

学情调研(二)

物 理

注意事项:

1. 答卷前,考生务必将自己的姓名、班级、考场号、座位号、考生号填写在答题卡上。
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。

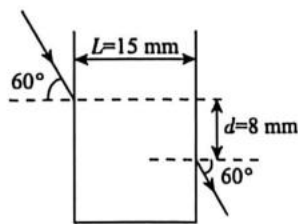
一、单项选择题:本题共 7 小题,每小题 4 分,共 28 分。在每小题给出的四个选项中,只有一项是符合题目要求的。

1. 2025 年 6 月,我国科学家在兰州重离子加速器国家实验室装置上成功合成目前已知最缺中子的镆同位素——镆-210(${}_{91}^{210}\text{Pa}$),其核反应方程为 ${}_{20}^{40}\text{Ca} + {}_{71}^{175}\text{Lu} \longrightarrow {}_{91}^{210}\text{Pa} + 5\text{X}$,该方程中 X 是

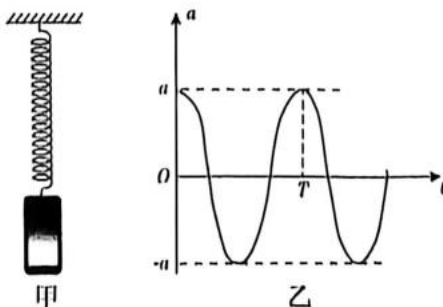
- A. 质子 B. 中子 C. 电子 D. α 粒子

2. AR 眼镜的光学模组中,一块方形透明树脂镜片竖直放置,其厚度为 $L=15\text{ mm}$ 。一束光线以 60° 入射角从空气斜向下射向镜片左侧表面,从右侧表面射出,入射点与出射点的高度差为 $d=8\text{ mm}$ 。不考虑多次反射,该树脂材料的折射率 n 的值为

- A. 1.0 B. $\frac{15\sqrt{3}}{16}$
C. $\frac{17\sqrt{3}}{16}$ D. $\frac{15\sqrt{2}}{16}$



3. 如图甲所示,用轻弹簧悬挂的手机 A 在竖直方向做简谐运动,手机上的加速度传感器记录了其竖直方向的加速度 a 随时间 t 变化的曲线,如图乙,规定向下为正方向。已知手机质量为 m ,振动周期为 T ,最大加速度大小为 a ,重力加速度为 g ,已知弹簧振子的周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, m 为振子质量, k 为弹簧劲度系数。忽略空气阻力,下列说法正确的是



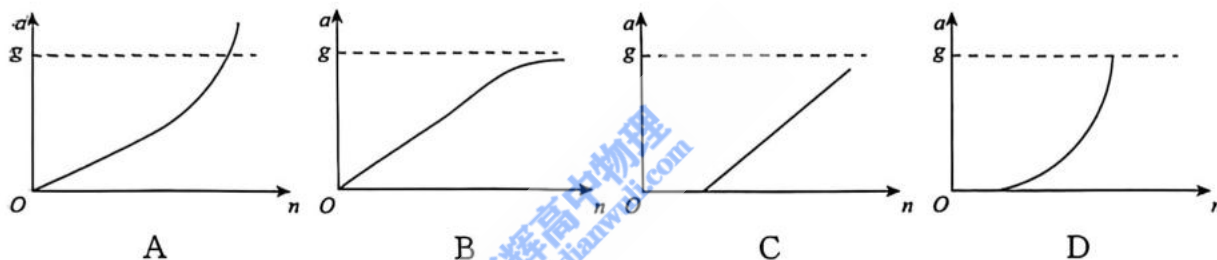
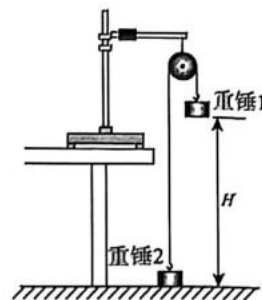
A. $0 \sim \frac{T}{4}$ 过程中, 合外力对手机的冲量大小为 $\frac{maT}{8}$, 方向竖直向上

B. $\frac{T}{4} \sim \frac{3T}{4}$ 过程中, 手机的动量变化量为零

C. $\frac{T}{2} \sim T$ 过程中, 重力对手机的冲量大小为 $\frac{mgT}{2}$, 方向竖直向下

D. $0 \sim \frac{T}{2}$ 过程中, 手机的机械能守恒, 合外力的冲量大小为零

4. 如图, 细绳跨过固定在铁架台上的轻质滑轮, 两端各悬挂一只质量为 M 的重锤。在重锤 1 上加上 n ($n=0, 1, 2, \dots$) 个质量为 Δm 的小钩码。测量不同的 n 对应重锤的加速度, 得到 $a-n$ 图像, 已知 $\Delta m \ll M$ 、重力加速度大小为 g , 忽略空气和滑轮产生的阻力, 在下列 $a-n$ 图像中, 符合实际情况的是



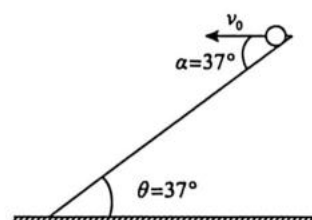
5. 滑板运动员在倾角 $\theta=37^\circ$ 的斜面轨道上练习起跳动作, 某次起跳时速度大小 $v_0=8 \text{ m/s}$, 速度方向与斜面的夹角 $\alpha=37^\circ$, 不计空气阻力, 重力加速度 $g=10 \text{ m/s}^2$ (已知 $\sin 37^\circ=0.6$, $\cos 37^\circ=0.8$)。则运动员腾空过程中离开斜面的最大距离为

A. 1.0 m

B. 1.44 m

C. 2.0 m

D. 2.56 m



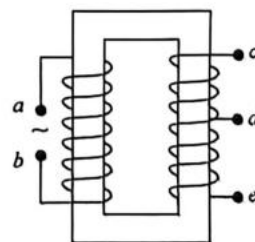
6. 家用小型电阻式电热毯的调压模块核心是如图所示的理想变压器, 原线圈 ab 输入有效值恒定的正弦交流电。已知 ce 和 de 间的线圈匝数比为 $3:2$, 现把一个阻值为 16Ω 的电阻接在 ce 端时, 其实际功率为 144 W 。若将该电阻接在 de 端, 则其实际功率为

A. 64 W

B. 96 W

C. 120 W

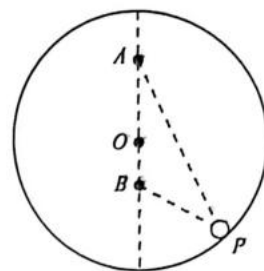
D. 192 W



7. 如图所示, 光滑绝缘圆形轨道水平放置在光滑绝缘桌面上, O 为圆心, A 、 B 连线过 O 点, $AO=2 \text{ cm}$, $OB=1 \text{ cm}$, 在 A 点固定正点电荷 Q_1 , B 点固定正点电荷 Q_2 , 带正电的

小球静止于轨道内侧 P 点 (A 、 B 两点均位于圆内, 且 A 、 B 、 P 三点不共线), 已知 $AP : BP = 2 : 1$ 。下列说法正确的是

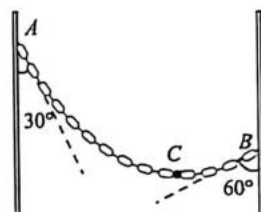
- A. Q_1 与 Q_2 的电荷量大小之比为 $2 : 1$
- B. P 点的电场强度方向垂直于 AB 向左
- C. 将小球的电荷量加倍后, 它仍能静止在 P 点
- D. A 、 B 连线上 O 点电场强度最大



二、多项选择题: 本题共 3 小题, 每小题 6 分, 共 18 分。在每小题给出的四个选项中, 有多项符合题目要求。全部选对的得 6 分, 选对但不全的得 3 分, 有选错的得 0 分。

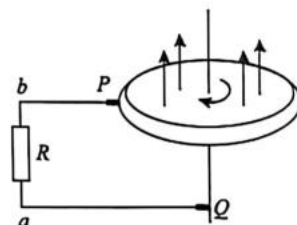
8. 如图所示, 一段质量分布均匀的链条悬挂在竖直固定杆的 A 、 B 两点, 链条总质量为 $2M$, 链条在 A 、 B 两点处的切线与竖直方向的夹角分别为 30° 和 60° , 两杆对链条的拉力大小分别为 F_A 和 F_B , C 为链条的最低点, 重力加速度为 g 。下列说法正确的是

- A. A 处链条内张力大小为 Mg
- B. B 处链条内张力大小为 Mg
- C. C 点左右两侧链条质量之比为 $3 : 1$
- D. C 点左右两侧链条质量之比为 $\sqrt{3} : 1$

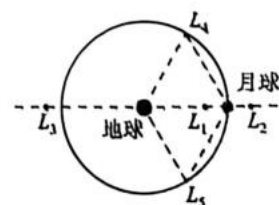


9. 著名的法拉第圆盘发电机示意图如图所示。铜圆盘安装在竖直的铜轴上, 两电刷 P 、 Q 分别与圆盘的边缘和铜轴接触。圆盘处于方向竖直向上的匀强磁场 B 中。圆盘以恒定角速度旋转时, 关于流过电阻 R 的电流, 下列说法正确的是

- A. 流过电阻 R 的电流恒定
- B. 若从上向下看, 圆盘沿顺时针转动, 则通过电阻 R 的电流方向由 b 到 a
- C. 若磁感应强度大小 B 变为原来的 2 倍, 其他条件不变, 则电流在 R 上的热功率变为原来的 2 倍
- D. 若圆盘转动的角速度变为原来的 2 倍, 其他条件不变, 则电流在 R 上的热功率变为原来的 4 倍



10. 拉格朗日点指在两个大天体引力作用下, 能使航天器稳定的点, 由法国数学家拉格朗日 1772 年推导证明其存在, 每个两天体系统存在 5 个拉格朗日点。如图所示, 拉格朗日点上的航天器在两天体引力的共同作用下可以绕“地月双星系统”的圆心做周期相同的圆周运动, 从而使地、月、航天器三者在太空的相对位置保持不变。其中 L_1 、 L_2 、 L_3 位于两天体连线上, 地心、月心、 L_4 (L_5) 构成的三角形为等边三角形, 地球质量 M 为月球质量 m 的 81 倍, 地月间距为 L , 地球、月球、航天器均可视为质点, 不考虑航天器及其他星体对双星系统的影响, 关于地月系统的拉格朗日点, 下列说

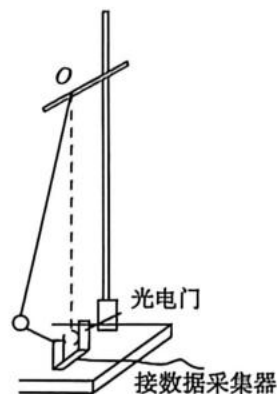


法正确的是

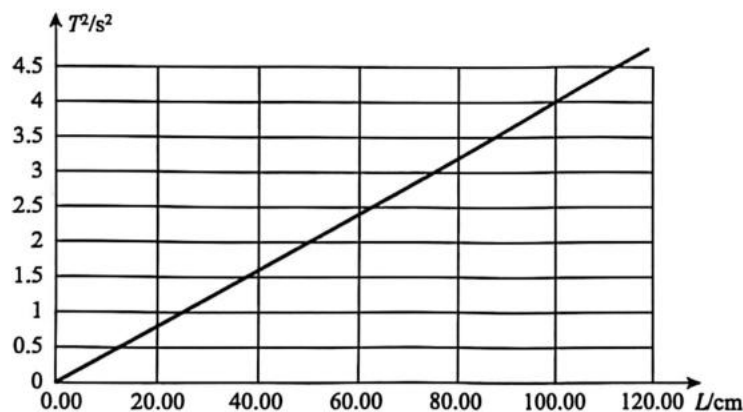
- A. 处于 L_2 点的航天器, 其线速度大于月球做圆周运动的线速度
- B. 处于 L_4 点的航天器, 做圆周运动的圆心恰好处在地心
- C. 处于 L_1 点的航天器, 加速度大于处在 L_3 点航天器的加速度
- D. 处于拉格朗日点上的航天器做圆周运动的周期为 $2\pi\sqrt{\frac{L^3}{82Gm}}$

三、非选择题: 本题共 5 小题, 共 54 分。

11. (6 分) 某实验小组, 采用单摆实验装置测定当地重力加速度的大小。实验装置如图所示: 摆线上端固定于 O 点, 下端悬挂一个质量分布均匀的小钢球, 光电门传感器固定在 O 点正下方, 用于记录摆球经过最低点时的时间间隔, 从而测定单摆的周期。实验步骤如下:

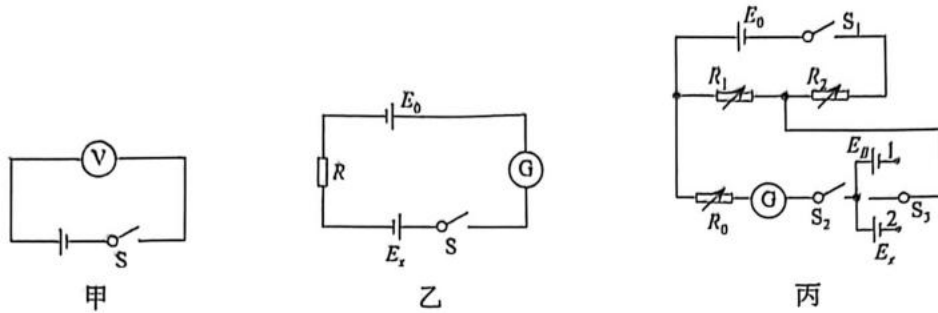


- a. 用毫米刻度尺测量摆线的长度 $L_{\text{线}}$;
- b. 用游标卡尺测量小钢球的直径 d ;
- c. 让摆球做小角度摆动(摆角小于 5°), 通过光电门测得单摆的周期 T ;
- d. 改变摆线长度, 重复上述实验, 记录多组不同摆长 L 和对应的周期平方 T^2 的数据, 拟合得出的 $T^2 - L$ 图线如图所示:



- (1) 单摆的摆长 $L = \underline{\hspace{2cm}}$ (用 $L_{\text{线}}$ 和 d 表示);
- (2) 下列关于实验操作或原理的说法中, 正确的是 ;
 - A. 小球相邻两次通过光电门的时间间隔为一个周期
 - B. 实验中摆角控制在小于 5° 的目的是使单摆的运动近似为简谐运动
 - C. 多次改变摆长测量的目的是为了减小系统误差
- (3) 利用 $T^2 - L$ 图线, 计算当地重力加速度的值为 $g = \underline{\hspace{2cm}}$ m/s^2 (结果保留 2 位有效数字, π^2 取 9.87)。
- (4) 若实验小组在实验过程中, 误将摆线长度 $L_{\text{线}}$ 当作摆长 L (未加入小钢球的半径), 其他操作均正确, 则根据本次实验结果计算出的重力加速度 g' 与真实值 g 相比 (填“偏大”“偏小”或“不变”)。

12. (9分)某实验小组设计了三种测量电源电动势的方法,如图所示。



(1)方法一:选择合适的电压表量程,按照如图甲电路连接,闭合开关 S,电压表读数为电源电动势的测量值,则该测量值_____ (填“大于”“小于”或“等于”)电动势真实值。

(2)方法二:图乙中 R 为保护电阻, E_x 为被测电源, E_0 为电动势可调整、可读数的电源, G 为检流计。实验时闭合开关 S,调整 E_0 ,当检流计示数为零时,被测电源 E_x 的电动势等于此时 E_0 的电动势。

(3)方法三:如图丙所示, E_x 为待测电源, E_0 为工作电源(内阻可忽略)、 E_B 为标准电源(电动势 E_B 已知), R_0 、 R_1 、 R_2 为电阻箱, G 为检流计, S_1 、 S_2 为单刀单掷开关, S_3 为单刀双掷开关。实验过程如下:

- a. 实验开始前,为保护检流计,将 R_0 、 R_1 、 R_2 均调整到最大,闭合开关 S_1 、 S_2 ;
- b. 单刀双掷开关 S_3 接通 1,在保证电路安全的前提下调小 R_0 ,再调整 R_1 和 R_2 ,直到 R_0 调整到零,检流计示数为零,读取此时 R_1 和 R_2 的阻值,记作 R_{10} 和 R_{20} ;
- c. 单刀双掷开关 S_3 接通 2,在保持 $R_1 + R_2 = R_{10} + R_{20}$ 的前提下,调小 R_0 ,调整 R_1 和 R_2 ,直至将 R_0 调整到零,且检流计示数为零,记录 R_1 和 R_2 的阻值,记作 R_{11} 和 R_{21} 。

①实验时工作电源 E_0 的最大电动势需要_____ (填“大于”或“小于”)被测电源 E_x 的电动势;

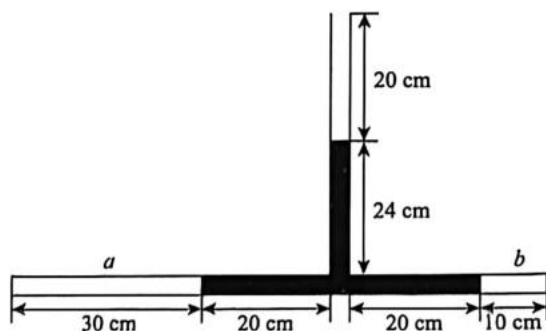
②被测电源电动势 $E_x =$ _____ (用已知量和测量量表示);

③若考虑工作电源内阻, E_x 的测量值_____ (填“大于”“小于”或“等于”) E_x 的真实值。

12. (10分)内径均匀且内径远小于管长的“T”形细玻璃管竖直放置,管内有被水银封闭的理想气体 a 和 b ,竖直管上端与大气相通,各部分长度如图所示。已知环境温度为 27°C ,大气压强 $p_0 = 76 \text{ cmHg}$,热力学温度 T 与摄氏温度 t 的关系为 $T = t + 273\text{K}$ 。求:

(1)若两部分气体升高相同温度,竖直管水银面恰好上升至管口,气体 b 的长度;

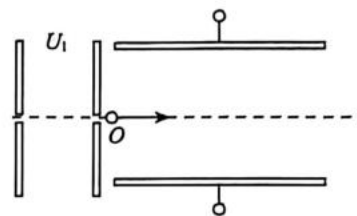
(2)若保持温度为 27°C 不变,从竖直管上端加水银至管口,加入水银柱的长度。



14. (12 分)如图所示,加速电场两极板竖直放置,两板之间的电压为 U_1 ,偏转电场极板水平放置,极板长度为 L ,极板间的距离为 d 。偏转电场两板之间的电压为 U_2 ,加速电场极板上有小孔,与偏转电场中轴线对齐。一个比荷为 $\frac{q}{m}$ 的点电荷以极小的初速度(可看作零)进入加速电场中,被加速后从极板的小孔沿偏转电场中轴线方向进入偏转电场,然后从偏转电场右侧离开。电荷重力不计,求:

(1)电荷在偏转电场的运动时间;

(2)从电荷进入偏转电场算起,水平方向前进 $1.5L$ 时,竖直方向的位移大小。



15. (17 分)在半导体芯片制造的离子注入工艺中,为实现对晶圆靶材的高精度掺杂,需将离子源产生的离子束通过磁场约束精确聚焦到靶材的指定接收点。如图所示,在平面直角坐标系 xOy 内存在垂直于纸面向外的匀强磁场,磁感应强度大小为 B 。离子源固定于 x 轴上的 P 点,其坐标为 $(-a, 0)$,靶材的接收区域位于 x 轴上的 Q 点,其坐标为 $(a, 0)$ 。离子源可发射速度大小和方向不同的大量带正电离子,且所有离子均在 xOy 平面内运动,其初速度方向与 y 轴正方向夹角的最大值为 60° 。已知离子的质量为 m ,电荷量为 $+q$,所有离子的运动轨迹关于 y 轴对称,离子的重力不计,忽略离子间的相互作用。

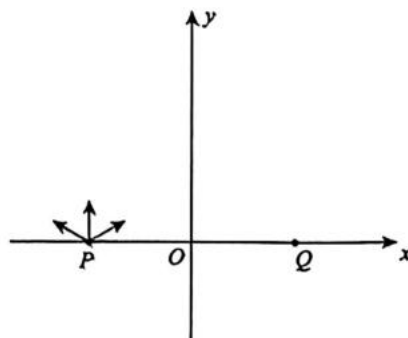
(1)若沿 y 轴正方向自 P 点进入第二象限的离子,恰好可以打在 Q 点,求该离子进入第二象限时的速率;

(2)假设所有离子均可打在 Q 点,求:

①离子的最大速率和最小速率之比;

②离子自 P 点到 Q 点运动的最长时间和最短时间之比;

③第一象限有离子经过区域的面积。



学情调研(二)

物理 参考答案

1. B 解析:根据核反应中质量数守恒有 $40+175=210+5a$,解得 $a=1$,根据电荷数守恒有 $20+71=91+5b$,解得 $b=0$,质量数为 1、电荷数为 0 的粒子是中子,B 正确。故选 B。

2. C 解析:光线在介质中的传播路程 $l=\sqrt{L^2+d^2}=17\text{ mm}$,入射角 $\theta_1=60^\circ$,折射角设为 θ_2 ,则 $\sin\theta_2=\frac{d}{l}=\frac{8}{17}$,根据折射定律可知 $n=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{17\sqrt{3}}{16}$,C 正确。故选 C。

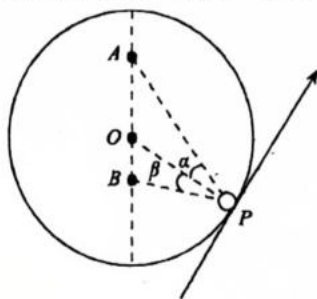
3. C 解析: $a-t$ 图像与坐标轴围成的面积与质量的乘积表示合外力对手机的冲量, $0\sim\frac{T}{4}$ 过程中,合外力对手机的冲量大于 $\frac{maT}{8}$,A 错误; $\frac{T}{4}\sim\frac{3T}{4}$ 过程中,手机的动量变化量为 $2mv_m$,方向竖直向上,其中 v_m 为手机最大速度,B 错误;根据动量定义可知重力对手机的冲量大小为 $I=mgt=\frac{mgT}{2}$,方向竖直向下,C 正确;在运动过程中手机和弹簧组成的系统机械能守恒,手机机械能不守恒,D 错误。故选 C。

4. B 解析:对系统由牛顿第二定律可得 $n\Delta mg=(2M+n\Delta m)a$,解得 $a=\frac{n\Delta mg}{2M+n\Delta m}$,因为 $\Delta m\ll M$,当 n 很小的时候可近似表示为 $a=\frac{n\Delta mg}{2M}$,即在 n 较小时, a 与 n 近似成正比关系,当 n 很大时, $a=\frac{n\Delta mg}{2M+n\Delta m}=g-\frac{2Mg}{2M+n\Delta m}$, g 为渐近线,B 正确。故选 B。

5. B 解析:垂直斜面方向的初速度 $v_y=v_0\sin\alpha=4.8\text{ m/s}$,垂直斜面方向加速度 $a_y=g\cos\theta=8\text{ m/s}^2$,当垂直斜面方向速度为 0 时,运动员离开斜面的距离最大。由运动学公式 $v_y^2=2a_yd$,得 $d=\frac{v_y^2}{2a_y}=1.44\text{ m}$,B 正确。故选 B。

6. A 解析:电阻接 ce 端时,由 $P=\frac{U^2}{R}$ 得 $U_c=48\text{ V}$,根据匝数比 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{3}{2}$,理想变压器副线圈电压与匝数成正比, $U_d=U_c\times\frac{n_2}{n_1}=32\text{ V}$,接 de 端时的功率 $P_d=\frac{U_d^2}{R}\sim 64\text{ W}$,A 正确。故选 A。

7. C 解析:小球静止,沿切线方向合力为零(沿切线方向电场强度为零),如图所示,因为 $AP:BP=AO:OB=2:1$,根据角平分线特征可知 $\alpha=\beta$;根据平衡条件 $\frac{kQ_1q}{AP^2}\cdot\sin\alpha=\frac{kQ_2q}{BP^2}\cdot\sin\beta$,解得 $\frac{Q_1}{Q_2}=\left(\frac{AP}{BP}\right)^2=4:1$,A 错误; P 点的电场方向沿 OP 方向,B 错误;因为 P 点切线方向电场强度为零,小球电荷量加倍,会增大轨道对小球的弹力,小球仍能静止在 P 点,C 正确; A 、 B 连线上接近 A 点(或 B 点)处点电荷场强大于 O 点,D 错误。故选 C。



8. BC 解析:对链条整体分析,竖直方向受力平衡,有 $F_A\cos\alpha+F_B\cos\beta=2Mg$,水平方向受力平衡,有 $F_A\sin\alpha=F_B\sin\beta$,代入数值得 $\sqrt{3}F_B=F_A$,解得 $F_A=\sqrt{3}Mg$, $F_B=Mg$,A 错误,B 正确;左侧链条重力等于 F_A 在竖直方向的分力,右侧链条重力等于 F_B 在竖直方向的分力,因此 $\frac{m_{左}}{m_{右}}=\frac{F_A\cos 30^\circ}{F_B\cos 60^\circ}=\frac{3}{1}$,C 正确,D 错误。故选 BC。

9. AD 解析:可将铜圆盘等效为若干根由圆心到圆盘边缘的导体棒,每根导体棒都在切割磁感线,产生恒定的感应电动势,相当于电源,则整个铜圆盘就相当于若干个相同的电源并联,圆盘中的电流恒定,故 A 正确;根据右手定则可知,若从上向下看,圆盘顺时针转动,则通过电阻 R 的电流沿由 a 到 b 的方向,故 B 错误;圆盘产生的感应电动势为 $E=BL\cdot\frac{\omega L}{2}=\frac{1}{2}BL^2\omega$,无论磁感应强度大小 B 变为原来的 2 倍,还是圆盘转动的角速度变为原来的 2 倍,感应电动势均变为原来的 2 倍,通过 R 的电流变为原来的 2 倍,根据 $P=I^2R$ 可知,电流在 R 上的热功率均变为原来的 4 倍,故 C 错误,D 正确。故选 AD。

10. AD 解析: L_2 点的航天器与月球做周期相同的圆周运动, 因此两者做圆周运动的角速度 ω 相同。角速度相同的情况下, 轨道半径越大, 线速度越大。因此, L_2 点航天器的线速度大于月球的线速度, A 正确; L_1 点的位置满足“地心、月心、 L_1 点构成等边三角形”, 合力提供向心力, 合力指向圆心, 不指向地心, B 错误; L_3 点航天器的轨道半径大于 L_1 点航天器的轨道半径, 二者角速度相等, 因此 L_3 处航天器的加速度更大, C 错误; 处于拉格朗日点上的航天器, 其做圆周运动的周期与“地月双星系统”的周期相同。设月球轨道半径为 r_1 , 地球轨道半径为 r_2 , 根据万有引力公式, 对月球有 $G \frac{Mm}{L^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r_1$, 对地球有 $G \frac{M\gamma}{L^2} = M \frac{4\pi^2}{T^2} r_2$, 联立可得 $G \frac{M+m}{L^2} = \frac{4\pi^2}{T^2} (r_1 + r_2)$, 又有 $r_1 + r_2 = L$, 解得 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L^3}{82Gm}}$, D 正确。故选 AD。

11. 答案: (1) $L_{\text{摆}} + \frac{d}{2}$ (1分)

(2) B (1分)

(3) 9.9 (9.8 或 9.9 均给分) (2分)

(4) 不变 (2分)

解析: (1) 单摆摆长定义为悬点到小球重心的距离。已知摆线长度为 $L_{\text{摆}}$, 小球直径为 d , 小球重心在球心, 则小球半径为 $\frac{d}{2}$ 。因此, 摆长公式为

$$L = L_{\text{摆}} + \frac{d}{2};$$

(2) 根据小球运动特征, 小球相邻两次通过光电门的时间间隔为半个周期, A 错误; 摆角小于 5° 时, 单摆回复力近似满足 $F = -kx$, 运动视为简谐运动, B 正确; 多次改变摆长测量周期, 目的是通过多次实验减小偶然误差, C 错误。故选 B。

(3) 根据单摆周期公式 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$, 变形得 $T^2 = \frac{4\pi^2}{g} L$, $T^2 - L$ 图像的斜率 $k = \frac{4\pi^2}{g}$, $g = \frac{4\pi^2}{k}$ 。图

线过坐标原点和 $(100 \text{ cm}, 4 \text{ s}^2)$ 点, 则 $k = \frac{\Delta T^2}{\Delta L} =$

$$4 \text{ s}^2/\text{m}, g = \frac{4\pi^2}{k} = 9.87 \text{ m/s}^2 \approx 9.9 \text{ m/s}^2$$

(4) 根据(3)问可知, 不计入小钢球半径图线斜率不变, 则 g 的测量值不变。

12. 答案: (1) 小于 (2分)

(3) ①大于 (2分) ② $E_0 \cdot \frac{R_{11}}{R_{10}}$ (3分)

③等于 (2分)

解析: (1) 电压表内阻非无穷大, 会与电源形成闭合回路, 测量值为路端电压 $U = E - Ir$, 小于真实电动势。

(3) ①图丙中 E_0 等于电阻箱 R_1 、 R_2 两端电压之和, 而 E_x 等于电阻箱 R_1 两端电压, 故工作电源 E_0 电动势的最大值应大于被测电源 E_x 的电动势。

$$\text{②校准阶段: } E_B = E_0 \cdot \frac{R_{10}}{R_{10} + R_{20}},$$

测量阶段: $E_x = E_0 \cdot \frac{R_{11}}{R_{11} + R_{21}}$, 其中 $R_{11} \neq R_{21} = R_{10} + R_{20}$,

$$\text{两式相除消去 } E_0 \text{ 和总电阻得 } E_x = E_B \cdot \frac{R_{11}}{R_{10}}.$$

③考虑工作电源内阻的影响, $E_B = E_0 \cdot \frac{R_{10}}{r + R_{10} + R_{20}}$, $E_x = E_0 \cdot \frac{R_{11}}{r + R_{11} + R_{21}}$, 其中 $r +$

$$R_{11} + R_{21} = r + R_{10} + R_{20}. \text{ 得 } E_x = E_B \cdot \frac{R_{11}}{R_{10}}. \text{ 因此 } E_x \text{ 的测量值不受工作电源内阻影响。}$$

13. 答案: (1) 15 cm

(2) $\frac{80}{3}$ cm

解析: (1) 两部分气体升高相同温度, 竖直管水银面恰好上升至管口时, 上升高度为 20 cm, 设玻璃管内径为 S , 对气体 a 有 $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p'_1 V'_1}{T'_1}$ (2分)

其中 $p_1 = (76 + 24) \text{ cmHg} = 100 \text{ cmHg}$, $V_1 = 30S$, $T_1 = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$,

$p'_1 = (76 + 24 + 20) \text{ cmHg} = 120 \text{ cmHg}$, $V'_1 = l'_1 S$,

$$\text{对气体 } b \text{ 有 } \frac{p_2 V_2}{T_1} = \frac{p'_2 V'_2}{T'_1} \quad (2 \text{分})$$

其中 $p_2 = (76 + 24) \text{ cmHg} = 100 \text{ cmHg}$, $V_2 = 10S$, $p'_2 = (76 + 24 + 20) \text{ cmHg} = 120 \text{ cmHg}$, $V'_2 = l'_2 S$,

且气体的体积满足 $V'_1 - V_1 + V'_2 - V_2 = 20S$

$$(1 \text{分})$$

联立解得 $T'_1 = 540 \text{ K}$, $l'_1 = 45 \text{ cm}$, $l'_2 = 15 \text{ cm}$

$$(1 \text{分})$$

即气体 b 的长度为 15 cm。

(2) 保持温度不变, 从竖直管上端加水银至管口, 对气体 a 有 $p_1 V_1 = p''_1 V''_1$ (1分)

其中 $p''_1 = (76 + 24 + 20) \text{ cmHg} = 120 \text{ cmHg}$, $V''_1 = l''_1 S$,

对气体 b 有 $p_2 V_2 = p''_2 V''_2$ (1分)

其中 $p''_2 = (76 + 24 + 20) \text{ cmHg} = 120 \text{ cmHg}$, $V''_2 = l''_2 S$,

联立解得 $l''_1 = 25 \text{ cm}$, $l''_2 = \frac{25}{3} \text{ cm}$ (1分)

则加入水银长度为

$$\Delta l = l_1 - l''_1 + l_2 - l''_2 + 20 \text{ cm} = \frac{80}{3} \text{ cm} \quad (1分)$$

14. 答案: (1) $L \sqrt{\frac{m}{2qU_1}}$

(2) $\frac{U_2 L^2}{2dU_1}$

解析: (1) 点电荷在加速电场中, 根据动能定理得

$$qU_1 = \frac{1}{2} m v_0^2 \quad (1分)$$

$$\text{解得 } v_0 = \sqrt{\frac{2qU_1}{m}} \quad (1分)$$

在偏转电场中做类平抛运动, 在偏转电场中运动的时间

$$t = \frac{L}{v_0} = L \sqrt{\frac{m}{2qU_1}} \quad (2分)$$

(2) 在偏转电场中电荷的加速度大小

$$a = \frac{qU_2}{md} \quad (1分)$$

电荷在偏转电场中竖直方向位移大小

$$y_1 = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qU_2}{md} \left(L \sqrt{\frac{m}{2qU_1}} \right)^2 = \frac{U_2 L^2}{4dU_1} \quad (2分)$$

射出电场时竖直方向速度大小

$$v_y = at = \frac{qU_2}{md} \cdot L \sqrt{\frac{m}{2qU_1}} \quad (1分)$$

设电荷离开偏转电场时的偏转角为 θ , 则

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} \quad (1分)$$

离开偏转电场后做匀速直线运动, 则由几何关系得

$$\tan \theta = \frac{y_2}{0.5L} \quad (1分)$$

则电荷在竖直方向的位移大小为

$$y = y_1 + y_2 = \frac{U_2 L^2}{2dU_1} \quad (2分)$$

15. 答案: (1) $\frac{qBa}{m}$

(2) ① 2 : 1 ② 5 : 1 ③ $\left(\frac{4\pi}{3} + \sqrt{3} \right) a^2$

解析: (1) 当离子沿 y 轴正方向进入第二象限, x 轴为边界, 粒子将垂直 x 轴到达 Q 点。轨迹半径 $r = a$ (2分)

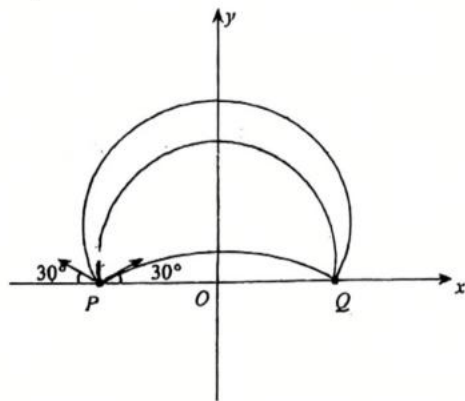
该过程洛伦兹力提供向心力, 有

$$qvB = m \frac{v^2}{r} \quad (1分)$$

$$\text{解得 } v = \frac{qBa}{m} \quad (1分)$$

(2) ① 根据几何关系

$$2a = \frac{2mv}{Bq} \sin \beta \quad (2分)$$



其中 β 是速度方向与 x 轴夹角的绝对值, 离子自 P 点出发, 汇聚到 Q 点, 因此 $v \sin \beta$ 为常数 (1分)

初速度方向垂直 x 轴时, 速率最小, 初速度方向与 x 轴正方向夹角为 30° 时, 速率最大

可得 $\frac{v_{\max}}{v_{\min}} = \frac{2}{1}$ (2分)

② 圆周运动周期 $T = \frac{2\pi m}{qB}$, 运动时间由轨迹圆心角决定, 有 $t = \frac{\theta}{2\pi} T$ (1分)

最短时间轨迹对应圆心角 $\alpha_{\min} = \frac{\pi}{3}$ (1分)

最长时间轨迹对应圆心角 $\alpha_{\max} = \frac{5\pi}{3}$ (1分)

则 $\frac{t_{\max}}{t_{\min}} = \frac{5}{1}$ (1分)

③ 如图所示, 根据 $r = \frac{mv}{Bq}$, 轨迹半径的最大值为 $R = 2a$ (2分)

xOy 平面内有离子通过的区域 $S_0 = 4\pi a^2 - 2 \left(\frac{\pi}{6} \cdot 4a^2 - \sqrt{3} a^2 \right) = \left(\frac{8\pi}{3} + 2\sqrt{3} \right) a^2$ (1分)

第一象限面积 $S = \frac{S_0}{2} = \left(\frac{4\pi}{3} + \sqrt{3} \right) a^2$ (1分)