

2020 年普通高等学校招生全国统一考试物理试题（山东模拟卷）

一、单选题

1. 2019 年是世界上首次实现元素人工转变 100 周年。1919 年，卢瑟福用氦核轰击氮原子核，发现产生了另一种元素，该核反应方程可写为， ${}^4_2\text{He}+{}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^m_8\text{X}+{}^1_n\text{Y}$ 。以下判断正确的是（ ）

- A. $m=16, n=1$ B. $m=17, n=1$
 C. $m=16, n=0$ D. $m=17, n=0$

【答案】B

【详解】

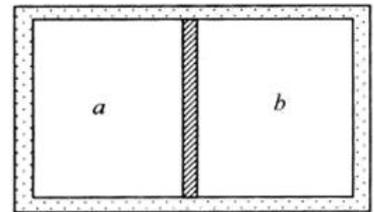
根据核反应方程的质子数（下标）守恒得： $2+7=8+n$ 解得： $n=1$

根据核反应方程的质量数（上标）守恒得： $4+14=m+1$ 解得： $m=17$

故选项 B 正确，选项 ACD 错误。

2. 如图所示，水平放置的封闭绝热气缸，被一锁定的绝热活塞分为体积相等的 a、b 两部分。已知 a 部分气体为 1mol 氧气，b 部分气体为 2 mol 氧气，两部分气体温度相等，均可视为理想气体。解除锁定，活塞滑动一段距离后，两部分气体各自再次达到平衡态时，它们的体积分别为 V_a 、 V_b ，温度分别为 T_a 、 T_b 。下列说法正确的是

- A. $V_a > V_b, T_a > T_b$ B. $V_a > V_b, T_a < T_b$
 C. $V_a < V_b, T_a < T_b$ D. $V_a < V_b, T_a > T_b$



【答案】D

【详解】

AB. 解除锁定前，两部分气体温度相同，体积相同，由 $pV = nRT$ 可知质量大的部分压强大，即 b 部分压强大，

故活塞左移，平衡时 $V_a < V_b, P_a = P_b$ ，故 A、B 错误；

CD. 活塞左移过程中，a 气体被压缩内能增大，温度增大，b 气体向外做功，内能减小，温度减小，平衡时 $T_a > T_b$ ，

故 C 错误，D 正确；故选 D。

3. 我国自主研发的绞吸挖泥船“天鲲号”达到世界先进水平。若某段工作时间内，“天鲲号”的泥泵输出功率恒为 $1 \times 10^4 \text{ kW}$ ，排泥量为 $1.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ，排泥管的横截面积为 0.7 m^2 ，则泥泵对排泥管内泥浆的推力为（ ）

- A. $5 \times 10^6 \text{ N}$ B. $2 \times 10^7 \text{ N}$ C. $2 \times 10^9 \text{ N}$ D. $5 \times 10^9 \text{ N}$

【答案】A **【详解】**

设排泥的流量为 Q ， t 时间内排泥的长度为： $x = \frac{V}{S} = \frac{Qt}{S} = \frac{1.4}{0.7}t = 2t$ 输出的功： $W = Pt$

排泥的功： $W = Fx$ 输出的功都用于排泥，则解得： $F = 5 \times 10^6 \text{ N}$

故 A 正确，BCD 错误。

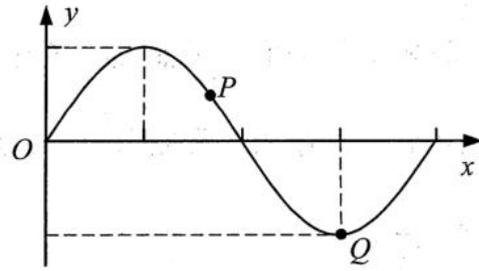
4. 某一列沿 x 轴传播的简谐横波，在 $t = \frac{T}{4}$ 时刻的波形图如图所示， P 、 Q 为介质中的两质点，质点 P 正在向动能增大的方向运动。下列说法正确的是（ ）

A. 波沿 x 轴正方向传播

B. $t = \frac{T}{4}$ 时刻， Q 比 P 的速度大

C. $t = \frac{3T}{4}$ 时刻， Q 到达平衡位置

D. $t = \frac{3T}{4}$ 时刻， P 向 y 轴正方向运动



【答案】D

【详解】

A. 越靠近平衡位置运动速度越大，质点 P 正在向动能增大的方向运动，则 P 向下运动，波沿 x 轴负方向传播。故 A 错误；

B. $t = \frac{T}{4}$ 时刻， Q 到达最远位置，速度为零。 P 在平衡位置和最远位置之间，速度不为零，所以 Q 比 P 的速度小。故 B 错误；

C. $t = \frac{3T}{4}$ 时刻， Q 到达 y 轴正向最远位置，故 C 选项错误；

D. $t = \frac{3T}{4}$ 时刻， P 从 y 轴负向最远位置向平衡位置运动，所以向 y 轴正方向运动，故 D 选项正确。

5. 2019 年 10 月 28 日发生了天王星冲日现象，即太阳、地球、天王星处于同一直线，此时是观察天王星的最佳时间。已知日地距离为 R_0 ，天王星和地球的公转周期分别为 T 和 T_0 ，则天王星与太阳的距离为（ ）

A. $\sqrt[3]{\frac{T^2}{T_0^2}} R_0$

B. $\sqrt{\frac{T^3}{T_0^3}} R_0$

C. $\sqrt[3]{\frac{T_0^2}{T^2}} R_0$

D. $\sqrt{\frac{T_0^3}{T^3}} R_0$

【答案】A

【详解】

地球、天王星都绕太阳转，根据开普勒第三定律：

$$\frac{R_0^3}{T_0^2} = \frac{R^3}{T^2}$$

解得：

$$R = \sqrt[3]{\frac{T^2}{T_0^2}} R_0$$

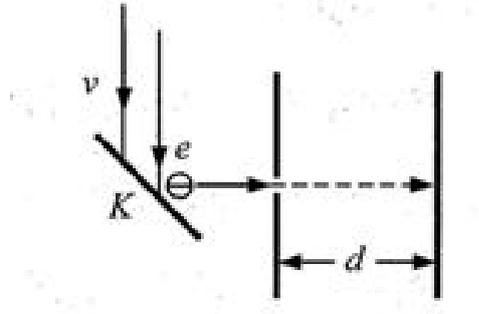
故 A 正确，BCD 错误。

6. 如图所示，有一束单色光入射到极限频率为 ν_0 的金属板 K 上，具有最大初动能的某出射电子，沿垂直于平行板电容器极板的方向，从左侧极板上的小孔入射到两极板间的匀强电场后，到达右侧极板时速度刚好为零。已知电容器的电容为 C ，带电量为 Q ，极板间距为 d ，普朗克常量为 h ，电子电量的绝对值为 e ，不计电子的重力。关于电

容器右侧极板的带电情况和入射光的频率 ν ，以下判断正确的是 ()

- A. 带正电, $\nu_0 + \frac{Qe}{Ch}$
 C. 带负电, $\nu_0 + \frac{Qe}{Ch}$

- B. 带正电, $\nu_0 + \frac{Qe}{Chd}$
 D. 带负电, $\nu_0 + \frac{Qe}{Chd}$



【答案】C

【详解】

电子在电容器里面减速运动，所以受到向左的电场力的作用，所以场强方向向右，电容器右侧极板的带负电。

一束单色光入射到极限频率为 ν_0 的金属板 K 上，射出电子的最大初动能为 E_k ，

$$h\nu - W = E_k$$

$$h\nu_0 = W$$

电子在电容器中减速运动，由动能定理得：

$$-eU = 0 - E_k$$

电容器两极板间的电势差为：

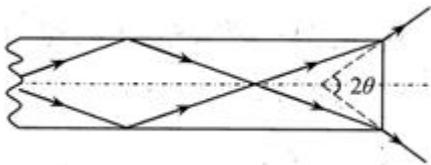
$$U = \frac{Q}{C}$$

根据以上各式，解得：

$$\nu = \nu_0 + \frac{Qe}{Ch}$$

故选项 C 正确，选项 ABD 错误。

7. 如图所示，由某种透明介质制成的长直细圆柱体置于真空中。某种单色光在介质中传输，经过多次全反射后从右端射出。若以全反射临界角传输的光线刚好从右端以张角 2θ 出射，则此介质的折射率为 ()



- A. $\sqrt{1 + \sin 2\theta}$ B. $\sqrt{1 + \cos 2\theta}$ C. $\sqrt{1 + \cos^2 \theta}$ D. $\sqrt{1 + \sin^2 \theta}$

【答案】D

【详解】

设射出时的入射角为 α ，根据折射定律：

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

由几何关系可得，发生全反射时入射角为：

$$C = \frac{\pi}{2} - \alpha$$

$$n = \frac{1}{\sin C}$$

根据以上几式，解得：

$$n = \sqrt{1 + \sin^2 \theta}$$

故 D 选项正确，ABC 错误。

8. 秦山核电站是我国第一座核电站，其三期工程采用重水反应堆技术，利用中子(${}_0^1\text{n}$)与静止氘核(${}_1^2\text{H}$)的多次碰撞，使中子减速。已知中子某次碰撞前的动能为 E ，碰撞可视为弹性正碰。经过该次碰撞后，中子损失的动能为()

- A. $\frac{1}{9}E$ B. $\frac{8}{9}E$ C. $\frac{1}{3}E$ D. $\frac{2}{3}E$

【答案】B

【详解】

设中子的质量为 m ，氘核的质量为 $2m$ ，弹性正碰的过程满足动量守恒和能量守恒。

$$mv = mv_1 + 2mv_2$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2} \times 2mv_2^2$$

由以上两式解得：

$$v_1 = -\frac{1}{3}v$$

由已知可得：

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

中子损失的动能：

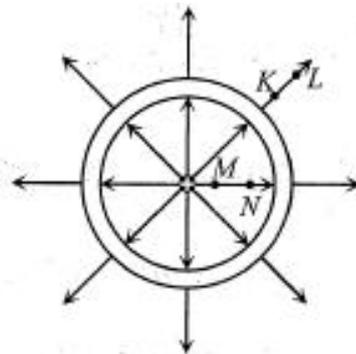
$$\Delta E = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}m\left(-\frac{1}{3}v\right)^2 = \frac{8}{9} \times \frac{1}{2}mv^2 = \frac{8}{9}E$$

故选项 B 正确，ACD 选项错误。

二、多选题

9. 在金属球壳的球心有一个正点电荷，球壳内外的电场线分布如图所示，下列说法正确的是()

- A. M 点的电场强度比 K 点的大
 B. 球壳内表面带负电，外表面带正电
 C. 试探电荷 $-q$ 在 K 点的电势能比在 L 点的大
 D. 试探电荷 $-q$ 沿电场线从 M 点运动到 N 点，电场力做负功



【答案】ABD

【详解】

A. 电场线的疏密程度表示场强的强弱，所以 M 点的电场强度比 K 点的大，故 A 选项正确；

B. 因为金属球壳的球心有一个正点电荷，根据静电感应规律，负电荷受到正电荷的吸引力聚集在球壳内部，球壳

外部有多余的正电荷。所以球壳内表面带负电，外表面带正电。故 B 选项正确；

C. 沿着电场线方向电势逐渐降低，K 点的电势比 L 点的电势高。根据电势能的公式，试探电荷 $-q$ 的电势能：

$$E_p = \varphi(-q)$$

所以试探电荷 $-q$ 在 K 点的电势能比在 L 点的小。故选项 C 错误。

D. 试探电荷 $-q$ 的受力方向与场强方向相反，所以沿电场线从 M 点运动到 N 点，电场力做负功。故选项 D 正确。

10. 第二届进博会于 2019 年 11 月在上海举办，会上展出了一种乒乓球陪练机器人，该机器人能够根据发球人的身体动作和来球信息，及时调整球拍将球击回。若机器人将乒乓球以原速率斜向上击回，球在空中运动一段时间后落到对方的台面上，忽略空气阻力和乒乓球的旋转。下列说法正确的是（ ）

- A. 击球过程合外力对乒乓球做功为零
- B. 击球过程合外力对乒乓球的冲量为零
- C. 在上升过程中，乒乓球处于失重状态
- D. 在下落过程中，乒乓球处于超重状态

【答案】AC

【详解】

A. 击球过程乒乓球以原速率返回，动能不变，根据动能定理，合外力对乒乓球做功为零。故 A 选项正确。

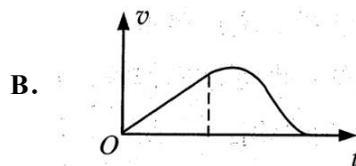
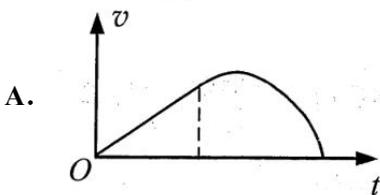
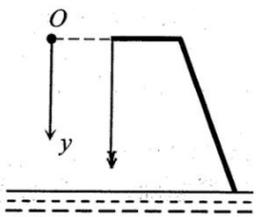
B. 击球过程乒乓球以原速率返回，速度方向改变，速度变化量不为零，根据冲量定理，合外力对乒乓球的冲量不为零。故 B 选项错误。

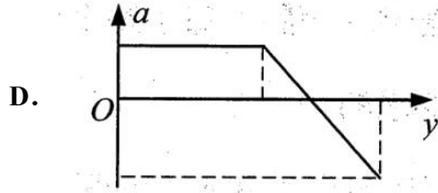
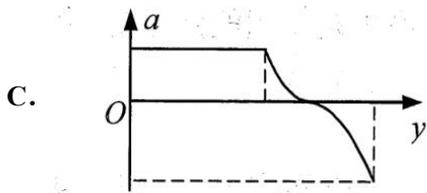
C. 在上升过程中，乒乓球受到重力的作用，加速度为竖直向下的 g ，所以处于失重状态。故 C 选项正确。

D. 在下降过程中，乒乓球受到重力的作用，加速度为竖直向下的 g ，所以处于失重状态。故 D 选项错误。

11. 如图所示，某人从距水面一定高度的平台上做蹦极运动。劲度系数为 k 的弹性绳一端固定在人身上，另一端固定在平台上。人从静止开始竖直跳下，在其到达水面前速度减为零。

运动过程中，弹性绳始终处于弹性限度内。取与平台同高度的 O 点为坐标原点，以竖直向下为 y 轴正方向，忽略空气阻力，人可视为质点。从跳下至第一次到达最低点的运动过程中，用 v ， a ， t 分别表示人的速度、加速度和下落时间。下列描述 v 与 t 、 a 与 y 的关系图像可能正确的是（ ）





【答案】AD

【详解】

AB. 从跳下至第一次到达最低点的运动过程中，绳子拉直前，人先做自由落体运动，图线为匀变速直线运动， $v-t$ 图线斜率恒定；绳子拉直后在弹力等于重力之前，人做加速度逐渐减小的加速运动， $v-t$ 图线斜率减小；弹力等于重力之后，人开始减速运动，弹力增大加速度逐渐增大， $v-t$ 图线斜率逐渐增大，直到速度减到零。所以 A 选项正确，B 选项错误。

CD. 从跳下至第一次到达最低点的运动过程中，绳子拉直前，人先做自由落体运动，加速度恒定。绳子拉直后在弹力等于重力之前，随着弹力增大，人做加速度逐渐减小的加速运动，加速度减小，设向下运动的位置为 y ，绳子刚产生弹力时位置为 y_0 ，

则：

$$mg - k(y - y_0) = ma$$

则加速度为：

$$a = g - \frac{k(y - y_0)}{m}$$

弹力等于重力之后，人开始减速运动，

$$k(y - y_0) - mg = ma$$

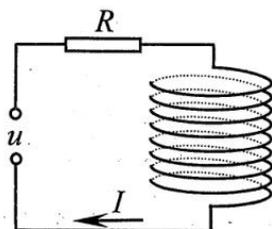
则加速度为：

$$a = \frac{k(y - y_0)}{m} - g$$

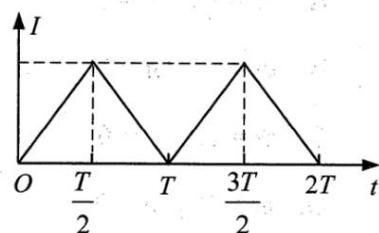
所以， a 与 y 的关系图线斜率是恒定的。故 D 选项正确，C 选项错误。

12. 放置的长直密绕螺线管接入如图甲所示的电路中，通有俯视顺时针方向的电流，其大小按图乙所示的规律变化。螺线管内中间位置固定有一水平放置的硬质闭合金属小圆环（未画出），圆环轴线与螺线管轴线重合。下列说法正确的是（ ）

- A. $t = \frac{T}{4}$ 时刻，圆环有扩张的趋势
- B. $t = \frac{T}{4}$ 时刻，圆环有收缩的趋势
- C. $t = \frac{T}{4}$ 和 $t = \frac{3T}{4}$ 时刻，圆环内的感应电流大小相等



图甲



图乙

D. $t = \frac{3T}{4}$ 时刻，圆环内有俯视逆时针方向的感应电流

【答案】BC

【详解】

A B. $t = \frac{T}{4}$ 时刻，螺线管中电流增大，产生的磁场变强，圆环中的磁通量增多，圆环要阻碍磁通量的增多，有收缩的趋势。故选项 A 错误，选项 B 正确。

C. $t = \frac{T}{4}$ 和 $t = \frac{3T}{4}$ 时刻，螺线管内电流的变化率相等，所以圆环内的感应电流大小相等。故 C 选项正确。

D. $t = \frac{3T}{4}$ 时刻，螺线管中俯视顺时针方向的电流减弱，圆环中的向下磁通量减少，圆环要阻碍磁通量的减少，产生向下的磁通量，所以圆环内有俯视顺时针方向的感应电流。故 D 选项错误。

三、实验题

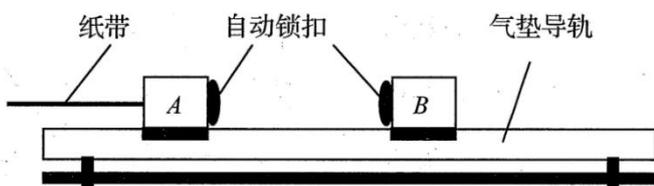
13. 2019 年 9 月，我国成功完成了 76km/h 高速列车实车对撞实验。标志着我国高速列车被动安全技术达到了世界领先水平。某学习小组受此启发，设计了如下碰撞实验，探究其中的能量损耗问题，实验装置如图所示。

实验准备了质量分别为 0.20kg、0.20kg、0.40kg 的滑块 A、B、C，滑块 A 右侧带有自动锁扣，左侧与打点计时器（图中未画出）的纸带相连，滑块 B、C 左侧均带有自动锁扣，打点计时器的电源频率 $f = 50\text{Hz}$ 。

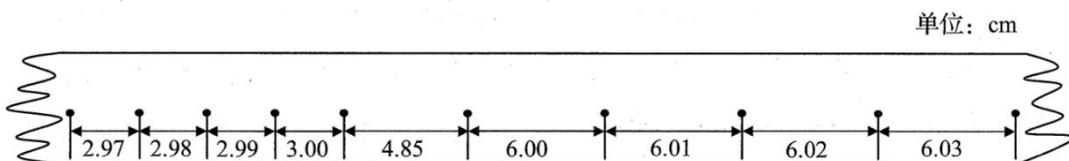
调整好实验装置后，在水平气垫导轨上放置 A、B 两个滑块，启动打点计时器，使滑块 A 以某一速度与静止的滑块 B 相碰并粘合在一起运动，纸带记录的数据如图所示；用滑块 C 替代滑块 B，重复上述实验过程，纸带数据如图所示。

根据纸带记录的数据，滑块 A 与 B 碰撞过程系统损失的动能为 _____ J，滑块 A 与 C 碰撞过程系统损失的动能为 _____ J。（计算结果均保留 2 位有效数字）

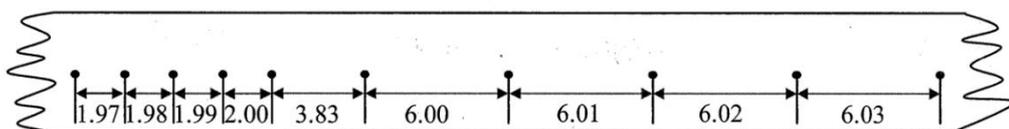
根据实验结果可知，被碰物体质量增大，系统损失的动能 _____（填“增大”“减小”或“不变”）。



图甲



图乙



图丙

【答案】0.46 0.61 增大

【详解】

[1] A、B 两滑块碰撞之前，A 的速度：

$$v_1 = \frac{(6.00 + 6.01 + 6.02 + 6.03) \times 10^{-2}}{4 \times 0.02} \text{ m/s} \approx 3.00 \text{ m/s}$$

A、B 两滑块碰撞之前，A 的动能：

$$E_{k1} = \frac{1}{2} m_A v_1^2 = \frac{1}{2} \times 0.2 \times 3^2 \text{ J} = 0.90 \text{ J}$$

A、B 两滑块碰撞之后，整体的速度：

$$v_2 = \frac{(2.97 + 2.98 + 2.99 + 3.00) \times 10^{-2}}{4 \times 0.02} \text{ m/s} \approx 1.49 \text{ m/s}$$

A、B 两滑块碰撞之后，整体的动能：

$$E_{k2} = \frac{1}{2} (m_A + m_B) v_2^2 = \frac{1}{2} \times (0.2 + 0.2) \times 1.49^2 \text{ J} = 0.44 \text{ J}$$

滑块 A 与 B 碰撞过程系统损失的动能为：

$$\Delta E_k = E_{k1} - E_{k2} = 0.90 \text{ J} - 0.44 \text{ J} = 0.46 \text{ J}$$

[2] 滑块 A 与 C 碰撞之后，整体的速度：

$$v_2' = \frac{(1.97 + 1.98 + 1.99 + 2.00) \times 10^{-2}}{4 \times 0.02} \text{ m/s} \approx 0.99 \text{ m/s}$$

滑块 A 与 C 碰撞之后，整体的动能：

$$E_{k2}' = \frac{1}{2} (m_A + m_C) v_2'^2 = \frac{1}{2} \times (0.2 + 0.4) \times 0.99^2 \text{ J} = 0.29 \text{ J}$$

滑块 A 与 C 碰撞过程系统损失的动能为：

$$\Delta E_k' = E_{k1} - E_{k2}' = 0.90 \text{ J} - 0.29 \text{ J} = 0.61 \text{ J}$$

[3] 因为 $\Delta E_k' > \Delta E_k$ ，可见被碰物体质量增大，系统损失的动能增大。

14. 某同学为了测量一根铅笔芯的电阻率，设计了如图所示的电路测量该铅笔芯的电阻值。所用器材有电流表 A_1 、 A_2 ，电阻箱 R_1 、滑动变阻器 R_2 、待测铅笔芯 R_x 、电源 E 、开关 S 及导线等。操作步骤如下：调节滑动变阻器和电阻箱的阻值达到最大；闭合开关，适当调节滑动变阻器和电阻箱的阻值；记录两个电流表 A_1 、 A_2 的示数分别为 I_1 、 I_2 ，

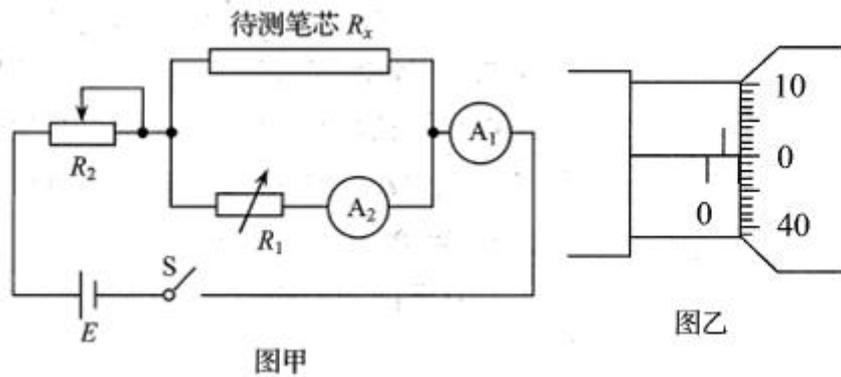
请回答以下问题：

(1) 若电流的内阻可忽略。则电流表示数 $I_2 = \underline{\hspace{2cm}} I_1$ 时，电阻箱的阻值等于待测笔芯的电阻值。

(2) 用螺旋测微器测量该笔芯的直径，螺旋测微器的示数如图所示，该笔芯的直径为 $\underline{\hspace{2cm}}$ mm。

(3) 已测得该笔芯的长度 $L = 20.00 \text{ cm}$ ，电阻箱 R_1 的读数为 5.00Ω ，根据上面测量的数据可计算出笔芯的电阻率 $\rho = \underline{\hspace{2cm}} \Omega \cdot \text{m}$ 。(结果保留 3 位有效数字)

(4) 若电流表 A_2 的内阻不能忽略，仍利用 (1) 中方法，则笔芯电阻的测量值 真实值 (填“大于”“小于”或“等于”)。



【答案】 2 1.000 1.96×10^{-7} 小于

【详解】

(1)[1]若电阻箱的阻值等于待测笔芯的电阻值，则两条支路的电流相等，所以：

$$I_2 = 2I_1$$

(2)[2]主尺上的刻度为 0.5mm ，副尺上的刻度为 50 格，所以读数为：

$$d = 0.5\text{mm} + 0.01\text{mm} \times 50 = 1.000\text{mm}$$

(3)[3] 铅笔芯的横截面积：

$$S = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \frac{d^2}{4}$$

$$R = R_1$$

带入电阻定律 $R = \rho \frac{L}{S}$ 得：

$$\rho = \frac{RS}{L} = \frac{\pi R d^2}{4L}$$

带入数据得：

$$\rho = 1.96 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$$

(4)[4]若电流表 A_2 的内阻不能忽略，则笔芯电阻的测量值为 R_1 ，真实值为 $R_1 + R_{A_2}$ ，则笔芯电阻的测量值小于真实值。

四、解答题

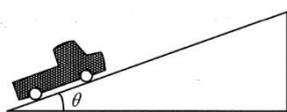
15. 如图甲所示，在高速公路的连续下坡路段通常会设置避险车道，供发生紧急情况的车辆避险使用，本题中避险车道是主车道旁的一段上坡路面。一辆货车在行驶过程中刹车失灵，以 $v_0 = 90 \text{ km/h}$ 的速度驶入避险车道，如图乙所示。设货车进入避险车道后牵引力为零，货车与路面间的动摩擦因数 $\mu = 0.30$ ，取重力加速度大小 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。

(1) 为了防止货车在避险车道上停下后发生溜滑现象，该避险车道上坡路面的倾角 θ 应该满足什么条件？设最大静摩擦力等于滑动摩擦力，结果用 θ 的正切值表示。

(2) 若避险车道路面倾角为 15° ，求货车在避险车道上行驶的最大距离。（已知 $\sin 15^\circ = 0.26$ ， $\cos 15^\circ = 0.97$ ，结果保留 2 位有效数字。）



图甲



图乙

【答案】 (1) $\tan \theta < \mu$ ； (2) 56 m

【详解】

(1) 对货车进行受力分析，可得小车的
小车的最大静摩擦力等于滑动摩擦力为：

$$f = \mu mg \cos \theta$$

而小车重力在斜面的水平分量为：

$$F = mg \sin \theta$$

若要货车在避险车道上停下后不发生溜滑现象，则需要：

$$f > F$$

即：

$$mg \sin \theta < \mu mg \cos \theta$$

解得：

$$\frac{\sin \theta}{\cos \theta} < \mu$$

$$\tan \theta < \mu$$

则当 $\tan \theta < \mu$ 时，货车在避险车道上停下后不会发生溜滑现象

(2) 设货车在避险车道上的加速度为 a ，根据牛顿第二定律：

$$F_{\text{合}} = ma$$

得：

$$F_{\text{合}} = mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta = ma$$

解得：

$$a = g \sin \theta + \mu g \cos \theta = 10 \times (0.26 + 0.3 \times 0.97) \text{m/s}^2 = 5.51 \text{m/s}^2$$

设货车避险车道上行驶的最大距离为 x ， $v_0 = 90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$ ，

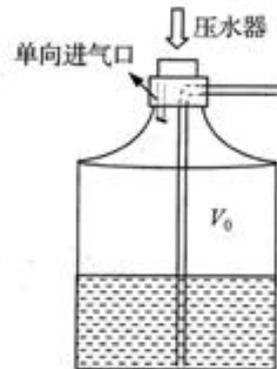
据匀变速直线运动位移公式：

$$0 - v_0^2 = -2ax$$

代入数据，解得：

$$x = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{25^2}{2 \times 5.51} \text{m} = 56.72 \text{m} \approx 56 \text{m}$$

16. 如图所示，按下压水器，能够把一定量的外界空气，经单向进气口压入密闭水桶内。开始时桶内气体的体积 $V_0 = 8.0 \text{ L}$ ，出水管竖直部分内外液面相平，出水口与大气相通且与桶内水面的高度差 $h_1 = 0.20 \text{ m}$ 。出水管内水的体积忽略不计，水桶的横截面积 $S = 0.08 \text{ m}^2$ 。现压入空气，缓慢流出了 $V_1 = 2.0 \text{ L}$ 水。求压入的空气在外界时的体积 ΔV 为多少？已知水的密度 $\rho = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，外界大气压强 $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，取重力加速度大小 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，设整个过程中气体可视为理想气体，温度保持不变。



【答案】 $\Delta V = 2.225 \text{ L}$

【详解】

初始时，瓶内气体的压强与外界相等，

$$p_1 = p_0$$

缓慢流出了 $V_1 = 2.0 \text{ L}$ 水后，瓶里的液面下降：

$$h = \frac{\Delta V}{S} = \frac{2 \times 10^{-3}}{0.08} \text{m} = 0.025 \text{m} = 2.5 \text{cm}$$

此时管口与瓶中液面高度差为：

$$H = h + h_1 = 0.225 \text{m}$$

此时，瓶内气体的压强与为：

$$p_2 = p_0 + \rho g H = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa} + 1.0 \times 10^3 \times 10 \times 0.225 \text{ Pa} = 1.0225 \times 10^5 \text{ Pa}$$

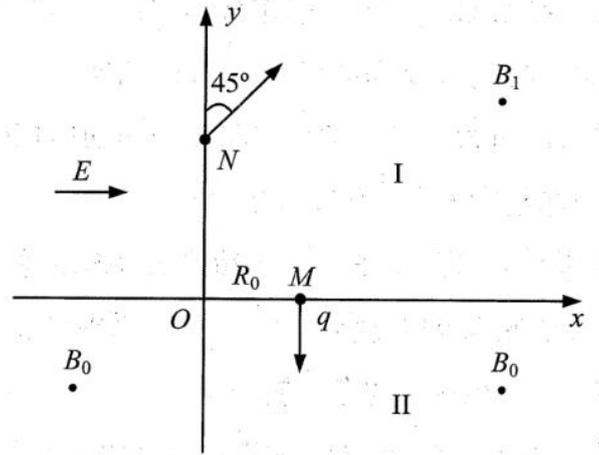
以最终在瓶中的气体为研究对象，由理想气体状态方程：

$$p_0(V_0 + \Delta V) = p_2(V_0 + V_1)$$

解得：

$$\Delta V = 2.225L$$

17. 如图所示，在第一象限内，存在垂直于 xOy 平面向外的匀强磁场 I，第二象限内存在水平向右的匀强电场，第三、四象限内存在垂直于 xOy 平面向外、磁感应强度大小为 B_0 的匀强磁场 II。一质量为 m ，电荷量为 $+q$ 的粒子，从 x 轴上 M 点以某一初速度垂直于 x 轴进入第四象限，在 xOy 平面内，以原点 O 为圆心做半径为 R_0 的圆周运动；随后进入电场运动至 y 轴上的 N 点，沿与 y 轴正方向成 45° 角离开电场；在磁场 I 中运动一段时间后，再次垂直于 x 轴进入第四象限。不计粒子重力。求：



(1) 带电粒子从 M 点进入第四象限时初速度的大小 v_0 ；

(2) 电场强度的大小 E ；

(3) 磁场 I 的磁感应强度的大小 B_1 。

【答案】 (1) $v_0 = \frac{qB_0R_0}{m}$ (2) $E = \frac{qB_0^2R_0}{2m}$ (3) $B_1 = \frac{1}{2}B_0$

【详解】

(1) 粒子从 x 轴上 M 点进入第四象限，在 xOy 平面内，以原点 O 为圆心做半径为 R_0 的圆周运动，由洛伦兹力提供向心力：

$$qv_0B_0 = m\frac{v_0^2}{R_0}$$

解得：

$$v_0 = \frac{qB_0R_0}{m}$$

(2) 粒子在第二象限内做类平抛运动，沿着 x 轴方向：

$$qE = ma$$

$$v_y^2 - 0 = 2aR_0$$

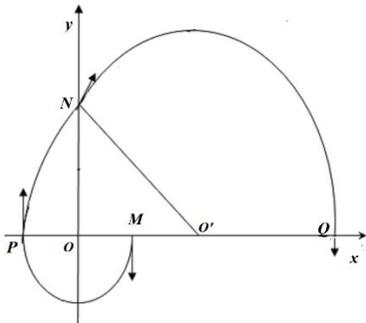
沿与 y 轴正方向成 45° 角离开电场，所以：

$$v_y = v_0$$

解得电场强度：

$$E = \frac{qB_0^2 R_0}{2m}$$

(3)粒子的轨迹如图所示：



第二象限，沿着 x 轴方向：

$$R_0 = \frac{v_y + 0}{2} t$$

沿着 y 轴方向：

$$ON = v_0 t$$

所以：

$$ON = 2R_0$$

由几何关系知，三角形 $OO'N$ 为底角 45° 的等腰直角三角形。在磁场 I 中运动的半径：

$$R = \sqrt{2}ON = 2\sqrt{2}R_0$$

由洛伦兹力提供向心力：

$$qvB_1 = m \frac{v^2}{R}$$

粒子在 N 点速度沿与 y 轴正方向成 45° 角离开电场，所以离开时的速度：

$$v = \sqrt{2}v_0$$

所以磁场 I 的磁感应强度的大小 B_1 ：

$$B_1 = \frac{1}{2} B_0$$

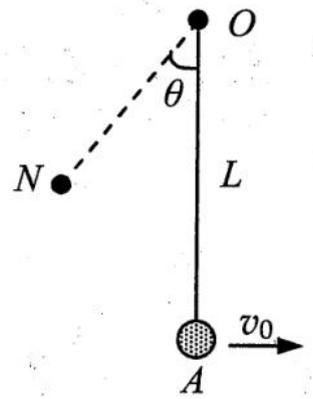
18. 如图所示，不可伸长的轻质细线下方悬挂一可视为质点的小球，另一端固定在竖直光滑墙面上的 O 点。开始时，小球静止于 A 点，现给小球一水平向右的初速度，使其恰好能在竖直平面内绕 O 点做圆周运动。垂直于墙面的钉子 N 位于过 O 点竖直线的左侧， \overline{ON} 与 \overline{OA} 的夹角为 θ ($0 < \theta < \pi$)，且细线遇到钉子后，小球绕钉子在竖直平面内做圆周运动，当小球运动到钉子正下方时，细线刚好被拉断。已知小球的质量为 m ，细线的长度为 L ，细线

能够承受的最大拉力为 $7mg$ ， g 为重力加速度大小。

(1) 求小球初速度的大小 v_0 ；

(2) 求小球绕钉子做圆周运动的半径 r 与 θ 的关系式；

(3) 在细线被拉断后，小球继续向前运动，试判断它能否通过 A 点。若能，请求出细线被拉断时 θ 的值；若不能，请通过计算说明理由。



【答案】 (1) $v_0 = \sqrt{5gL}$ (2) $r = \frac{(3+2\cos\theta)}{2(2+\cos\theta)}L$ (3) 不能通过 A 点，理由见解析。

【详解】

(1) 小球恰能完整圆周运动至最高点，设最高点的速度为 v ，据圆周运动公式：

$$mg = m \frac{v^2}{L}$$

解得：

$$v = \sqrt{gL}$$

小球释放至最高点，由动能定理：

$$-mg \cdot 2L = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

解得：

$$v_0 = \sqrt{5gL}$$

(2) 小球绕钉子做圆周运动，设碰到钉子时的速度为 v_1 ，由释放到碰到钉子时根据动能定理得：

$$-mgL(1 - \cos\theta) = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

碰到钉子到绳子断的过程，由动能定理得：

$$mg(1 - \cos\theta)r = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

绳子断的瞬间：

$$F_T = 7mg$$

$$F_T - mg = m \frac{v_2^2}{r}$$

联立以上几式，解得：

$$r = \frac{(3 + 2 \cos \theta)}{2(2 + \cos \theta)} L$$

(3) 细线被拉断后，小球做平抛运动，设 t 时间小球运动到与 A 点同一竖直线上，由几何关系得：

$$x = (L - r) \sin \theta$$

平抛运动水平方向列方程得：

$$x = v_2 t$$

由 (2) 可知：

$$v_2 = \sqrt{6gr}$$

平抛运动竖直方向列方程得：

$$y = \frac{1}{2} g t^2$$

带入上面几式可得：

$$y = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{(L - r)^2 \sin^2 \theta}{12r}$$

平抛开始点与 A 点的高度差 h 为：

$$h = L - r - (L - r) \cos \theta = (L - r)(1 - \cos \theta)$$

若正好过 A 点，则 $h = y$ ，解得：

$$r = \frac{1 + \cos \theta}{13 + \cos \theta} L$$

此结论与 (2) 不相符，所以小球不能通过 A 点。