问 2 分。

13. 解:(1)气体温度从 T_0 升高至 $2T_0$ 的过程中,气体做等压变化,由盖-吕萨克定律得

$$\frac{SL}{T_0} = \frac{SL_1}{2T_0} \dots\dots\dots ①$$

$$\text{解得: } L_1 = 2L_0 \dots\dots\dots ②$$

(2)由热力学第一定律得

$$\Delta U = W + Q \dots\dots\dots ③$$

$$W = -p_0 SL \dots\dots\dots ④$$

$$\text{解得: } \Delta U = Q - p_0 SL \dots\dots\dots ⑤$$

评分标准:本题共 10 分。第(1)问 4 分,得出①②式每式各给 2 分;第(2)问 6 分,得出③④⑤式每式给 2 分。其他解法正确同样给分。

14. 解:(1)设 a 、 b 第一次碰撞前瞬间 a 的速度大小为 v_1 ,碰撞后瞬间二者的速度大小分别为 v_{a1} 、 v_{b1} , a 在圆弧轨道 AB 上运动的过程中,由动能定理得

$$m_1 g R_1 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \dots\dots\dots ①$$

a 、 b 碰撞的过程中,由动量守恒定律得

$$m_1 v_1 = m_2 v_{b1} - m_1 v_{a1} \dots\dots\dots ②$$

$$e = \frac{3}{4} = \frac{v_{a1} + v_{b1}}{v_1} \dots\dots\dots ③$$

$$\text{解得: } v_{a1} = 4\text{ m/s (方向向左)} \dots\dots\dots ④$$

$$v_{b1} = 2\text{ m/s (方向向右)}$$

(2) a 、 b 在粗糙水平轨道上运动的过程中,由牛顿第二定律得

$$\mu m g = m a \dots\dots\dots ⑤$$

$$\text{解得: } a = 2\text{ m/s}^2$$

a 、 b 第一次碰撞后, b 在水平轨道 BC 上运动的位移大小为

$$x_1 = \frac{v_{b1}^2}{2a} \dots\dots\dots ⑥$$

$$\text{解得: } x_1 = 1\text{ m}$$

第一次碰撞后 a 沿着圆弧轨道上滑至最高点后返回,返回到地面时的速度大小仍为 v_{a1} ,比第一次碰后的 b 速度大,所以会发生第二次碰撞。 a 、 b 第一次碰撞以后, b 向右运动经过 1 s 停止运动。 a 反弹滑上圆弧轨道以后,在圆弧轨道上运动的加速度小于 10 m/s^2 ,结合运动学的公式可

知, a 在圆弧轨道上运动的时间大于 0.8 s 。 a 滑回 B 点后向右运动 1 m 的过程中做匀减速直线运动, 时间一定大于 0.25 s , 所以 a 从反弹后运动到距 B 点右方 1 m 的位置所用的时间一定大于 1.05 s , 因此 a 与 b 第二次碰撞是发生在 b 停止运动以后。

设 a 、 b 第二次碰撞前瞬间 a 的速度大小为 v_2 , 碰撞后瞬间二者的速度大小分别为 v_{a2} 、 v_{b2} , 由运动学公式得

$$v_2^2 - v_{a1}^2 = -2ax_1 \quad \text{..... ⑦}$$

解得: $v_2 = 2\sqrt{3}\text{ m/s}$

第二次碰撞过程中, 同理可得: $v_{b2} = \frac{\sqrt{3}}{2}\text{ m/s}$ ⑧

a 、 b 第二次碰撞后, b 在水平轨道 BC 上运动的位移大小为

$$x_2 = \frac{v_{b2}^2}{2a} \quad \text{..... ⑨}$$

b 运动的位移大小为

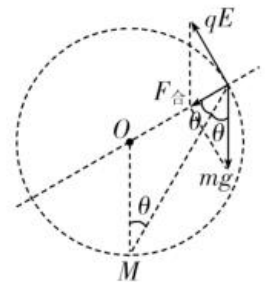
$$x = x_1 + x_2 = \frac{19}{16}\text{ m} \quad \text{..... ⑩}$$

评分标准: 第(1)问 6 分, 得出①④式每式各给 1 分, 得出②③式每式各给 2 分; 第(2)问 7 分, 得出⑤⑥⑦⑨⑩式每式各给 1 分, 得出⑧式给 2 分。 其他解法正确同样给分。

15. 解: (1) 当小球速度最小时, 绳子拉力恰好为零, 此时小球做圆周运动的向心力由电场力和重力的合力提供

$$F_{\text{合}} = m \frac{v_{\text{min}}^2}{L} \quad \text{..... ①}$$

解得: $F_{\text{合}} = \frac{1}{2}mg$ ②



(2) 小球运动到“等效最低点”时, 小球的速度最大, 绳子对小球的拉力最大。 小球从“等效最高点”运动到“等效最低点”的过程中, 由动能定理得

$$2F_{\text{合}} L = \frac{1}{2}mv_{\text{max}}^2 - \frac{1}{2}mv_{\text{min}}^2 \quad \text{..... ③}$$

在“等效最低点”, 由牛顿第二定律得

$$F - F_{\text{合}} = m \frac{v_{\text{max}}^2}{L} \quad \text{..... ④}$$

解得: $F = 3mg$ ⑤

(3) 小球从“等效最高点”运动的到 M 点的过程中, 由动能定理得

$$F_{\text{合}} x = \frac{1}{2}mv_M^2 - \frac{1}{2}mv_{\text{min}}^2 \quad \text{..... ⑥}$$

$$\sin \theta = \frac{x-L}{L} \quad \text{..... ⑦}$$

$$\tan \theta = \frac{F_{\text{合}}}{qE} \quad \text{..... ⑧}$$

解得: $E = \frac{\sqrt{3}mg}{2q}$ ⑨

评分标准: 本题共 15 分。 第(1)问 3 分, 得出①式给 2 分, 得出②式给 1 分; 第(2)问 5 分, 得出③④式每式各给 2 分, 得出⑤式给 1 分; 第(3)问 7 分, 得出⑥⑦⑧式每式各给 2 分, 得出⑨式给 1 分。 其他解法正确同样给分。