

衡水名校联盟 2021 年高考押题预测卷

物理·解析

一、选择题:本题共 6 小题,每小题 4 分,共 24 分,每小题给出的四个选项中,只有一项是符合题目要求的。

1. 原子从高能级向低能级跃迁产生光子,将频率相同的光子汇聚可形成激光。下列说法正确的是 ()

- A. 频率相同的光子能量相同
- B. 原子跃迁发射的光子频率连续
- C. 原子跃迁只产生单一频率的光子
- D. 激光照射金属板不可能发生光电效应

【答案】A

【解析】A. 根据 $\varepsilon = h\nu$ 可知,频率相同的光子能量相同,故 A 正确;

B. 原子从一个定态跃迁到另一个定态时,原子辐射一定频率的光子,光子的能量由这两种定态的能量差决定。电子轨道是量子化,能量是量子化的,故而频率是不连续的。这也就成功解释了氢原子光谱不连续的特点——频率不连续特点,故 B 错误;

C. 原子在不同的轨道之间跃迁产生不同频率的光子,故 C 错误;

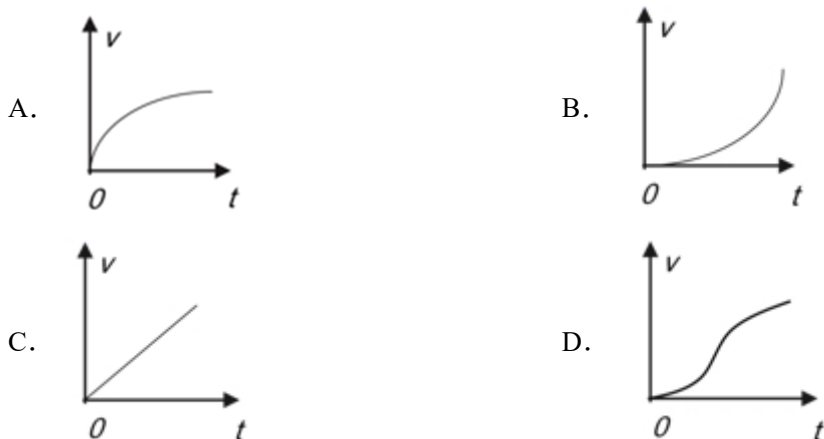
D. 根据

$$E_k = h\nu - W_0$$

可知,激光光子的能量大于金属板的逸出功时,照射金属板即可发生光电效应,故 D 错误。

故选 A。

2. 物体由静止开始沿斜面下滑,阻力大小与速度成正比,能反映此运动过程的 $v-t$ 图是 ()



【答案】A

【解析】由于阻力大小与速度成正比,则

$$f = kv$$

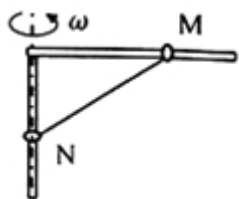
由牛顿第二定律得

$$mg \sin \theta - kv = ma$$

由此可知，当速度在增加的时候，加速度在减小，物体在做加速度减小的加速运动，直到加速度减到 0 后，物体做匀速直线运动。故 BCD 错，A 对。

故选 A。

3. 如图所示，金属环 M、N 用不可伸长的细线连接，分别套在水平粗糙细杆和竖直光滑细杆上，当整个装置以竖直杆为轴以不同大小的角速度匀速转动时，两金属环始终相对杆不动，下列判断正确的是（ ）



- A. 转动的角速度越大，细线中的拉力越大
- B. 转动的角速度越大，环 N 与竖直杆之间的弹力越大
- C. 转动的角速度不同，环 M 与水平杆之间的弹力相等
- D. 转动的角速度不同，环 M 与水平杆之间的摩擦力大小不可能相等

【答案】C

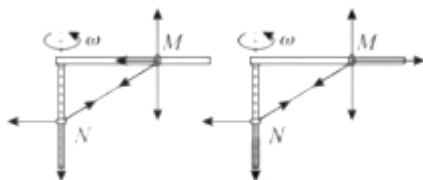
【解析】AB. 设细线与竖直方向的夹角为 θ ，对 N 受力析，受到竖直向下的重力 G_N ，绳子的拉力 T ，杆给的水平支持力 N_1 ，因为两环相对杆的位置不变，所以对 N 有

$$T \cos \theta = G_N$$

$$N_1 = T \sin \theta$$

因为重力恒定，角度恒定，所以细线的拉力不变，环 N 与杆之间的弹力恒定，AB 错误；

CD. 受力分力如图



对 M 有

$$N_2 = G_M + T \cos \theta = G_M + G_N$$

所以转动的角速度不同，环 M 与水平杆之间的弹力相等；若以较小角速度转动时，摩擦力方向右，即

$$T \sin \theta - f = m\omega^2 r \Rightarrow f = T \sin \theta - m\omega^2 r$$

随着角速度的增大，摩擦力方向可能变成向左，即

$$T \sin \theta + f' = m\omega'^2 r \Rightarrow f' = m\omega'^2 r - T \sin \theta$$

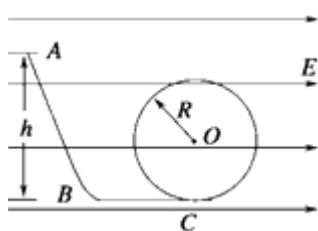
故可能存在

$$m\omega'^2 r - T \sin \theta = T \sin \theta - m\omega^2 r$$

摩擦力向左和向右时相等的情况，C 正确，D 错误。

故选 C。

4. 如图所示的装置是在竖直平面内放置光滑的绝缘轨道，处于水平向右的匀强电场中，一带负电荷的小球从高 h 的 A 处静止开始下滑，沿轨道 ABC 运动后进入圆环内作圆周运动。已知小球所受到电场力是其重力的 $\frac{3}{4}$ ，圆环半径为 R ，斜面倾角为 $\theta=53^\circ$ ， $S_{BC}=2R$ 。若使小球在圆环内恰好能作完整的圆周运动，高度 h 的为（ ）



- A. $2R$ B. $4R$ C. $10R$ D. $17R$

【答案】C

【解析】小球所受的重力和电场力都为恒力，故两力可等效为一个力 F ，可知 $F = \frac{5}{4}mg$ ，方向与竖直方向夹角为 37° ，偏左下；做完整的圆周运动的临界条件是恰能通过 D 点，若球恰好能通过 D 点，则达到 D 点时小球与圆环间的弹力恰好为零，由圆周运动知识得：

$$\frac{5}{4}mg = m \frac{v_D^2}{R}$$

选择 A 点作为初态， D 点为末态，由动能定理有：

$$mg(h - R - R\cos 37^\circ) - \frac{3}{4}mg(h\tan 37^\circ + 2R + R\sin 37^\circ) = \frac{1}{2}mv_D^2$$

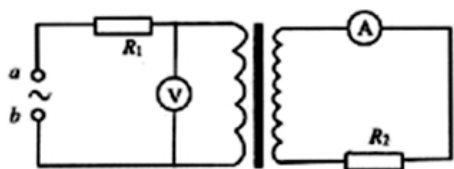
代入数据，解得：

$$h = 10R$$

故选 C。

5. 如图所示的电路由一小型发电机供电，该发电机内的矩形线圈面积为 $S=0.2\text{m}^2$ 、匝数为 $N=100$ 匝、电阻为

$r=2.5\Omega$ ，线圈所处的空间是磁感应强度为 $B = \frac{\sqrt{2}}{2\pi}\text{T}$ 的匀强磁场，线圈每秒钟绕垂直于磁场的轴匀速转动 10 圈。已知与变压器原、副线圈相连的定值电阻阻值分别为 $R_1=5\Omega$ ， $R_2=20\Omega$ ，变压器为理想变压器，两电表均为理想电表， R_1 和 R_2 消耗的功率相等。则（ ）



- A. 通过原线圈的电流方向每秒钟改变 10 次 B. 原、副线圈的匝数之比为 2:1
C. 电压表的示数为 160V D. 发电机输出的总功率为 2560W

【答案】D

【解析】A. 正弦式交流电每个周期电流的方向改变两次，由题知，线圈每秒钟绕垂直于磁场的轴匀速转动 10 圈，故电流方向每秒钟改变 20 次，A 错误；

B. 由题可知

$$I_1^2 R_1 = I_2^2 R_2$$

又由于

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

整理得

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{2}$$

B 错误；

C. 线圈每秒钟绕垂直于磁场的轴匀速转动 10 圈，故频率为 $f=10\text{Hz}$ ，则角速度为

$$\omega = 2\pi f = 20\pi \text{ rad/s}$$

发电机的电动势

$$E = \frac{1}{\sqrt{2}} NBS\omega = \frac{1}{\sqrt{2}} \times 100 \times \frac{\sqrt{2}}{2\pi} \times 0.2 \times 20\pi \text{ V} = 200 \text{ V}$$

由于

$$U_1 = E - I_1(r + R_1)$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{2}$$

$$U_2 = I_2 R_2$$

整理得

$$U_1 = 80 \text{ V}, \quad I_1 = 16 \text{ A}, \quad I_2 = 8 \text{ A}$$

C 错误；

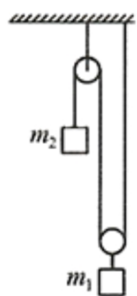
D. 电源输出的功率

$$P = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = (16^2 \times 5 + 8^2 \times 20) \text{W} = 2560 \text{W}$$

D 正确。

故选 D。

6. 如图所示，有两个物块，质量分别为 m_1 、 m_2 ， m_2 是 m_1 的两倍，用轻绳将两个物块连接在滑轮组上，滑轮的质量不计，轻绳与滑轮的摩擦也不计，现将两滑块从静止释放， m_1 上升一小段距离 h 高度，在这一过程中，下列说法正确的是（ ）



A. m_1 和 m_2 重力势能之和不变

B. m_1 上升到 h 位置时的速度为 $\sqrt{\frac{2gh}{3}}$

C. 轻绳的拉力大小为 $\frac{1}{3}m_1g$

D. 轻绳对 m_1 和 m_2 的功率大小不相等

【答案】B

【解析】A. 根据能量守恒可知， m_2 减小的重力势能全部转化为 m_1 的重力势能和两物体的动能，选项 A 错误；

B. 根据动滑轮的特点可知， m_2 的速度为 m_1 速度的 2 倍，根据机械能守恒定律可得

$$m_2g \cdot 2h - m_1gh = \frac{1}{2}m_2v_2^2 + \frac{1}{2}m_1v_1^2$$

解得

$$v_1 = \sqrt{\frac{2gh}{3}}$$

选项 B 正确；

C. 根据动滑轮的特点可知， m_1 的加速度为 m_2 的加速度的一半，根据牛顿第二定律可知

$$2F - m_1g = m_1a$$

$$m_2g - F = m_2a'$$

$$a' = 2a$$

联立解得

$$F = \frac{2m_1g}{3}$$

选项 C 错误；

D. 绳子的拉力相同，故轻绳对 m_2 做功的功率

$$P_2 = Fv_2$$

轻绳对 m_1 做功的功率

$$P_1 = 2F \cdot v_1$$

由于 $v_2 = 2v_1$ ，故轻绳对 m_2 做功的功率与轻绳对 m_1 做功的功率大小相等，选项 D 错误。

故选 B。

二、选择题:本题共 4 小题，每小题 5 分，共 20 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 5 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

7. 2012 年我国的北斗系统开始为亚太地区提供定位、导航和授时服务，2020 年该系统将实现在全球范围内提供服务。现北斗系统中有一颗地球同步卫星 A，离地面的高度为 $5.6R$ ，某时刻与离地面高度为 $2.3R$ 的地球空间站 B 相隔最近，则下列说法正确的是（已知地球半径为 R ，地球自转周期为 24h；卫星 A 和空间站 B 的运行轨道在同一平面内且运行方向相同。）（ ）

A. 卫星 A 和空间站 B 所在处的加速度大小之比 $a_A : a_B = 1 : 4$

B. 卫星 A 和空间站 B 运行的线速度大小之比 $v_A : v_B = 1 : \sqrt{2}$

C. 再经过 24 小时，卫星 A 和空间站 B 又相隔最近

D. 卫星 A 想实现和空间站 B 对接，只需对卫星 A 向后喷气加速即可

【答案】AB

【解析】 G 是万有引力常量， M 表示地球质量， m 表示卫星的质量，根据万有引力提供向心力，则

$$F_{\text{向}} = G \frac{Mm}{r^2} = ma = m \frac{v^2}{r} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

可得

$$a = \frac{GM}{r^2}, \quad v = \sqrt{\frac{GM}{r}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$$

由题可知

$$r_A = 5.6R + R = 6.6R, \quad r_B = 2.3R + R = 3.3R$$

A. 根据以上分析， $a = \frac{GM}{r^2}$ ，则卫星 A 和空间站 B 所在处的加速度大小之比

$$\frac{a_A}{a_B} = \frac{r_B^2}{r_A^2} = \frac{(3.3R)^2}{(6.6R)^2} = \frac{1}{4}$$

故 A 正确；

B. 根据以上分析， $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ，卫星 A 和空间站 B 运行的线速度大小之比

$$\frac{v_A}{v_B} = \sqrt{\frac{r_B}{r_A}} = \sqrt{\frac{3.3R}{6.6R}} = \sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

故 B 正确；

C. 根据以上分析， $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ ，卫星 A 和空间站 B 运行的周期大小之比

$$\frac{T_A}{T_B} = \sqrt{\left(\frac{r_A}{r_B}\right)^3} = \sqrt{\left(\frac{6.6R}{3.3R}\right)^3} = \sqrt{\left(\frac{2}{1}\right)^3} = \frac{2\sqrt{2}}{1}$$

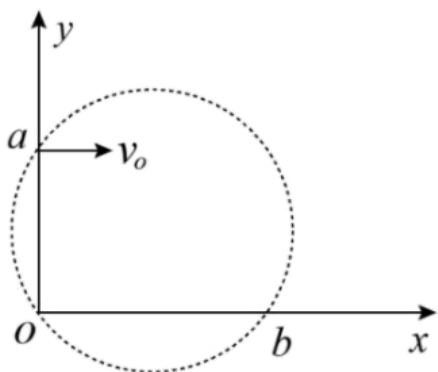
地球自转周期为 24h，地球同步卫星 A 的周期 $T=24h$ ，所以空间站 B 的周期 $T_B = 6\sqrt{2}h$ ，所以再经过 24h，卫星 A 和空间站 B 不会相隔最近，故 C 错误；

D. 同步卫星 A 在高轨道，空间站 B 在低轨道，卫星 A 想实现和空间站 B 对接，只需卫星 A 制动减速，从高轨道变到低轨道。故 D 错误。

故选 AB。

8. 如图所示，在平面直角坐标系中有一个垂直纸面向里的圆形匀强磁场，其边界过原点 O 和 y 轴上的点

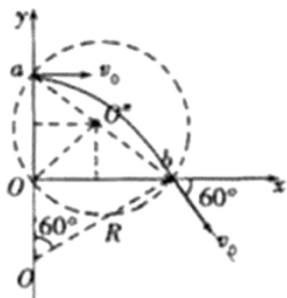
$a(0, L)$ 。一质量为 m 、电荷量为 e 的电子从 a 点以初速度 v_0 平行于 x 轴正方向射入磁场，并从 x 轴上的 b 点射出磁场，此时速度的方向与 x 轴正方向的夹角为 60° ，下列说法正确的是（ ）



- A. 电子在磁场中运动的时间为 $\frac{2\pi L}{3v_0}$
- B. 电子在磁场中运动的时间为 $\frac{\pi L}{3v_0}$
- C. 磁场区域的圆心坐标为 $\left(\frac{\sqrt{3}}{2}L, \frac{L}{2}\right)$
- D. 电子在磁场中做圆周运动的圆心坐标为 $\left(0, -\frac{L}{2}\right)$

【答案】AC

【解析】AB. 电子的轨迹半径为 R ，如图所示



有几何知识

$$R \sin 30^\circ = R - L$$

可得

$$R = 2L$$

由图可看出，电子在磁场中运动的时间

$$t = \frac{T}{6}$$

$$T = \frac{2\pi R}{v_0}$$

可得

$$t = \frac{2\pi L}{3v_0}$$

故 A 正确，B 错误；

CD. 设磁场区域的圆心坐标为 (x, y) ，其中

$$x = \frac{1}{2}R \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}L$$

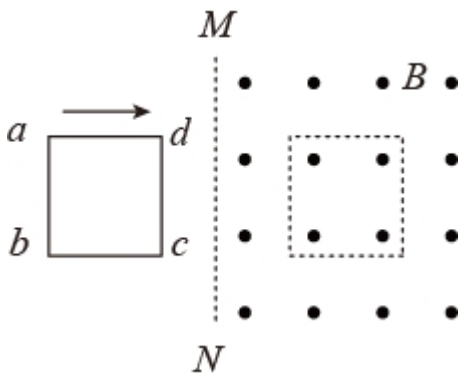
$$y = \frac{L}{2}$$

所以磁场圆心坐标为 $(\frac{\sqrt{3}}{2}L, \frac{L}{2})$ 。

故 C 正确，D 错误。

故选 AC。

9. 如图，虚线边界 MN 右侧充满垂直纸面向外的匀强磁场，磁感应强度大小为 B ，纸面内有一个边长为 L ，粗细均匀的正方形导线框 $abcd$ ， cd 边与 MN 平行。导线框在外力作用下，先后以 v 和 $2v$ 的速度垂直 MN 两次匀速进入磁场。运动过程中线框平面始终与磁场垂直，则（ ）



- A. 进入磁场过程中，导线框中感应电流方向为逆时针方向
- B. 导线框以速度 v 进入磁场时， ab 两点间电势差 $U_{ab} = \frac{1}{4}BLv$
- C. 导线框两次进入磁场过程中产生的热量之比 2:1
- D. 导线框两次进入磁场过程中通过导线框某横截面的电量之比 1:1

【答案】BD

【解析】A. 由楞次定律可知，进入磁场过程中，导线框中感应电流方向为顺时针方向，选项 A 错误；

B. 导线框以速度 v 进入磁场时，电动势

$$E = BLv$$

则 ab 两点间电势差为

$$U_{ab} = \frac{1}{4}BLv$$

选项 B 正确；

C. 导线框两次进入磁场过程中产生的热量为

$$Q = \frac{E^2}{R}t = \frac{B^2L^2v^2}{R} \times \frac{L}{v} = \frac{B^2L^3v}{R} \propto v$$

则产生的热量之比为 1:2，选项 C 错误；

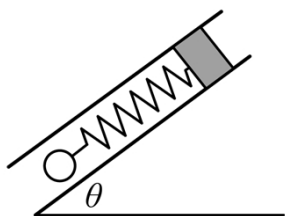
D. 导线框两次进入磁场过程中，通过导线框某横截面的电量

$$q = \frac{\Delta\varphi}{R}$$

则通过导线框某横截面的电量之比 1:1，选项 D 正确。

故选 BD。

10. 一根足够长的圆管倾斜固定在地面上，与水平面倾角 $\theta = 30^\circ$ ，管内有一劲度系数为 $k = 10\text{N/m}$ 轻质弹簧，弹簧上下端分别连有质量可以忽略的活塞和质量为 $m = 0.2\text{kg}$ 的光滑小球（小球直径略小于管径），已知活塞与管壁间的最大静摩擦力 $f = 1.5\text{N}$ ，弹簧从自然长度开始伸长 x 的过程中平均弹力为 $F = \frac{1}{2}kx$ ，滑动摩擦力等于最大静摩擦力， $g = 10\text{m/s}^2$ 。当弹簧处于自然长度时由静止释放小球，在小球第一次运动到最低点的过程中，下列说法不正确的是（ ）



- A. 当小球运动到最低点时，弹簧的弹性势能为 0.1125J
- B. 小球先做加速度减小的加速运动，再做加速度增大的减速运动直到静止
- C. 弹簧的最大伸长量为 0.14m
- D. 活塞克服摩擦力做功大小为 0.0375J

【答案】BCD

【解析】小球运动过程分析：小球开始向下运动的过程中弹簧逐渐变长，弹簧弹力变大，开始时重力沿管的分力大于弹簧的弹力，小球沿管向下做加速运动，加速度随弹簧长度增大而变小，当弹簧的弹力大于重力沿管的分力时，小球开始做减速运动，加速度随弹簧长度的增大而变大，小球做加速度增大的减速运动，当弹簧的弹力等于活塞受到的摩擦力时，活塞开始运动，弹簧不再增长。

AC. 当小球运动到最低点时，弹簧最大伸长量为

$$f = kx$$

解得

$$x = \frac{f}{k} = \frac{1.5}{10} \text{m} = 0.15 \text{m}$$

此时，弹簧的弹性势能为

$$E_p = Fx = \frac{1}{2} kx \cdot x = \frac{1}{2} \times 10 \times 0.15 \times 0.15 \text{J} = 0.1125 \text{J}$$

故 A 正确，不符合题意，C 错误，符合题意；

B. 由小球运动过程可知，小球先做加速度减小的加速运动，再做加速度增大的减速运动，最后直到活塞开始运动，小球、弹簧、活塞不会静止，故 B 错误，符合题意；

D. 小球沿管下滑 0.15m 时，有

$$mgx \sin \theta - E_p = \frac{1}{2} mv^2$$

小球继续下降过程中，弹簧长度不变，所以重力和摩擦力做功，有

$$mg\Delta x \sin \theta - f\Delta x = 0 - \frac{1}{2} mv^2$$

活塞克服摩擦力做功大小为

$$W_f = f\Delta x$$

联立方程解得

$$W_f = 0.1125 \text{J}$$

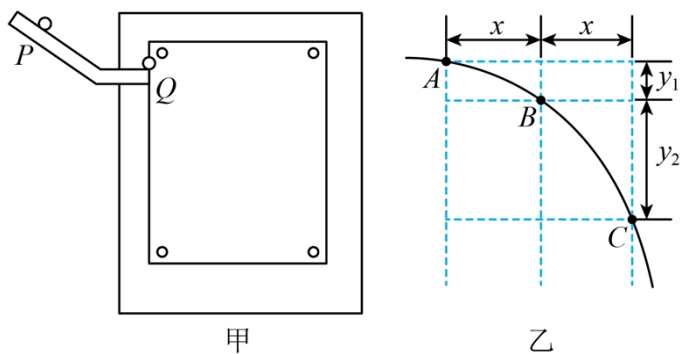
故 D 错误，符合题意。

故选 BCD。

三、非选择题:共 56 分。第 11~14 题为必考题，每个试题考生都必须作答第 15~16 题为选考题，考生根据要求作答。

(一) 必考题:共 43 分。

11. 某同学用图甲所示装置做“研究平抛运动”的实验，根据实验结果在坐标纸上描出了小钢球水平抛出后的后半部分运动轨迹如图乙所示，已知重力加速度为 g。



(1)下列说法正确的是_____

- A. 每次实验小钢球必须从同一位置释放 B. 实验中所用的斜槽末端的切线必须调到水平
C. 该实验必须使用重垂线 D. 只释放一次小钢球也可以完成该实验

(2)在轨迹上取 A 、 B 、 C 三点, AB 和 BC 的水平间距相等且均为 x , 测得 AB 和 BC 的竖直间距分别是 y_1 和 y_2 ,

则 $\frac{y_1}{y_2}$ _____ $\frac{1}{3}$ (选填“>”、“=”或者“<”)。

(3)小钢球平抛运动的初速度 $v_0 =$ _____ m/s 。(用 x 、 y_1 、 y_2 、 g 表示)

【答案】ABC $>$ $x\sqrt{\frac{g}{y_2 - y_1}}$

【解析】(1) [1]A.每次实验小钢球必须从同一位置释放, 以保证平抛的初速度相同, 选项 A 正确;

B.实验中所用的斜槽末端的切线必须调到水平, 以保证小球水平抛出, 选项 B 正确;

C.该实验必须使用重垂线来确定竖直坐标轴, 选项 C 正确;

D.本实验中小球要多次释放来确定平抛运动的轨迹中的点, 然后连成平滑曲线, 选项 D 错误。

故选 ABC。

(2)[2]如果 A 点是抛出点, 则在竖直方向上为初速度为零的匀加速直线运动, 则 y_1 和 y_2 的竖直间距之比为 1: 3; 但

由于 A 点不是抛出点, 故在 A 点已经具有竖直分速度, 故竖直间距之比 $\frac{y_1}{y_2}$ 大于 1: 3;

(3)[3]根据

$$\Delta y = y_2 - y_1 = gT^2$$

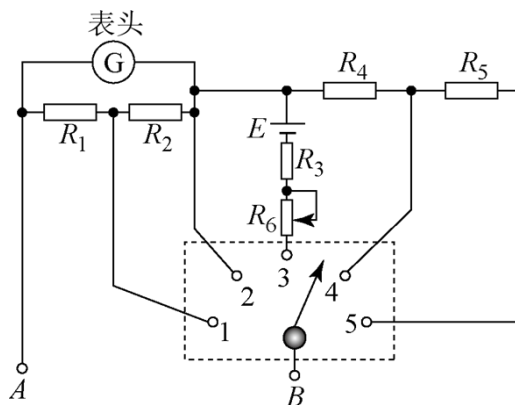
$$x = v_0 T$$

解得

$$v_0 = x\sqrt{\frac{g}{y_2 - y_1}}$$

12. 如图为某同学组装完成的简易多用电表的电路图。图中 E 是电池, R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 和 R_5 是固定电阻, R_6 是可

变电阻。虚线方框内为换挡开关，表头 G 的量程为 $0\sim 6\text{mA}$ ，内阻 $r=100\Omega$ ，把它改装成如图所示的一个多量程多用电表，该多用电表有 5 个挡位，5 个挡位为：直流电压 5V 挡和 10V 挡，直流电流 10mA 挡和 100mA 挡，欧姆 $\times 100\Omega$ 挡。请完成下列问题。



(1)若旋转选择开关 S 旋到位置 4、5 时，电表用来测量_____； S 旋到位置_____时，电表可测量直流电流，且量程较大；

(2)已知图中的电源 E 的电动势为 6V ，当把开关 S 接到位置 3，短接 A 、 B 进行欧姆调零后，此欧姆挡内阻为_____ Ω 。根据题给条件可得 $R_5=$ _____ Ω 。

(3)若该欧姆表使用一段时间后，电池电动势变小，内阻变大，但此表仍能调零，按正确使用方法再测上述电阻 R_x ，其测量结果与原结果相比将_____ (填“偏大”、“偏小”或“不变”)。

【答案】直流电压 1 600 Ω 500 Ω 偏大

【解析】(1)[1]根据多用电表的原理可知，当开关 S 旋到位置 4、5 时是直流电压档；

[2]当开关 S 旋到位置 1、2 时是直流电流档，且位置 1 的量程较大；

(2)[3]当把开关 S 接到位置 3 时是欧姆档，此时通过电路的最大电流为

$$I_{2m} = 10\text{mA}$$

由

$$r_{\text{内}} = \frac{E}{I_{2m}} = 600\Omega$$

[4] B 端与“5”相连时，多用电表为直流电压 10V 档， B 端与“4”相连时，多用电表为直流电压 5V 档；则有

$$R_5 = \frac{(U_5 - U_4)}{I_{2m}} = 500\Omega$$

(3)[5]当电池电动势变小，内阻变大时，欧姆表重新调零，由于满偏电流 I_g 不变，由公式

$$I_g = \frac{E}{r_{\text{内}}}$$

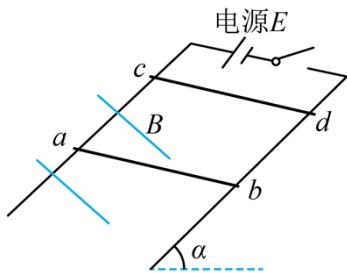
知欧姆表内阻得调小，待测电阻的阻值是通过电流表的示数体现，由公式

$$I = \frac{E}{R_x + r_{\text{内}}} = \frac{I_g r_{\text{内}}}{R_x + r_{\text{内}}} = \frac{I_g}{1 + \frac{R_x}{r_{\text{内}}}}$$

可知当 $r_{\text{内}}$ 变小时，接入同样的被测电阻，通过的电流变小，欧姆表示数变大。

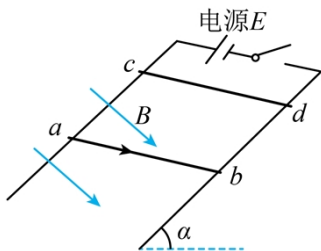
13. 如图，两根足够长的光滑平行金属导轨间距为 L ，导轨平面与水平面成 α 角，电阻忽略，空间有一足够大、与导轨所在平面垂直的匀强磁场，导轨通过电键连接一电动势为 E 内阻不计的电源，质量均为 m 电阻均为 R 的导体棒 ab 、 cd 垂直于导轨且与导轨接触良好，其中 ab 可以自由滑动， cd 固定。

- (1) 闭合电键后释放 ab ，它恰能静止在导轨上，求匀强磁场的磁感应强度的大小和方向（方向请标在磁感线上）；
- (2) 断开电键， ab 开始运动，求 ab 运动的最大加速度和最大速度；
- (3) 在 ab 上标出运动过程中感应电流方向，在 ab 棒开始运动以后，简要分析回路中的能量转化情况。



【答案】(1) $B = \frac{mgR \sin \alpha}{LE}$ ，垂直导轨向下；(2) $g \sin \alpha$ ， $\frac{2E^2}{mgR \sin \alpha}$ ；(3) 见解析

【解析】(1) 根据左手定则可知，磁场方向垂直导轨向下，如图



根据闭合电路欧姆定律有

$$I_{ab} = \frac{E}{R}$$

对 ab ，磁场力与重力分力平衡

$$F_A = BI_{ab}L = mg \sin \alpha$$

解得

$$B = \frac{mgR \sin \alpha}{LE}$$

(2)刚释放时，加速度最大，速度为零，故安培力为零，根据牛顿第二定律有

$$mg \sin \alpha = ma$$

解得

$$a = g \sin \alpha$$

当速度最大时，安培力等于重力分力，根据法拉第电磁感应定律有

$$E = BLv_m$$

根据闭合电路欧姆定律有

$$I = \frac{BLv_m}{2R}$$

根据平衡条件有

$$F_A = BIL = \frac{B^2 L^2 v_m}{2R} = mg \sin \alpha$$

解得

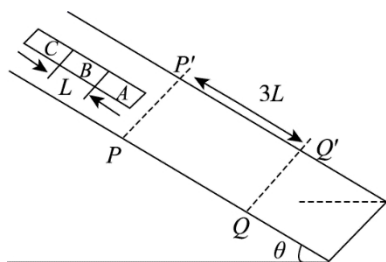
$$v_m = \frac{2E^2}{mgR \sin \alpha}$$

(3)电流方向从 a 到 b 。

能量转化：开始时，金属棒的重力势能转化为动能和两金属棒的电能最后转化为内能；当 ab 速度达到最大后，金属棒的机械能全部转化为内能；

14. 如图所示，倾角为 θ 的斜面上 PP' 、 QQ' 之间粗糙，且长为 $3L$ ，其余部分都光滑。形状相同、质量分布均匀的三块薄木板 A、B、C 沿斜面排列在一起，但不粘接。每块薄木板长均为 L ，质量均为 m ，与斜面 PP' 、 QQ' 间的动摩擦因数均为 $2 \tan \theta$ 。将它们从 PP' 上方某处由静止释放，三块薄木板均能通过 QQ' ，重力加速度为 g 。求：

- (1) 薄木板 A 在 PP' 、 QQ' 间运动速度最大时的位置；
- (2) 薄木板 A 上端到达 PP' 时受到木板 B 弹力的大小；
- (3) 释放木板时，薄木板 A 下端离 PP' 距离满足的条件。



【答案】(1)滑块 A 的下端离 P 处 $1.5L$ 处时的速度最大；(2) $\frac{4}{3}mg\sin\theta$ ；(3)A 下端离 PP' 距离 $x > 2.25L$

【解析】(1)将三块薄木板看成整体,当它们下滑到下滑力等于摩擦力时运动速度达最大值

$$\mu m_x g \cos \theta = 3mg \sin \theta$$

得到

$$m_x = \frac{3}{2}m$$

即滑块 A 的下端离 P 处 $1.5L$ 处时的速度最大

(2)对三个薄木板整体用牛顿第二定律

$$3mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = 3ma$$

得到

$$a = \frac{1}{3}g \sin \theta$$

对 A 薄木板用牛顿第二定律

$$F + mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = ma$$

$$F = \frac{4}{3}mg \sin \theta$$

(3)要使三个薄木板都能滑出 QQ' 处,薄木板 C 中点过 QQ' 处时它的速度应大于零。薄木板 C 全部越过 PP' 前,三木板是相互挤压着,全部在 PP' 、 QQ' 之间运动无相互作用力,离开 QQ' 时,三木板是相互分离的,设 C 木板刚好全部越过 PP' 时速度为 v 。

①对木板 C 用动能定理

$$mg \sin \theta \times \frac{5}{2}L - (\mu mg \cos \theta \times 2L - \frac{3}{4}\mu mg \cos \theta \times \frac{1}{2}L) = 0 - \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{4.5gL \sin \theta}$$

②设开始下滑时, A 的下端离 PP' 处距离为 x , 对三木板整体用动能定理

$$3mg \sin \theta \times (3L + x) - \frac{3}{2}\mu mg \cos \theta \times 3L = \frac{3}{2}mv^2 - 0$$

得到

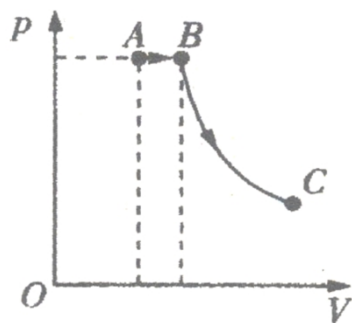
$$x = 2.25L$$

即释放时, A 下端离 PP' 距离

$$x > 2.25L$$

(二) 选考题:共 13 分。请考生从两道中任选一题作答。如果多做，则按第一题计分。

15. (1) 如图所示，一定质量的理想气体经历 $A \rightarrow B$ 的等压过程和 $B \rightarrow C$ 的绝热过程（气体与外界无热交换），则下列说法正确的是（ ）



- A. $A \rightarrow B$ 过程中，外界对气体做功
- B. $A \rightarrow B$ 过程中，气体分子的平均动能变大
- C. $A \rightarrow B$ 过程中，气体从外界吸收热量
- D. $B \rightarrow C$ 过程中，单位时间内与器壁单位面积碰撞的分子数减少
- E. $B \rightarrow C$ 过程中，单位体积内气体分子数增多

【答案】BCD

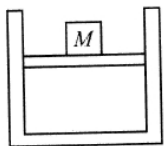
【解析】ABC. 由题意知， $A \rightarrow B$ 的等压过程，气体体积变大，由 $\frac{PV}{T} = C$ 可知，温度将升高，则气体分子的平均动能变大，同时对外做功，由热力学第一定律 $\Delta U = W + Q$ ，可知 $\Delta U > 0$ ， $W < 0$ ，故 $Q > 0$ ，则气体从外界吸收热量，故 A 错误，BC 正确；

DE. $B \rightarrow C$ 的绝热过程中， $Q = 0$ ，体积增大，单位体积内气体分子数减少，气体对外做功， $W < 0$ ，由热力学第一定律 $\Delta U = W + Q$ 可知， $\Delta U < 0$ ，气体温度降低，故单位时间内与器壁单位面积碰撞的分子数减少，故 D 正确，E 错误。

故选 BCD。

(2) 如图所示，竖直放置、上端开口的绝热气缸底部固定一电热丝（图中未画出），面积为 S 的绝热活塞位于气缸内（质量不计），下端封闭一定质量的某种理想气体，绝热活塞上放置一质量为 M 的重物并保持平衡，此时气缸内理想气体的温度为 T_0 ，活塞距气缸底部的高度为 h ，现用电热丝缓慢给气缸内的理想气体加热，活塞上升了 $\frac{h}{3}$ ，封闭理想气体的内能增加了 ΔU 。已知大气压强为 p_0 ，重力加速度为 g 。求：

- ① 活塞上升 $\frac{h}{3}$ 时理想气体的温度；
- ② 理想气体吸收的热量 Q 。



【答案】① $T_1 = \frac{4}{3}T_0$ ；② $Q = \Delta U + \frac{p_0 h S}{3} + \frac{Mgh}{3}$

【解析】①活塞上升 $\frac{h}{3}$ 时，理想气体温度为 T_1 ，

$$\frac{hS}{T_0} = \frac{(h + \frac{h}{3})S}{T_1}$$

得

$$T_1 = \frac{4}{3}T_0$$

②活塞上升过程，气体压强为 p_1 ，气体对外做功 W

$$p_1 = p_0 + \frac{Mg}{S}$$

$$W = -p_1 \Delta V = -\left(p_0 + \frac{Mg}{S}\right) \frac{hS}{3}$$

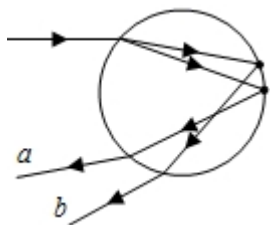
由热力学第一定律

$$\Delta U = Q + W$$

知

$$Q = \Delta U + \frac{p_0 h S}{3} + \frac{Mgh}{3}$$

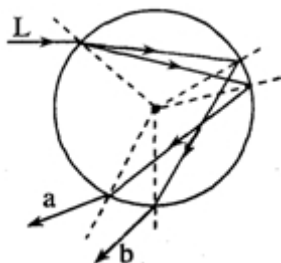
16. (1) 中国历史上有很多古人对很多自然现象有深刻认识。唐人张志和在《玄真子涛之灵》中写道：“雨色映日而为虹”。从物理学角度看，虹是太阳光经过雨滴的两次折射和一次反射形成的。如图是彩虹成因的简化示意图，其中 a 、 b 是两种不同频率的单色光，则关于这两种色光，下列说法正确的是_____。



- A. 在同种玻璃中传播， a 光的波长一定小于 b 光波长
- B. 在同种玻璃中传播， a 光的传播速度一定小于 b 光速度
- C. 以相同角度斜射到同一玻璃板，透过两个平行的表面后， b 光侧移量大
- D. 分别照射同一光电管，若 b 光能引起光电效应， a 光也一定能
- E. 以相同的入射角从水中射入空气，在空气中只能看到一种光时，一定是 a 光

【答案】ABD

【解析】A. 画出光路图，分析可知，第一次折射时， b 光的折射角较大，而入射角相等根据折射率公式 $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ 可知 a 光的折射率比 b 光的折射率大，则 a 光的频率比 b 光的频率大，所以在同种玻璃中传播， a 光的波长一定小于 b 光波长，故 A 正确；



B. 由公式 $v = \frac{c}{n}$ 可知，在同种玻璃中传播， a 光的传播速度一定小于 b 光的速度，故 B 正确；

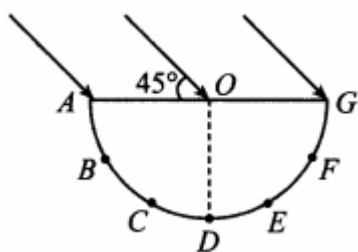
C. 光线斜射到玻璃表面，折射光偏转程度越大，偏移量越大，即 a 光侧移量大，故 C 错误；

D. a 光的折射率比 b 光的折射率大，则 a 光的频率比 b 光的频率大，分别照射同一光电管，若 b 光能引起光电效应， a 光也一定能，故 D 正确；

E. b 光的折射率较小，有 $\sin C = \frac{1}{n}$ 知 b 光的临界角大，不容易发生全反射，所以以相同的入射角从水中射入空气，在空气中只能看到一种光时，一定是 b 光，故 E 错误；

故选 ABD。

(2) 如图所示，一横截面为半圆形的玻璃柱体，半径为 $R=1.2\text{m}$ ，长度为 $L=1\text{m}$ 。一束平行光与 AG 成 45° 夹角入射，光线与横截面平行。B、C、D、E、F 将半圆周均分为 6 等份，经 O 点的光线，恰好从 E 点射出。不考虑反射光线。求：



①玻璃柱体的折射率；

②半圆柱体曲面有光线射出部分的面积。(结果可用 π 表示)

【答案】① $\sqrt{2}$ ② $0.6\pi\text{m}^2$

【解析】①因光线经 O 点入射，从 E 点射出，故折射角为 30°

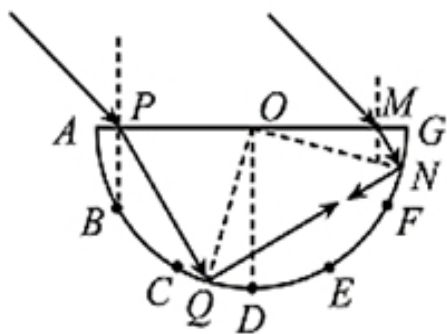
根据折射定律 $n = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{2}$

②光从玻璃射向空气发生全反射的临界角为 C

$$\sin C = \frac{1}{n} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

所以 $C=45^\circ$

若从 P 点入射的光线恰好在圆弧面上的 Q 点发生全反射，从 M 点入射的光线恰好在圆弧面上的 N 点发生全反射，其光路如图所示：



连接 OQ 为法线，则 $\angle OQP = 45^\circ$

根据光的折射定律可知， $\angle BPQ = 30^\circ$

所以， $\angle OPQ = 60^\circ$

因此 $\angle POQ = 75^\circ$

同理可以求得： $\angle GON = 15^\circ$

经分析得，光线从 QN 间圆弧射出，因此对应弧长为 $s = \frac{180^\circ - 75^\circ - 15^\circ}{180^\circ} \pi R = 0.6\pi \text{ m}$

故半球形曲面有光线射出部分的面积： $S = s \cdot L = 0.6\pi \text{ m}^2$