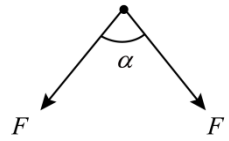


2023 重庆高考物理真题

一、单项选择题

1. 矫正牙齿时，可用牵引线对牙施加力的作用。若某颗牙齿受到牵引线的两个作用力大小均为 F ，夹角为 α （如图），则该牙所受两牵引力的合力大小为（ ）



- A. $2F \sin \frac{\alpha}{2}$ B. $2F \cos \frac{\alpha}{2}$ C. $F \sin \alpha$ D. $F \cos \alpha$

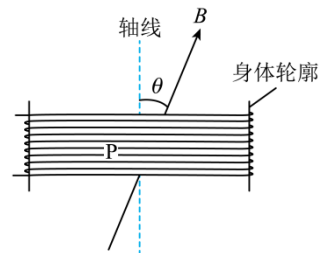
【答案】B

【解析】

【详解】根据平行四边形定则可知，该牙所受两牵引力的合力大小为 $F_{\text{合}} = 2F \cos \frac{\alpha}{2}$

故选 B。

2. 某小组设计了一种呼吸监测方案：在人身上缠绕弹性金属线圈，观察人呼吸时处于匀强磁场中的线圈面积变化产生的电压，了解人的呼吸状况。如图所示，线圈 P 的匝数为 N ，磁场的磁感应强度大小为 B ，方向与线圈轴线的夹角为 θ 。若某次吸气时，在 t 时间内每匝线圈面积增加了 S ，则线圈 P 在该时间内的平均感应电动势为（ ）



- A. $\frac{NBS \cos \theta}{t}$ B. $\frac{NBS \sin \theta}{t}$
 C. $\frac{BS \sin \theta}{t}$ D. $\frac{BS \cos \theta}{t}$

【答案】A

【解析】

【详解】根据法拉第电磁感应定律有 $\bar{E} = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = NB \cos \theta \frac{S}{t} = \frac{NBS \cos \theta}{t}$

故选 A。

3. 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. $(2\sqrt{2}+1)x_0$

【答案】B

【解析】

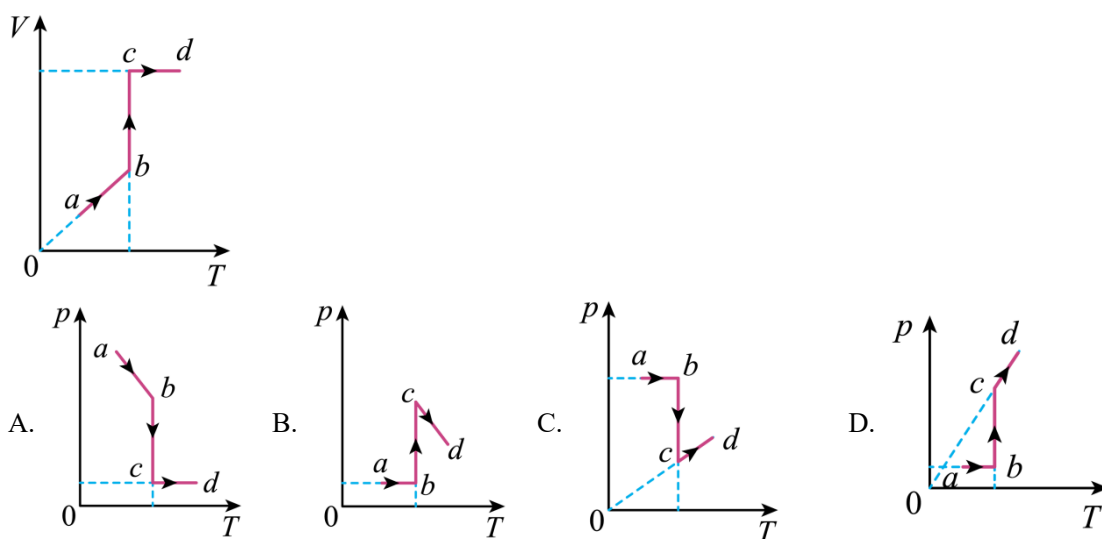
【详解】依题意，两点电荷电性相反，且 Q_2 的电荷量较大，所以合场强为 0 的位置应该在 x 轴的负半

轴，设两点电荷相距 L ，根据点电荷场强公式可得 $\frac{kQ_1}{x_0^2} = \frac{kQ_2}{(x_0+L)^2}$

又 $Q_2 = 8Q_1$

解得 $L = (2\sqrt{2} - 1)x_0$ ，故选 B。

4. 密封于气缸中的理想气体，从状态 a 依次经过 ab 、 bc 和 cd 三个热力学过程达到状态 d 。若该气体的体积 V 随热力学温度 T 变化的 $V-T$ 图像如图所示，则对应的气体压强 p 随 T 变化的 $p-T$ 图像正确的是 ()



【答案】C

【解析】

【详解】由 $V-T$ 图像可知，理想气体 ab 过程做等压变化， bc 过程做等温变化， cd 过程做等容变化。根据理想气体状态方程，有 $\frac{pV}{T} = C$

可知 bc 过程理想气体的体积增大，则压强减小。故选 C。

5. 某实验小组利用双缝干涉实验装置分别观察 a 、 b 两单色光的干涉条纹，发现在相同的条件下光屏上 a 光相邻两亮条纹的间距比 b 光的小。他们又将 a 、 b 光以相同的入射角由水斜射入空气，发现 a 光的折射角比 b 光的大，则 ()

- A. 在空气中传播时， a 光的波长比 b 光的大
- B. 在水中传播时， a 光的速度比 b 光的大
- C. 在水中传播时， a 光的频率比 b 光的小
- D. 由水射向空气时， a 光的全反射临界角比 b 光的小

【答案】D

【解析】

【详解】A. 根据相邻两条亮条纹的间距计算公式 $\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$

由此可知 $\lambda_a < \lambda_b$ ，故 A 错误；

B. 根据折射定律 $n = \frac{\sin i}{\sin r}$

a 、 b 光以相同的入射角由水斜射入空气， a 光的折射角比 b 光的大，则 $n_a > n_b$

根据光在介质中的传播速度与折射率的关系 $n = \frac{c}{v}$

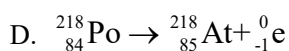
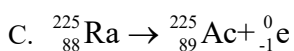
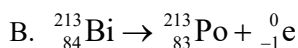
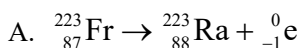
可得在水中传播时， a 光的速度比 b 光的小，故 B 错误；

C. 在水中传播时， a 光的折射率比 b 光的大，所以 a 光的频率比 b 光的大，故 C 错误；

D. 根据临界角与折射率的关系 $n = \frac{1}{\sin C}$

可得在水中传播时， a 光的折射率比 b 光的大， a 光的全反射临界角比 b 光的小，故 D 正确。故选 D。

6. 原子核 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 可以经过多次 α 和 β 衰变成为稳定的原子核 ${}_{82}^{207}\text{Pb}$ ，在该过程中，可能发生的 β 衰变是()



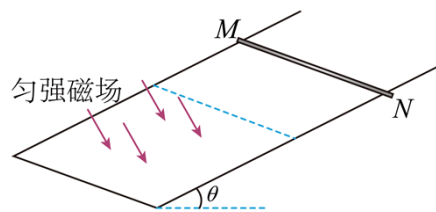
【答案】A

【解析】

【详解】原子核 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 衰变成为稳定的原子核 ${}_{82}^{207}\text{Pb}$ 质量数减小了 28，则经过了 7 次 α 衰变，中间生成的新核的质量数可能为 231，227，223，219，215，211，则发生 β 衰变的原子核的质量数为上述各数，则 BCD 都不可能，根据核反应的质量数和电荷数守恒可知，选项 A 反应正确。

故选 A。

7. 如图所示，与水平面夹角为 θ 的绝缘斜面上固定有光滑 U 型金属导轨。质量为 m 、电阻不可忽略的导体杆 MN 沿导轨向下运动，以大小为 v 的速度进入方向垂直于导轨平面向下的匀强磁场区域，在磁场中运动一段时间 t 后，速度大小变为 $2v$ 。运动过程中杆与导轨垂直并接触良好，导轨的电阻忽略不计，重力加速度为 g 。杆在磁场中运动的此段时间内 ()



A. 流过杆的感应电流方向从 N 到 M

B. 杆沿轨道下滑的距离为 $\frac{3}{2}vt$

C. 流过杆感应电流的平均电功率等于重力的平均功率

D. 杆所受安培力的冲量大小为 $mgt \sin \theta - mv$

【答案】D

【解析】

【详解】A. 根据右手定则，判断知流过杆的感应电流方向从 M 到 N ，故 A 错误；

B. 依题意，设杆切割磁感线的有效长度为 L ，电阻为 R 。杆在磁场中运动的此段时间内，杆受到重力，

轨道支持力及沿轨道向上的安培力作用，根据牛顿第二定律可得 $mg \sin \theta - F_{\text{安}} = ma$

$$F_{\text{安}} = BIL$$

$$I = \frac{BLv}{R}$$

联立可得杆的加速度 $a = g \sin \theta - \frac{B^2 L^2 v}{R}$

可知，杆在磁场中运动的此段时间内做加速度逐渐减小的加速运动；若杆做匀加速直线运动，则杆运动的

$$\text{距离为 } s = \frac{v+2v}{2} \cdot t = \frac{3}{2}vt$$

根据 $v-t$ 图像围成的面积表示位移，可知杆在时间 t 内速度由 v 达到 $2v$ ，杆真实运动的距离大于匀加速情况发生的距离，即大于 $\frac{3}{2}vt$ ，故 B 错误；

C. 由于在磁场中运动的此段时间内，杆做加速度逐渐减小的加速运动，杆的动能增大。由动能定理可知，重力对杆所做的功大于杆克服安培力所做的功，根据 $\bar{P} = \frac{W}{t}$ 可得安培力的平均功率小于重力的平均功率，也即流过杆感应电流的平均电功率小于重力的平均功率，故 C 错误；

D. 杆在磁场中运动的此段时间内，根据动量定理，可得 $mgt \sin \theta - I_{\text{安}} = m \cdot 2v - mv$

得杆所受安培力的冲量大小为 $I_{\text{安}} = mgt \sin \theta - mv$

故 D 正确。故选 D。

二、多项选择题

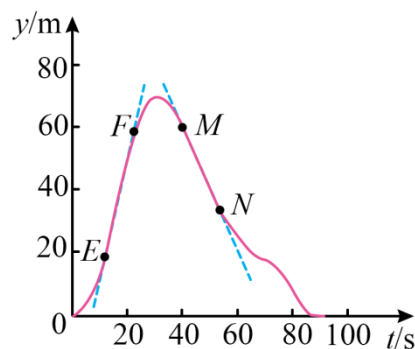
8. 某实验小组测得在竖直方向飞行的无人机飞行高度 y 随时间 t 的变化曲线如图所示， E 、 F 、 M 、 N 为曲线上的点， EF 、 MN 段可视为两段直线，其方程分别为 $y = 4t - 26$ 和 $y = -2t + 140$ 。无人机及其载物的总质量为 2kg ，取竖直向上为正方向。则 ()

- A. EF 段无人机的速度大小为 4m/s
- B. FM 段无人机的货物处于失重状态
- C. FN 段无人机和装载物总动量变化量大小为 $4\text{kg}\cdot\text{m/s}$
- D. MN 段无人机机械能守恒

【答案】 AB

【解析】

【详解】 A. 根据 EF 段方程 $y = 4t - 26$



可知 EF 段无人机的速度大小为 $v = \frac{\Delta y}{\Delta t} = 4\text{m/s}$ ，故 A 正确；

B. 根据 $y-t$ 图像的切线斜率表示无人机的速度，可知 FM 段无人机先向上做减速运动，后向下做加速运动，加速度方向一直向下，则无人机的货物处于失重状态，故 B 正确；

C. 根据 MN 段方程 $y = -2t + 140$

可知 MN 段无人机的速度为 $v' = \frac{\Delta y'}{\Delta t'} = -2\text{m/s}$

则有 $\Delta p = mv' - mv = 2 \times (-2)\text{kg} \cdot \text{m/s} - 2 \times 4\text{kg} \cdot \text{m/s} = -12\text{kg} \cdot \text{m/s}$

可知 FN 段无人机和装载物总动量变化量大小为 $12\text{kg} \cdot \text{m/s}$ ，故 C 错误；

D. MN 段无人机向下做匀速直线运动，动能不变，重力势能减少，无人机的机械能不守恒，故 D 错误。

故选 AB。

9. 一列简谐横波在介质中沿 x 轴传播，波速为 2m/s ， $t=0$ 时的波形图如图所示，P 为该介质中的一质点。则

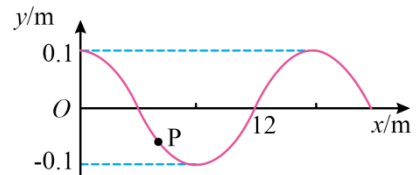
()

A. 该波的波长为 14m

B. 该波的周期为 8s

C. $t=0$ 时质点 P 的加速度方向沿 y 轴负方向

D. $0\sim 2\text{s}$ 内质点 P 运动的路程有可能小于 0.1m



【答案】BD

【解析】

【详解】A. 由图可知 $\frac{3}{4}\lambda = 12\text{m}$ ，解得 $\lambda = 16\text{m}$ ，A 错误；

B. 由 $v = \frac{\lambda}{T}$ ，得 $T = \frac{\lambda}{v} = \frac{16}{2}\text{s} = 8\text{s}$ ，B 正确；

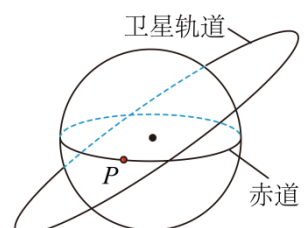
C. 简谐运动的加速度总指向平衡位置，P 点位于 y 轴负半轴，加速度方向沿 y 轴正方向，C 错误；

D. P 点位于 y 轴的负半轴，经过 $2\text{s} = \frac{T}{4}$ ，若波向 x 轴负方向传播，P 向远离平衡位置方向振动，在 $0\sim 2\text{s}$ 内质点 P 运动的路程有可能小于 0.1m ，D 正确；故选 BD。

10. 某卫星绕地心的运动视为匀速圆周运动，其周期为地球自转周期 T 的 $\frac{3}{10}$ ，运行的轨道与地球赤道不共面（如图）。 t_0 时刻，卫星恰好经过地球赤道上 P 点正上方。地球的质量为 M ，半径为 R ，引力常量为 G 。

则 ()

A. 卫星距地面的高度为 $\left(\frac{GMT^2}{4\pi^2}\right)^{\frac{1}{3}} - R$



B. 卫星与位于 P 点处物体的向心加速度大小比值为 $\frac{5}{9\pi R}(180\pi GMT^2)^{\frac{1}{3}}$

C. 从 t_0 时刻到下一次卫星经过 P 点正上方时，卫星绕地心转过的角度为 20π

D. 每次经最短时间实现卫星距 P 点最近到最远的行程，卫星绕地心转过的角度比地球的多 7π

【答案】BCD

【解析】

【详解】A. 由题意，知卫星绕地球运转的周期为 $T' = \frac{3}{10}T$

设卫星的质量为 m ，卫星距地面的高度为 h ，有 $G\frac{Mm}{(R+h)^2} = m(R+h)\left(\frac{2\pi}{T'}\right)^2$

联立，可求得 $h = \left(\frac{9GMT^2}{400\pi^2}\right)^{\frac{1}{3}} - R$ ，故 A 错误；

B. 卫星的向心加速度大小 $a_1 = (R+h)\omega'^2 = (R+h)\left(\frac{2\pi}{T'}\right)^2$

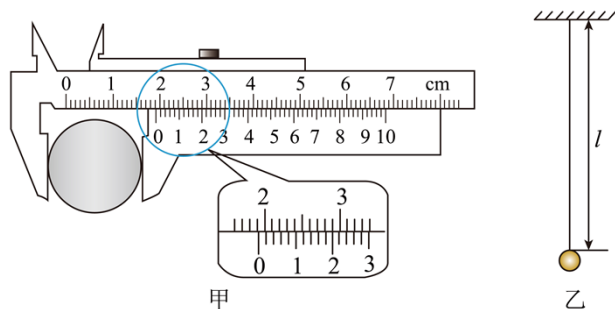
位于 P 点处物体的向心加速度大小 $a_2 = R\omega^2 = R\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$

可得 $\frac{a_1}{a_2} = \frac{R+h}{R}\left(\frac{T}{T'}\right)^2 = \frac{5}{9\pi R}(180\pi GMT^2)^{\frac{1}{3}}$ ，故 B 正确；

CD. 要想卫星再次在 P 点的正上方，则只能是题中两个轨道的交点，因此要实现出现在正上方，第一种情形是经过一段时间都回到了当前点，即各自转动整数圈，最小公倍数为 3，此时卫星转动 10 圈，即转动角度为 20π ，第二种情形是都转动整数圈加半圈，此时最小公倍数为 1.5，卫星转动五圈，此时相距最远，转动角度相差 7π ，故 CD 正确；多 7π 。故 D 正确。故选 BCD。

三、实验题

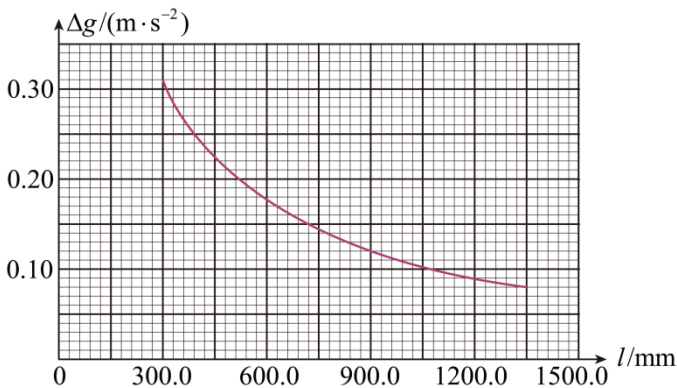
11. 某实验小组用单摆测量重力加速度。所用实验器材有摆球、长度可调的轻质摆线、刻度尺、50 分度的游标卡尺、摄像装置等。



(1) 用游标卡尺测量摆球直径 d 。当量爪并拢时，游标尺和主尺的零刻度线对齐。放置摆球后游标卡尺示数如图甲所示，则摆球的直径 d 为 _____ mm。

(2) 用摆线和摆球组成单摆，如图乙所示。当摆线长度 $l=990.1\text{mm}$ 时，记录并分析单摆的振动视频，得到单摆的振动周期 $T=2.00\text{ s}$ ，由此算得重力加速度 g 为_____ m/s^2 (保留 3 位有效数字)。

(3) 改变摆线长度 l ，记录并分析单摆的振动视频，得到相应的振动周期。他们发现，分别用 l 和 $l+\frac{d}{2}$ 作为摆长，这两种计算方法得到的重力加速度数值的差异大小 Δg 随摆线长度 l 的变化曲线如图所示。由图可知，该实验中，随着摆线长度 l 的增加， Δg 的变化特点是_____，原因是_____。



【答案】 ①. 19.20 ②. 9.86 ③. 随着摆线长度 l 的增加， Δg 逐渐减小 ④. 随着摆线长度 l 的增加，则 $l+\frac{d}{2}$ 越接近于 l ，此时计算得到的 g 的差值越小

【解析】

【详解】(1) [1]用游标卡尺测量摆球直径 $d=19\text{mm}+0.02\text{mm}\times 10=19.20\text{mm}$

(2) [2]单摆的摆长为 $L=990.1\text{mm}+\frac{1}{2}\times 19.20\text{mm}=999.7\text{mm}$

根据 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$

可得 $g=\frac{4\pi^2 L}{T^2}$

带入数据 $g=\frac{4\times 3.14^2\times 0.9997}{2^2}\text{m/s}^2=9.86\text{m/s}^2$

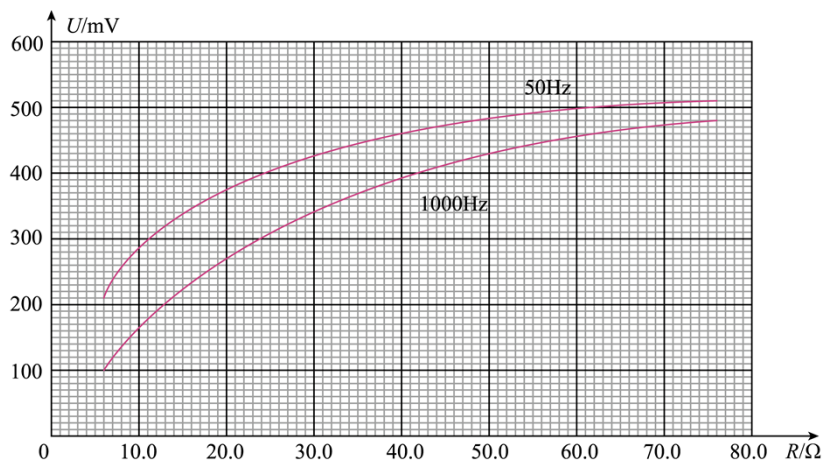
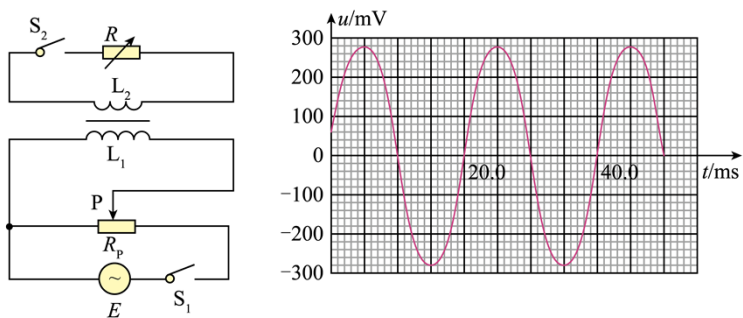
(3) [3][4]由图可知，随着摆线长度 l 的增加， Δg 逐渐减小，原因是随着摆线长度 l 的增加，则 $l+\frac{d}{2}$ 越接近于 l ，此时计算得到的 g 的差值越小。

12. 一兴趣小组拟研究某变压器的输入和输出电压之比，以及交流电频率对输出电压的影响。题图 1 为实验电路图，其中 L_1 和 L_2 为变压器的原、副线圈， S_1 和 S_2 为开关， P 为滑动变阻器 R_p 的滑片， R 为电阻箱， E 为正弦式交流电源（能输出电压峰值不变、频率可调的交流电）。

(1) 闭合 S_1 ，用多用电表交流电压挡测量线圈 L_1 两端的电压。滑片 P 向右滑动后，与滑动前相比，电表的示数_____（选填“变大”“不变”“变小”）。

(2) 保持 S_2 断开状态, 调整 E 输出的交流电频率为 50 Hz , 滑动滑片 P , 用多用电表交流电压挡测得线圈 L_1 两端的电压为 2500 mV 时, 用示波器测得线圈 L_2 两端电压 u 随时间 t 的变化曲线如图所示, 则线圈 L_1 两端与 L_2 两端的电压比值为_____ (保留 3 位有效数字)。

(3) 闭合 S_2 , 滑动 P 到某一位置并保持不变。分别在 E 输出的交流电频率为 50 Hz 、 1000 Hz 的条件下, 改变 R 的阻值, 用多用电表交流电压挡测量线圈 L_2 两端的电压 U , 得到 $U-R$ 关系曲线如图 3 所示。用一个阻值恒为 $20\ \Omega$ 的负载 R_0 替换电阻箱 R , 由图可知, 当频率为 1000 Hz 时, R_0 两端的电压为_____ mV ; 当频率为 50 Hz 时, 为保持 R_0 两端的电压不变, 需要将 R_0 与一个阻值为_____ Ω 的电阻串联。(均保留 3 位有效数字)



【答案】 ①. 变大 ②. 12.6 ③. 272 ④. 7.94

【解析】

【详解】(1) [1] 闭合 S_1 , 滑动变阻器 R_p 是分压接法, 滑片 P 向右滑动后, 用多用电表交流电压挡测量线圈 L_1 两端的电压。线圈 L_1 两端的电压增大, 因此与滑动前相比, 电表的示数变大。

(2) [2] 保持 S_2 断开状态, 调整 E 输出的交流电频率为 50 Hz , 多用电表交流电压挡测得线圈 L_1 两端的电压为 $U_1=2500\text{ mV}$ 。线圈 L_2 两端电压 u 随时间 t 的变化曲线如图所示, 由 $u-t$ 图像可得, 线圈 L_2 两端电压

$$\text{为 } U_2 = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{280}{\sqrt{2}} \text{ mV}$$

则线圈 L_1 两端与 L_2 两端的电压比值为 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{2500}{\frac{280}{\sqrt{2}}} = 12.6$

(3) [3] 闭合 S_2 , 滑动 P 到某一位置并保持不变。由 $U-R$ 关系曲线可得, 当频率为 1000 Hz 时, 当负载电阻 $R_0=20 \Omega$ 时, R_0 两端的电压为 $U_{R_0}=272\text{mV}$ 。

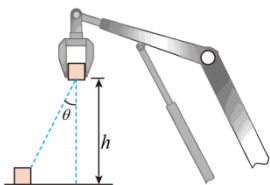
[4] 当频率为 50 Hz 时, 由 $U-R$ 关系曲线可得线圈 L_2 两端的电压为 $U' = 380\text{mV}$ 。要保持 R_0 两端的电压不

变, 需给 R_0 串联一电阻, 此串联电阻值为 $R_{\text{串}} = \frac{U' - U_{R_0}}{\frac{U_{R_0}}{R_0}} = \frac{380 - 272}{\frac{272}{20}} \Omega = 7.94 \Omega$

四、计算题

13. 机械臂广泛应用于机械装配。若某质量为 m 的工件 (视为质点) 被机械臂抓取后, 在竖直平面内由静止开始斜向上做加速度大小为 a 的匀加速直线运动, 运动方向与竖直方向夹角为 θ , 提升高度为 h , 如图所示。求:

- (1) 提升高度为 h 时, 工件的速度大小;
- (2) 在此过程中, 工件运动的时间及合力对工件做的功。



【答案】 (1) $\sqrt{\frac{2ah}{\cos \theta}}$; (2) $\sqrt{\frac{2h}{a \cos \theta}}$, $\frac{mah}{\cos \theta}$

【解析】

【详解】 (1) 根据匀变速直线运动位移与速度关系有 $v_0^2 = 2a \frac{h}{\cos \theta}$, 解得 $v_0 = \sqrt{\frac{2ah}{\cos \theta}}$

(2) 根据速度公式有 $v_0 = at$, 解得 $t = \sqrt{\frac{2h}{a \cos \theta}}$

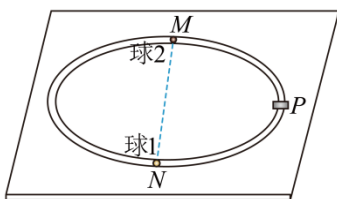
根据动能定理有 $W_{\text{合}} = \frac{1}{2}mv_0^2$, 解得 $W_{\text{合}} = \frac{mah}{\cos \theta}$

14. 如图所示, 桌面上固定有一半径为 R 的水平光滑圆轨道, M 、 N 为轨道上的两点, 且位于同一直径上, P 为 MN 段的中点。在 P 点处有一加速器 (大小可忽略), 小球每次经过 P 点后, 其速度大小都增加 v_0 。质量为 m 的小球 1 从 N 处以初速度 v_0 沿轨道逆时针运动, 与静止在 M 处的小球 2 发生第一次弹性碰撞, 碰后瞬间两球速度大小相等。忽略每次碰撞时间。求:

- (1) 球 1 第一次经过 P 点后瞬间向心力的大小;

(2) 球 2 的质量;

(3) 两球从第一次碰撞到第二次碰撞所用时间。



【答案】(1) $4m \frac{v_0^2}{R}$; (2) $3m$; (3) $\frac{5\pi R}{6v_0}$

【解析】

【详解】(1) 球 1 第一次经过 P 点后瞬间速度变为 $2v_0$, 所以 $F_n = m \frac{(2v_0)^2}{R} = 4m \frac{v_0^2}{R}$

(2) 球 1 与球 2 发生弹性碰撞, 且碰后速度大小相等, 说明球 1 碰后反弹, 则 $m \cdot 2v_0 = -mv + m'v$

$$\frac{1}{2} m(2v_0)^2 = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} m'v^2$$

联立解得 $v = v_0$, $m' = 3m$

(3) 设两球从第一次碰撞到第二次碰撞所用时间为 Δt , 则 $t_1 = \frac{\pi R}{2v_0}$

$$v_0 t_2 + 2v_0 t_2 = \pi R$$

所以 $\Delta t = t_1 + t_2 = \frac{5\pi R}{6v_0}$

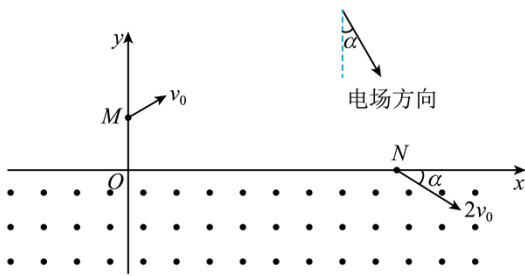
15. 某同学设计了一种粒子加速器的理想模型。如图所示, xOy 平面内, x 轴下方充满垂直于纸面向外的匀强磁场, x 轴上方被某边界分割成两部分, 一部分充满匀强电场 (电场强度与 y 轴负方向成 α 角), 另一部分无电场, 该边界与 y 轴交于 M 点, 与 x 轴交于 N 点。只有经电场到达 N 点、与 x 轴正方向成 α 角斜向下运动的带电粒子才能进入磁场。从 M 点向电场内发射一个比荷为 $\frac{q}{m}$ 的带电粒子 A, 其速度大小为 v_0 、方向与电场方向垂直, 仅在电场中运动时间 T 后进入磁场, 且通过 N 点的速度大小为 $2v_0$ 。忽略边界效应, 不计粒子重力。

(1) 求角度 α 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, 就能通过 N 点进入磁场, 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。



【答案】 (1) 30° , $\frac{3mv_0^2}{2q}$; (2) $\frac{3\sqrt{3}v_0T}{4}$, $y = \frac{v_0T}{4} - \frac{\sqrt{3}}{9}x$; (3) $B_1 = \frac{\sqrt{3}m}{6qT}$,

$$t = \left(3 + \frac{10\sqrt{3}\pi}{3}\right)2^{n-1}T - \left(2 + \frac{10\sqrt{3}\pi}{3}\right)T$$

【解析】

【详解】(1) 粒子 M 点垂直于电场方向入射，粒子在电场中做类平抛运动，沿电场方向做匀加速直线运动，垂直于电场方向做匀速直线运动，在 N 点将速度沿电场方向与垂直于电场方向分解，在垂直于电场方向上有 $2v_0 \cos 2\alpha = v_0$

解得 $\alpha = 30^\circ$

粒子从 $M \rightarrow N$ 过程，根据动能定理有 $qU_{MN} = \frac{1}{2}m(2v_0)^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

解得 $U_{MN} = \frac{3mv_0^2}{2q}$

(2) 对于从 M 点射入的粒子，沿初速度方向的位移为 $x_0 = v_0T$

沿电场方向的位移为 $y_0 = \frac{2v_0 \sin 2\alpha}{2}T$

令 N 点横坐标为 x_N ，根据几何关系有 $x_N = x_0 \cos \alpha + y_0 \sin \alpha$

解得 $x_N = \frac{3\sqrt{3}v_0T}{4}$

根据上述与题意可知，令粒子入射速度为 v ，则通过 N 点进入磁场的速度为 $2v$ ，令边界上点的坐标为

(x, y) 则在沿初速度方向上有 $(x_N - x - y \tan \alpha) \cos \alpha = vt$

在沿电场方向有 $\frac{y}{\cos \alpha} + (x_N - x - y \tan \alpha) \sin \alpha = \frac{2v \sin 2\alpha}{2}t$

解得 $y = \frac{v_0 T}{4} - \frac{\sqrt{3}}{9} x$

(3) 由上述结果可知电场强度 $E = \frac{U_{MN}}{y_0}$

解得 $E = \frac{\sqrt{3} m v_0}{q T}$

设粒子 A 第 n 次在磁场中做圆周运动的线速度为 v_n ，可得第 $n+1$ 次在 N 点进入磁场的速度为

$$v_{n+1} = \frac{v_n}{\cos 2\alpha} = 2v_n$$

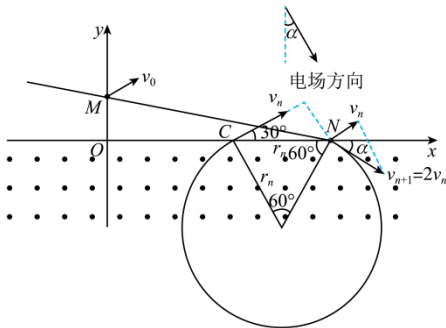
第一次在 N 点进入磁场的速度大小为 $2v_0$ ，可得 $v_n = 2^n v_0, (n=1, 2, 3 \dots)$

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 $B_n = \frac{B_1}{2^{n-1}}, (n=1, 2, 3 \dots)$

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

联立解得 $r_n = \frac{4^n m v_0}{2 q B_1}$

粒子 A 第 n 次在磁场中的运动轨迹如图所示



粒子每次在磁场中运动轨迹的圆心角均为 300° ，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 $q E r_n \sin 30^\circ = \frac{1}{2} m v_{n+1}^2 - \frac{1}{2} m v_n^2$

联立上式解得 $B_1 = \frac{\sqrt{3} m}{6 q T}$

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

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

粒子 A 第 n 次在磁场中运动的时间为 $t_{2n} = \frac{300^\circ}{360^\circ} T' = \frac{5}{6} \cdot 2^{n+1} \sqrt{3} \pi T$

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 x_n ，边界与 x 轴负方向的夹角为 β ，则

根据边界方程可得 $\tan \beta = \frac{\sqrt{3}}{9}$ ， $\sin \beta = \frac{1}{2\sqrt{7}}$

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

解得 $x_n = \frac{4^n v_0 T}{2}$

粒子 A 第 n 次在电场边界 MN 与 x 轴之间运动的时间为 $t_{3n} = \frac{x_n}{v_n} = 2^{n-1} T$

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，在磁场和无场区域中均运动 $n-1$ 次，则所求

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

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

解得 $t = \left(3 + \frac{10\sqrt{3}\pi}{3} \right) 2^{n-1} T - \left(2 + \frac{10\sqrt{3}\pi}{3} \right) T$