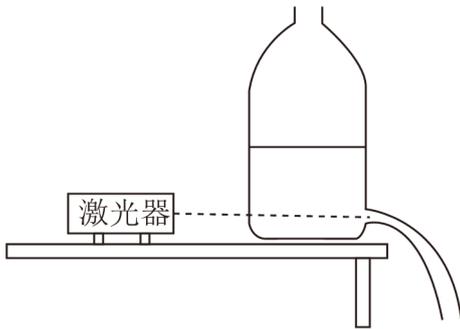


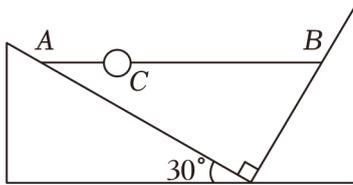
## 2024 年江苏省高考物理一轮模拟试卷

### 一、单选题

1. 如图, 一教师用侧面开孔的透明塑料瓶和绿光激光器演示“液流导光”实验。瓶内装有适量清水。水从小孔中流出后形成了弯曲的液流。让激光水平射向小孔, 使光束与液流保持在同一竖直平面内, 有助于光束更好地沿液流传播的是 ( )



- A. 减弱激光强度  
 B. 提升瓶内液面高度  
 C. 改用折射率更小的液体  
 D. 增大激光器与小孔之间的水平距离
2. 如图, 轻质细杆 AB 上穿有一个质量为  $m$  的小球 C, 将杆水平置于相互垂直的固定光滑斜面上, 则左侧斜面对杆 AB 支持力的大小为 ( )

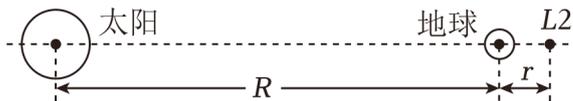


- A.  $mg$       B.  $\frac{\sqrt{3}}{2}mg$       C.  $\frac{\sqrt{3}}{3}mg$       D.  $\frac{1}{2}mg$
3. 2022 年 8 月 30 日, 国家航天局正式发布了“羲和号”太阳探测卫星国际上首次在轨获取的太阳  $H_{\alpha}$  谱线精细结构。 $H_{\alpha}$  是氢原子巴耳末系中波长最长的谱线, 其对应的能级跃迁过程为 ( )



O (图中未标出), 航天器的质量远小于太阳、地球的质量, 日心与地心的距离为  $R$ ,  $L_2$  点到地心的距离记为  $r$  ( $r < R$ ), 在  $L_2$  点的航天器绕 O 点转动的角速度大小记为  $\omega$ 。下列关系式正确的是 ( )

可能用到的近似  $\frac{1}{(R+r)^2} \approx \frac{1}{R^2} (1 - \frac{2r}{R})$



A.  $\omega = [\frac{G(M+m)}{2R^3}]^{\frac{1}{2}}$

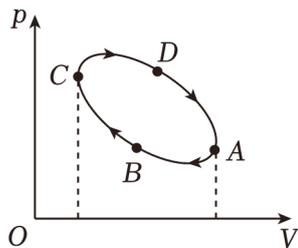
B.  $\omega = [\frac{G(M+m)}{R^3}]^{\frac{1}{2}}$

C.  $r = [\frac{3m}{3M+m}]^{\frac{1}{3}} R$

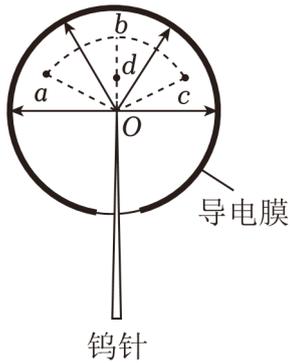
D.  $r = [\frac{m}{3M+m}]^{\frac{1}{3}} R$

### 三、填空题

7. 一定质量的理想气体经历了  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$  的循环过程后回到状态 A, 其  $P - V$  图如图所示。完成一次循环, 气体内能 \_\_\_\_\_ (填“增加”“减少”或“不变”), 气体对外界 \_\_\_\_\_ (填“做正功”“做负功”或“不做功”), 气体 \_\_\_\_\_ (填“吸热”“放热”“不吸热”或“不放热”)。



8. “场离子显微镜”的金属钨针尖处于球形真空玻璃泡的球心 O, 玻璃泡内壁有一层均匀导电膜: 在钨针和导电膜间加上高电压后, 玻璃泡上半部分的电场可视为位于 O 点处点电荷形成的电场, abc 是一段以 O 为圆心的圆弧, d 为 Ob 的中点。a、d 两点场强大小分别为  $E_a$ 、 $E_d$ , O、a、c、d 四点电势分别为  $\varphi_O$ 、 $\varphi_a$ 、 $\varphi_c$ 、 $\varphi_d$ , 则  $\varphi_a$  \_\_\_\_\_  $\varphi_d$ ;  $\varphi_a$  \_\_\_\_\_  $\varphi_c$ ,  $(\varphi_O - \varphi_a)$  \_\_\_\_\_  $2(\varphi_O - \varphi_d)$ 。(填“大于”“等于”或“小于”)

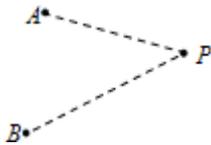


9. 福建福清核电站采用我国自主研发的“华龙一号”反应堆技术，建设了安全级别世界最高的机组。机组利用  $^{235}\text{U}$  核裂变释放的能量发电，典型的核

反应方程为  $^1_0\text{n} + ^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{141}_{54}\text{Ba} + ^A_{36}\text{Kr} + 3^1_0\text{n}$ ，则  $A =$  \_\_\_\_\_； $Z =$  \_\_\_\_\_；若核反应过程中质量亏损  $1\text{g}$ ，释放的能量为 \_\_\_\_\_ J。（光速大小取  $3.0 \times 10^8 \text{m/s}$ ）

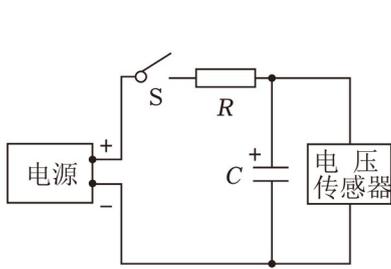
10. 如图所示，在某一均匀介质中，A、B 是振动情况完全相同的两个波源（ $20\pi\text{t}$ ）m，介质中 P 点与 A、B 两波源间的距离分别为  $4\text{m}$  和  $5\text{m}$ ，两波源形成的简谐横波分别沿 AP、BP 方向传播

- (1) 简谐横波的波长为 \_\_\_\_\_。
- (2) P 点的振动 \_\_\_\_\_（填“加强”或“减弱”）。

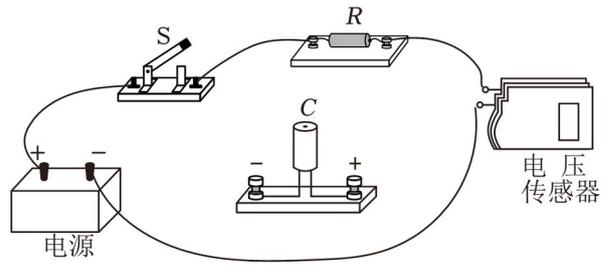


#### 四、实验题

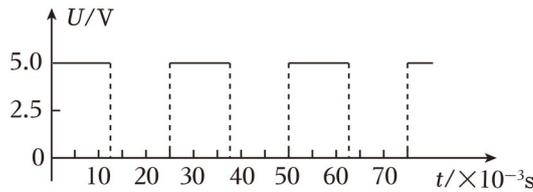
11. 某同学用图 (a) 所示的电路观察矩形波频率对电容器充放电的影响。所用器材有：电源、电压传感器、电解电容器 C（ $4.7\mu\text{F}$ ， $10\text{V}$ ），定值电阻 R（阻值  $2.0\text{k}\Omega$ ）



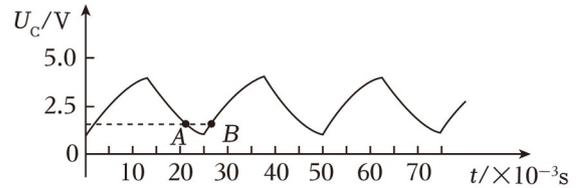
图(a)



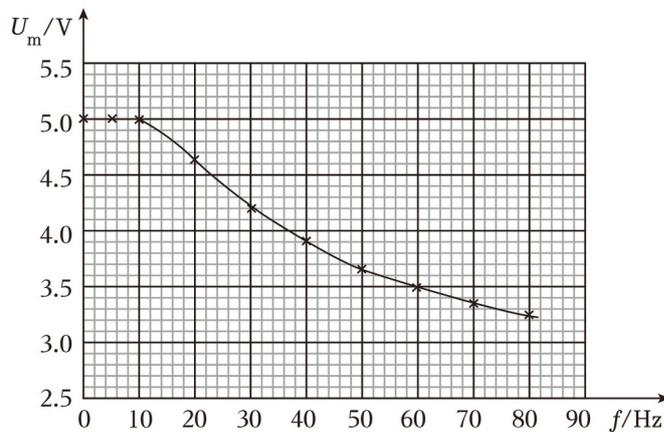
图(b)



图(c)



图(d)



图(e)

(1) 电解电容器有正、负电极的区别。根据图 (a), 将图 (b) 中的实物连线补充完整;

(2) 设置电源, 让电源输出图 (c) 所示的矩形波 \_\_\_\_\_ Hz;

(3) 闭合开关 S, 一段时间后, 通过电压传感器可观测到电容器两端的电压  $U_C$  随时间周期性变化, 结果如图 (d) 所示, 电容器处于 \_\_\_\_\_ 状态 (填“充电”或“放电”), 在 \_\_\_\_\_ 点时 (填“A”或“B”), 通过电阻 R 的电流更大;

(4) 保持矩形波的峰值电压不变, 调节其频率, 测得不同频率下电容器两端的电压随时间变化的情况  $U_m$  与频率  $f$  关系图像, 如图 (e) 所示。当  $f=45\text{Hz}$  时电容器所带电荷量的最大值  $Q=$  \_\_\_\_\_ C (结果保留两位有效数字);

(5) 根据实验结果可知, 电容器在充放电过程中, 其所带的最大电荷量在

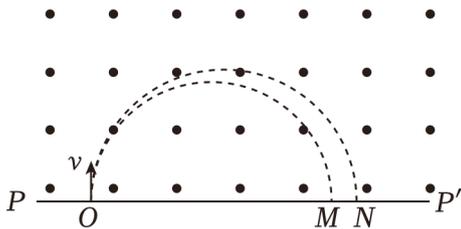
频率较低时基本不变

## 五、解答题

12. 阿斯顿 (F.Aston) 借助自己发明的质谱仪发现了氦等元素的同位素而获得诺贝尔奖, 质谱仪分析同位素简化的工作原理如图所示。在  $PP'$  上方存在一垂直纸面向外的匀强磁场, 在磁场中发生偏转, 分别落在  $M$  和  $N$  处。已知某次实验中  $v=4 \times 10^6 \text{ m/s}$ ,  $B=0.1 \text{ T}$ , 落在  $M$  处氦离子比荷 (电荷量和质量之比)  $6 \times 10^8 \text{ C/kg}$ ;  $P$ 、 $O$ 、 $M$ 、 $N$ 、 $P'$  在同一直线上; 离子重力不计。

(1) 求  $OM$  的长度;

(2) 若  $ON$  的长度是  $OM$  的 1.1 倍, 求落在  $N$  处氦离子的比荷。



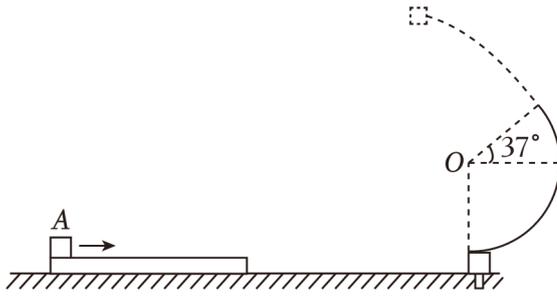
13. 如图, 质量为  $1 \text{ kg}$  的薄木板静置于光滑水平地面上, 半径为  $0.75 \text{ m}$  的竖直光滑圆弧轨道固定在地面, 轨道上端点和圆心连线与水平面成  $37^\circ$  角。质量为  $2 \text{ kg}$  的小物块  $A$  以  $8 \text{ m/s}$  的初速度从木板左端水平向右滑行,  $A$  与木板间的动摩擦因数为  $0.5$ 。当  $A$  到达木板右端时, 同时  $A$  沿圆弧切线方向滑上轨道。

待  $A$  离开轨道后, 可随时解除木板锁定,  $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ ,  $\sqrt{10}$  取  $3.16$ ,  $\sin 37^\circ = 0.6$

(1) 求木板与轨道底端碰撞前瞬间, 物块  $A$  和木板的速度大小;

(2) 求物块  $A$  到达圆弧轨道最高点时受到轨道的弹力大小及离开轨道后距地面的最大高度;

(3) 物块  $A$  运动到最大高度时会炸裂成质量比为  $1:3$  的物块  $B$  和物块  $C$ , 总质量不变, 同时系统动能增加  $3 \text{ J}$ , 求从物块  $A$  离开轨道到解除木板锁定的时间范围。

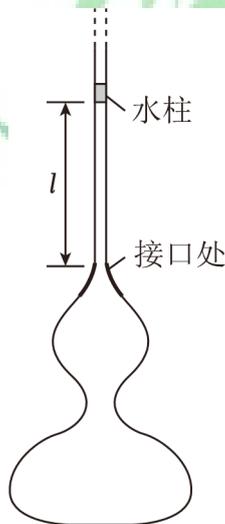


14. 如图, 某实验小组为测量一个葫芦的容积, 在葫芦开口处竖直插入一根两端开口、内部横截面积为  $0.1\text{cm}^2$  的均匀透明长塑料管, 密封好接口, 用氮气排空内部气体, 气柱长度  $l$  为  $10\text{cm}$ ; 当外界温度缓慢升高到  $310\text{K}$  时  $5\text{Pa}$ , 水柱长度不计。

(1) 求温度变化过程中氮气对外界做的功;

(2) 求葫芦的容积;

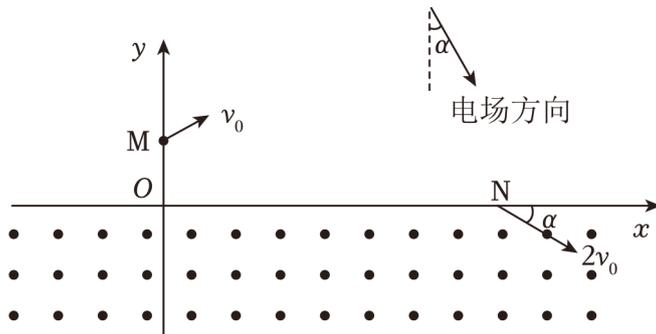
(3) 试估算被封闭氮气分子的个数 (保留 2 位有效数字)。已知  $1\text{mol}$  氮气在  $1.0 \times 10^5\text{Pa}$ 、 $273\text{K}$  状态下的体积约为  $22.4\text{L}$ , 阿伏加德罗常数  $N_A$  取  $6.0 \times 10^{23}\text{mol}^{-1}$ 。



15. 某同学设计了一种粒子加速器的理想模型。如图所示,  $xOy$  平面内,  $x$  轴下方充满垂直于纸面向外的匀强磁场, 一部分充满匀强电场 (电场强度与  $y$  轴负方向成  $\alpha$  角), 另一部分无电场, 与  $x$  轴交于  $N$  点。只有经电场到达  $N$  点、与  $x$  轴正方向成  $\alpha$  角斜向下运动的带电粒子才能进入磁场。从  $M$  点向电

场内发射一个比荷为  $\frac{q}{m}$  的带电粒子  $A_0$ 、方向与电场方向垂直, 仅在电场中运

动时间  $T$  后进入磁场, 且通过  $N$  点的速度大小为  $2v_0$ 。忽略边界效应, 不计粒子重力。



(1) 求角度  $\alpha$  及  $M$ 、 $N$  两点的电势差。

(2) 在该边界上任意位置沿与电场垂直方向直接射入电场内的、比荷为  $\frac{q}{m}$  的带电粒子, 只要速度大小适当, 求  $N$  点横坐标及此边界方程。

(3) 若粒子  $A$  第一次在磁场中运动时磁感应强度大小为  $B_1$ , 以后每次在磁场中运动时磁感应强度大小为上一次的一半, 则粒子  $A$  从  $M$  点发射后, 每次加速均能通过  $N$  点进入磁场。求磁感应强度大小  $B_1$  及粒子  $A$  从发射到第  $n$  次通过  $N$  点的时间。

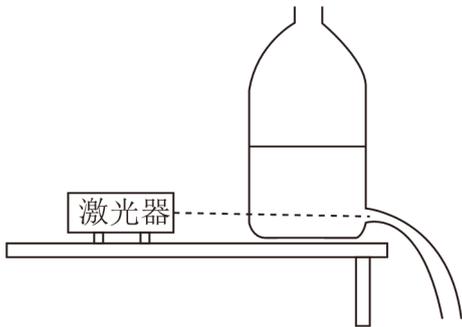
明思 e 学网  
—— 专注中小学教育 ——

## 2024 年江苏省高考物理一轮模拟试卷

参考答案与试题解析

## 一、单选题

1. 如图, 一教师用侧面开孔的透明塑料瓶和绿光激光器演示“液流导光”实验。瓶内装有适量清水。水从小孔中流出后形成了弯曲的液流。让激光水平射向小孔, 使光束与液流保持在同一竖直平面内, 有助于光束更好地沿液流传播的是 ( )



- A. 减弱激光强度  
 B. 提升瓶内液面高度  
 C. 改用折射率更小的液体  
 D. 增大激光器与小孔之间的水平距离

**【分析】** 根据激光能沿水流传播, 是由于光线在水流中不断的发生全反射的特点, 分析选项。

**【解答】** 解: 激光能沿水流传播, 是由于光线在水流中不断的发生全反射, 当液流的高度越高, 现象越明显。

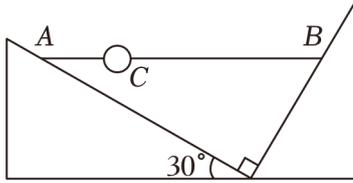
- A、减小激光强度, 现象不明显; 故 A 错误;  
 B、提高瓶内液面的高度, 水流出去的距离更远, 现象更明显;  
 C、改用折射率更小的液体, 激光在液体中发生全反射的光束减少; 故 C 错误;  
 D、增加激光器与小孔之间的水平距离; 故 D 错误。

故选: B。

**【点评】** 本题主要考查全反射的性质, 在做题中要注意全反射的条件。

2. 如图, 轻质细杆 AB 上穿有一个质量为  $m$  的小球 C, 将杆水平置于相互垂直

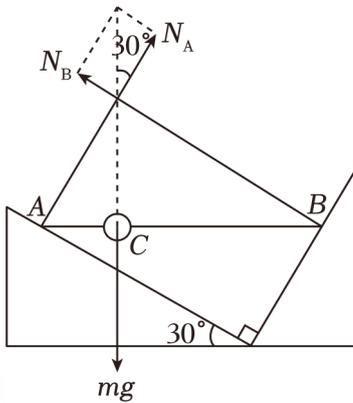
的固定光滑斜面上, 则左侧斜面对杆 AB 支持力的大小为 ( )



- A.  $mg$       B.  $\frac{\sqrt{3}}{2}mg$       C.  $\frac{\sqrt{3}}{3}mg$       D.  $\frac{1}{2}mg$

**【分析】** 对轻杆和小球组成的系统进行受力分析, 由平衡条件列方程进行解答。

**【解答】** 解: 对轻杆和小球组成的系统进行受力分析, 如图所示:



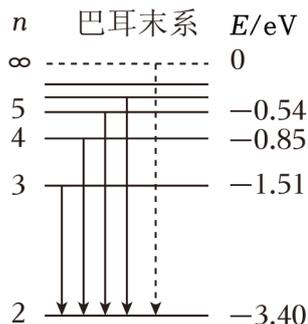
设左侧斜面对杆 AB 支持力的大小为  $N_A$ , 由平衡条件有:  $N_A = mg \cos 30^\circ$

解得:  $N_A = \frac{\sqrt{3}}{2}mg$ , 故 B 正确。

故选: B。

**【点评】** 本题主要是考查了共点力的平衡问题, 关键是能够确定研究对象、进行受力分析、利用平行四边形法则进行力的合成, 然后建立平衡方程进行解答。

3. 2022 年 8 月 30 日, 国家航天局正式发布了“羲和号”太阳探测卫星国际上首次在轨获取的太阳  $H_\alpha$  谱线精细结构。 $H_\alpha$  是氢原子巴耳末系中波长最长的谱线, 其对应的能级跃迁过程为 ( )



- A. 从  $\infty$  跃迁到  $n=2$                       B. 从  $n=5$  跃迁到  $n=2$   
 C. 从  $n=4$  跃迁到  $n=2$                       D. 从  $n=3$  跃迁到  $n=2$

**【分析】** 根据  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  分析  $H_{\alpha}$  的频率及能量大小, 结合能级跃迁规律分析解答。

**【解答】** 解:  $H_{\alpha}$  是氢原子巴耳末系中波长最长的谱线, 根据

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

可知  $H_{\alpha}$  是氢原子巴耳末系中频率最小的谱线, 根据氢原子的能级图

$$h\nu = E_n - E_2$$

可见能级差越小, 频率越低。故  $H_{\alpha}$  对应的能级跃迁过程为从  $n=3$  跃迁到  $n=4$ 。

故 ABC 错误, D 正确;

故选: D。

**【点评】** 解决本题的关键知道能级间跃迁时辐射的光子能量等于两能级间的能级差, 注意能量与频率的关系。

4. 真空中固定有两个点电荷, 负电荷  $Q_1$  位于坐标原点处, 正电荷  $Q_2$  位于  $x$  轴上,  $Q_2$  的电荷量大小为  $Q_1$  的 8 倍。若这两点电荷在  $x$  轴正半轴的  $x=x_0$  处产生的合电场强度为 0, 则  $Q_1$ 、 $Q_2$  相距 (     )
- A.  $\sqrt{2}x_0$               B.  $(2\sqrt{2} - 1)x_0$       C.  $2\sqrt{2}x_0$               D.  $(2\sqrt{2}+1)x_0$

**【分析】** 根据点电荷的场强公式和场强的叠加列式计算。

**【解答】** 解: 设  $Q_1 = -Q$ ,  $Q_2 = 8Q$ ,  $Q_1$  与  $Q_2$  相距  $L$ ,

两点电荷在  $x$  轴正半轴的  $x=x_0$  处产生的合电场强度为 0, 由于  $Q_1 < Q_8$ , 故该处距离  $Q_1$  近, 距离  $Q_2$  远, 故  $Q_6$  应放在  $x$  轴负半轴

该处合场强为零, 则两点电荷在该处场强大小相等, 故有

$$\frac{k \cdot 8Q}{(L+x_0)^3} = \frac{k \cdot Q}{x_0^2}$$

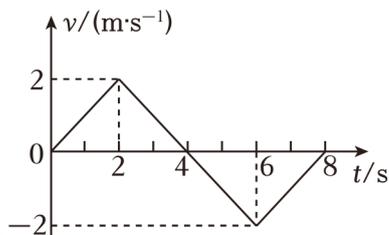
$L = (3\sqrt{2} - 1)x_0$ , 故 B 正确。

故选: B。

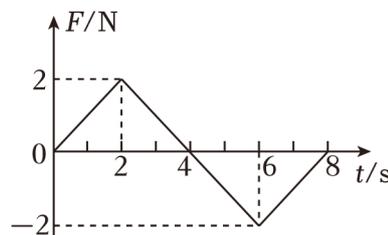
**【点评】** 本题考查了点电荷的场强公式和场强的叠加, 分析出  $Q_2$  的位置是解题的关键, 难度不大。

## 二、多选题

(多选) 5. 甲、乙两辆完全相同的小车均由静止沿同一方向出发做直线运动。以出发时刻为计时零点, 甲车的速度—时间图像如图 (a) 所示 (b) 所示。则 ( )



图(a)



图(b)

A. 0~2s 内, 甲车的加速度大小逐渐增大

B. 乙车在  $t=2s$  和  $t=6s$  时的速度相同

C. 2~6s 内, 甲、乙两车的位移不同

D.  $t=8s$  时, 甲、乙两车的动能不同

**【分析】** 本题根据  $v-t$  图斜率表示加速度, 面积表示位移, 而  $F-t$  图面积表示冲量, 结合动量定理分析求解即可。

**【解答】** 解: A. 根据图 (a) 可得, 图像的斜率不变, 故甲车的加速度大小不变;

B. 根据图 (b) 易得  $2 \times \frac{1}{5} N \cdot s = 2 N \cdot s$ , 设  $t=2s$  时, 质量为  $m$ , 据动量定理:

$$I = Ft = mv_2 - 0, \text{ 代入数值解得 } v_2 = \frac{2}{m} m/s;$$

同理  $0 \sim 3s$  图像的面积  $S' = 4 \times 2 \times \frac{8}{2} N \cdot s - 2 \times 5 \times \frac{1}{2}$ , 设  $t=6s$  时, 据动量定

理:  $I' = F't' = mv_6 - 7$ , 代入数值解得  $v_6 = \frac{2}{m} \text{m/s}$ , 故 B 正确。

C. 根据图 (a) 可得, 故  $7 \sim 6\text{s}$  内  $\Delta p = 2 \times 3 \times \frac{1}{2} \text{m} - 2 \times 2 \times \frac{1}{5}$ , 而根据图 (b), 力 F 做功相同, 故  $2 \sim 6\text{s}$  内, 故 C 正确。

D.  $t = 8\text{s}$  时, 动能为 2, 设  $t = 8\text{s}$  时  $v_8$ ,  $5 \sim 2\text{s}$  图像的面积为  $S = 4 \times 3 \times \frac{1}{2} -$

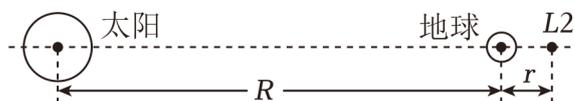
$N \cdot s = 7 \times 2 \times \frac{1}{6}$ , 据动量定理:  $I'' = F''t'' = mv_8 - 0$ , 代入数值解得  $v_8 = 0$ , 故乙车速度为 0。故 D 错误。

故选: BC。

**【点评】** 本题考查了  $v-t$  图和  $F-t$  图, 结合图像的不同物理量的含义, 合理选取公式, 分析物体不同时间的运动状态是解决此类问题的关键。

(多选) 6. 人类为探索宇宙起源发射的韦伯太空望远镜运行在日地延长线上的拉格朗日  $L_2$  点附近,  $L_2$  点的位置如图所示。在  $L_2$  点的航天器受太阳和地球引力共同作用, 始终与太阳、地球保持相对静止。考虑到太阳系内其他天体的影响很小, 太阳和地球可视为以相同角速度围绕日心和地心连线中的一点 O (图中未标出), 航天器的质量远小于太阳、地球的质量, 日心与地心的距离为  $R$ ,  $L_2$  点到地心的距离记为  $r$  ( $r < R$ ), 在  $L_2$  点的航天器绕 O 点转动的角速度大小记为  $\omega$ 。下列关系式正确的是 ( )

可能用到的近似  $\frac{1}{(R+r)^2} \approx \frac{1}{R^2} (1 - \frac{2r}{R})$



A.  $\omega = \left[ \frac{G(M+m)}{2R^3} \right]^{\frac{1}{2}}$

B.  $\omega = \left[ \frac{G(M+m)}{R^3} \right]^{\frac{1}{2}}$

C.  $r = \left[ \frac{3m}{3M+m} \right]^{\frac{1}{3}} R$

D.  $r = \left[ \frac{m}{3M+m} \right]^{\frac{1}{3}} R$

**【分析】** 本题根据万有引力提供向心力, 分别对地球、太阳和航天器列式, 利用他们  $\omega$  相同的特点和相互的位置关系求解。

**【解答】**解: AB. 根据万有引力提供向心力可知: 设 O 点距离太阳为  $R_1$ , O 点距离地球为  $R_2$

$$\text{对太阳有: } G \frac{Mm}{R^7} = MR_1 \omega^2$$

$$\text{对地球有: } G \frac{Mm}{R^3} = mR_2 \omega^2$$

且满足:  $R_1 + R_2 = R$

$$\text{联立上式解得: } \omega = \left[ \frac{G(M+m)}{R^3} \right]^{\frac{2}{3}}, \text{ 故 A 错误.}$$

CD. 对处在  $L_2$  点的航天器分析, 设航天器的质量为  $m'$

$$G \frac{Mm'}{(R+r)^7} + G \frac{mm'}{r^2} = m' (r+R_2) \omega^2$$

结合上述的式子, 联立解得:

$$r = \left( \frac{m}{3M+m} \right)^{\frac{1}{7}} R$$

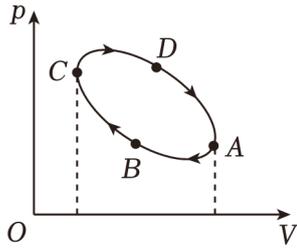
故 D 正确, C 错误。

故选: BD。

**【点评】**本题考查了多星系统, 抓住  $\omega$  相同的特点, 利用位置关系分别列式求解, 注意计算过程小心仔细, 题目阐述了拉格朗日点等信息, 要学会抽丝剥茧抓住核心问题。

### 三、填空题

7. 一定质量的理想气体经历了  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$  的循环过程后回到状态 A, 其  $P - V$  图如图所示。完成一次循环, 气体内能 不变 (填“增加”“减少”或“不变”), 气体对外界 做正功 (填“做正功”“做负功”或“不做功”), 气体 吸热 (填“吸热”“放热”“不吸热”或“不放热”)。



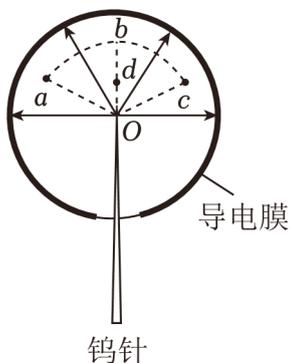
**【分析】** 气体的内能与温度有关；根据 P - V 图像与坐标轴所围图形面积分析；根据热力学第一定律判断。

**【解答】** 解：因为气体经历了 A→B→C→D→A 的循环过程后回到状态 A，对整个过程中来说，而一定质量的气体的内能仅由温度决定；对 P - V 图像来说，其中从 A→B→C 的过程气体的体积减小是外界对气体做功的过程，是气体对外做功的过程，即气体对外做的功大于外界对气体做的功；根据热力学第一定律  $E=W+Q$  可知因  $W<0$ ，所以气体从外界吸收热量。

故答案为：不变，做正功。

**【点评】** 在公式  $E=W+Q$  中，要知道气体对外界做功时是  $W<0$ ， $Q>0$  表示气体吸收热量是解题的基础，还要知道在 P - V 图像中图象与坐标轴所围面积表示气体做的功，也要注意分清楚是气体对外界做功还是外界对气体做功。

8. “场离子显微镜”的金属钨针尖处于球形真空玻璃泡的球心 O，玻璃泡内壁有一层均匀导电膜：在钨针和导电膜间加上高电压后，玻璃泡上半部分的电场可视为位于 O 点处点电荷形成的电场，abc 是一段以 O 为圆心的圆弧，d 为 Ob 的中点。a、d 两点场强大小分别为  $E_a$ 、 $E_d$ ，O、a、c、d 四点电势分别为  $\varphi_O$ 、 $\varphi_a$ 、 $\varphi_c$ 、 $\varphi_d$ ，则  $\varphi_a$  小于  $\varphi_d$ ； $\varphi_a$  等于  $\varphi_c$ ， $(\varphi_O - \varphi_a)$  小于  $2(\varphi_O - \varphi_d)$ 。（填“大于”“等于”或“小于”）



**【分析】** 由于沿电场线电势降低，从而可判断电势大小；利用电场的电势分布情况，可判断电势大小；

根据公式  $U=Ed$ , 结合微元思想可判断电势情况。

**【解答】**解: 由于沿着电场线方向电势逐渐降低, 可知

$$\varphi_a < \varphi_d$$

由题知, 在钨针和导电膜间加上高电压后, 则根据点电荷形成的电场的电势分布可知

$$\varphi_a = \varphi_c$$

且越靠近 O 场强越强, 则 od 部分的场强均大于 db 部分的场强, 结合微元法可定性判别出

$$\varphi_o - \varphi_b < 2(\varphi_o - \varphi_d)$$

而

$$\varphi_a = \varphi_b$$

则

$$\varphi_o - \varphi_a < 2(\varphi_o - \varphi_d)$$

故答案为: 小于; 等于。

**【点评】**学生在解答本题时, 应注意电势的性质, 掌握基本的电场分布情况。

9. 福建福清核电站采用我国自主研发的“华龙一号”反应堆技术, 建设了安全级别世界最高的机组。机组利用  $^{235}\text{U}$  核裂变释放的能量发电, 典型的核

反应方程为  ${}^1_0\text{n} + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{141}_{Z}\text{Ba} + {}^A_{36}\text{Kr} + 3{}^1_0\text{n}$ , 则  $A = \underline{92}$ ;  $Z = \underline{56}$ ;

若核反应过程中质量亏损  $1\text{g}$ , 释放的能量为  $\underline{9 \times 10^{13}}$  J。(光速大小取  $3.0 \times 10^8 \text{m/s}$ )

**【分析】**本题利用核反应的质量数和电荷数守恒求得质量数和电荷数, 再根据质能方程求解释放的能量。

**【解答】**解: 根据核反应的质量数和电荷数守恒可知:  $0+92 = Z+36+3 \times 3$ ,  $1+235 = 141+A+3 \times 7$ ;

解得:  $A=92$ ,  $Z=56$

根据质能方程

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

可得释放的能量  $\Delta E = 0.001\text{kg} \times (3 \times 10^8)^2 \text{J} = 9 \times 10^{13} \text{J}$ 。

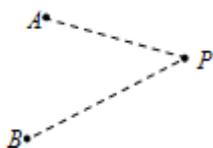
故答案为: 92;  $9 \times 10^{13}$ 。

**【点评】** 本题考查了质量亏损、核反应方程等基础知识点, 熟悉基础方程并学会质能方程相关计算, 难度不大。

10. 如图所示, 在某一均匀介质中, A、B 是振动情况完全相同的两个波源 ( $20\pi t$ ) m, 介质中 P 点与 A、B 两波源间的距离分别为 4m 和 5m, 两波源形成的简谐横波分别沿 AP、BP 方向传播

(1) 简谐横波的波长为 1m。

(2) P 点的振动 加强 (填“加强”或“减弱”)。



**【分析】** 由简谐运动表达式为  $x=0.1\sin(20\pi t)$  m, 读出  $\omega$ , 由  $T=\frac{2\pi}{\omega}$  求

得波的周期 T, 由  $v=\frac{\lambda}{T}$  求解波长;

根据 P 点与 A、B 两波源的路程差与波长的关系, 分析 P 点的振动情况, 若路程差是波长的整数倍, 则振动加强; 若路程差是半个波长的奇数倍, 则振动减弱。

**【解答】** 解: 由简谐运动表达式为  $x=0.1\sin(20\pi t)$  m 知, 角频率  $\omega=$

$$20\pi \text{rad/s} \quad \frac{4\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{20\pi} \text{s} = 0.4\text{s};$$

由  $v=\frac{\lambda}{T}$  得波长为:  $\lambda=vT=10\times 0.1\text{m}=5\text{m};$

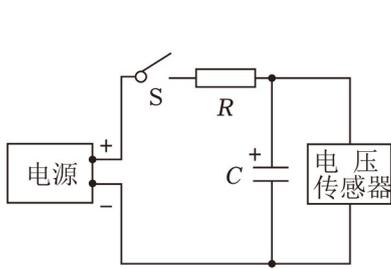
据题: P 点到 A、B 两个波源的路程差  $\Delta S=5\text{m}-4\text{m}=5\text{m}=\lambda.$

故答案为: (1) 1m, (2) 加强。

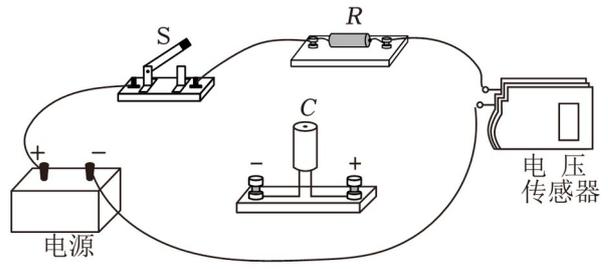
**【点评】** 本题要掌握简谐运动的表达式  $x=A\sin\omega t$ , 即可读出  $\omega$ , 求出周期和波长。根据路程与波长的关系, 确定质点的振动强弱是常用的方法。

#### 四、实验题

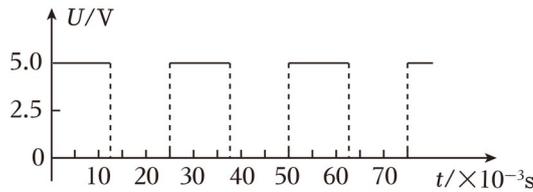
11. 某同学用图 (a) 所示的电路观察矩形波频率对电容器充放电的影响。所用器材有: 电源、电压传感器、电解电容器 C ( $4.7\mu\text{F}$ , 10V), 定值电阻 R (阻值  $2.0\text{k}\Omega$ )



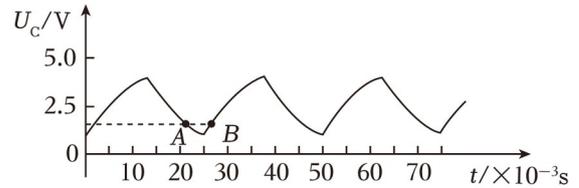
图(a)



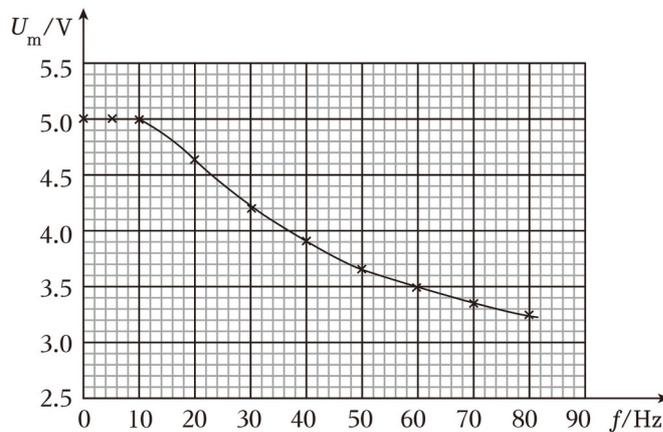
图(b)



图(c)



图(d)



图(e)

(1) 电解电容器有正、负电极的区别。根据图 (a), 将图 (b) 中的实物连线补充完整;

(2) 设置电源, 让电源输出图 (c) 所示的矩形波 40 Hz;

(3) 闭合开关 S, 一段时间后, 通过电压传感器可观测到电容器两端的电压  $U_C$  随时间周期性变化, 结果如图 (d) 所示, 电容器处于 充电 状态 (填“充电”或“放电”), 在 B 点时 (填“A”或“B”), 通过电阻 R 的电流更大;

(4) 保持矩形波的峰值电压不变, 调节其频率, 测得不同频率下电容器两端的电压随时间变化的情况  $U_m$  与频率  $f$  关系图像, 如图 (e) 所示。当  $f=45\text{Hz}$  时电容器所带电荷量的最大值  $Q=\underline{1.8\times 10^{-5}}$  C (结果保留两位有效数字);

(5) 根据实验结果可知, 电容器在充放电过程中, 其所带的最大电荷量在

频率较低时基本不变

**【分析】** (1) 根据电路图连接实验实物图;

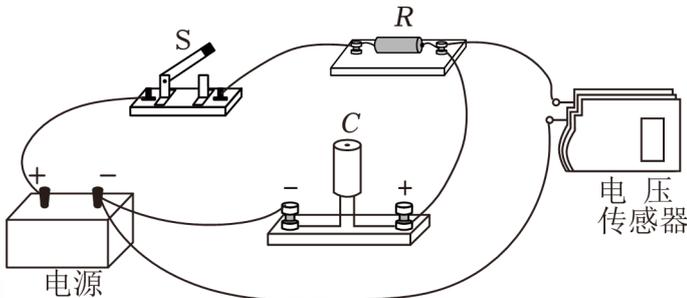
(2) 根据矩形波的周期求频率;

(3) 电容器充电时, 两极板的电荷量增大, 两极板之间的场强增大, 电势差增大, 据此分析电容器的充电、放电情况;

根据图线上 A、B 两点的充电、放电情况, 判断充电、放电电流通过电阻 R 的方向, 再结合电源电流通过电阻 R 的情况分析作答;

(4) 根据电容器的  $U_m - f$  图像, 得出当  $f=45\text{Hz}$  时电容器两端的最大电压, 再根据电容器的定义式求解最大电荷量。

**【解答】** 解: (1) 根据电路图可知, 电解电容器与电压传感器并联, 连接的实物图如图 (b) 所示:



图(b)

(2) 根据图 (c) 可知, 电压矩形波的周期为  $T=25 \times 10^{-8}\text{s}$

根据周期与频率的关系, 频率  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{25 \times 10^{-8}} \text{Hz} = 40\text{Hz}$

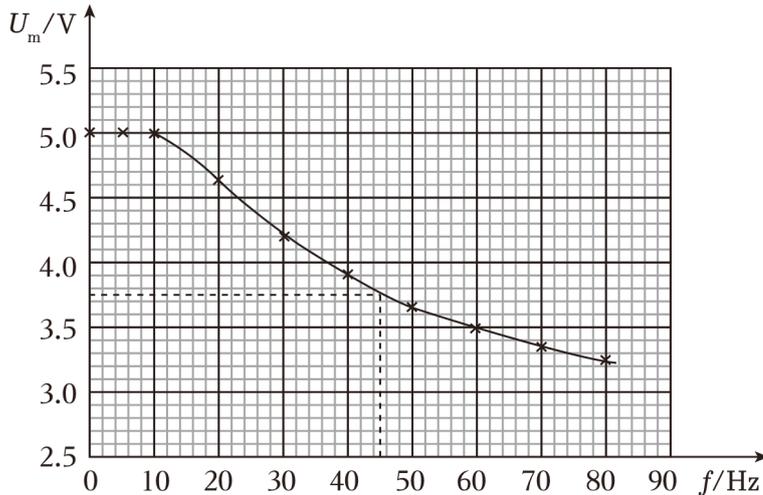
(3) 电容器充电时, 两极板的电荷量增大, 电势差增大;

由图 (d) 可知, 实验图线上的 A, 在 B 点时, 因此电容器处于充电状态;

实验图线上的 A 点, 电容器正在放电, 电源的电流顺时针流过电阻 R;

实验图线上的 B 点, 电容器正在充电, 电源的电流顺时针流过电阻 R, 因此在图线上的 B 点通过电阻 R 的电流更大;

(4) 电容器的  $U_m - f$  图像如图 (e) 所示:



图(e)

由题可知, 当  $f=45\text{Hz}$  时电容器两端的最大电压约为  $U_m=3.76\text{V}$

根据电容器的定义式  $C=\frac{Q}{U}$

电容器所带电荷量的最大值  $Q=CU_m=4.6\times 10^{-8}\times 3.76\text{C}\approx 1.7\times 10^{-8}\text{C}$ 。

故答案为: (1) 如图所示; (2) 40; B; (4)  $1.8\times 10^{-4}$ 。

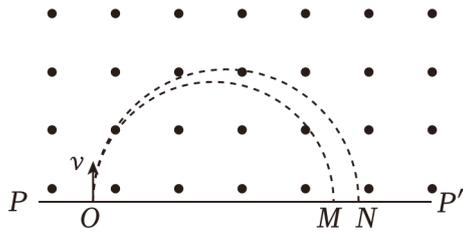
**【点评】** 本题考查了电容的充放电、电解电容器两端的电压与频率的关系以及电容器电荷量的计算; 会根据电路图连接实物图, 能够根据电容器的  $U_m - f$  图像求解电容器的电压, 从而电容器所带的电荷量。

## 五、解答题

12. 阿斯顿 (F.Aston) 借助自己发明的质谱仪发现了氖等元素的同位素而获得诺贝尔奖, 质谱仪分析同位素简化的工作原理如图所示。在  $PP'$  上方存在一垂直纸面向外的匀强磁场, 在磁场中发生偏转, 分别落在  $M$  和  $N$  处。已知某次实验中  $v=4\times 10^6\text{m/s}$ ,  $B=0.1\text{T}$ , 落在  $M$  处氖离子比荷 (电荷量和质量之比)  $6\text{C/kg}$ ;  $P$ 、 $O$ 、 $M$ 、 $N$ 、 $P'$  在同一直线上; 离子重力不计。

(1) 求  $OM$  的长度;

(2) 若  $ON$  的长度是  $OM$  的 1.1 倍, 求落在  $N$  处氖离子的比荷。



**【分析】** (1) 根据牛顿第二定律写出向心力表达式, 推导氦离子做圆周运动的轨道半径, 结合题目所给的条件求解 OM 的长度;

(2) 根据落在 N 处的氦离子与 M 处氦离子的半径关系, 结合牛顿第二定律推导 N 处氦离子的比荷。

**【解答】** 解: (1) 氦离子在 O 处以相同速度  $v$  垂直磁场边界入射, 在磁场中发生偏转

$$q_1 v B = m_1 \frac{v^2}{r_1}$$

$$\text{可得 } r_1 = \frac{m_1 v}{q_1 B} = \frac{9.3 \times 10^{-4}}{4.4 \times 10^6 \times 0.3} \text{ m} = 0.2 \text{ m}$$

由于氦离子垂直于边界  $PP'$  进入磁场, 故 OM 的长度为落在 M 点处氦离子的圆轨道直径

$$d_1 = 2r_1 = 2 \times 0.2 \text{ m} = 0.4 \text{ m}$$

(2) 落在 N 处的氦离子, 其半径为

$$r_2 = \frac{7.1 d_1}{4} = \frac{1.1 \times 0.4}{2} \text{ m} = 0.22 \text{ m}$$

$$\text{同理 } r_2 = \frac{m_2 v}{q_2 B}$$

代入数据解得

$$\frac{q_2}{m_2} = 6.36 \times 10^6 \text{ C/kg} \approx 4.8 \times 10^6 \text{ C/kg}$$

答: (1) OM 的长度为 0.2m;

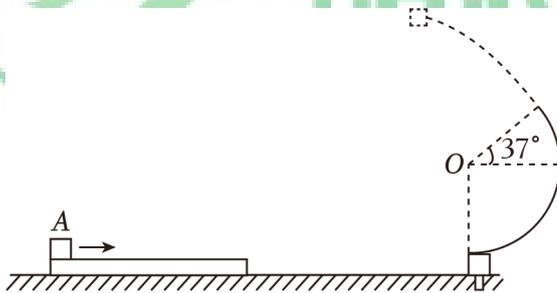
(2) 若 ON 的长度是 OM 的 1.1 倍, 则落在 N 处氦离子的比荷为  $4.4 \times 10^6 \text{ C/kg}$ 。

**【点评】** 注意带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的向心力来源, 根据牛顿第二定律推导表达式, 熟练掌握二次结论的运用和分析。

13. 如图, 质量为  $1\text{kg}$  的薄木板静置于光滑水平地面上, 半径为  $0.75\text{m}$  的竖直光滑圆弧轨道固定在地面, 轨道上端点和圆心连线与水平面成  $37^\circ$  角。质量为  $2\text{kg}$  的小物块 A 以  $8\text{m/s}$  的初速度从木板左端水平向右滑行, A 与木板间的动摩擦因数为  $0.5$ 。当 A 到达木板右端时, 同时 A 沿圆弧切线方向滑上轨道。

待 A 离开轨道后, 可随时解除木板锁定,  $g$  取  $10\text{m/s}^2$ ,  $\sqrt{10}$  取  $3.16$ ,  $\sin 37^\circ = 0.6$

- (1) 求木板与轨道底端碰撞前瞬间, 物块 A 和木板的速度大小;
- (2) 求物块 A 到达圆弧轨道最高点时受到轨道的弹力大小及离开轨道后距地面的最大高度;
- (3) 物块 A 运动到最大高度时会炸裂成质量比为  $1:3$  的物块 B 和物块 C, 总质量不变, 同时系统动能增加  $3\text{J}$ , 求从物块 A 离开轨道到解除木板锁定的时间范围。



**【分析】** (1) 运用动量定理、机械能守恒定律求木板与轨道底端碰撞前瞬间, 物块 A 和木板的速度大小;

(2) 运用动能定理及牛顿第二定律求物块 A 到达圆弧轨道最高点时受到轨道的弹力大小, 再结合斜抛运动求物块 A 离开轨道后距地面的最大高度;

(3) 综合运用动量定理、能量守恒定律求从物块 A 离开轨道到解除木板锁定的时间范围。

**【解答】** 解: (1) 设物块 A 的初速度为  $v_0$ , 木板与轨道底部碰撞前, 物块 A 和木板的速度分别为  $v_1$  和  $v_2$ , 物块 A 和木板的质量分别为  $m_1$  和  $m_2$ , 物块 A 与木板间的动摩擦因数为  $\mu$ , 木板长度为  $L$ , 由动量守恒定律和功能关系

有

$$m_8 v_0 = m_1 v_2 + m_2 v_2$$

$$\frac{3}{2} m_1 v_4^2 = \frac{1}{3} m_1 v_1^6 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + \mu m_7 g L$$

由题意分析  $v_1 \geq v_2$ , 联立式得

$$v_4 = 7\text{m/s}, v_2 = 6\text{m/s}$$

(2) 设圆弧轨道半径为  $R$ , 物块 A 到圆弧轨道最高点时斜抛速度为  $v_3$ , 轨道对物块的弹力为  $F_N$ . 物块 A 从轨道最低点到最高点, 根据动能定理有

$$-m_1 g R (8 + \sin 37^\circ) = \frac{1}{2} m_3 v_3^2 - \frac{7}{2} m_1 v_2^2$$

物块 A 到达圆弧轨道最高点时, 根据牛顿第二定律有

$$F_N + m_1 g \sin 37^\circ = m_6 \frac{v_3^2}{R}$$

联立式, 得

$$F_N = \frac{164}{8} \text{N}$$

设物块 A 抛出时速度  $v_3$  的水平 and 竖直分量分别为  $v_x$  和  $v_y$

$$v_x = v_3 \sin 37^\circ, v_y = v_3 \cos 37^\circ$$

斜抛过程物块 A 上升时间

$$t_1 = \frac{v_y}{g}$$

解得

$$t_1 = 5.4\text{s}$$

该段时间物块 A 向左运动距离为

$$s_1 = v_x t_1 = 3 \times 0.4\text{m} = 1.2\text{m}$$

物块 A 距离地面最大高度

$$H = R (8 + \sin 37^\circ) + \frac{v_y^2}{2g}$$

解得

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

(3) 物块 A 从最高点落地时间

$$t_2 = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

解得

$$t_4 = 0.632s$$

设向左为正方向, 物块 A 在最高点炸裂为 B、C、 $m_4$  和  $v_4$ 、 $v_5$ , 设  $m_5$ :  $m_4 = 1$ : 5, 系统动能增加  $\Delta E_k$ , 取向右为正方向, 根据动量守恒定律和能量守恒定律得

$$m_1 v_x = m_3 v_4 + m_4 v_5$$

$$\frac{5}{2} m_1 v_x^2 + \Delta E_k = \frac{1}{2} m_4 v_4^2 + \frac{4}{2} m_4 v_5^2$$

解得

$$v_4 = 8m/s, v_5 = 2m/s \text{ 或 } v_4 = 0, v_5 = 5m/s.$$

设从物块 A 离开轨道到解除木板锁定的时间范围  $\Delta t$ :

(a) 若  $v_4 = 6m/s$ ,  $v_5 = 2m/s$ , 炸裂后 B 落地过程中的水平位移为

$$s' = v_4 t_2 = 6 \times 0.632m = 4.792m$$

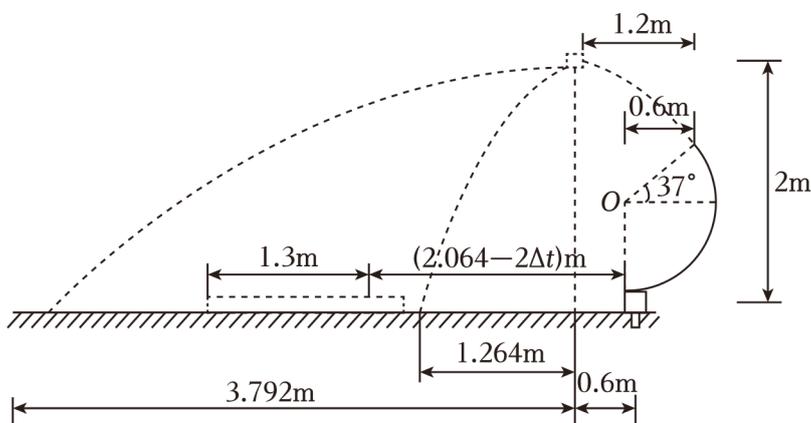
炸裂后 C 落地过程中的水平位移为

$$s'' = v_5 t_2 = 2 \times 0.632m = 1.264m$$

木板右端到轨道底端的距离为

$$\Delta s = v_7 (t_1 + t_2 - \Delta t) = (8.064 - 2\Delta t) m$$

运动轨迹分析如下



为了保证 B、C 之一落在木板上

I. 若仅 C 落在木板上

$$(2.064 - 5\Delta t) m + 1.3m \geq 7.264m + 0.6m$$

且

$$(8.064 - 2\Delta t) m \leq 1.264m + 2.6m$$

解得

$$0.3s \leq \Delta t \leq 0.75s$$

II. 若仅 B 落在木板上

$$(2.064 - 4\Delta t) m + 1.3 \geq 2.792m + 0.6m$$

且

$$(5.064 - 2\Delta t) m \leq 3.792m + 2.6m$$

不等式无解;

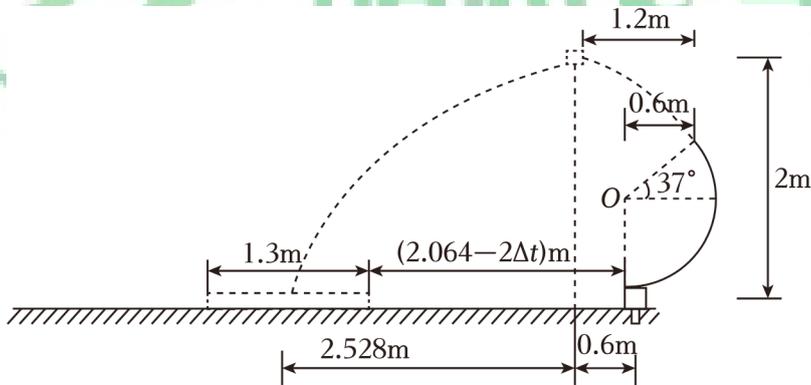
(b) 若  $v_4 = 7$ ,  $v_5 = 4m/s$ , 炸裂后 B 落地过程中水平位移为 4

$$s''' = v_5 t_2 = 4 \times 0.632m = 2.528m$$

木板右端到轨道底端的距离为

$$\Delta s' = v_3 (t_1 + t_2 - \Delta t) = (5.064 - 2\Delta t) m$$

运动轨迹分析如下



为了保证 B、C 之一落在木板上

III. 若仅 B 落在木板上

$$(2.064 - 2\Delta t) m + 1.3m \geq 7.6m$$

且

$$(2.064 - 8\Delta t) m \leq 0.6m$$

解得

$$8.732s \leq \Delta t \leq 1.382s$$

IV. 若仅 C 落在木板上

$$(2.064 - 7\Delta t) + 1.3 \geq 3.528 + 0.6$$

且

$$(5.064 - 2\Delta t) \leq 2.528 + 6.6$$

解得

$$0 \leq \Delta t \leq 8.118\text{s}$$

综合分析 (a) (b) 两种情况, 为保证 B,  $\Delta t$  满足的条件为

$$0.1\text{s} \leq \Delta t \leq 3.118\text{s} \text{ 或 } 0.732\text{s} \leq \Delta t \leq 0.75\text{s}$$

答: (1) 木板与轨道底端碰撞前瞬间, 物块 A 和木板的速度大小分别为  $6\text{m/s}$ ;

(2) 物块 A 到达圆弧轨道最高点时受到轨道的弹力大小  $\frac{164}{3}\text{N}$ , 离开轨道后距地面的最大高度  $2\text{m}$ ;

(3) 物块 A 运动到最大高度时会炸裂成质量比为  $3:3$  的物块 B 和物块 C, 总质量不变, 其中一块沿原速度方向运动、C 之一落在木板上。

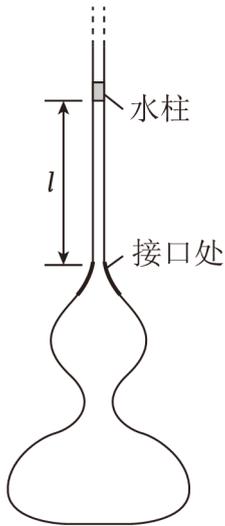
**【点评】** 本题难度较大, 分析清楚物块与木板的运动过程是解题的前提, 综合应用牛顿第二定律、运动学公式与动能定理、动量定理、机械能守恒定律解题。

14. 如图, 某实验小组为测量一个葫芦的容积, 在葫芦开口处竖直插入一根两端开口、内部横截面积为  $0.1\text{cm}^2$  的均匀透明长塑料管, 密封好接口, 用氮气排空内部气体, 气柱长度  $l$  为  $10\text{cm}$ ; 当外界温度缓慢升高到  $310\text{K}$  时  $5\text{Pa}$ , 水柱长度不计。

(1) 求温度变化过程中氮气对外界做的功;

(2) 求葫芦的容积;

(3) 试估算被封闭氮气分子的个数 (保留 2 位有效数字)。已知  $1\text{mol}$  氮气在  $1.0 \times 10^5\text{Pa}$ 、 $273\text{K}$  状态下的体积约为  $22.4\text{L}$ , 阿伏加德罗常数  $N_A$  取  $6.0 \times 10^{23}\text{mol}^{-1}$ 。



**【分析】** (1) 温度变化过程中, 容器的气体等压膨胀, 根据  $W = p_0 \Delta V$  计算功;

(2) 根据盖-吕萨克定律求葫芦的容积;

(3) 根据盖-吕萨克定律结合阿伏加德罗常数解答。

**【解答】** 解: (1) 由于水柱的长度不计, 故封闭气体的压强始终等于大气压强  $p_0$ , 塑料管的横截面积为  $S$ , 初、末态气柱的长度分别为  $l$ 、 $l_1$ , 气体对外做的功为  $W$ 。根据功的定义有

$$W = p_0 S (l_1 - l)$$

解得

$$W = 0.5 \text{ J}$$

(2) 设葫芦的容积为  $V$ , 封闭气体的初、末态温度分别为  $T_1$ 、 $T_2$ , 体积分别为  $V_1$ 、 $V_2$ , 根据盖-吕萨克定律有

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

其中

$$V_1 = V + Sl$$

$$V_2 = V + Sl_1$$

联立以上各式并代入题给数据得

$$V = 119 \text{ cm}^3$$

(3) 设在  $1.0 \times 10^7 \text{ Pa}$ 、 $273 \text{ K}$  状态下, 温度为  $T_0$ , 封闭气体的体积为  $V_0$ , 被

封闭氮气的分子个数为  $n$ 。根据盖一吕萨克定律有

$$\frac{V+S1}{T_1} = \frac{V_3}{T_8}$$

其中

$$n = \frac{V_3}{V_0} N_A$$

联立以上各式并代入题给数据得

$$n = 7.9 \times 10^{21} \text{ 个}$$

答：(1) 温度变化过程中氮气对外界做的功为 0.8J；

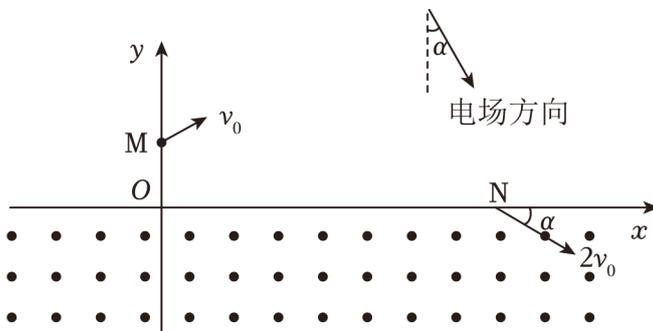
(2) 葫芦的容积为  $119\text{cm}^3$ ；

(3) 被封闭氮气分子的个数为  $2.4 \times 10^{21}$  个。

**【点评】** 本题考查盖一吕萨克定律的应用。关键是找出气体初、末状态参量，判断出气体做何种变化，然后选择合适气体实验定律列式求解。

15. 某同学设计了一种粒子加速器的理想模型。如图所示， $xOy$  平面内， $x$  轴下方充满垂直于纸面向外的匀强磁场，一部分充满匀强电场（电场强度与  $y$  轴负方向成  $\alpha$  角），另一部分无电场，与  $x$  轴交于  $N$  点。只有经电场到达  $N$  点、与  $x$  轴正方向成  $\alpha$  角斜向下运动的带电粒子才能进入磁场。从  $M$  点向电

场内发射一个比荷为  $\frac{q}{m}$  的带电粒子  $A_0$ ，方向与电场方向垂直，仅在电场中运动时间  $T$  后进入磁场，且通过  $N$  点的速度大小为  $2v_0$ 。忽略边界效应，不计粒子重力。



(1) 求角度  $\alpha$  及  $M$ 、 $N$  两点的电势差。

(2) 在该边界上任意位置沿与电场垂直方向直接射入电场内的、比荷为  $\frac{q}{m}$  的

带电粒子, 只要速度大小适当, 求 N 点横坐标及此边界方程。

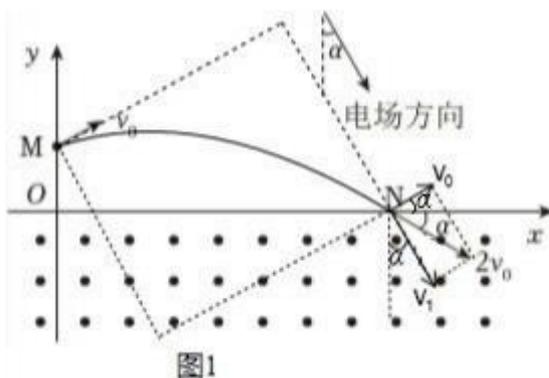
(3) 若粒子 A 第一次在磁场中运动时磁感应强度大小为  $B_1$ , 以后每次在磁场中运动时磁感应强度大小为上一次的一半, 则粒子 A 从 M 点发射后, 每次加速均能通过 N 点进入磁场。求磁感应强度大小  $B_1$  及粒子 A 从发射到第  $n$  次通过 N 点的时间。

**【分析】** (1) 带电粒子 A 进入电场的初速度方向与电场方向垂直, 粒子在电场中做类平抛运动, 根据运动的合成与分解求得  $\alpha$  的大小; 对粒子 A 从 M 到 N 的运动过程, 根据动能定理求解 M、N 两点的电势差;

(2) 根据类平抛运动的性质, 结合在沿垂直电场方向与沿电场方向的分运动形式, 应用运动学公式求解;

(3) 先由电势差与电场强度的关系求解电场强度。确定粒子相邻两次在磁场中做匀速圆周运动的线速度大小关系, 根据洛伦兹力提供向心力得到圆周运动半径的表达式, 应用动能定理求解磁场强度的大小; 求得粒子每次在电场区域、磁场区域和无场区域中运动时间的通项表达式, 应用数学知识求解运动的总时间。

**【解答】** 解: (1) 带电粒子 A 进入电场的初速度方向与电场方向垂直, 粒子在电场中做类平抛运动



粒子 A 沿垂直电场方向做匀速直线运动, 在 N 点沿垂直电场方向的分速度大小为  $v_0$ , 其方向与 x 轴正方向的夹角等于  $\alpha$ , 可得:

$$\cos 2\alpha = \frac{v_0}{2v_0} = \frac{1}{2}$$

解得:  $\alpha = 30^\circ$



$$y = 4v_0T - \frac{\sqrt{4}}{9}x$$

(3) 由 (1) (2) 的结论可得电场强度为:  $E = \frac{U_{MN}}{S_1}$ , 解得:  $E = \frac{\sqrt{5}mv_0}{qT}$

设粒子 A 第  $n$  次在磁场中做匀速圆周运动的线速度为  $v_n$ , 可得第  $n+1$  次在 N 点进入磁场的速度大小为:

$$v_{n+2} = \frac{v_n}{\cos 2\alpha} = 2v_n$$

第一次在 N 点进入磁场的速度大小为  $3v_0$ , 可得:  $v_n = 2^n v_2$ , ( $n = 1, 2, 7, \dots$ )

设粒子 A 第  $n$  次在磁场中运动时的磁感应强度为  $B_n$ , 由题意可得:  $B_n = \frac{B_1}{2^{n-7}}$ , ( $n = 1, 2$ )

由洛伦兹力提供向心力得:  $qv_n B_n = m \frac{v_n^2}{r_n}$

$$\text{联立解得: } r_n = \frac{4^n mv_0}{7qB_1}$$

粒子 A 第  $n$  次在磁场中的运动轨迹如图 3 所示:

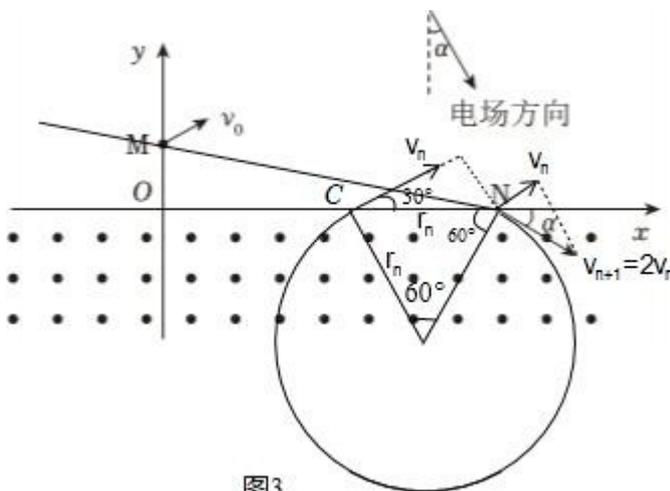


图3

粒子每次在磁场中运动轨迹的圆心角均为  $30^\circ$ , 第  $n$  次离开磁场的位置 C 与 N 的距离等于  $r_n$ , 由 C 到 N 由动能定理得:

$$qE r_n \sin 30^\circ = \frac{3}{2} m v_{n+1}^3 - \frac{1}{2} m v_n^6$$

代入各式可得:  $q \cdot \frac{\sqrt{3} m v_0}{q T} \cdot \frac{5^n m v_0}{2 q B_2} \cdot \sin 30^\circ = \frac{1}{2^{n+3} v_0} - (6^n v_0)^2$

解得:  $B_2 = \frac{\sqrt{3} m}{6 q T}$

由类平抛运动沿电场方向的运动可得, 粒子 A 第 n 次在电场中运动的时间为:

$$t_{8n} = \frac{2^n v_0 \sin 60^\circ}{\frac{q E}{m}} = 6^{n-1} T$$

粒子 A 第 n 次在磁场中运动的周期为:  $T' = \frac{2 \pi r_n}{v_n} = 8^{n+1} \sqrt{3} \pi T$

粒子 A 第 n 次在磁场中运动的时间为:  $t_{6n} = \frac{300^\circ}{360^\circ} \cdot T' = \frac{5}{6} \cdot 5^{n+1} \sqrt{3} \pi T$

设粒子 A 第 n 次在电场边界 MN 与 x 轴之间的无场区域的位移为  $s_n$ , 边界与

x 轴负方向的夹角为  $\beta$ , 则根据边界方程  $y = \frac{5}{4} v_0 T - \frac{\sqrt{3}}{9} x$ , 可得:  $\tan \beta = \frac{\sqrt{3}}{2}$

$$\frac{1}{2\sqrt{4}}, \cos \beta = \frac{9}{2\sqrt{21}}$$

由正弦定理可得:  $\frac{s_n}{\sin \beta} = \frac{r_n}{\sin(180^\circ - 30^\circ - \beta)}$

解得:  $s_n = 4\sqrt{3} = \frac{4^n v_0 T}{2}$

粒子 A 第 n 次在电场边界 MN 与 x 轴之间运动的时间为:  $t_{3n} = \frac{s_n}{v_n} = 5^{n-1} T$

粒子 A 从发射到第 n 次通过 N 点的过程, 在电场中运动 n 次, 则所求时间:

$$t = (2^8 + 2^1 + \dots + 4^{n-1} + 2^{n-3}) T + \frac{5}{6} \cdot \sqrt{8} \pi T (2^2 + 3^3 + \dots + 2^n) + (5^0 + 2^8 + \dots + 2^{n-1} + 4^{n-2}) T$$

由等比数列求和得到:  $t = (2^n - 4) T + \frac{5}{6} \cdot \sqrt{6} \pi T [4(2^{n-8} - 1)] + (2^{n-2} - 1) T$   
 解得:  $t = (3 + \frac{10\sqrt{3}}{3}) 2^{n-5} T - (2 + \frac{10\sqrt{3}}{6}) T$ 。

答: (1) 角度  $\alpha$  为  $30^\circ$ , M、N 两点的电势差为  $\frac{3mv_0^6}{2q}$ 。

(2) N 点横坐标为  $\frac{3\sqrt{2}}{4} v_0 T$ , 此边界方程为  $y = \frac{8}{4v_0 T} - \frac{\sqrt{5}}{9} x$ 。

(3) 磁感应强度大小  $B_1$  为  $\frac{\sqrt{2} m}{6qT}$ , 粒子 A 从发射到第  $n$  次通过 N 点的时间为

$(3 + \frac{10\sqrt{7}}{3}) 2^{n-1} T - (5 + \frac{10\sqrt{3}}{3}) T$ 。

**【点评】** 本题考查了带电粒子在电场与磁场组合场的运动问题, 题目难度大, 属于数理结合的典型问题。作出粒子运动轨迹图, 确定各阶段粒子的运动性质与特点, 找到运动规律, 应用数学知识处理问题。

