

2024年安徽省普通高中学业水平选择性考试

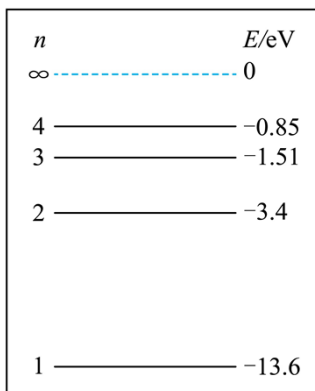
物理

注意事项:

1. 答题前, 考生务必将自己的姓名和座位号填写在答题卡和试卷上。
2. 作答选择题时, 选出每小题答案后, 用铅笔将答题卡上对应题目的答案选项涂黑。如需改动, 用橡皮擦干净后, 再选涂其它答案选项。作答非选择题时, 将答案写在答题卡上对应区域。写在木试卷上无效。
3. 考试结束后, 将本试卷和答题卡一并交回。

一、选择题: 本题共 8 小题, 每小题 4 分, 共 32 分。在每小题给出的四个选项中, 只有一项是符合要求的。

1. 大连相干光源是我国第一台高增益自由电子激光用户装置, 其激光辐射所应用的玻尔原子理论很好地解释了氢原子的光谱特征。图为氢原子的能级示意图, 已知紫外光的光子能量大于 3.11eV , 当大量处于 $n=3$ 能级的氢原子向低能级跃迁时, 辐射不同频率的紫外光有 ()



- A. 1 种 B. 2 种 C. 3 种 D. 4 种

【答案】B

【解析】

【详解】大量处于 $n=3$ 能级的氢原子向低能级跃迁时, 能够辐射出不同频率的种类为

$$C_3^2 = 3\text{种}$$

辐射出光子的能量分别为

$$\Delta E_1 = E_3 - E_1 = -1.51\text{eV} - (-13.6\text{eV}) = 12.09\text{eV}$$

$$\Delta E_2 = E_3 - E_2 = -1.51\text{eV} - (-3.4\text{eV}) = 1.89\text{eV}$$

$$\Delta E_3 = E_2 - E_1 = -3.4\text{eV} - (-13.6\text{eV}) = 10.2\text{eV}$$

其中

$$\Delta E_1 > 3.11\text{eV}, \Delta E_2 < 3.11\text{eV}, \Delta E_3 > 3.11\text{eV}$$

所以辐射不同频率的紫外光有 2 种。

故选 B。

2. 某同学参加户外拓展活动，遵照安全规范，坐在滑板上，从高为 h 的粗糙斜坡顶端由静止下滑，至底端时速度为 v 。已知人与滑板的总质量为 m ，可视为质点。重力加速度大小为 g ，不计空气阻力。则此过程中人与滑板克服摩擦力做的功为 ()

- A. mgh B. $\frac{1}{2}mv^2$ C. $mgh + \frac{1}{2}mv^2$ D. $mgh - \frac{1}{2}mv^2$

【答案】D

【解析】

【详解】人在下滑的过程中，由动能定理可得

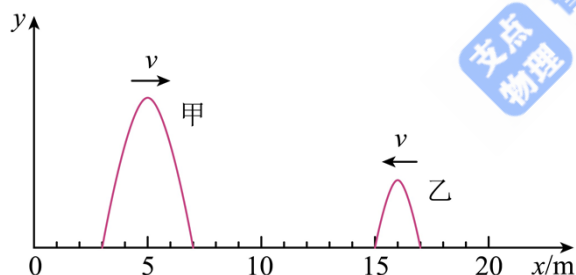
$$mgh - W_f = \frac{1}{2}mv^2 - 0$$

可得此过程中人与滑板克服摩擦力做的功为

$$W_f = mgh - \frac{1}{2}mv^2$$

故选 D。

3. 某仪器发射甲、乙两列横波，在同一均匀介质中相向传播，波速 v 大小相等。某时刻的波形图如图所示，则这两列横波 ()



- A. 在 $x = 9.0\text{m}$ 处开始相遇 B. 在 $x = 10.0\text{m}$ 处开始相遇
C. 波峰在 $x = 10.5\text{m}$ 处相遇 D. 波峰在 $x = 11.5\text{m}$ 处相遇

【答案】C

【解析】

【详解】AB. 由题意可知两列波的波速相同，所以相同时间内传播的距离相同，故两列横波在 $x = 11.0\text{m}$ 处开始相遇，故 AB 错误；

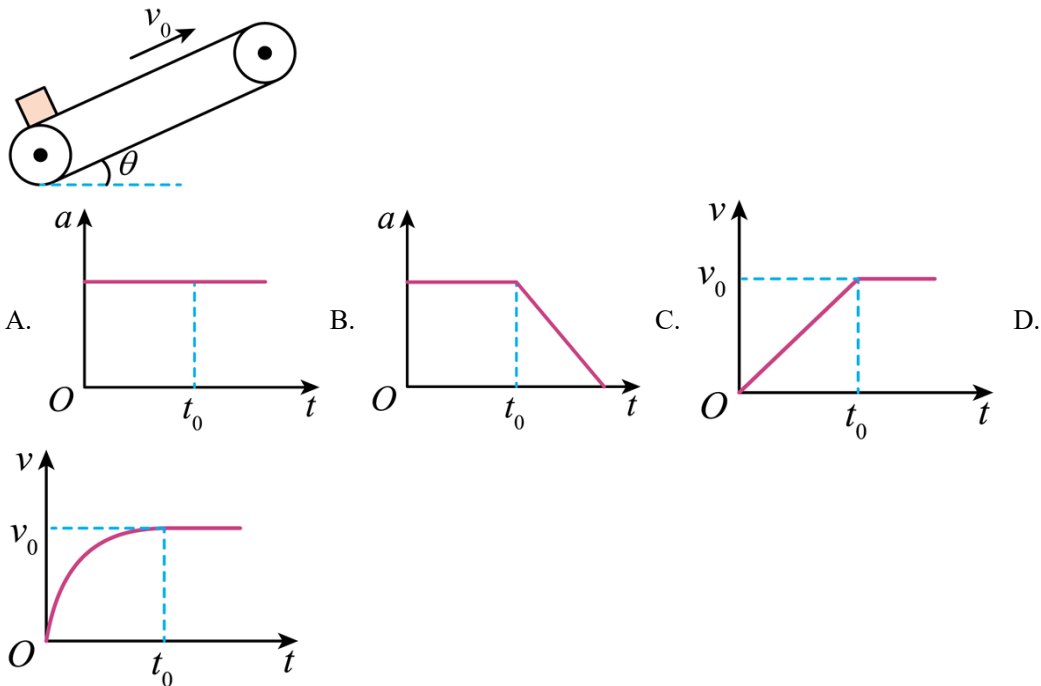
CD. 甲波峰的坐标为 $x_1 = 5\text{m}$ ，乙波峰的坐标为 $x_2 = 16\text{m}$ ，由于两列波的波速相同，所以波峰在

$$x' = 5\text{m} + \frac{16 - 5}{2}\text{m} = 10.5\text{m}$$

处相遇，故 C 正确，D 错误。

故选 C。

4. 倾角为 θ 的传送带以恒定速率 v_0 顺时针转动。 $t = 0$ 时在传送带底端无初速轻放一小物块，如图所示。 t_0 时刻物块运动到传送带中间某位置，速度达到 v_0 。不计空气阻力，则物块从传送带底端运动到顶端的过程中，加速度 a 、速度 v 随时间 t 变化的关系图线可能正确的是 ()



【答案】 C

【解析】

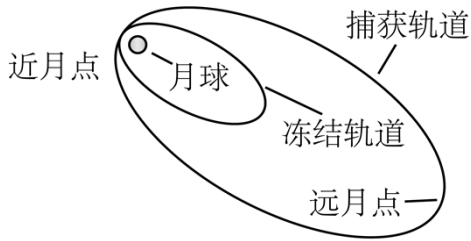
【详解】 $0 \sim t_0$ 时间内：物体轻放在传送带上，做加速运动。受力分析可知，物体受重力、支持力、滑动摩擦力，滑动摩擦力大于重力的下滑分力，合力不变，故做匀加速运动。

t_0 之后：当物块速度与传送带相同时，静摩擦力与重力的下滑分力相等，加速度突变为零，物块做匀速直线运动。

C 正确，ABD 错误。

故选 C。

5. 2024 年 3 月 20 日，我国探月工程四期鹊桥二号中继星成功发射升空。当抵达距离月球表面某高度时，鹊桥二号开始进行近月制动，并顺利进入捕获轨道运行，如图所示，轨道的半长轴约为 51900km。后经多次轨道调整，进入冻结轨道运行，轨道的半长轴约为 9900km，周期约为 24h。则鹊桥二号在捕获轨道运行时 ()



- A. 周期约为 144h
- B. 近月点的速度大于远月点的速度
- C. 近月点的速度小于在冻结轨道运行时近月点的速度
- D. 近月点的加速度大于在冻结轨道运行时近月点的加速度

【答案】B

【解析】

【详解】A. 冻结轨道和捕获轨道的中心天体是月球，根据开普勒第三定律得

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3}$$

整理得

$$T_2 = T_1 \sqrt{\frac{R_2^3}{R_1^3}} = 288\text{h}$$

A 错误；

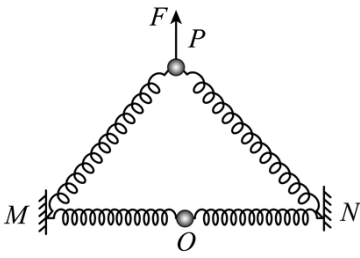
B. 根据开普勒第二定律得，近月点的速度大于远月点的速度，B 正确；

C. 近月点从捕获轨道到冻结轨道鹊桥二号进行近月制动，捕获轨道近月点的速度大于在冻结轨道运行时近月点的速度，C 错误；

D. 两轨道的近月点所受的万有引力相同，根据牛顿第二定律可知，近月点的加速度等于在冻结轨道运行时近月点的加速度，D 错误。

故选 B。

6. 如图所示，竖直平面内有两完全相同的轻质弹簧，它们的一端分别固定于水平线上的 M 、 N 两点，另一端均连接在质量为 m 的小球上。开始时，在竖直向上的拉力作用下，小球静止于 MN 连线的中点 O ，弹簧处于原长。后将小球竖直向上。缓慢拉至 P 点，并保持静止，此时拉力 F 大小为 $2mg$ 。已知重力加速度大小为 g ，弹簧始终处于弹性限度内，不计空气阻力。若撤去拉力，则小球从 P 点运动到 O 点的过程中（ ）



- A. 速度一直增大
 B. 速度先增大后减小
 C. 加速度的最大值为 $3g$
 D. 加速度先增大后减小

【答案】A

【解析】

【详解】AB. 缓慢拉至 P 点，保持静止，由平衡条件可知此时拉力 F 与重力和两弹簧的拉力合力为零。此时两弹簧的合力为大小为 mg 。当撤去拉力，则小球从 P 点运动到 O 点的过程中两弹簧的拉力与重力的合力始终向下，小球一直做加速运动，故 A 正确，B 错误；

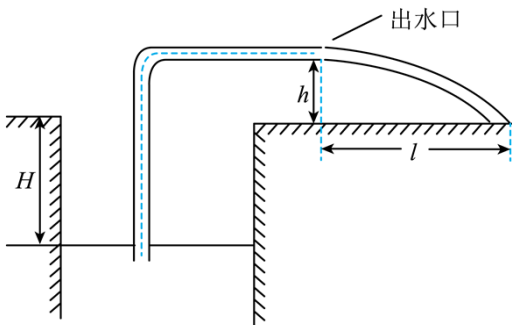
CD. 小球从 P 点运动到 O 点的过程中，形变量变小弹簧在竖直方向的合力不断变小，故小球受的合外力一直变小，加速度的最大值为撤去拉力时的加速度，由牛顿第二定律可知

$$2mg = ma$$

加速度的最大值为 $2g$ ，CD 错误。

故选 A。

7. 在某地区的干旱季节，人们常用水泵从深水井中抽水灌溉农田，简化模型如图所示。水井中的水面距离水平地面的高度为 H 。出水口距水平地面的高度为 h ，与落地点的水平距离约为 l 。假设抽水过程中 H 保持不变，水泵输出能量的 η 倍转化为水被抽到出水口处增加的机械能。已知水的密度为 ρ ，水管内径的横截面积为 S ，重力加速度大小为 g ，不计空气阻力。则水泵的输出功率约为（ ）



- A. $\frac{\rho g S l \sqrt{2gh}}{2\eta h} \left(H + h + \frac{l^2}{2h} \right)$
 B. $\frac{\rho g S l \sqrt{2gh}}{2\eta h} \left(H + h + \frac{l^2}{4h} \right)$
 C. $\frac{\rho g S l \sqrt{2gh}}{2\eta h} \left(H + \frac{l^2}{2h} \right)$
 D. $\frac{\rho g S l \sqrt{2gh}}{2\eta h} \left(H + \frac{l^2}{4h} \right)$

【答案】B

【解析】

【详解】设水从出水口射出的初速度为 v_0 ，取 t 时间内的水为研究对象，该部分水的质量为

$$m = v_0 t S \rho$$

根据平抛运动规律

$$v_0 t' = l$$

$$h = \frac{1}{2} g t'^2$$

解得

$$v_0 = l \sqrt{\frac{g}{2h}}$$

根据功能关系得

$$Pt\eta = \frac{1}{2} m v_0^2 + mg(H + h)$$

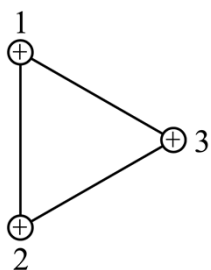
联立解得水泵的输出功率为

$$P = \frac{\rho g S l \sqrt{2gh}}{2\eta h} \left(H + h + \frac{l^2}{4h} \right)$$

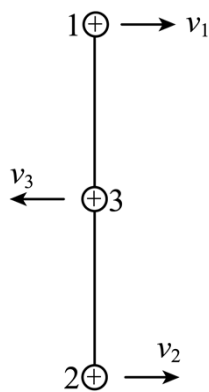
故选 B。

8. 在某装置中的光滑绝缘水平面上，三个完全相同的带电小球，通过不可伸长的绝缘轻质细线，连接成边长为 d 的正三角形，如图甲所示。小球质量为 m ，带电量为 $+q$ ，可视为点电荷。初始时，小球均静止，细线拉直。现将球 1 和球 2 间的细线剪断，当三个小球运动到同一条直线上时，速度大小分别为 v_1 、 v_2 、 v_3 ，

如图乙所示。该过程中三个小球组成的系统电势能减少了 $\frac{kq^2}{2d}$ ， k 为静电力常量，不计空气阻力。则 ()



图甲



图乙

- A. 该过程中小球 3 受到的合力大小始终不变 B. 该过程中系统能量守恒，动量不守恒
- C. 在图乙位置， $v_1 = v_2$ ， $v_3 \neq 2v_1$ D. 在图乙位置， $v_3 = \sqrt{\frac{2kq^2}{3md}}$

【答案】D

【解析】

【详解】AB. 该过程中系统动能和电势能相互转化，能量守恒，对整个系统分析可知系统受到的合外力为 0，故动量守恒；当三个小球运动到同一条直线上时，根据对称性可知细线中的拉力相等，此时球 3 受到 1 和 2 的电场力大小相等，方向相反，故可知此时球 3 受到的合力为 0，球 3 从静止状态开始运动，瞬间受到的合力不为 0，故该过程中小球 3 受到的合力在改变，故 AB 错误；

CD. 对系统根据动量守恒

$$mv_1 + mv_2 = mv_3$$

根据球 1 和 2 运动的对称性可知 $v_1 = v_2$ ，解得

$$v_3 = 2v_1$$

根据能量守恒

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2}mv_3^2 = \frac{kq^2}{2d}$$

解得

$$v_3 = \sqrt{\frac{2kq^2}{3md}}$$

故 C 错误，D 正确。

故选 D。

二、选择题：本题共 2 小题，每小题 5 分，共 10 分。在每小题给出的选项中，有多项符合题目要求。全部选对的得 5 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

9. 一倾角为 30° 足够大的光滑斜面固定于水平地面上，在斜面上建立 Oxy 直角坐标系，如图（1）所示。从 $t = 0$ 开始，将一可视为质点的物块从 0 点由静止释放，同时对物块施加沿 x 轴正方向的力 F_1 和 F_2 ，其大小与时间 t 的关系如图（2）所示。已知物块的质量为 1.2kg ，重力加速度 g 取 10m/s^2 ，不计空气阻力。则（ ）

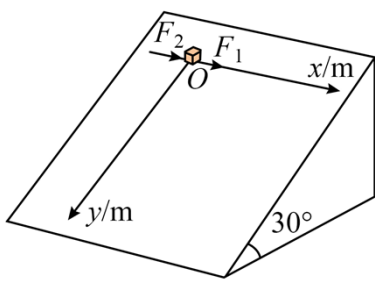


图 (1)

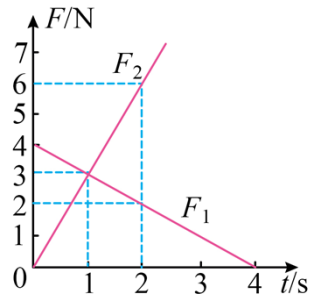


图 (2)

- A. 物块始终做匀变速曲线运动
- B. $t = 1\text{s}$ 时, 物块的 y 坐标值为 2.5m
- C. $t = 1\text{s}$ 时, 物块的加速度大小为 $5\sqrt{3}\text{m/s}^2$
- D. $t = 2\text{s}$ 时, 物块的速度大小为 $10\sqrt{2}\text{m/s}$

【答案】BD

【解析】

【详解】A. 根据图像可得 $F_1 = 4 - t$, $F_2 = 3t$, 故两力的合力为

$$F = 4 + 2t (\text{N})$$

物块在 y 轴方向受到的力不变为 $mg \sin 30^\circ$, x 轴方向的力在改变, 合力在改变, 故物块做的不是匀变速曲线运动, 故 A 错误;

B. 在 y 轴方向的加速度为

$$a_y = \frac{mg \sin 30^\circ}{m} = g \sin 30^\circ = 5\text{m/s}^2$$

故 $t = 1\text{s}$ 时, 物块的 y 坐标值为

$$y = \frac{1}{2} a_y t^2 = 2.5\text{m}$$

故 B 正确;

C. $t = 1\text{s}$ 时, $F = 6\text{N}$, 故此时加速度大小为

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{\left(\frac{6}{1.2}\right)^2 + 5^2} \text{m/s}^2 = 5\sqrt{2}\text{m/s}^2$$

故 C 错误;

D. 对 x 轴正方向, 对物块根据动量定理

$$Ft = mv_x - 0$$

由于 F 与时间 t 成线性关系故可得

$$\frac{(4+2 \times 0)+(4+2 \times 2)}{2} \times 2 = 1.2v_x$$

解得

$$v_x = 10\text{m/s}$$

此时 y 轴方向速度为

$$v_y = g \sin 30^\circ \cdot t = 5 \times 2\text{m/s} = 10\text{m/s}$$

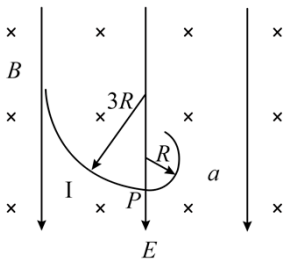
故此时物块的速度大小为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 10\sqrt{2}\text{m/s}$$

故 D 正确。

故选 BD。

10. 空间中存在竖直向下的匀强电场和垂直于纸面向里的匀强磁场，电场强度大小为 E ，磁感应强度大小为 B 。一质量为 m 的带电油滴 a ，在纸面内做半径为 R 的圆周运动，轨迹如图所示。当 a 运动到最低点 P 时，瞬间分成两个小油滴 I、II，二者带电量、质量均相同。I 在 P 点时与 a 的速度方向相同，并做半径为 $3R$ 的圆周运动，轨迹如图所示。II 的轨迹未画出。已知重力加速度大小为 g ，不计空气浮力与阻力以及 I、II 分开后的相互作用，则 ()



- A. 油滴 a 带负电，所带电量的大小为 $\frac{mg}{E}$
- B. 油滴 a 做圆周运动的速度大小为 $\frac{gBR}{E}$
- C. 小油滴 I 做圆周运动的速度大小为 $\frac{3gBR}{E}$ ，周期为 $\frac{4\pi E}{gB}$
- D. 小油滴 II 沿顺时针方向做圆周运动

【答案】ABD

【解析】

【详解】A. 油滴 a 做圆周运动，故重力与电场力平衡，可知带负电，有

$$mg = Eq$$

解得

$$q = \frac{mg}{E}$$

故 A 正确；

B. 根据洛伦兹力提供向心力

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

得

$$R = \frac{mv}{Bq}$$

解得油滴 a 做圆周运动的速度大小为

$$v = \frac{gBR}{E}$$

故 B 正确；

C. 设小油滴 I 的速度大小为 v_1 ，得

$$3R = \frac{\frac{m}{2}v_1}{B \frac{q}{2}}$$

解得

$$v_1 = \frac{3BqR}{m} = \frac{3gBR}{E}$$

周期为

$$T = \frac{2\pi \cdot 3R}{v_1} = \frac{2\pi E}{gB}$$

故 C 错误；

D. 带电油滴 a 分离前后动量守恒，设分离后小油滴 II 的速度为 v_2 ，取油滴 a 分离前瞬间的速度方向为正方向，得

$$mv = \frac{m}{2}v_1 + \frac{m}{2}v_2$$

解得

$$v_2 = -\frac{gBR}{E}$$

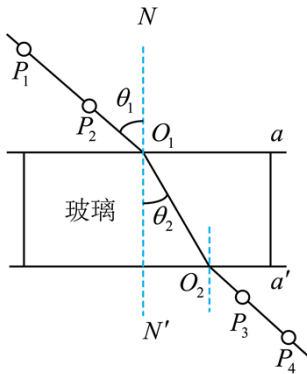
由于分离后的小液滴受到的电场力和重力仍然平衡，分离后小油滴 II 的速度方向与正方向相反，根据左手定则可知小油滴 II 沿顺时针方向做圆周运动，故 D 正确。

故选 ABD。

三、非选择题：共 5 题，共 58 分。

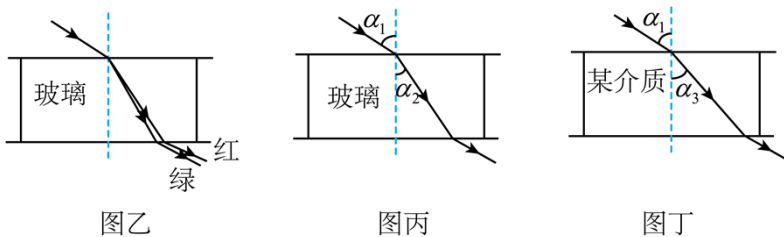
11. 某实验小组做“测量玻璃的折射率”及拓展探究实验。

(1) 为测量玻璃的折射率，按如图所示进行实验，以下表述正确的一项是_____。(填正确答案标号)



- A. 用笔在白纸上沿着玻璃砖上边和下边分别画出直线 a 和 a'
- B. 在玻璃砖一侧插上大头针 P_1 、 P_2 ，眼睛在另一侧透过玻璃砖看两个大头针，使 P_2 把 P_1 挡住，这样就可以确定入射光线和入射点 O_1 。在眼睛这一侧，插上大头针 P_3 ，使它把 P_1 、 P_2 都挡住，再插上大头针 P_4 ，使它把 P_1 、 P_2 、 P_3 都挡住，这样就可以确定出射光线和出射点 O_2
- C. 实验时入射角 θ_1 应尽量小一些，以减小实验误差

(2) 为探究介质折射率与光的频率的关系，分别用一束红光和一束绿光从同一点入射到空气与玻璃的分界面。保持相同的入射角，根据实验结果作出光路图，并标记红光和绿光，如图乙所示。此实验初步表明：对于同一种介质，折射率与光的频率有关。频率大，折射率_____ (填“大”或“小”)



(3) 为探究折射率与介质材料的关系，用同一束微光分别入射玻璃砖和某透明介质，如图丙、丁所示。保持相同的入射角 α_1 ，测得折射角分别为 α_2 、 α_3 ($\alpha_2 < \alpha_3$)，则玻璃和该介质的折射率大小关系为 $n_{\text{玻璃}}$ _____ $n_{\text{介质}}$ (填“>”或“<”)。此实验初步表明：对于一定频率的光，折射率与介质材料有关。

【答案】 (1) B (2) 大

(3) >

【解析】

【小问 1 详解】

A. 在白纸上画出一条直线 a 作为界面，把长方体玻璃砖放在白纸上，使它的一个长边与 a 对齐。用直尺或者三角板轻靠在玻璃砖的另一长边，按住直尺或三角板不动，将玻璃砖取下，画出直线 a' 代表玻璃砖的另一边，而不能用笔在白纸上沿着玻璃砖上边和下边分别画出直线 a 和 a' ，故 A 错误；

B. 在玻璃砖一侧插上大头针 P_1 、 P_2 ，眼睛在另一侧透过玻璃砖看两个大头针，使 P_2 把 P_1 挡住，这样就可以确定入射光线和入射点 O_1 。在眼睛这一侧，插上大头针 P_3 ，使它把 P_1 、 P_2 都挡住，再插上大头针 P_4 ，使它把 P_1 、 P_2 、 P_3 都挡住，这样就可以确定出射光线和出射点 O_2 ，故 B 正确；

C. 实验时入射角 θ_1 应尽量大一些，但也不能太大（接近 90° ），以减小实验误差，故 C 错误；

故选 B。

【小问 2 详解】

由图乙可知，入射角相同，绿光的折射角小于红光的折射角，根据光的折射定律

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

可知绿光的折射率大于红光的折射率，又因为绿光的频率大于红光的频率，所以频率大，折射率大。

【小问 3 详解】

根据折射定律可知，玻璃的折射率为

$$n_{\text{玻璃}} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}$$

该介质的折射率为

$$n_{\text{介质}} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_3}$$

其中

$$\alpha_2 < \alpha_3$$

所以

$$n_2 > n_3$$

12. 某实验小组要将电流表 G（铭牌标示： $I_g = 500\mu\text{A}$ ， $R_g = 800\Omega$ ）改装成量程为 1V 和 3V 的电压表，并用标准电压表对其进行校准。选用合适的电源、滑动变阻器、电阻箱、开关和标准电压表等实验器材，按图（1）所示连接电路，其中虚线框内为改装电路。

$$R_1 = 1200\Omega$$

联立解得

$$R_2 = 4000\Omega$$

【小问 3 详解】

当开关 S_2 接 a 时，根据欧姆定律

$$U = I(R_g + R_1 + R_2)$$

可得电流表 G 的内阻可表示为

$$R_g = \frac{U}{I} - R_1 - R_2$$

【小问 4 详解】

校准电表时，发现改装后电压表的读数始终比标准电压表的读数偏大，可知电流表 G 内阻的真实值小于铭牌标示值，根据闭合电路的欧姆定律可以增大两电阻箱的阻值。

故选 A。

【小问 5 详解】

根据闭合电路欧姆定律

$$U_V = I_A (R_g + R_1) = 430 \times 10^{-6} \times (800 + 1200) \text{V} = 0.86 \text{V}$$

13. 某人驾驶汽车，从北京到哈尔滨，在哈尔滨发现汽车的某个轮胎内气体的压强有所下降（假设轮胎内气体的体积不变，且没有漏气，可视为理想气体）。于是在哈尔滨给该轮胎充入压强与大气压相同的空气，使其内部气体的压强恢复到出发时的压强（假设充气过程中，轮胎内气体的温度与环境相同，且保持不变）。已知该轮胎内气体的体积 $V_0 = 30\text{L}$ ，从北京出发时，该轮胎气体的温度 $t_1 = -3^\circ\text{C}$ ，压强 $p_1 = 2.7 \times 10^5 \text{Pa}$ 。哈尔滨的环境温度 $t_2 = -23^\circ\text{C}$ ，大气压强 p_0 取 $1.0 \times 10^5 \text{Pa}$ 。求：

(1) 在哈尔滨时，充气前该轮胎气体压强的大小。

(2) 充进该轮胎的空气体积。

【答案】(1) $2.5 \times 10^5 \text{Pa}$ ；(2) 6L

【解析】

【详解】(1) 由查理定律可得

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

其中

$$p_1 = 2.7 \times 10^5 \text{ Pa}, T_1 = 273 - 3(\text{K}) = 270\text{K}, T_2 = 273 - 23(\text{K}) = 250\text{K}$$

代入数据解得，在哈尔滨时，充气前该轮胎气体压强的大小为

$$p_2 = 2.5 \times 10^5 \text{ Pa}$$

(2) 由玻意耳定律

$$p_2 V_0 + p_0 V = p_1 V_0$$

代入数据解得，充进该轮胎的空气体积为

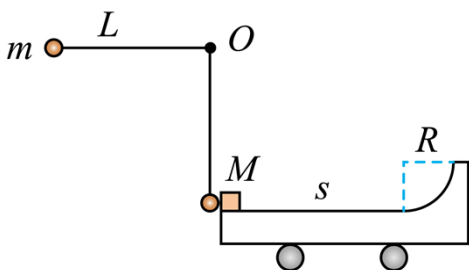
$$V = 6L$$

14. 如图所示，一实验小车静止在光滑水平面上，其上表面有粗糙水平轨道与光滑四分之一圆弧轨道。圆弧轨道与水平轨道相切于圆弧轨道最低点，一物块静止于小车最左端，一小球用不可伸长的轻质细线悬挂于 O 点正下方，并轻靠在物块右侧。现将细线拉直到水平位置时，静止释放小球，小球运动到最低点时与物块发生弹性碰撞。碰撞后，物块沿着的轨道运动，已知细线长 $L = 1.25\text{m}$ 。小球质量 $m = 0.20\text{kg}$ 。物块、小车质量均为 $M = 0.30\text{kg}$ 。小车上水平轨道长 $s = 1.0\text{m}$ 。圆弧轨道半径 $R = 0.15\text{m}$ 。小球、物块均可视为质点。不计空气阻力，重力加速度 g 取 10m/s^2 。

(1) 求小球运动到最低点与物块碰撞前所受拉力的大小；

(2) 求小球与物块碰撞后的瞬间，物块速度的大小；

(3) 为使物块能进入圆弧轨道，且在上升阶段不脱离小车，求物块与水平轨道间的动摩擦因数 μ 的取值范围。



【答案】 (1) 6N; (2) 4m/s; (3) $0.25 \leq \mu < 0.4$

【解析】

【详解】 (1) 对小球摆动到最低点的过程中，由动能定理

$$mgL = \frac{1}{2}mv_0^2 - 0$$

解得

$$v_0 = 5\text{m/s}$$

在最低点，对小球由牛顿第二定律

$$F_T - mg = m \frac{v_0^2}{L}$$

解得，小球运动到最低点与物块碰撞前所受拉力的大小为

$$F_T = 6\text{N}$$

(2) 小球与物块碰撞过程中，由动量守恒定律和机械能守恒定律

$$mv_0 = mv_1 + Mv_2$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2$$

解得小球与物块碰撞后的瞬间，物块速度的大小为

$$v_2 = \frac{2m}{m+M}v_0 = 4\text{m/s}$$

(3) 若物块恰好运动到圆弧轨道的最低点，此时两者共速，则对物块与小车整体由水平方向动量守恒

$$Mv_2 = 2Mv_3$$

由能量守恒定律

$$\frac{1}{2}Mv_2^2 = \frac{1}{2} \times 2Mv_3^2 + \mu_1 Mgs$$

解得

$$\mu_1 = 0.4$$

若物块恰好运动到与圆弧圆心等高的位置，此时两者共速，则对物块与小车整体由水平方向动量守恒

$$Mv_2 = 2Mv_4$$

由能量守恒定律

$$\frac{1}{2}Mv_2^2 = \frac{1}{2} \times 2Mv_4^2 + \mu_2 Mgs + MgR$$

解得

$$\mu_2 = 0.25$$

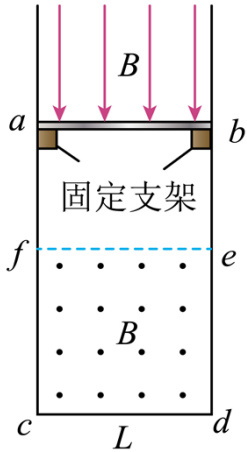
综上所述物块与水平轨道间的动摩擦因数 μ 的取值范围为

$$0.25 \leq \mu < 0.4$$

15. 如图所示，一“U”型金属导轨固定在竖直平面内，一电阻不计，质量为 m 的金属棒 ab 垂直于导轨，并静置于绝缘固定支架上。边长为 L 的正方形 $cdef$ 区域内，存在垂直于纸面向外的匀强磁场。支架上方的导轨间，存在竖直向下的匀强磁场。两磁场的磁感应强度大小 B 随时间的变化关系均为 $B = kt$ (SI)， k 为

常数 ($k > 0$)。支架上方的导轨足够长，两边导轨单位长度的电阻均为 r ，下方导轨的总电阻为 R 。 $t = 0$ 时，对 ab 施加竖直向上的拉力，恰使其向上做加速度大小为 a 的匀加速直线运动，整个运动过程中 ab 与两边导轨接触良好。已知 ab 与导轨间动摩擦因数为 μ ，重力加速度大小为 g 。不计空气阻力，两磁场互不影响。

- (1) 求通过面积 S_{cdef} 的磁通量大小随时间 t 变化的关系式，以及感应电动势的大小，并写出 ab 中电流的方向；
- (2) 求 ab 所受安培力的大小随时间 t 变化的关系式；
- (3) 求经过多长时间，对 ab 所施加的拉力达到最大值，并求此最大值。



【答案】(1) $kL^2 \cdot t$, kL^2 , 从 a 流向 b ; (2) $F_{\text{安}} = \frac{k^2 L^3 t}{R + art^2}$; (3) $\frac{\mu k^2 L^3}{2\sqrt{Rar}} + m(g + a)$

【解析】

【详解】(1) 通过面积 S_{cdef} 的磁通量大小随时间 t 变化的关系式为

$$\Phi = BS = kL^2 t$$

根据法拉第电磁感应定律得

$$E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t} = kL^2$$

由楞次定律可知 ab 中的电流从 a 流向 b 。

(2) 根据左手定则可知 ab 受到的安培力方向垂直导轨面向里，大小为

$$F_{\text{安}} = BIL$$

其中

$$B = kt$$

设金属棒向上运动的位移为 x ，则根据运动学公式

$$x = \frac{1}{2} at^2$$

所以导轨上方的电阻为

$$R' = 2xr$$

由闭合电路欧姆定律得

$$I = \frac{E}{R + 2xr}$$

联立得 ab 所受安培力的大小随时间 t 变化的关系式为

$$F_{\text{安}} = \frac{k^2 L^3 t}{R + art^2}$$

(3) 由题知 $t = 0$ 时, 对 ab 施加竖直向上的拉力, 恰使其向上做加速度大小为 a 的匀加速直线运动, 则对 ab 受力分析由牛顿第二定律

$$F - mg - \mu F_{\text{安}} = ma$$

其中

$$F_{\text{安}} = \frac{k^2 L^3 t}{R + art^2}$$

联立可得

$$F = \frac{\mu k^2 L^3 t}{R + art^2} + m(g + a)$$

整理有

$$F = \frac{\mu k^2 L^3}{\frac{R}{t} + art} + m(g + a)$$

根据均值不等式可知, 当 $\frac{R}{t} = art$ 时, F 有最大值, 故解得

$$t = \sqrt{\frac{R}{ar}}$$

F 的最大值为

$$F_m = \frac{\mu k^2 L^3}{2\sqrt{Rar}} + m(g + a)$$