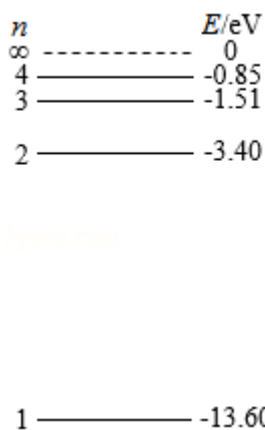


2019 年全国统一高考物理试卷（新课标 I）

参考答案与试题解析

一、选择题 本题共 8 小题，每小题 6 分，共 48 分。在每小题给出的四个选项中，第 1~5 题只有一项符合题目要求，第 6~8 题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。

1. (6 分) 氢原子能级示意图如图所示。光子能量在 $1.63\text{eV} \sim 3.10\text{eV}$ 的光为可见光。要使处于基态 ($n=1$) 的氢原子被激发后可辐射出可见光光子，最少应给氢原子提供的能量为 ()



- A. 12.09eV B. 10.20eV C. 1.89eV D. 1.51eV

【分析】 氢原子由高能级向低能级跃迁时，所辐射的光子能量等于能级差，由氢原子的能级图可知不可能由高能级向基态跃迁，所以根据其他能级间的能级差结合可见光的光子能量进行排除。

【解答】 解：氢原子从高能级向基态跃迁时，所辐射光子能量最小值为： $E = -3.40\text{eV} - (-13.6\text{eV}) = 10.2\text{eV} > 3.10\text{eV}$ ，

故可知要产生可见光，氢原子吸收能量后，最起码要跃迁到 $n > 2$ 能级；

由于 $E' = E_3 - E_2 = -1.51\text{eV} - (-3.40\text{eV}) = 1.89\text{eV}$ ，有 $1.63\text{eV} < E' < 3.10\text{eV}$ ，

故可知要使处于基态 ($n=1$) 的氢原子被激发后可辐射出可见光光子，氢原子最起码应该跃迁到 $n=3$ 能级。

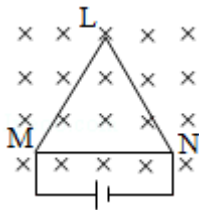
则氢原子吸收的最小能为： $E_m = E_3 - E_1 = -1.51\text{eV} - (-13.6\text{eV}) = 12.09\text{eV}$ ，

故 A 正确，BCD 错误。

故选：A。

【点评】 本题主要是考查动量定理，利用动量定理解答问题时，要注意分析运动过程中物体的受力情况，知道合外力的冲量才等于动量的变化。

4. (6分) 如图，等边三角形线框 LMN 由三根相同的导体棒连接而成，固定于匀强磁场中，线框平面与磁感应强度方向垂直，线框顶点 M、N 与直流电源两端相接。已知导体棒 MN 受到的安培力大小为 F，则线框 LMN 受到的安培力的大小为 ()



- A. 2F B. 1.5F C. 0.5F D. 0

【分析】 先由已知条件可知 MLN 边的有效长度与 MN 相同，等效后的电流方向也与 MN 相同，先根据并联电路的电阻关系得出电流关系，再由 $F=BIL$ 即可分析 MLN 边所受安培力，由力的合成即可求得线框 LMN 所受安培力的大小。

【解答】 解：由已知条件可知 MLN 边的有效长度与 MN 相同，等效后的电流方向也与 MN 相同，边 MLN 的电阻等于边 MN 的电阻的两倍，两者为并联关系，设 MN 中的电流大小为 I，则 MLN 中的电流为 $\frac{1}{2}I$ ，设 MN 的长为 L，

由题意知： $F=BIL$ ，

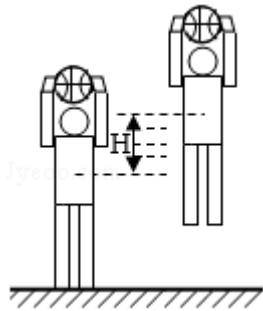
所以边 MLN 所受安培力为： $F' = B \cdot \frac{1}{2}I \cdot L = \frac{1}{2}BIL = \frac{1}{2}F$ ，方向与 MN 边所受安培力的方向相同，

故有： $F_{\text{合}} = F + F' = \frac{3}{2}F = 1.5F$ ，故 B 正确，ACD 错误。

故选：B。

【点评】 本题的关键是要明白安培力求解公式 $F=BIL$ 中的 L 是指通电导线的有效长度。

5. (6分) 如图，篮球架下的运动员原地垂直起跳扣篮，离地后重心上升的最大高度为 H。上升第一个 $\frac{H}{4}$ 所用的时间为 t_1 ，第四个 $\frac{H}{4}$ 所用的时间为 t_2 。不计空气阻力，则 $\frac{t_2}{t_1}$ 满足 ()



- A. $1 < \frac{t_2}{t_1} < 2$ B. $2 < \frac{t_2}{t_1} < 3$ C. $3 < \frac{t_2}{t_1} < 4$ D. $4 < \frac{t_2}{t_1} < 5$

【分析】 逆向分析可以看作是自由落体运动，根据初速度为零的匀加速直线运动中，进行解答。

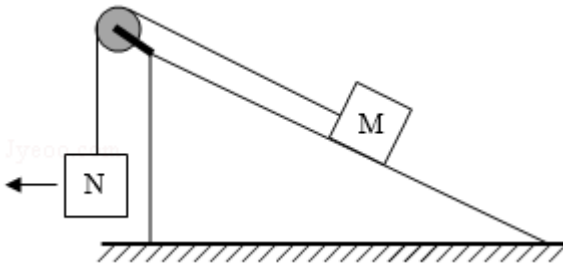
【解答】 解：逆向分析可以看作是自由落体运动，根据初速度为零的匀加速直线运动中，连续相等的位移内时间之比等于 $1: (\sqrt{2}-1): (\sqrt{3}-\sqrt{2}): (2-\sqrt{3}): \dots: \sqrt{n}-\sqrt{n-1}$ 可得：

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{1}{2-\sqrt{3}} = 2+\sqrt{3}, \text{ 故 } 3 < \frac{t_2}{t_1} < 4, \text{ 故 C 正确、ABD 错误。}$$

故选：C。

【点评】 本题主要是考查匀变速直线运动的规律，解答本题要掌握匀变速直线运动的基本规律，掌握初速度为零的匀加速直线运动中，连续相等的位移内时间之比。

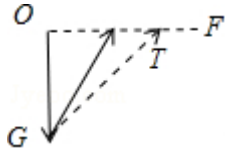
6. (6分) 如图，一粗糙斜面固定在地面上，斜面顶端装有一光滑定滑轮。一细绳跨过滑轮，其一端悬挂物块 N，另一端与斜面上的物块 M 相连，系统处于静止状态。现用水平向左的拉力缓慢拉动 N，直至悬挂 N 的细绳与竖直方向成 45° 。已知 M 始终保持静止，则在此过程中 ()



- A. 水平拉力的大小可能保持不变
 B. M 所受细绳的拉力大小一定一直增加
 C. M 所受斜面的摩擦力大小一定一直增加
 D. M 所受斜面的摩擦力大小可能先减小后增加

【分析】由于 M、N 在水平拉力作用下，整体保持静止状态，那么所受的合力为零。又由于重力恒定，水平拉力方向不变，可用三角形方法解决此类动态平衡问题。最后结合，M 所受力的情况进行解答即可。

【解答】解：AB、根据 M、N 均保持静止，进行受力分析可知，N 受到竖直向下的重力及水平方向的拉力 F，变化的绳子拉力 T，如下图所示：



在向左拉动的时候，绳子拉力 T 和水平拉力 F 都不断增大，故 A 错误，B 正确；

CD、对于 M 的受力，开始时可能是 $T = mg\sin\theta - f$ ，当 T 不断增大的时候，f 减少；当 $T > mg\sin\theta$ 时，随着 T 的增大，f 将增大，所以沿斜面的摩擦力 f 可能先减小后增大；也可能是 $T = mg\sin\theta + f$ ，当 T 不断增大的时候，摩擦力 f 增大；故 C 错误，D 正确。

故选：BD。

【点评】本题考查了动态的平衡问题，解题的关键是使用三角形方法解题；其次，在分析 M 的受力时，注意摩擦力的方向问题。

7. (6 分) 空间存在一方向与纸面垂直、大小随时间变化的匀强磁场，其边界如图 (a) 中虚线 MN 所示。一硬质细导线的电阻率为 ρ 、横截面积为 S，将该导线做成半径为 r 的圆环固定在纸面内，圆心 O 在 MN 上。 $t=0$ 时磁感应强度的方向如图 (a) 所示；磁感应强度 B 随时间 t 的变化关系如图 (b) 所示。则在 $t=0$ 到 $t=t_1$ 的时间间隔内 ()

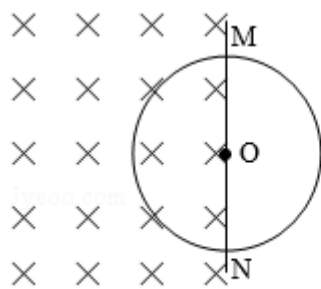


图 (a)

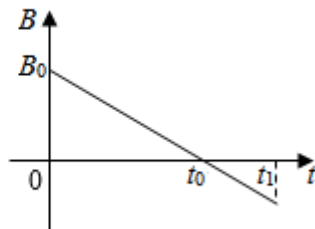


图 (b)

- A. 圆环所受安培力的方向始终不变
 B. 圆环中的感应电流始终沿顺时针方向
 C. 圆环中的感应电流大小为 $\frac{B_0 r S}{4 t_0 \rho}$

D. 圆环中的感应电动势大小为 $\frac{B_0 \pi r^2}{4t_0}$

【分析】应用楞次定律可以判断出感应电流方向，应用左手定则可以判断出安培力方向；应用法拉第电磁感应定律可以求出感应电动势；

应用电阻定律可以求出导线的电阻，然后应用欧姆定律可以求出感应电流。

【解答】解：AB、由楞次定律可知，在 $t=0$ 到 $t=t_1$ 的时间间隔内感应电流始终沿顺时针方向，

由左手定则可知： $0 - t_0$ 时间内圆环受到的安培力向左， $t_0 - t_1$ 时间内安培力向右，故 A 错误，B 正确；

CD、由电阻定律可知，圆环电阻： $R = \rho \frac{L}{S} = \rho \frac{2\pi r}{S}$,

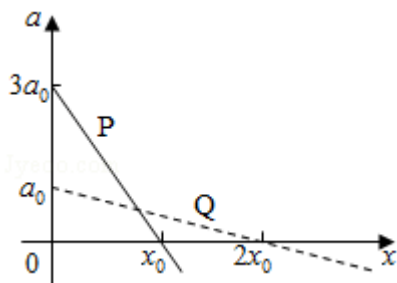
由法拉第电磁感应定律可知，感应电动势： $E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t} = \frac{B_0 \cdot \frac{1}{2} \pi r^2}{t_0} = \frac{B_0 \pi r^2}{2t_0}$,

感应电流： $I = \frac{E}{R} = \frac{B_0 S r}{4\rho t_0}$ ，故 C 正确，D 错误；

故选：BC。

【点评】本题是电磁感应与电路相结合的综合题，根据题意应用楞次定律、左手定则、电磁感应定律、电阻定律与欧姆定律即可解题，掌握基础知识是解题的前提与关键，掌握基础知识即可解题，平时要注意基础知识的学习与积累。

8. (6分) 在星球 M 上将一轻弹簧竖直固定在水平桌面上，把物体 P 轻放在弹簧上端，P 由静止向下运动，物体的加速度 a 与弹簧的压缩量 x 间的关系如图中实线所示。在另一星球 N 上用完全相同的弹簧，改用物体 Q 完成同样的过程，其 $a - x$ 关系如图中虚线所示。假设两星球均为质量均匀分布的球体。已知星球 M 的半径是星球 N 的 3 倍，则 ()



- A. M 与 N 的密度相等
 B. Q 的质量是 P 的 3 倍
 C. Q 下落过程中的最大动能是 P 的 4 倍

D. Q 下落过程中弹簧的最大压缩量是 P 的 4 倍

【分析】在星球表面，根据万有引力等于重力可得 $\frac{GMm}{R^2} = mg$ ，求出密度的表达式进行分析；根据平衡条件求解质量之比；根据动能定理结合图象的面积求解最大动能之比；根据简谐运动的特点求解最大压缩量之比。

【解答】解：A、在星球表面，根据万有引力等于重力可得 $\frac{GMm}{R^2} = mg$ ，则 $GM = R^2g$ ，所以有： $G\rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 = R^2g$ ，解得： $\rho = \frac{3g}{4G\pi R}$ ；

根据图象可知，在 M 星球表面的重力加速度为 $g_M = 3a_0$ ，在 N 表面的重力加速度为 $g_N = a_0$ ，星球 M 的半径是星球 N 的 3 倍，则 M 与 N 的密度相等，故 A 正确；

B、加速度为零时受力平衡，根据平衡条件可得： $m_P g_M = kx_0$ ， $m_Q g_N = 2kx_0$ ，解得： $\frac{m_Q}{m_P} = \frac{6}{1}$ ，故 B 错误；

C、根据动能定理可得 $\max = E_k$ ，根据图象的面积可得： $E_{kP} = \frac{1}{2} m_P \cdot 3a_0 \cdot x_0$ ， $E_{kQ} = \frac{1}{2} m_Q a_0 \cdot 2x_0$ ， $\frac{E_{kQ}}{E_{kP}} = \frac{2m_Q}{3m_P} = 4$ ，故 C 正确；

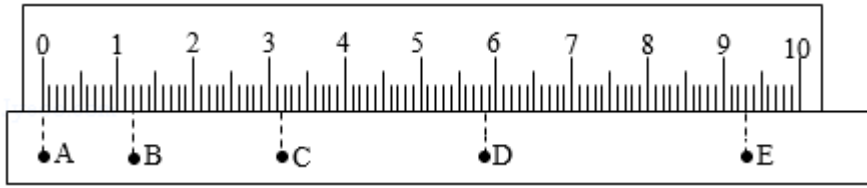
D、根据简谐运动的特点可知，P 下落过程中弹簧最大压缩量为 $2x_0$ ，Q 下落过程中弹簧最大压缩量为 $4x_0$ ，Q 下落过程中弹簧的最大压缩量是 P 的 2 倍，故 D 错误。

故选：AC。

【点评】本题主要是考查了动能定理、万有引力定律及其应用、以及图象问题的分析；知道在星球表面，忽略星球自转的情况下，万有引力近似等于重力；知道图象表示的物理意义是关键。

二、非选择题：共 62 分。第 9~12 题为必考题，每个试题考生都必须作答。第 13~16 题为选考题，考生根据要求作答。（一）必考题：共 47 分。

9. (5 分) 某小组利用打点计时器对物块沿倾斜的长木板加速下滑时的运动进行探究。物块拖动纸带下滑，打出的纸带一部分如图所示。已知打点计时器所用交流电的频率为 50Hz，纸带上标出的每两个相邻点之间还有 4 个打出的点未画出。在 A、B、C、D、E 五个点中，打点计时器最先打出的是 A 点。在打出 C 点时物块的速度大小为 0.233 m/s (保留 3 位有效数字)；物块下滑的加速度大小为 0.75 m/s² (保留 2 位有效数字)。



【分析】物块加速下滑，在相等时间内的位移越来越大，根据图线纸带判断先打哪个点；做匀变速直线运动的物体在某段时间内的平均速度等于中间时刻的瞬时速度，据此求出打 C 点时的速度；

应用匀变速直线运动的推论 $\Delta x = at^2$ 可以求出加速度。

【解答】解：物块加速下滑，速度越来越大，在相等时间内物块的位移越来越大，刚开始时在相等时间内的位移较小，由图示纸带可知，打点计时器最先打出的点是 A 点；每两个相邻点之间还有 4 个打出的点未画出，相邻计数点间的时间间隔为： $t = 0.02 \times 5 = 0.1s$ ，

$$\text{打出 C 点时的速度大小为: } v_C = \frac{BD}{2t} = \frac{(5.85 - 1.20) \times 10^{-2}}{2 \times 0.1} \approx 0.233 \text{m/s};$$

匀变速直线运动的推论 $\Delta x = at^2$ 可知，加速度为： $a =$

$$\frac{CD - AB + DE - BC}{4t^2} = \frac{CE - AC}{4t^2} = \frac{(9.30 - 3.15) \times 10^{-2} - (3.15 - 0.00) \times 10^{-2}}{4 \times 0.1^2} = 0.75 \text{m/s}^2;$$

故答案为：A，0.233，0.75。

【点评】本题考查了实验数据处理，知道物块的运动性质是解题的前提，应用匀变速直线运动的推论即可解题，碰撞要注意基础知识的学习与积累。

10. (10 分) 某同学要将一量程为 $250\mu\text{A}$ 的微安表改装为量程为 20mA 的电流表。该同学测得微安表内阻为 1200Ω ，经计算后将一阻值为 R 的电阻与该微安表连接，进行改装。然后利用一标准毫安表，根据图 (a) 所示电路对改装后的电表进行检测 (虚线框内是改装后的电表)。

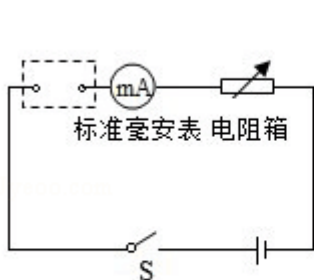


图 (a)

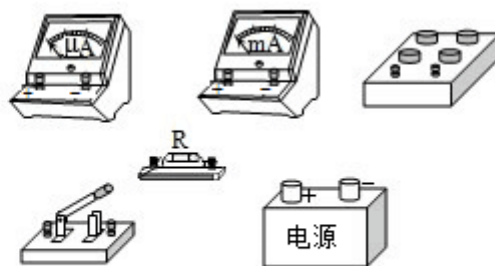


图 (b)

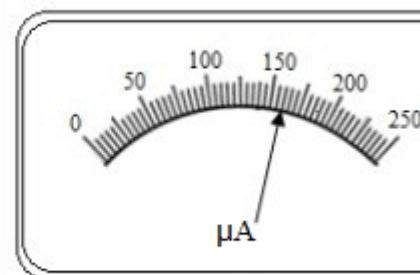


图 (c)

- (1) 根据图 (a) 和题给条件，将图 (b) 中的实物连线。

(2) 当标准毫安表的示数为 16.0mA 时，微安表的指针位置如图 (c) 所示。由此可以推测出所改装的电表量程不是预期值，而是 C。(填正确答案标号)

- A. 18mA
- B. 21mA
- C. 25mA
- D. 28mA

(3) 产生上述问题的原因可能是 AC。(填正确答案标号)

- A. 微安表内阻测量错误，实际内阻大于 1200Ω
- B. 微安表内阻测量错误，实际内阻小于 1200Ω
- C. R 值计算错误，接入的电阻偏小
- D. R 值计算错误，接入的电阻偏大

(4) 要达到预期目的，无论测得的内阻值是否正确，都不必重新测量，只需要将阻值为 R 的电阻换为一个阻值为 kR 的电阻即可，其中 $k = \frac{99}{79}$ 。

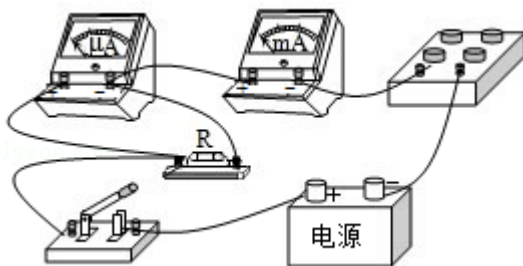
【分析】(1) 根据电路图连接实物电路图。

(2) 根据微安表量程与图 (c) 所示表盘确定其分度值，根据指针位置读出其示数，然后根据电流表改装原理求出改装后电流表的量程。

(3) 把微安表改装成大量程的电流表需要并联分流电阻，根据题意与改装原理分析实验误差。

(4) 根据电流表的改装原理与题意求出并联电阻阻值。

【解答】解：(1) 微安表与分流电阻并联可以改装成电流表，根据图 (a) 所示电路图连接实物电路图，实物电路图如图所示：



(2) 微安表量程为 250μA，由图 (c) 所示表盘可知，其分度值为 5μA，其示数为 160μA，

电流表示数为 16.0mA，电流表示数为微安表示数的 $\frac{16.0 \times 10^{-3} \text{A}}{160 \times 10^{-6} \text{A}} = 100$ 倍，

改装后电流表量程为： $250 \times 10^{-6} \times 100 = 25 \times 10^{-3} \text{A} = 25 \text{mA}$ ，故 C 正确；

故选：C；

(3) CD、由(2)可知，改装后电流表量程偏大，则流过分流电阻的电流偏大，由并联电路特点可知，分流电阻阻值偏小，

如果 R 值计算错误，接入的电阻偏小会导致改装后电流表量程偏大，故 C 正确，D 错误

AB、把微安表改装成电流表需要并联分流电阻，并联电阻阻值： $R = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$ ，

如果微安内阻 R_g 测量值错误，微安表内阻实际阻值大于 1200Ω ，即内阻 R_g 测量值偏小，

并联电阻阻值： $R = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$ 偏小，会导致改装后电流表量程偏大，故 A 正确，B 错误；

故选：AC；

(4) 把微安表改装成电流表需要并联分流电阻，并联电阻阻值： $R = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$ ，

由(2)可知，流过分流电阻电流为流过微安表电流的 99 倍，则并联电阻： $R = \frac{R_g}{99}$ ， $R_g = 99R$ ，

把微安表改装成 20mA 的电流表，并联电阻阻值： $R_{\text{并}} = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{250 \times 10^{-6} R_g}{20 \times 10^{-3} - 250 \times 10^{-6}}$

$= \frac{R_g}{79} = \frac{99R}{79} = kR$ ，

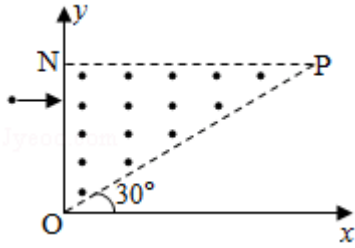
则： $k = \frac{99}{79}$ ；

故答案为：(1) 实物电路图如图所示；(2) C；(3) AC；(4) $\frac{99}{79}$ 。

【点评】 本题考查了电流表的改装问题，把微安表改装成大量程的电流表需要并联分流电阻，应用并联电路特点与欧姆定律可以求出并联电阻阻值，掌握基础知识是解题的前提与关键，根据题意应用基础知识即可解题。

11. (12 分) 如图，在直角三角形 OPN 区域内存在匀强磁场，磁感应强度大小为 B、方向垂直于纸面向外。一带正电的粒子从静止开始经电压 U 加速后，沿平行于 x 轴的方向射入磁场；一段时间后，该粒子在 OP 边上某点以垂直于 x 轴的方向射出。已知 O 点为坐标原点，N 点在 y 轴上，OP 与 x 轴的夹角为 30° ，粒子进入磁场的入射点与离开磁场的出射点之间的距离为 d，不计重力。求

- (1) 带电粒子的比荷；
 (2) 带电粒子从射入磁场到运动至 x 轴的时间。



【分析】(1) 对粒子在加速电场中的运动运用动能定理，粒子在磁场中做匀速圆周运动，利用洛伦兹力提供向心力结合几何关系，联立即可求出带电粒子的比荷；

(2) 根据几何关系求解出粒子射入磁场后运动到 x 轴所经过的路程 s ，再利用公式 $t = \frac{s}{v}$ 即可求出带电粒子从射入磁场到运动至 x 轴的时间。

【解答】解：(1) 设带电粒子的质量为 m ，电荷量为 q ，加速后的速度大小为 v ，

根据动能定理可得：
$$qU = \frac{1}{2}mv^2 \dots \textcircled{1}$$

设粒子在磁场中做匀速圆周运动的半径为 r ，粒子在磁场中运动轨迹如图所示：

根据洛伦兹力提供向心力可得：
$$qvB = m\frac{v^2}{r} \dots \textcircled{2}$$

根据几何关系可得：
$$d = \sqrt{2}r \dots \textcircled{3}$$

联立①②③式可得：
$$\frac{q}{m} = \frac{4U}{B^2 d^2} \dots \textcircled{4}$$

(2) 由几何关系可知，带电粒子射入磁场后运动到 x 轴所经过的路程为

$$s = \frac{\pi r}{2} + r \cdot \tan 30^\circ \dots \textcircled{5}$$

则带电粒子从射入磁场到运动至 x 轴的时间为：
$$t = \frac{s}{v} \dots \textcircled{6}$$

联立②④⑤⑥式可得：
$$t = \frac{B d^2}{4U} \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\sqrt{3}}{3} \right)$$

答：(1) 带电粒子的比荷为 $\frac{4U}{B^2 d^2}$ ；

(2) 带电粒子从射入磁场到运动至 x 轴的时间为 $\frac{B d^2}{4U} \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\sqrt{3}}{3} \right)$ 。

【解答】解：（1）根据图（b）， v_1 为 A 在碰撞前瞬间的速度大小， $\frac{v_1}{2}$ 为其碰撞后瞬间速度大小。设物块 B 的质量为 m' ，碰后瞬间的速度为 v' ，

$$\text{根据动量守恒定律可得：} mv_1 = m \left(-\frac{v_1}{2} \right) + m' v'$$

$$\text{根据能量守恒定律可得：} \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} m \left(-\frac{v_1}{2} \right)^2 + \frac{1}{2} m' v'^2$$

联立解得 $m' = 3m$ ；

（2）在图（b）描述的运动中，设物块 A 与轨道间的滑动摩擦力大小为 f ，下滑过程中所走过的路程为 s_1 ，返回过程中所走过的路程为 s_2 ，P 点的高度为 h ，整个过程中克服摩擦所做的功为 W ，根据动能定理可得：

$$mgH - fs_1 = \frac{1}{2} m v_1^2 - 0$$

$$- (fs_2 + mgh) = 0 - \frac{1}{2} m \left(-\frac{v_1}{2} \right)^2$$

$$\text{从图（b）给出的图象可知，} s_1 = \frac{1}{2} v_1 t_1$$

$$s_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{v_1}{2} \cdot (1.4 t_1 - t_1)$$

$$\text{根据几何关系可得：} \frac{s_2}{s_1} = \frac{h}{H}$$

物块 A 在整个过程中克服摩擦力做的功为：

$$W = fs_1 + fs_2,$$

$$\text{联立解得：} W = \frac{2}{15} mgH;$$

（3）设倾斜轨道倾角为 θ ，物块与轨道间的动摩擦因数在改变前为 μ ，则有：

$$W = \mu mg \cos \theta \cdot \frac{H+h}{\sin \theta}$$

设物块 B 在水平轨道上能够滑行的距离为 s' ，

$$\text{根据动能定理可得} -\mu m' g s' = 0 - \frac{1}{2} m' v'^2$$

设物块与轨道间的动摩擦因数在改变后为 μ' ，根据动能定理可得：

$$mgh - \mu' mg \cos \theta \cdot \frac{h}{\sin \theta} - \mu' m g s' = 0$$

$$\text{联立解得：} \frac{\mu}{\mu'} = \frac{11}{9}.$$

答：（1）物块 B 的质量为 $3m$ ；

(2) 在图 (b) 所描述的整个运动过程中, 物块 A 克服摩擦力所做的功为 $\frac{2}{15}mgH$;

(3) 改变前后动摩擦因数的比值为 $\frac{11}{9}$ 。

【点评】 本题主要是考查了动能定理; 运用动能定理解题时, 首先要选取研究过程, 然后分析在这个运动过程中哪些力做正功、哪些力做负功, 初末动能为多少, 根据动能定理列方程解答; 动能定理的优点在于适用任何运动包括曲线运动; 一个题目可能需要选择不同的过程多次运用动能定理研究, 也可以全过程根据动能定理解答。

三、选考题: 共 15 分。请考生从 2 道物理题中任选一题作答。如果多做, 则每科按所做的第一题计分。[物理-选修 3-3] (15 分)

13. (5 分) 某容器中的空气被光滑活塞封住, 容器和活塞绝热性能良好, 空气可视为理想气体。初始时容器中空气的温度与外界相同, 压强大于外界。现使活塞缓慢移动, 直至容器中的空气压强与外界相同。此时, 容器中空气的温度 低于 (填“高于”“低于”或“等于”) 外界温度, 容器中空气的密度 大于 (填“大于”“小于”或“等于”) 外界空气的密度。

【分析】 根据热力学第一定律分析封闭气体的内能。

根据压强的微观意义分析空气的密度。

【解答】 解: 由题意可知, 容器和活塞的绝热性能良好, 故容器内气体与外界不发生热交换, 故 $\Delta Q=0$; 但现活塞缓慢移动过程中, 容器中气体压强逐渐减少, 则容器内气体不断膨胀, 体积增大, 气体对外界做功, 即 $W<0$,

根据热力学第一定律可知: $\Delta U=\Delta Q+W<0$, 故容器气体内能减小, 温度降低, 低于外界温度。

最终容器内气体压强与外界气体压强相同, 根据理想气体状态方程: $PV=nRT$,

又 $\because \rho=\frac{m}{V}$, m 为容器内气体质量,

联立解得: $\rho=\frac{Pm}{nRT}$,

当选取一部分与容器内气体相同质量的外界气体, 由于容器内温度 T 低于外界温度, 故容器内气体密度大于外界气体密度。

故答案为: 低于; 大于。

【点评】 本题主要考查热力学第一定律和压强的微观解释, 注意温度是理想气体内能的标志, 对一定质量的理想气体内能只与温度有关。

14. (10分) 热等静压设备广泛应用于材料加工中。该设备工作时，先在室温下把惰性气体用压缩机压入到一个预抽真空的炉腔中，然后炉腔升温，利用高温高压环境对放入炉腔中的材料加工处理，改善其性能。一台热等静压设备的炉腔中某次放入固体材料后剩余的容积为 0.13m^3 ，炉腔抽真空后，在室温下用压缩机将 10 瓶氩气压入到炉腔中。已知每瓶氩气的容积为 $3.2 \times 10^{-2}\text{m}^3$ ，使用前瓶中气体压强为 $1.5 \times 10^7\text{Pa}$ ，使用后瓶中剩余气体压强为 $2.0 \times 10^6\text{Pa}$ ；室温温度为 27°C 。氩气可视为理想气体。

(i) 求压入氩气后炉腔中气体在室温下的压强；

(ii) 将压入氩气后的炉腔加热到 1227°C ，求此时炉腔中气体的压强。

【分析】(i) 以瓶中气体为研究对象，使用前后瓶中气体发生等温变化，根据玻意耳定律即可求出使用后的总体积；再对 10 瓶中压入炉腔内的气体分析，根据玻意耳定律即可求出炉腔中气体的压强。气体发生等温变化，根据题意求出气体初末状态的状态参量，然后应用玻意耳定律求出气体的压强。

(2) 炉内气体体积不变，气体发生等容变化，根据题意求出气体状态参量，应用查理定律可以求出炉腔内气体的压强。

【解答】解：(i) 设初始时每瓶气体的体积为 V_0 ，压强为 p_0 ，使用后气瓶中剩余气体的压强为 p_1 ，

气体温度保持不变发生等温变化，由玻意耳定律得： $p_0V_0 = p_1V_1$ ，

被压入炉腔的气体在室温和 p_1 条件下的体积： $V_1' = V_1 - V_0$ ，

设 10 瓶气体压入完成后炉腔中气体压强为 p_2 ，体积为 V_2 ，

由玻意耳定律得： $p_2V_2 = 10p_1V_1'$ ，

代入数据解得： $p_2 = 3.2 \times 10^7\text{Pa}$ ；

(ii) 设加热前炉腔的温度为 T_0 ，加热后炉腔的温度为 T_1 ，气体压强为 p_3 ，

气体发生等容变化，由查理定律得： $\frac{p_3}{T_1} = \frac{p_2}{T_0}$ ，

代入数据解得： $p_3 = 1.6 \times 10^8\text{Pa}$ ；

答：(i) 压入氩气后炉腔中气体在室温下的压强为 $3.2 \times 10^7\text{Pa}$ ；

(ii) 将压入氩气后的炉腔加热到 1227°C ，此时炉腔中气体的压强为 $1.6 \times 10^8\text{Pa}$ 。

【点评】本题考查了气体状态方程的应用，根据题意分析清楚气体状态变化过程、求出气体状态参量是解题的前提与关键，应用玻意耳定律与查理定律可以解题。

[物理-选修 3-4] (15 分)

15. 一简谐横波沿 x 轴正方向传播，在 $t = \frac{T}{2}$ 时刻，该波的波形图如图 (a) 所示，P、Q 是介质中的两个质点。图 (b) 表示介质中某质点的振动图象。下列说法正确的是 ()

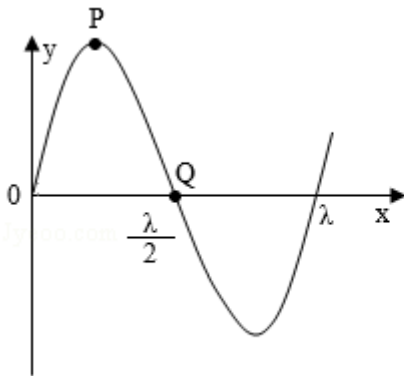


图 (a)

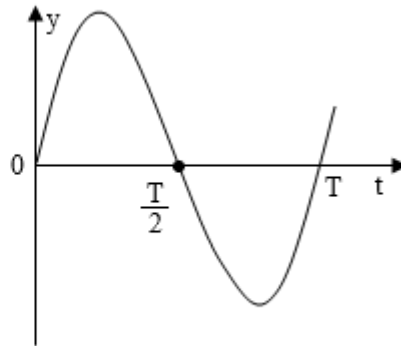


图 (b)

- A. 质点 Q 的振动图象与图 (b) 相同
- B. 在 $t=0$ 时刻，质点 P 的速率比质点 Q 的大
- C. 在 $t=0$ 时刻，质点 P 的加速度的大小比质点 Q 的大
- D. 平衡位置在坐标原点的质点的振动图象如图 (b) 所示
- E. 在 $t=0$ 时刻，质点 P 与其平衡位置的距离比质点 Q 的大

【分析】 根据波的传播方向确定 Q 点在 $t = \frac{T}{2}$ 时刻的振动方向，与振动图象上在 $t = \frac{T}{2}$ 时刻质点的振动方向比较，确定是哪个质点的振动图象。在波动图象上，根据位移大小研究加速度和速度的大小关系。

【解答】 解：A、简谐机械波沿 x 轴正方向传播，在 $t = \frac{T}{2}$ 时刻，质点 Q 的振动方向向上，而在振动图象上在 $t = \frac{T}{2}$ 时刻质点的振动方向向下，所以图 b 不是质点 Q 的振动图象。

故 A 错误。

B、在 $t=0$ 时刻，质点 P 位于波谷，速度为零，质点 Q 位于平衡位置，则质点 P 的速率比质点 Q 的小，故 B 错误。

C、在 $t=0$ 时刻，质点 P 的位移比质点 Q 的大，则质点 P 的加速度的大小比质点 Q 的大。故 C 正确。

D、在 $t = \frac{T}{2}$ 时刻，平衡位置在坐标原点的质点振动方向向下，与振动图象相符，所以平衡位置在坐标原点的质点的振动图象如图 (b) 所示。故 D 正确。

E、在 $t=0$ 时刻，质点 P 位于波谷，质点 Q 位于平衡位置，则质点 P 与其平衡位置的距离比质点 Q 的大。故 E 正确。

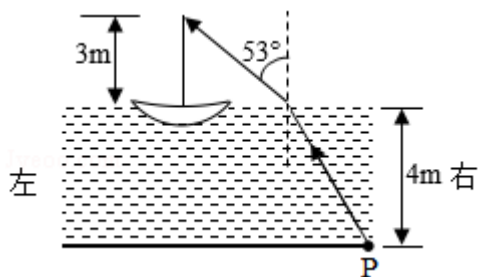
故选：CDE。

【点评】 本题考查识别、理解振动图象和波动图象的能力，以及把握两种图象联系的能力。对于波的图象往往先判断质点的振动方向和波的传播方向间的关系。同时，能熟练分析波动形成的过程，分析物理量的变化情况。

16. 如图，一艘帆船静止在湖面上，帆船的竖直桅杆顶端高出水面 3m。距水面 4m 的湖底 P 点发出的激光束，从水面出射后恰好照射到桅杆顶端，该出射光束与竖直方向的夹角为 53° （取 $\sin 53^\circ = 0.8$ ）。已知水的折射率为 $\frac{4}{3}$ 。

(i) 求桅杆到 P 点的水平距离；

(ii) 船向左行驶一段距离后停止，调整由 P 点发出的激光束方向，当其与竖直方向夹角为 45° 时，从水面射出后仍照射在桅杆顶端，求船行驶的距离。



【分析】 (i) 由折射定律求出入射角，结合几何关系求桅杆到 P 点的水平距离；

(ii) 先根据折射定律求激光束从水面出射的方向与竖直方向的夹角，再由几何关系求船行驶的距离。

【解答】 解：(i) 设光束从水面射出的点到桅杆的水平距离为 x_1 ，到 P 点的水平距离为 x_2 。桅杆的高度为 h_1 ，P 点处水深为 h_2 。激光束在水中与竖直方向的夹角为 θ 。

由几何关系有：

$$\frac{x_1}{h_1} = \tan 53^\circ \cdots \textcircled{1}$$

$$\frac{x_2}{h_2} = \tan \theta \cdots \textcircled{2}$$

$$\text{由折射定律有：} n = \frac{\sin 53^\circ}{\sin \theta} \cdots \textcircled{3}$$

$$\text{设桅杆到 P 点的水平距离为 } x, \text{ 则：} x = x_1 + x_2 \cdots \textcircled{4}$$

$$\text{联立} \textcircled{1} \textcircled{2} \textcircled{3} \textcircled{4} \text{ 并代入数据解得：} x = 7\text{m} \cdots \textcircled{5}$$

(ii) 设激光束在水中与竖直方向的夹角为 45° 时，从水面出射的方向与竖直方向的夹

角为 i' 。

$$\text{由折射定律有: } n = \frac{\sin i'}{\sin 45^\circ} \dots \textcircled{6}$$

设船向左行驶的距离为 x' ，此时光束从水面射出的点到桅杆的水平距离为 x_1' ，到 P 点的水平距离为 x_2' ，则

$$x_1' + x_2' = x' + x \dots \textcircled{7}$$

$$\frac{x_1'}{h_1} = \tan i' \dots \textcircled{8}$$

$$\frac{x_2'}{h_2} = \tan 45^\circ \dots \textcircled{9}$$

联立⑤⑥⑦⑧⑨并代入数据解得： $x' = (6\sqrt{2} - 3) \text{ m} \approx 5.5 \text{ m}$

答：

(i) 桅杆到 P 点的水平距离是 7m；

(ii) 船行驶的距离是 5.5m。

【点评】本题是几何光学问题，对数学几何能力要求较高，关键要根据几何知识确定出入射角和折射角，通过折射定律和几何关系进行求解。