

# 2023~2024 学年福建百校联考高三正月

## 物理

全卷满分 100 分，考试时间 75 分钟。

注意事项：

1. 答题前，先将自己的姓名、准考证号填写在试卷和答题卡上，并将条形码粘贴在答题卡上的指定位置。
2. 请按题号顺序在答题卡上各题目的答题区域内作答，写在试卷、草稿纸和答题上的非答题区域均无效。
3. 选择题用 2B 铅笔在答题卡上把所选答案的标号涂黑；非选择题用黑色签字笔在答题卡上作答；字体工整，笔迹清楚。
4. 考试结束后，请将试卷和答题卡一并上交。

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. 铀  ${}^{204}_{89}\text{Ac}$  的放射性很强，衰变放射出的高能粒子足以将周围的空气电离，从而发出暗蓝色的光。铀  ${}^{204}_{89}\text{Ac}$  的衰变方程为  ${}^{204}_{89}\text{Ac} \longrightarrow {}^A_Z\text{X} + {}^4_2\text{He}$ ，同时释放  $\gamma$  射线。关于铀  ${}^{204}_{89}\text{Ac}$  的衰变，下列说法正确的是（ ）

- A. X 的中子数为 113
- B. X 一定不再具有放射性
- C. 释放的  $\gamma$  射线使周围的空气电离，从而发出暗蓝色的光
- D. 释放的  $\gamma$  射线来自于铀  ${}^{204}_{89}\text{Ac}$

【答案】A

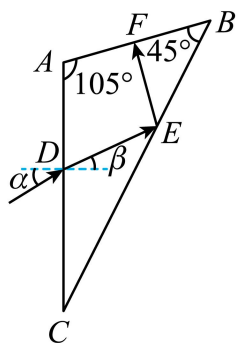
【解析】

- 【详解】A. 根据质量数、电荷数守恒可知， $A=200$ ， $Z=87$ ，因此 X 的中子数为 113，A 项正确；
- B. X 的核电荷数大于 82，仍具有放射性，B 项错误；
- C. 衰变产生的  $\alpha$  粒子使周围的空气电离，从而发出暗蓝色的光，C 项错误；
- D. 释放的  $\gamma$  射线来自于衰变产生的 X 元素，D 项错误。

故选 A。

2. 如图所示为三棱镜的截面  $\triangle ABC$ ， $\angle A=105^\circ$ 、 $\angle B=45^\circ$ 。某细单色光束从 AC 边上的 D 点射入三棱镜，折射光线射到 BC 边上的 E 点，正好发生全反射，反射光线垂直射到 AB 边的 F 点，光线在 D 的入射角为  $\alpha$ （为未知量），折射角为  $\beta$ （为未知量），已知 B、E 两点之间的距离为 L， $\sin 15^\circ = \frac{\sqrt{6}-\sqrt{2}}{4}$ ，光

在真空中的传播速度为  $c$ ，则下列说法正确的是（ ）



A. 介质对此单色光的折射率为  $\sqrt{3}$

B. 光从  $E$  到  $F$  的传播时间为  $\frac{\sqrt{2}L}{c}$

C.  $\sin \alpha = \frac{\sqrt{3}-1}{2}$

D.  $\sin \beta = \frac{\sqrt{6}-\sqrt{2}}{6}$

【答案】C

【解析】

【详解】A. 设光线在介质中发生全反射的临界角为  $\theta$ ，折射光线射到  $BC$  边上的  $E$  点，正好发生全反射，反射光线垂直射到  $AB$  边的  $F$  点，由几何关系可得  $\theta = 45^\circ$ ，由折射率的定义可得

$$n = \frac{1}{\sin \theta} = \sqrt{2}$$

故 A 错误；

B.  $E$ 、 $F$  两点之间的距离为

$$d = L \sin 45^\circ$$

由折射率的定义可得

$$n = \frac{c}{v}$$

光从  $E$  到  $F$  的传播时间为

$$t = \frac{d}{v}$$

综合可得

$$t = \frac{L}{c}$$

故 B 错误；

CD. 已知  $\angle A = 105^\circ$ 、 $\angle B = 45^\circ$ ，由几何关系可得光线在  $D$  点的折射角

$$\beta = 15^\circ$$

由折射率的定义可得

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

综合计算可得

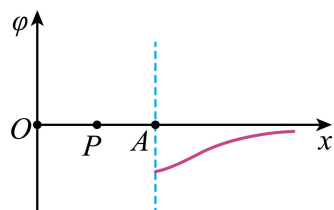
$$\sin \alpha = \frac{\sqrt{3}-1}{2}$$

$$\sin \beta = \frac{\sqrt{6}-\sqrt{2}}{4}$$

故 C 正确，D 错误。

故选 C。

3. 在  $x$  轴上固定有两个点电荷，其中位于坐标原点的点电荷电荷量大小为  $q$ ，另一点电荷固定在  $OA$  的中点  $P$  处， $x$  轴上  $A$  点右侧各点的电势  $\varphi$  随  $x$  变化如图中曲线所示。 $A$  点处曲线的切线水平，取无穷远处电势为零，则下列说法正确的是（ ）



A.  $P$  处点电荷带负电

B.  $P$  处点电荷的电荷量大小为  $\frac{1}{2}q$

C. 将一个重力不计的带负电粒子在  $A$  点由静止释放，粒子将沿  $x$  轴正方向运动

D. 将一带负电的粒子由  $A$  点沿  $x$  轴向  $P$  点移动，电场力做正功

【答案】D

【解析】

【详解】A. 由图像可知， $x$  轴上  $A$  点右侧场强方向向左，则  $P$ 、 $A$  间的场强方向向右，则  $P$  处点电荷带正电，故 A 错误；

B. 由于图像在  $A$  点的切线水平，则该处场强为零，设  $P$ 、 $A$  间距离为  $r$ ，则

$$k \frac{q}{(2r)^2} = k \frac{q'}{r^2}$$

解得

$$q' = \frac{1}{4}q$$

故 B 错误；

C. 由于 A 点场强为零，因此带负电粒子在 A 点由静止释放，粒子保持静止，故 C 错误；

D. 将一带负电的粒子由 A 点沿 x 轴向 P 点移动，电场力向左，电场力做正功，故 D 正确。

故选 D。

4. 某天文爱好者在地球赤道上某处观测一颗在赤道平面内绕地球做圆周运动的人造卫星，发现该卫星恰好每天 7 次通过他的正上方。已知该卫星在轨运行方向与地球自转方向相同，则该卫星与地心连线和地球同步卫星与地心连线在相同时间内扫过的面积之比为（ ）

A. 1: 1

B. 1: 2

C. 1: 4

D. 1: 8

【答案】B

【解析】

【详解】设该卫星的运行周期为  $T$ ，则有

$$\frac{24\text{h}}{T} - 1 = 7$$

则

$$T = 3\text{h}$$

设该卫星运行的轨道半径为  $r_1$ 、同步卫星的轨道半径为  $r_2$ ，由开普勒第三定律可知

$$\frac{r_1^3}{r_2^3} = \frac{T_1^2}{T_2^2}$$

解得

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{1}{4}$$

卫星做圆周运动的半径为  $r$  时，则单位时间内，卫星与地心连线扫过的面积

$$S = \frac{\pi r^2}{T}$$

结合

$$G \frac{Mm}{r^2} = mr \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2$$

可得

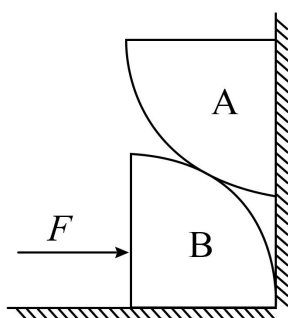
$$S = \frac{1}{2} \sqrt{GM} r$$

由此可得，该卫星与地心连线和地球同步卫星与地心连线在相同时间内扫过的面积之比为 1：2。

故选 B。

**二、双项选择题：本题共 4 小题，每小题 6 分，共 24 分。每小题有两项符合题目要求，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. 两个完全相同的截面为四分之一圆面的柱体 A、B 按如图所示叠放，两个柱体的质量均为  $m$ ，水平面粗糙，圆弧面和竖直墙面光滑，对 B 施加水平向右的力  $F$ ，使 B 恰好不向左运动，改变  $F$  的大小，使柱体 B 缓慢向左移动直至 A 落地前的过程中，下列说法正确的是（ ）



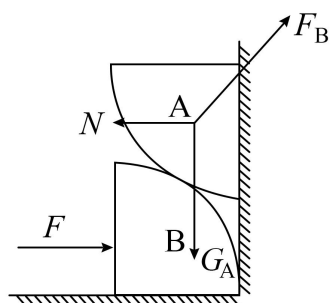
- A.  $F$  不断变大
- B. B 对地面的压力不断增大
- C. A 对竖直墙面的压力不断增大
- D. A 对 B 的压力不变

【答案】AC

【解析】

【详解】B. 整体分析可知，重力和地面对 B 的支持力二力平衡，总重力不变，则支持力不变，由牛顿第三定律可得，B 对地面的压力不变，故 B 错误；

ACD. B 对地面的压力不变，则地面对 B 的滑动摩擦力不变，对 A 研究，受力分析如图



设 B 对 A 的弹力  $F_B$  与水平方向的夹角为  $\theta$ ，则由动态分析可知，在水平方向

$$N = F_B \cos \theta$$

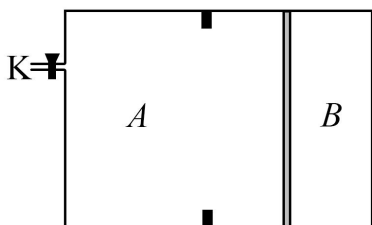
竖直方向

$$G_A = F_B \sin \theta$$

随着 A 下落到地面， $\theta$  减小，则 B 对 A 的弹力  $F_B$  增大，则墙面对 A 的弹力  $N$  增大，根据牛顿第三定律，A 对墙面的压力增大，整体分析，水平向右的力  $F$  与墙面对 A 的弹力  $N$  大小相等，也增大，故 AC 正确，D 错误；

故选 AC。

6. 如图所示的封闭汽缸导热性能良好，汽缸容积为  $V$ ，正中间有一固定卡环，缸内活塞将气体分成 A、B 两部分，两部分气体的体积之比为 3: 1，活塞的横截面积为  $S$ ，汽缸左侧有一阀门 K 处于关闭状态。大气压强为  $p_0$ ，缸内气体压强为  $3p_0$ ，现打开阀门，让气体缓慢放出，已知外界温度恒定，活塞与汽缸内壁无摩擦且密封性良好，不计活塞的厚度及卡环的大小，则下列说法正确的是（ ）



- A. 当活塞刚要与卡环接触时，缸内气体的压强为  $1.5p_0$
- B. 当活塞刚要与卡环接触时，缸内气体的压强为  $1.2p_0$
- C. 直至最终过程，B 部分气体对外放热
- D. 最终卡环对活塞的压力大小为  $\frac{1}{2}p_0S$

【答案】AD

【解析】

【详解】AB. 设缸内气体压强为  $p_1$ ，对 B 部分气体研究有

$$3p_0 \cdot \frac{1}{4}V = p_1 \cdot \frac{1}{2}V$$

解得

$$p_1 = 1.5p_0$$

故 A 正确，B 错误；

C. 最终 A 部分气体压强变为  $p_0$ ，由热力学第一定律

$$\Delta U = Q + W$$

B 部分气体的温度不变，内能不变，对外做功，从外界吸热，故 C 错误；

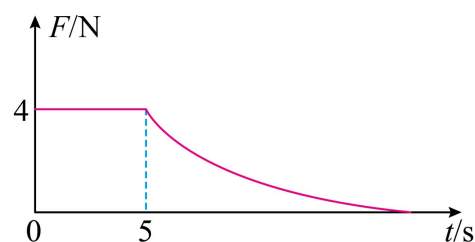
D. 设最终卡环对活塞的压力大小为  $F$ ，则

$$F = (p_1 - p_0)S = \frac{1}{2}p_0S$$

故 D 正确。

故选 AD。

7. 一质量为  $4\text{kg}$  的玩具小车在水平直跑道上由静止开始启动，启动过程受到的合外力  $F$  随时间变化的关系图像如图所示，小车达到额定功率后保持该功率不变，已知小车在跑道上运动时受到的阻力恒为  $2\text{N}$ ，小车达到最大速度后再运动一段时间关闭发动机，从启动到最后停下小车运动的时间为  $85\text{s}$ ，下列说法正确的是 ( )



- A. 小车加速能达到的最大速度大小为  $5\text{m/s}$
- B. 小车的额定功率为  $30\text{W}$
- C. 小车减速运动的时间为  $10\text{s}$
- D. 小车在额定功率下运动的位移大小为  $550\text{m}$

【答案】BD

【解析】

【详解】AB. 小车匀加速运动的加速度大小为

$$a_1 = \frac{F_1}{m} = 1\text{m/s}^2$$

$t_1 = 5\text{s}$  时，匀加速达到的最大速度为

$$v_1 = a_1 t_1 = 5\text{m/s}$$

可得小车的额定功率

$$P = (F_1 + f)v_1 = 30\text{W}$$

小车加速达到最大速度时，牵引力等于阻力，则最大速度为

$$v_m = \frac{P}{f} = 15\text{m/s}$$

故 A 错误，B 正确；

C. 小车减速的加速度大小

$$a_2 = \frac{f}{m} = 0.5 \text{ m/s}^2$$

则小车减速的时间

$$t_2 = \frac{v_m}{a_2} = 30 \text{ s}$$

故 C 错误；

D. 设小车在恒定功率下运动的位移大小为  $x$ ，根据动能定理有


$$P(t - t_1 - t_2) - fx = \frac{1}{2}mv_m^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

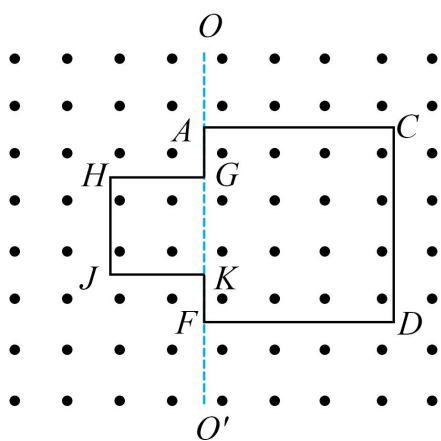
解得

$$x = 550 \text{ m}$$

故 D 正确。

故选 BD。

8. 如图所示，两个 “” 形正方形金属框  $ACDF$  和  $GHJK$  通过固定金属线  $AG$  和  $FK$  连接， $AG$  和  $FK$  在垂直于磁场的转轴  $OO'$  上，开始时两个线框处在垂直于磁场的平面内，让两个线框绕  $OO'$  轴分别沿（俯视图）顺时针和逆时针以相同的角速度  $\omega$  同时开始匀速转动， $AC$  长为  $L$ ， $GH$  长为  $\frac{1}{2}L$ ，匀强磁场的磁感应强度大小为  $B$ ，整个回路的电阻为  $R$ ，则（ ）



A. 回路中的最大电动势为  $\frac{3}{4}BL^2\omega$

B.  $CD$  边受到的最大安培力大小为  $\frac{5B^2L^3\omega}{4R}$

C. 从图示位置开始，两线框转过  $90^\circ$  的过程中，通过  $CD$  横截面的电量大小为  $\frac{5BL^2}{4R}$



D. 从图示位置开始, 两线框转过 $180^\circ$ 的过程中, 回路中产生的焦耳热为 $\frac{25B^2L^4\omega}{32R}$

【答案】BC

【解析】

【详解】A. 从图示位置转过四分之一圈时, 线框中的电动势最大, 则有

$$E_m = B\left(\frac{1}{2}L\right)^2\omega + BL^2\omega = \frac{5}{4}BL^2\omega$$

故 A 错误;

B.  $CD$  边受到的最大安培力为

$$F = BI_mL = B\frac{E_m}{R}L = \frac{5B^2L^3\omega}{4R}$$

故 B 正确;

C. 从图示位置开始, 两线框转过 $90^\circ$ 的过程中, 通过  $CD$  横截面的电量为

$$q = \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{B\left(L^2 + \frac{1}{4}L^2\right)}{R} = \frac{5BL^2}{4R}$$

故 C 正确;

D. 电动势的有效值为

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{5\sqrt{2}}{8}BL^2\omega$$

则从图示位置开始, 两线框转过 $180^\circ$ 的过程中, 回路中产生的焦耳热为

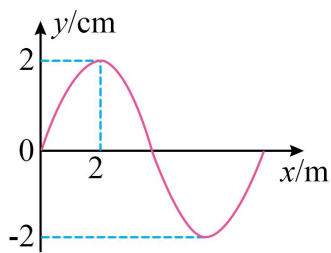
$$Q = \frac{E^2}{R} \cdot \frac{\pi}{\omega} = \frac{25\pi B^2L^4\omega}{32R}$$

故 D 错误。

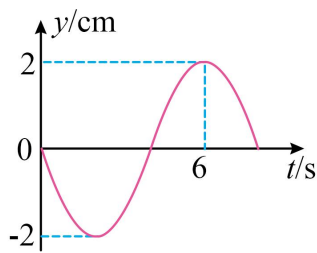
故选 BC。

三、非选择题：共 60 分。考生根据要求作答。

9. 一列简谐横波沿  $x$  轴传播,  $t=0$  时刻的波形如图甲所示, 坐标原点处质点的振动图像如图乙所示, 则该波沿  $x$  轴\_\_\_\_\_ (填“正”或“负”) 方向传播, 波长为  $\lambda =$ \_\_\_\_\_m, 传播速度大小  $v =$ \_\_\_\_\_m/s。



甲



乙

【答案】 ①. 正 ②. 8 ③. 1

【解析】

【详解】 [1]由振动图像可知， $t=0$ 时刻坐标原点处质点正沿 $y$ 轴负方向运动，根据图甲波形图结合波形平移法可知，波沿 $x$ 轴正方向传播；

[2]由图甲波形图可知


$$\frac{1}{4}\lambda = 2\text{m}$$

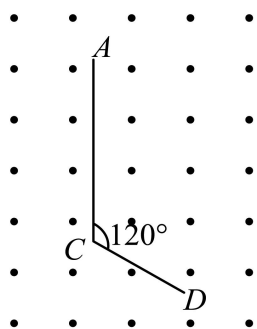
可得波长为

$$\lambda = 8\text{m}$$

[3]由图乙可知，波动周期为8s，则波的传播速度大小为

$$v = \frac{\lambda}{T} = 1\text{m/s}$$

10. 将直导线 $ACD$ 折成“”形并固定在纸面内，空间存在垂直纸面外、磁感应强度大小为 $B$ 的匀强磁场，如图所示， $\angle ACD = 120^\circ$ ， $AC = 2CD = 2L$ ，在导线中通入从 $A$ 到 $D$ 的恒定电流 $I$ ，此时导线 $AC$ 段受到的安培力大小 $F_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $CD$ 段受到的安培力大小 $F_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ ；将 $CD$ 段绕 $C$ 点在纸面内沿逆时针方向转过 $60^\circ$ （ $AC$ 保持不动），通入的电流大小不变，此时导线 $ACD$ 受到的安培力大小 $F_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。



【答案】 ①.  $2BIL$  ②.  $BIL$  ③.  $\sqrt{3}BIL$

【解析】

【详解】 [1] $AC$ 段受到的安培力大小

$$F_1 = BI \cdot 2L = 2BIL$$

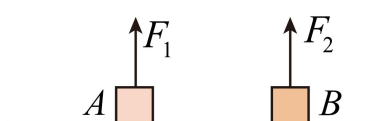
[2]  $CD$  段受到的安培力大小

$$F_2 = BIL$$

[3] 将  $CD$  段绕  $C$  点沿逆时针方向转过  $60^\circ$ ，则  $ACD$  段的有效长度为  $\sqrt{3}L$ ，则其安培力为

$$F_3 = BI \cdot \sqrt{3}L = \sqrt{3}BIL$$

11. 如图所示， $A$ ， $B$  两个物块放在水平面上， $A$  的质量大于  $B$  的质量，用竖直向上的拉力  $F_1$ ，作用在物块  $A$  上，用竖直向上的拉力  $F_2$  作用在物块  $B$  上，不计空气阻力，两物块在两拉力作用下从静止开始向上运动。相同时间内， $F_1$  的冲量大小为  $I_1$ ，做功为  $W_1$ ， $F_2$  的冲量大小为  $I_2$ ，做功为  $W_2$ 。若  $I_1 = I_2$ ，则  $F_1$  \_\_\_\_\_  $F_2$ ， $W_1$  \_\_\_\_\_  $W_2$ ；若  $W_1 = W_2$ ，则  $I_1$  \_\_\_\_\_  $I_2$ 。（均填“>”“=”或“<”）



【答案】 ①. = ②. < ③. >

【解析】

【详解】 [1] 若  $I_1 = I_2$ ，且时间相同，根据  $I = Ft$  可知

$$F_1 = F_2$$

[2] 由  $F = m(g + a)$  可知，质量越大，加速度越小，根据

$$W = Fh = F \times \frac{1}{2}at^2$$

可知

$$W_1 < W_2$$

[3] 相同时间内，有

$$W = Fh = (mg + ma) \times \frac{1}{2}at^2$$

因为  $W_1 = W_2$ ，且  $t$  相同，则

$$a_A > a_B$$

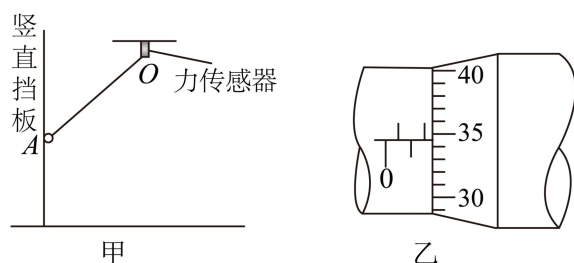
根据

$$W = Fh = F \cdot \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}Iat$$

可知，加速度越小冲量越大，即

$$I_1 > I_2$$

12. 某实验小组用如图甲所示实验装置验证机械能守恒定律，无弹性的悬线一端连接在力传感器上，另一端连接一个小球，力传感器能测量悬线的拉力，竖直挡板立在水平地面上。小球的质量为  $m$ ，当地的重力加速度为  $g$ 。



(1) 先用螺旋测微器测出小球的直径，示数如图乙所示，则小球直径  $d = \underline{\hspace{2cm}}$  mm。

(2) 实验时，小球与竖直挡板的接触点记为  $A$  点，悬线伸直，由静止释放小球，力传感器记录小球运动过程中悬线的最大拉力，测出悬线的长  $L$ 。多次移动挡板的位置，保持挡板竖直，使小球每次与挡板接触悬线伸直，记录每次  $A$  点与悬点  $O$  的高度差  $x$  及小球运动过程中悬线的最大拉力  $F$ 。要验证机械能守恒定律，在直角坐标系中，作  $F-x$  图像，如果图像的斜率的绝对值等于  $\underline{\hspace{2cm}}$ ，与纵轴的截距大小等于  $\underline{\hspace{2cm}}$ ，则机械能守恒定律得到验证。（用已知物理量的符号表示）

【答案】 ①. 1.845    ②.  $\frac{2mg}{L + \frac{d}{2}}$     ③.  $3mg$

【解析】

【详解】(1) 由图乙所示可知，螺旋测微器固定刻度示数为 1.5mm，旋转刻度为  $34.5 \times 0.01\text{mm} = 0.345\text{mm}$ ，螺旋测微器示数为

$$1.5\text{mm} + 0.345\text{mm} = 1.845\text{mm}$$

(2) 设小球到最低点时速度大小为  $v$ ，根据机械能守恒定律有

$$mg \left( L + \frac{d}{2} - x \right) = \frac{1}{2}mv^2$$

小球在最低点时

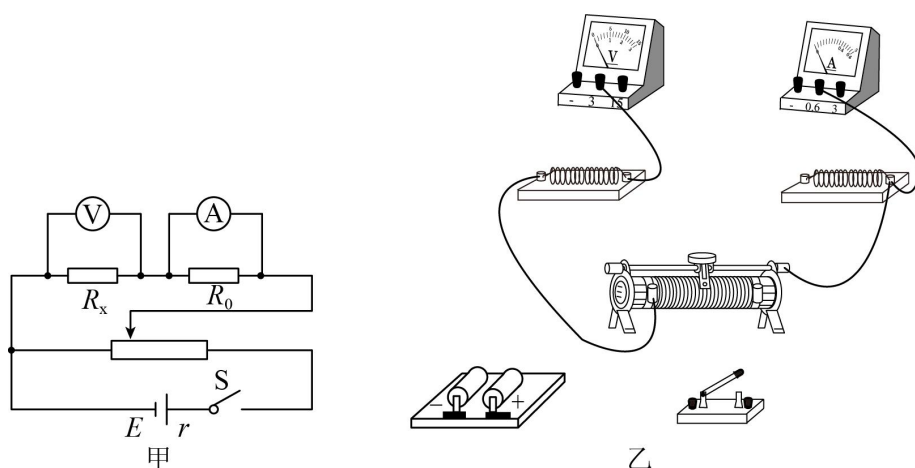
$$F - mg = m \frac{v^2}{L + \frac{d}{2}}$$

得到

$$F = 3mg - \frac{2mg}{L + \frac{d}{2}} x$$

因此如果图像的斜率大小为  $\frac{2mg}{L + \frac{d}{2}}$ ，图像的截距大小等于  $3mg$ ，则机械能守恒定律得到验证。

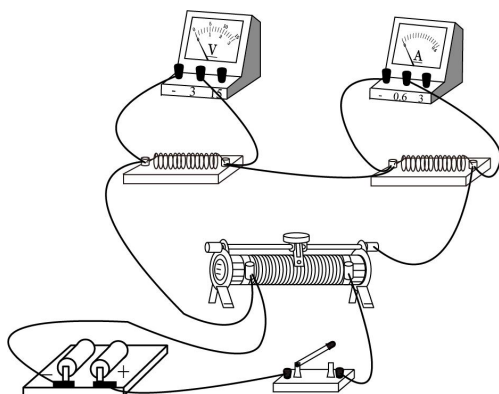
13. 某同学利用现有的器材设计如图甲所示的实验电路图，来测量电阻的阻值  $R_x$ ，已知电流表的内阻为  $R_A$ ，定值电阻的阻值为  $R_0$ ， $R_A$  与  $R_0$  阻值相近，电压表的内阻远大于待测电阻的阻值。如图乙是所给的实验器材，在测量的过程中电路安全，且误差不大。



- (1) 根据图甲，用笔画线代替导线将实物图乙连接完整\_\_\_\_\_，闭合开关前，滑动变阻器的滑片应位于最\_\_\_\_\_（填“左”或“右”）端；
- (2) 该同学调节滑动变阻器的滑片，得到多组电压表的数值  $U$  和对应的电流表的数值  $I$ ，根据数值画出  $U-I$  关系图像，写出此图像的表达式  $U=_____$ （用  $I$ 、 $R_0$ 、 $R_A$ 、 $R_x$  来表示），若图像的斜率为  $k$ ，则定值电阻  $R_x = _____$ （用  $R_0$ 、 $R_A$ 、 $k$  来表示）；
- (3) 这种实验方法测出的  $R_x$  值\_\_\_\_\_（填“偏大”或“偏小”）。

【答案】

①.



②. 左

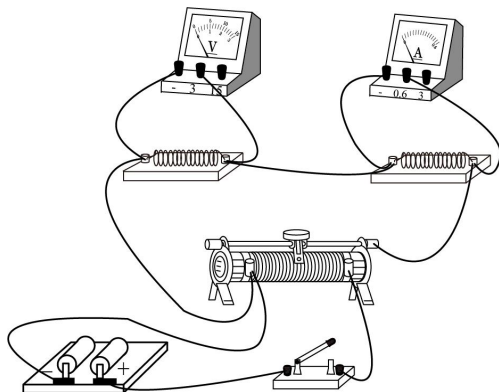
③.  $\frac{R_x(R_0 + R_A)}{R_0} I$

④.

$$\frac{kR_0}{R_0 + R_A} \quad \text{⑤. 偏小}$$

### 【解析】

【详解】(1) [1]根据图甲，将实物图乙连接，如图所示。



[2]为防止烧坏电表，待测电阻两端电压应从零开始，闭合开关前，滑动变阻器的滑片应位于最左端。

(2) [3]由欧姆定律可得

$$I_x = \frac{U}{R_x}$$

由并联电阻的电流的分配规律可得

$$I_x = I + \frac{R_A}{R_0} I$$

综合可得  $U - I$  图像的关系式为

$$U = \frac{R_x (R_0 + R_A)}{R_0} I$$

[4]若图像的斜率为  $k$ ，有

$$k = \frac{R_x (R_0 + R_A)}{R_0}$$

可得

$$R_x = \frac{kR_0}{R_0 + R_A}$$

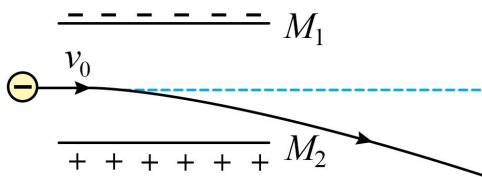
(3) [5]由于电压表的分流作用，则待测电阻  $R_x$  的电流测量值偏大，则  $R_x$  测量值偏小。

14. 如图所示，两平行金属板（上极板带负电）水平放置，相距为  $d$ ，电势差为  $U$ ，一带负电粒子（不计重力）质为  $m$ 、带电量为  $q$ ，以初速度  $v_0$  沿两板中线水平射入板间，经过一段时间从两板间离下极板  $0.25d$  处

飞出。求：

(1) 粒子从两板间离开时的速度大小；

(2) 金属板的长度。



【答案】(1)  $\sqrt{v_0^2 + \frac{Uq}{2m}}$  ; (2)  $v_0 d \sqrt{\frac{m}{2Uq}}$

【解析】

【详解】(1) 粒子的加速度为

$$a = \frac{F}{m} = \frac{Uq}{dm}$$

由类平抛运动的规律，在竖直方向上有

$$2 \times \frac{Uq}{dm} \times 0.25d = v_y^2$$

解得

$$v_y = \sqrt{\frac{Uq}{2m}}$$

粒子从两板间离开时的速度大小为

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + \frac{Uq}{2m}}$$

(2) 粒子的运动时间为

$$t = \frac{v_y}{a} = d \sqrt{\frac{m}{2Uq}}$$

水平方向做匀速直线运动，则金属板的长度为

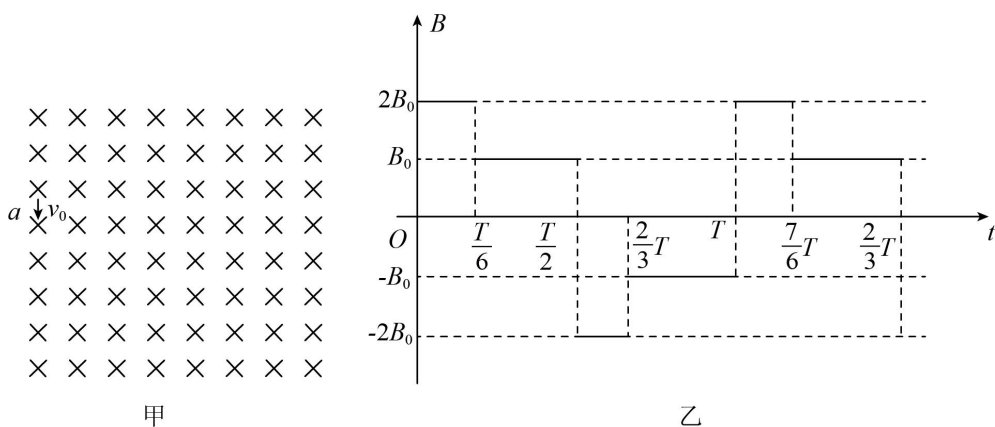
$$l = v_0 t = v_0 d \sqrt{\frac{m}{2Uq}}$$

15. 如图甲所示，质量为  $m$ 、带电量为  $q$  的带正电粒子（不计重力）0 时刻从  $a$  点以速度  $v_0$ （方向竖直向下）垂直进入范围足够大的周期性变化的匀强磁场中。该磁场的磁感应强度随时间变化的关系图像如图乙所示，

已知  $T = \frac{3\pi m}{2B_0 q}$ ，当磁场垂直纸面向里时，磁感应强度为正， $B_0$  已知，不考虑磁场的变化产生电场的影响，

求：

- (1)  $0 \sim \frac{T}{6}$  时间内粒子转过的角度；
- (2)  $0 \sim \frac{T}{2}$  时间内洛伦兹力对粒子的冲量大小；
- (3)  $T$  时刻，粒子距  $a$  点的距离。



【答案】(1)  $90^\circ$ ；(2)  $2mv_0$ ；(3)  $\frac{3mv_0}{B_0q}$

【解析】

【详解】(1) 根据洛伦兹力提供向心力

$$qv_0 \cdot 2B_0 = m \frac{v_0^2}{r_1}$$

圆周运动的半径为

$$r_1 = \frac{mv_0}{2B_0q}$$

当磁感应强度的大小为  $2B_0$ ，粒子圆周运动的周期为

$$T_1 = \frac{2\pi m}{2B_0q} = \frac{\pi m}{B_0q}$$

结合

$$T = \frac{3\pi m}{2B_0q}$$

可得

$$\frac{1}{4}T_1 = \frac{T}{6}$$



粒子转过的角度为

$$\alpha = 90^\circ$$

(2) 当磁感应强度的大小为  $B_0$ ，粒子圆周运动的周期为

$$T_2 = \frac{2\pi m}{B_0 q}$$

结合

$$T = \frac{3\pi m}{2B_0 q}$$

可得

$$\frac{1}{4}T_2 = \frac{T}{3}$$

圆周运动的半径为

$$r_2 = \frac{mv_0}{B_0 q}$$

即  $0 \sim \frac{T}{2}$  时间内粒子速度大小不变，方向转过  $180^\circ$ ，洛伦兹力对粒子的冲量大小

$$I = m\Delta v = 2mv_0$$

(3) 由左手定则结合图乙以及粒子运动轨迹的对称性综合分析可得  $T$  时刻，粒子距  $a$  点的距离为

$$d = r_1 + r_2 + r_1 + r_2 = \frac{3mv_0}{B_0 q}$$

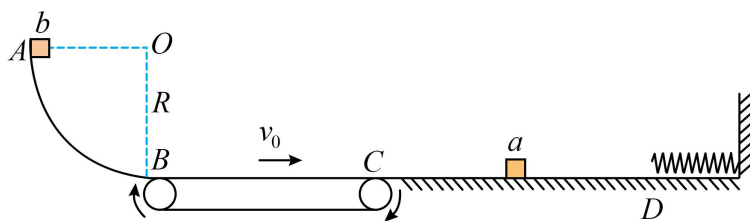
16. 如图所示，两端间距为 1.2m 的水平传送带以大小为  $v_0 = 2\text{m/s}$  的速度沿顺时针方向转动、传送带左端与半径为  $R=0.8\text{m}$ 、固定在竖直面内的四分之一光滑圆弧低点  $B$  相切、右端与光滑水平面的  $C$  端相切，轻弹簧放在水平面上，右端固定，左端与水平面上的  $D$  点对齐，质量  $M=3\text{kg}$  的物块  $a$  放在水平面  $CD$  间某位置，质量  $m=1\text{kg}$  的物块  $b$  由圆弧的最高点  $A$  由静止释放，物块  $b$  沿圆弧下滑，滑过传送带，与物块  $a$  发生弹性碰撞，物块  $b$  与传送带间的动摩擦因数为 0.5， $a$ 、 $b$  两物块每次碰撞均为弹性碰撞，且第一次和第二次弹性碰撞发生在同一位置，不计物块的大小及空气阻力。重力加速度  $g = 10\text{m/s}^2$ ，求：

(1) 物块  $b$  第一次运动到  $B$  点时的速度大小；

(2) 物块  $b$  第一次在传送带上运动的时间；

(3) 两物块第二次碰撞前瞬间，物块  $b$  的速度大小；

(4) 从第一次碰撞结束到发生第十次碰撞这段时间内，物块  $b$  在传送带上运动的总时间。



【答案】(1)  $4\text{m/s}$ ; (2)  $0.4\text{s}$ ; (3)  $1\text{m/s}$ ; (4)  $5.2\text{s}$

【解析】

【详解】(1) 设物块  $b$  运动到  $B$  点时速度大小为  $v_1$ ，根据动能定理有

$$mgR = \frac{1}{2}mv_1^2$$

解得

$$v_1 = 4\text{m/s}$$

(2) 假设物块  $b$  在传送带上一直做减速运动，当滑到  $C$  点时的速度大小为  $v_2$ ，根据动能定理

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

解得

$$v_2 = 2\text{m/s} = v_0$$

假设成立，令物块  $b$  第一次在传送带上运动的时间为  $t_1$ ，根据动量定理有

$$-\mu mgt_1 = mv_2 - mv_1$$

解得

$$t_1 = 0.4\text{s}$$

(3) 设碰撞后一瞬间，物块  $a$ 、 $b$  的速度大小分别为  $v_3$ 、 $v_4$ ，由于  $a$  的质量小于  $b$  的质量，两者第一次发生弹性碰撞时， $a$  将要反弹，根据动量守恒有

$$mv_2 = -mv_4 + Mv_3$$

根据能量守恒有

$$\frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}mv_4^2 + \frac{1}{2}Mv_3^2$$

解得

$$v_3 = v_4 = \frac{1}{2}v_2 = 1\text{m/s}$$

物块  $b$  以速度  $v_4$  向左滑上传送带，物块与传送带相对滑动时加速度大小

$$a = \mu g = 5\text{m/s}^2$$

设物块不能滑过传送带，利用逆向思维，物块在传送带上向左运动的最大距离

$$x_1 = \frac{v_4^2}{2a} = 0.1\text{m}$$

由于

$$x_1 < L = 1.2\text{m}$$

假设成立，由于

$$v_4 < v_0$$

可知，两物块第二次发生碰撞前一瞬间，物块  $b$  的速度大小为  $1\text{m/s}$ 。

(4) 设第二次碰撞后一瞬间， $a$ 、 $b$  的速度大小分别为  $v_5$ 、 $v_6$ ，根据动量守恒有

$$Mv_3 - mv_4 = Mv_5 + mv_6$$

根据能量守恒有

$$\frac{1}{2}Mv_3^2 + \frac{1}{2}mv_4^2 = \frac{1}{2}Mv_5^2 + \frac{1}{2}mv_6^2$$

解得

$$v_5 = 0, \quad v_6 = 2\text{m/s}$$

第二次碰撞后，物块  $b$  以速度  $v_6$ ，滑上传送带，同样由于

$$x_2 = \frac{v_6^2}{2a} = 0.4\text{m} < L$$

且有

$$v_6 = v_0 = 2\text{m/s}$$

可知，第三次与  $a$  碰撞前的速度大小仍为  $2\text{m/s}$ 。物块  $b$  第二次在传送带上运动的时间

$$t_2 = \frac{2v_4}{a} = 0.4\text{s}$$

第三次在传送带上运动的时间

$$t_3 = \frac{2v_6}{a} = 0.8\text{s}$$

根据运动的周期性，从第一次碰撞结束到发生第十次碰撞这段时间内，物块  $b$  在传送带上运动的总时间为

$$t = 5t_2 + 4t_3 = 5.2\text{s}$$