2021 年河北

1. 银河系中存在大量的铝同位素 $^{26}\mathrm{Al}$，$^{26}\mathrm{Al}$ 核 β 衰变的衰变方程为 $^{26}_{13}\mathrm{Al}\longrightarrow{}^{26}_{12}\mathrm{Mg}+{}^{0}_{1}\mathrm{e}$，测得 $^{26}\mathrm{Al}$ 核的半衰期为 72 万年，下列说法正确的是（C）

A. $^{26}\mathrm{Al}$ 核的质量等于 $^{26}\mathrm{Mg}$ 核的质量

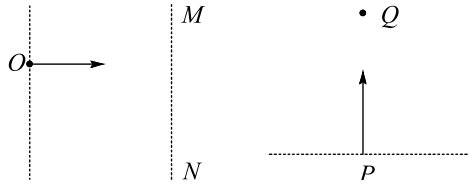
B. $^{26}\mathrm{Al}$ 核的中子数大于 $^{26}\mathrm{Mg}$ 核的中子数

C. 将铝同位素 $^{26}\mathrm{Al}$ 放置在低温低压的环境中，其半衰期不变

D. 银河系中现有的铝同位素 $^{26}\mathrm{Al}$ 将在 144 万年后全部衰变为 $^{26}\mathrm{Mg}$

> A．$^{26}_{13}\mathrm{Al}$ 和 $^{26}_{12}\mathrm{Mg}$ 的质量数均为 26 相等，但是二者原子核中的质子数和中子数不同，所以质量不同，A 错误；
>
> B．$^{26}_{13}\mathrm{Al}$ 核的中子数为 $26-13=13$ 个，$^{26}_{12}\mathrm{Mg}$ 核的中子数为 $26-12=14$ 个，B 错误；
>
> C．半衰期是原子核固有的属性，与外界条件无关，C 正确；
>
> D．质量为 m 的 $^{26}_{13}\mathrm{Al}$ 的半衰期为 72 万年，经过 $144=2\times72$ 万年为 2 个半衰期，剩余质量为 $\frac{1}{4}m$，不会全部衰变为 $^{26}_{12}\mathrm{Mg}$，D 错误。
>
> 故选 C。

2. 铯原子钟是精确的计时仪器，图 1 中铯原子从 O 点以 100 m/s 的初速度在真空中做平抛运动，到达竖直平面 MN 所用时间为 t_1；图 2 中铯原子在真空中从 P 点做竖直上抛运动，到达最高点 Q 再返回 P 点，整个过程所用时间为 t_2，O 点到竖直平面 MN、P 点到 Q 点的距离均为 0.2 m，重力加速度取 $g=10\,\mathrm{m/s^2}$，则 $t_1:t_2$ 为（C）



A. 100 : 1　　B. 1 : 100　　C. 1 : 200　　D. 200 : 1

> 铯原子做平抛运动，水平方向上做匀速直线运动，即 $x=vt_1$ 解得 $t_1=\frac{x}{v}=\frac{0.2}{100}\,\mathrm{s}$ 铯原子做竖直上抛运动，抛至最高点用时 $\frac{t_2}{2}$，逆过程可视为自由落体，即 $x=\frac{1}{2}g\left(\frac{t_2}{2}\right)^2$ 解得 $t_2=\sqrt{\frac{8x}{g}}=\sqrt{\frac{8\times0.2}{10}}=0.4\,\mathrm{s}$ 则 $\frac{t_1}{t_2}=\frac{\frac{0.2}{100}}{0.4}=\frac{1}{200}$ 故选 C。

3. 普朗克常量 $h=6.626\times10^{-34}\,\mathrm{J\cdot s}$，光速为 c，电子质量为 m_e，则 $\frac{h}{m_ec}$ 在国际单位制下的单位是（B）

A. J/s　　B. m　　C. J · m　　D. m/s

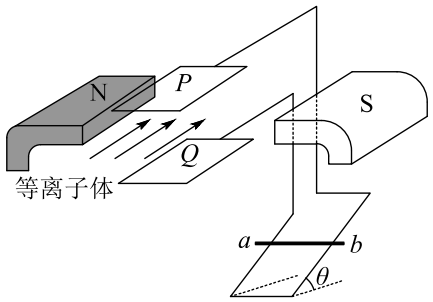
根据 $\frac{h}{m_e c}$ 可得它们的单位为：$\frac{\text{J·s}}{\text{kg·m/s}}=\frac{\text{N·m·s}}{\text{kg·m/s}}=\frac{\text{kg·m/s}^2\text{·m·s}}{\text{kg·m/s}}=\text{m}$ 故选 B。

4. “祝融号”火星车登陆火星之前，“天问一号”探测器沿椭圆形的停泊轨道绕火星飞行，其周期为 2 个火星日，假设某飞船沿圆轨道绕火星飞行，其周期也为 2 个火星日，已知一个火星日的时长约为一个地球日，火星质量约为地球质量的 0.1 倍，则该飞船的轨道半径与地球同步卫星的轨道半径的比值约为 (D)

A. $\sqrt[3]{4}$　　B. $\sqrt[3]{\frac{1}{4}}$　　C. $\sqrt[3]{\frac{5}{2}}$　　D. $\sqrt[3]{\frac{2}{5}}$

绕中心天体做圆周运动，根据万有引力提供向心力，可得 $\frac{GMm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$ 则 $T=\sqrt{\frac{4\pi^2R^3}{GM}}$，$R=\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$ 由于一个火星日的时长约为一个地球日，火星质量约为地球质量的 0.1 倍，则飞船的轨道半径 $R_{飞}=\sqrt[3]{\frac{GM_{火}(2T)^2}{4\pi^2}}=\sqrt[3]{\frac{G\times0.1M_{地}\times4\times\frac{4\pi^2R_{同}^3}{GM_{地}}}{4\pi^2}}=\sqrt[3]{\frac{2}{5}}R_{同}$ 则 $\frac{R_{飞}}{R_{同}}=\sqrt[3]{\frac{2}{5}}$ 故选 D。

5. 如图，距离为 d 的两平行金属板 P、Q 之间有一匀强磁场，磁感应强度大小为 B_1，一束速度大小为 v 的等离子体垂直于磁场喷入板间，相距为 L 的两光滑平行金属导轨固定在与导轨平面垂直的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B_2，导轨平面与水平面夹角为 θ，两导轨分别与 P、Q 相连，质量为 m、电阻为 R 的金属棒 ab 垂直导轨放置，恰好静止，重力加速度为 g，不计导轨电阻、板间电阻和等离子体中的粒子重力，下列说法正确的是 (B)



A. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向上，$v=\frac{mgR\sin\theta}{B_1B_2Ld}$

B. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向下，$v=\frac{mgR\sin\theta}{B_1B_2Ld}$

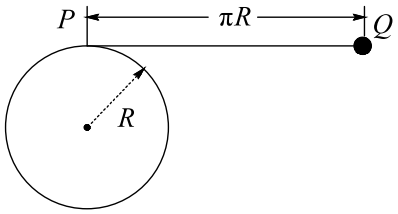
C. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向上，$v=\frac{mgR\tan\theta}{B_1B_2Ld}$

D. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向下，$v=\frac{mgR\tan\theta}{B_1B_2Ld}$

等离子体垂直于磁场喷入板间时，根据左手定则可得金属板 Q 带正电荷，金属板 P 带负电荷，则电流方向由金属棒 a 端流向 b 端。等离子体穿过金属板 P、Q 时产生的电动势 U 满足 $q\frac{U}{d}=qB_1v$ 由欧姆定律 $I=\frac{U}{R}$ 和安培力公式 $F=BIL$ 可得 $F_{安}=B_2L\times\frac{U}{R}=\frac{B_2B_1Lvd}{R}$ 再根据金属棒 ab 垂直导轨放置，恰好静止，可得

> $F_{安}=mg\sin\theta$ 则 $v=\frac{mgR\sin\theta}{B_1B_2Ld}$ 金属棒 ab 受到的安培力方向沿斜面向上，由左手定则可判定导轨处磁场的方向垂直导轨平面向下。故选 B。

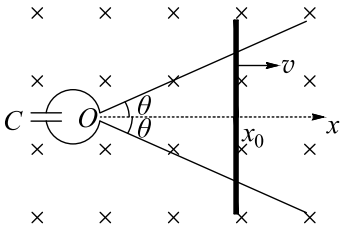
6. 一半径为 R 的圆柱体水平固定，横截面如图所示，长度为 πR、不可伸长的轻细绳，一端固定在圆柱体最高点 P 处，另一端系一个小球，小球位于 P 点右侧同一水平高度的 Q 点时，绳刚好拉直，将小球从 Q 点由静止释放，当与圆柱体未接触部分的细绳竖直时，小球的速度大小为（重力加速度为 g，不计空气阻力）(A)



A. $\sqrt{(2+\pi)gR}$　　B. $\sqrt{2\pi gR}$　　C. $\sqrt{2(1+\pi)gR}$　　D. $2\sqrt{gR}$

> 小球下落的高度为 $h=\pi R-\frac{\pi}{2}R+R=\frac{\pi+2}{2}R$ 小球下落过程中，根据动能定理有 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$ 综上有 $v=\sqrt{(2+\pi)gR}$ 故选 A。

7. 如图，两光滑导轨水平放置在竖直向下的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B，导轨间距最窄处为一狭缝，取狭缝所在处 O 点为坐标原点，狭缝右侧两导轨与 x 轴夹角均为 θ，一电容为 C 的电容器与导轨左端相连，导轨上的金属棒与 x 轴垂直，在外力 F 作用下从 O 点开始以速度 v 向右匀速运动，忽略所有电阻，下列说法正确的是 (A)



A. 通过金属棒的电流为 $2BCv^2\tan\theta$

B. 金属棒到达 x_0 时，电容器极板上的电荷量为 $BCvx_0\tan\theta$

C. 金属棒运动过程中，电容器的上极板带负电

D. 金属棒运动过程中，外力 F 做功的功率恒定

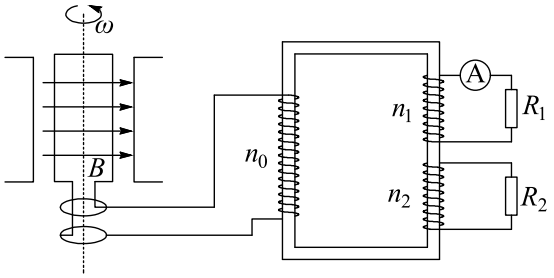
> C．根据楞次定律可知电容器的上极板应带正电，C 错误；
>
> A．由题知导体棒匀速切割磁感线，根据几何关系切割长度为 $L=2x\tan\theta$，$x=vt$ 则产生的感应电动势为 $E=2Bv^2t\tan\theta$ 由题图可知电容器直接与电源相连，则电容器的电荷量为 $Q=CE=2BCv^2t\tan\theta$ 则流过导体棒的电流 $I=\frac{\Delta Q}{\Delta t}=2BCv^2\tan\theta$ A 正确；

B．当金属棒到达 x_0 处时，导体棒产生的感应电动势为 $E'=2Bvx_0\tan\theta$ 则电容器的电荷量为 $Q=CE'=2BCvx_0\tan\theta$ B 错误；

D．由于导体棒做匀速运动则 $F=F_{安}=BIL$ 由选项 A 可知流过导体棒的电流 I 恒定，但 L 与 t 成正比，则 F 为变力，再根据力做功的功率公式 $P=Fv$ 可看出 F 为变力，v 不变则功率 P 随力 F 变化而变化；D 错误；

故选 A。

8. 如图，发电机的矩形线圈长为 $2L$、宽为 L，匝数为 N，放置在磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中，理想变压器的原、副线圈匝数分别为 n_0、n_1 和 n_2，两个副线圈分别接有电阻 R_1 和 R_2，当发电机线圈以角速度 ω 匀速转动时，理想电流表读数为 I，不计线圈电阻，下列说法正确的是（BC）



A．通过电阻 R_2 的电流为 $\frac{n_1I}{n_2}$

B．电阻 R_2 两端的电压为 $\frac{n_2IR_1}{n_1}$

C．n_0 与 n_1 的比值为 $\frac{\sqrt{2}NBL^2\omega}{IR_1}$

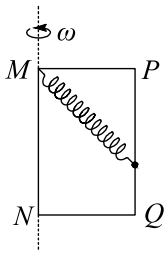
D．发电机的功率为 $\frac{\sqrt{2}NBL^2\omega I(n_1+n_2)}{n_0}$

AB．由题知理想电流表读数为 I，则根据欧姆定律 $U_1=IR_1$ 根据变压器电压与匝数的关系有 $\frac{n_0}{n_1}=\frac{U_0}{U_1}$，$\frac{n_0}{n_2}=\frac{U_0}{U_2}$ 代入数据有 $U_0=\frac{n_0}{n_1}IR_1$，$U_2=\frac{n_2}{n_1}IR_1$ 再由欧姆定律有 $U_2=I_2R_2$ 可计算出 $I_2=\frac{n_2R_1}{n_1R_2}I$ 综上可知，A 错误、B 正确；

C．由于矩形线圈产生的交变电流直接输入原线圈，则有 $E_{\max}=NB2L^2\omega$，$U_0=\frac{E_{\max}}{\sqrt{2}}=\sqrt{2}NBL^2\omega$ 由选项 AB 知 $U_0=\frac{n_0}{n_1}IR_1$ 则 $\frac{n_0}{n_1}=\frac{\sqrt{2}NBL^2\omega}{IR_1}$ C 正确；

D．由于变压器为理想变压器则有 $P_0=P_1+P_2=U_1I+U_2I_2=I^2R_1+U_2I_2$ 代入选项 ABC 公式有 $P_0=\frac{\sqrt{2}NBL^2\omega I}{n_0}\left(\frac{n_1^2R_2+n_2^2R_1}{n_1R_2}\right)$ 由于矩形线圈产生的交变电流直接输入原线圈，则发电机的功率为 P_0，D 错误。故选 BC。

9. 如图，矩形金属框 MNQP 竖直放置，其中 MN、PQ 足够长，且 PQ 杆光滑，一根轻弹簧一端固定在 M 点，另一端连接一个质量为 m 的小球，小球穿过 PQ 杆，金属框绕 MN 轴分别以角速度 ω 和 ω' 匀速转动时，小球均相对 PQ 杆静止，若 $\omega'>\omega$，则与以 ω 匀速转动时相比，以 ω' 匀速转动时（BD）



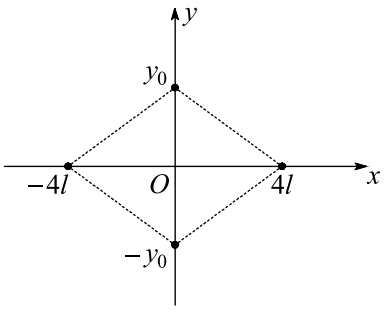
A. 小球的高度一定降低　　B. 弹簧弹力的大小一定不变

C. 小球对杆压力的大小一定变大　　D. 小球所受合外力的大小一定变大

对小球受力分析，设弹力为 T，弹簧与水平方向的夹角为 θ，则对小球竖直方向 $T\sin\theta = mg$ 而 $T = k\left(\frac{MP}{\cos\theta} - l_0\right)$ 可知 θ 为定值，T 不变，则当转速增大后，小球的高度不变，弹簧的弹力不变。则 A 错误，B 正确；水平方向当转速较小时，杆对小球的弹力 F_N 背离转轴，则 $T\cos\theta - F_N = m\omega^2 r$ 即 $F_N = T\cos\theta - m\omega^2 r$ 当转速较大时，F_N 指向转轴 $T\cos\theta + F_N' = m\omega^2 r$ 即 $F_N' = m\omega^2 r - T\cos\theta$ 则因 $\omega' > \omega$，根据牛顿第三定律可知，小球对杆的压力不一定变大。则 C 错误；根据 $F_{合} = m\omega^2 r$ 可知，因角速度变大，则小球受合外力变大。则 D 正确。

故选 BD。

10. 如图，四个电荷量均为 q（$q > 0$）的点电荷分别放置于菱形的四个顶点，其坐标分别为 $(4l, 0)$、$(-4l, 0)$、$(0, y_0)$ 和 $(0, -y_0)$，其中 x 轴上的两个点电荷位置固定，y 轴上的两个点电荷可沿 y 轴对称移动（$y_0 \neq 0$），下列说法正确的是（ ACD ）



A. 除无穷远处之外，菱形外部电场强度处处不为零

B. 当 y_0 取某值时，可使得菱形内部只存在两个电场强度为零的点

C. 当 $y_0 = 8l$ 时，将一带负电的试探电荷由点 $(4l, 5l)$ 移至点 $(0, -3l)$，静电力做正功

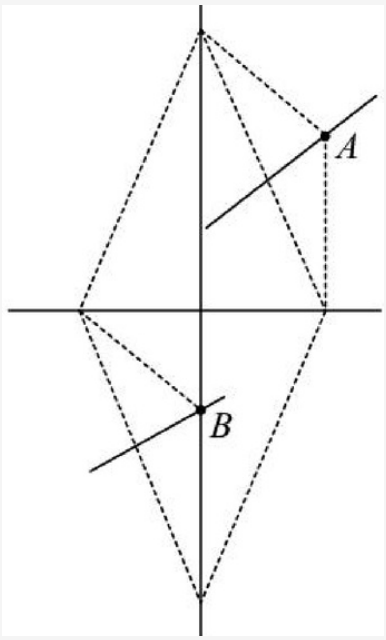
D. 当 $y_0 = 4l$ 时，将一带负电的试探电荷放置在点 (l, l) 处，其所受到的静电力方向与 x 轴正方向成 $45°$ 倾斜向上

A．根据场强叠加原理可知，除无穷远处之外，菱形外部电场强度处处不为零，选项 A 正确；

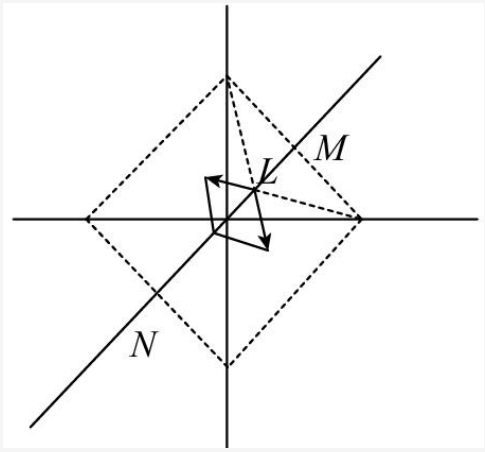
B．因为在 x 轴上的两个点电荷在 O 点的合场强为零，在 y 轴上的两电荷，无论 y_0

取什么值，因为关于原点对称，则在 O 点的合场强也为零，在横轴和纵轴上除原点外，出现合场强为零的点，根据对称性可知，一定是成对出现的，关于原点对称，所以算上原点，合场强为零的点是奇数个，不会是 2 个，选项 B 错误；

C．由几何关系可知，坐标为 $(4l,5l)$ 的 A 点在第一象限内所在的虚像的垂直平分线的上方；坐标为 $(0,-3l)$ 的 B 点在第三象限内所在的虚像的垂直平分线的上方，且到达虚线的距离相等，由电势叠加可知，B 点的电势高于 A 点，则带负电的试探电荷在 A 点的电势能较大，从 A 点到 B 点电势能减小，可知电场力做正功，选项 C 正确；



D．若 $y_0=4l$，则四个点构成正方形，由对称可知在点 (l,l) 处的场强一定沿着过该点与原点连线的方向上；在 y 轴正向和 x 正向上的点电荷在 (l,l) 处的合场强 $E_1=2\frac{kq}{(\sqrt{9l^2+l^2})^2}\cdot\frac{2\sqrt{2}l-\sqrt{2}l}{\sqrt{9l^2+l^2}}=\frac{kq}{5\sqrt{5}l^2}$ 在 y 轴负向和 x 负向上的点电荷在 (l,l) 处的合场强 $E_2=2\frac{kq}{(\sqrt{25l^2+l^2})^2}\cdot\frac{2\sqrt{2}l+\sqrt{2}l}{\sqrt{25l^2+l^2}}=\frac{kq}{\frac{13}{3}\sqrt{13}l^2}<E_1$



可知 (l,l) 点的场强沿着 MN 方向且与 x 轴成 45° 角的方向向下，将一带负电的试探电荷放置在点 (l,l) 处，其所受到的静电力方向与 x 轴正方向成 45° 倾斜向上，选项 D 正确。

故选 ACD。

11. 某同学研究小灯泡的伏安特性，实验室提供的器材有：小灯泡（6.3 V，0.15 A），直流电源（9 V），滑动变阻器，量程合适的电压表和电流表，开关和导线若干，设计的电路如图 1 所示。

(1) 根据图 1 ，完成图 2 中的实物连线 _____；

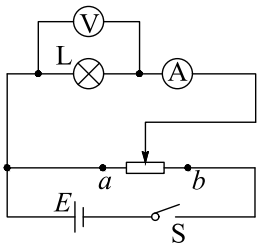
(2) 按照图 1 连线后，闭合开关，小灯泡闪亮一下后熄灭，观察发现灯丝被烧断，原因可能是 _____（单项选择，填正确答案标号）；

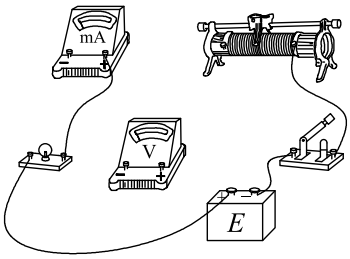
A．电流表短路

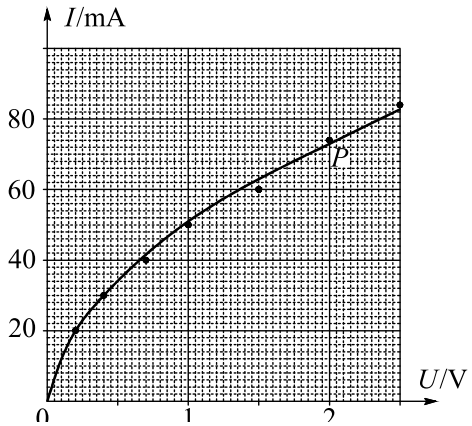
B．滑动变阻器的滑片接触不良

C．滑动变阻器滑片的初始位置在 b 端

(3) 更换小灯泡后，该同学正确完成了实验操作，将实验数据描点作图，得到 $I-U$ 图像，其中一部分如图 3 所示，根据图像计算出 P 点对应状态下小灯泡的电阻为 _____Ω（保留三位有效数字）。

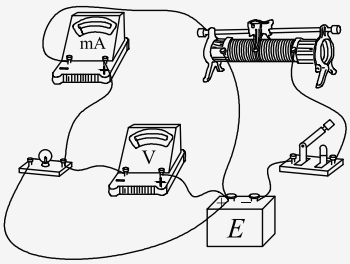






(1) 见详解图　(2) C　(3) 27.0

（1）电流表负极与滑动变阻器的右端的 b 位置连接，如图



（2）开关闭合，小灯泡闪亮一下后灯丝烧断，说明通过小灯泡的电流过大。

A．电流表内阻非常小，短路几乎不影响通过小灯泡的电流，与灯丝烧断无关，A 错误；

B．滑动变阻器滑片接触不良，无电流通过小灯泡，B 错误；

C．滑动变阻器的滑片开始时置于 b 端，小灯泡部分分压达到最大，通过电流最大，可能会烧断小灯泡灯丝，C 正确；

故选 C。

（3）根据小灯泡的伏安特性曲线可知在 P 点时的电压和电流分别为 $U=2\,\mathrm{V}$，$I=74\,\mathrm{mA}$ 根据欧姆定律可知小灯泡的电阻为 $R=\frac{U}{I}=\frac{2}{0.074}\,\Omega=27.0\,\Omega$

12. 某同学利用图 1 中的实验装置探究机械能变化量与力做功的关系，所用器材有：一端带滑轮的长木板、轻细绳、50 g 的钩码若干、光电门 2 个、数字计时器、带遮光条的滑块（质量为 200 g，其上可放钩码）、刻度尺，当地重力加速度为 $9.80\,\mathrm{m/s^2}$，实验操作步骤如下：

① 安装器材，调整两个光电门距离为 50.00 cm，轻细绳下端悬挂 4 个钩码，如图 1 所示；

② 接通电源，释放滑块，分别记录遮光条通过两个光电门的时间，并计算出滑块通过两个光电门的速度；

③ 保持最下端悬挂 4 个钩码不变，在滑块上依次增加一个钩码，记录滑块上所载钩码的质量，重复上述步骤；

④ 完成 5 次测量后，计算出每次实验中滑块及所载钩码的总质量 M、系统（包含滑块、滑块所载钩码和轻细绳悬挂钩码）总动能的增加量 ΔE_k 及系统总机械能的减少量 ΔE，结果如下表所示：

$M/\,\mathrm{kg}$	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400
$\Delta E_k/\,\mathrm{J}$	0.587	0.490	0.392	0.294	0.195
$\Delta E/\,\mathrm{J}$	0.393	0.490		0.686	0.785

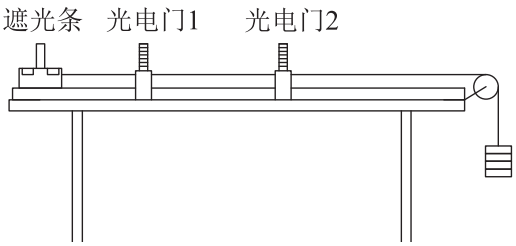
回答下列问题：

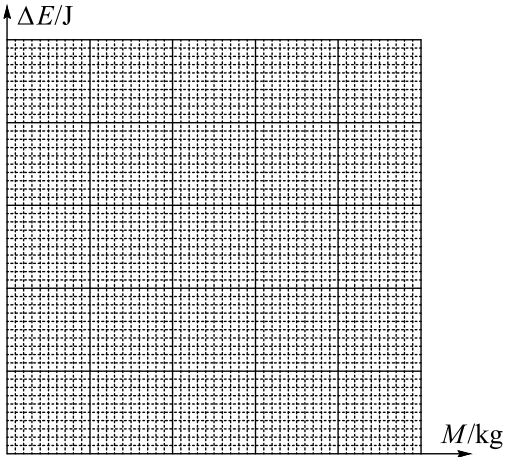
(1) 实验中轻细绳所悬挂钩码重力势能的减少量为 _____ J（保留三位有效数字）；

(2) 步骤④中的数据所缺数据为 _____；

(3) 若 M 为横轴，ΔE 为纵轴，选择合适的标度，在图 2 中绘出 $\Delta E-M$ 图像 _____；

若系统总机械能的减少量等于克服摩擦力做功，则物块与木板之间的摩擦因数为 0.40（保留两位有效数字）。



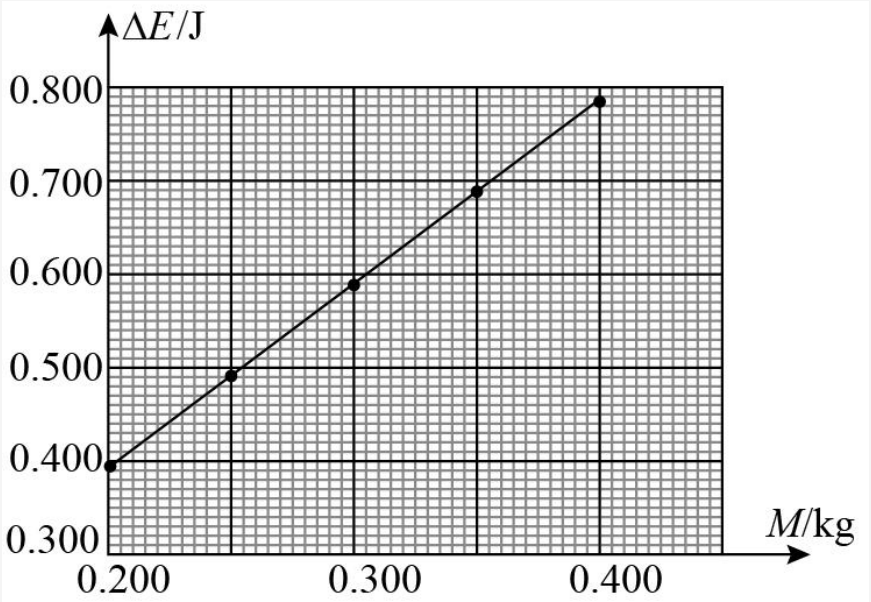


(1) 0.980　(2) 0.588　(3) 见详解图。

（1）四个钩码重力势能的减少量为 $\Delta E_{\mathrm{p}}=4mgL=4\times0.05\times9.8\times0.5\,\mathrm{J}=0.980\,\mathrm{J}$

（2）对滑块和钩码构成的系统，由能量守恒定律可知 $4mgL-W_{\mathrm{f}}=\frac{1}{2}(4m+M)v_2^2-\frac{1}{2}(4m+M)v_1^2$ 其中系统减少的重力势能为 $\Delta E_{\mathrm{p}}=4mgL$ 系统增加的动能为 $\Delta E_{\mathrm{k}}=\frac{1}{2}(4m+M)v_2^2-\frac{1}{2}(4m+M)v_1^2$ 系统减少的机械能为 $\Delta E=W_{\mathrm{f}}$，则代入数据可得表格中减少的机械能为 $\Delta E_4=0.98-0.392=0.588\,\mathrm{J}$

（3）根据表格数据描点得 $\Delta E-M$ 的图像为



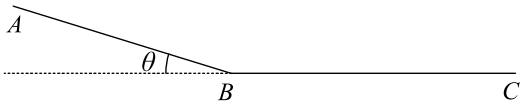
根据做功关系可知 $\Delta E=\mu MgL$ 则 $\Delta E-M$ 图像的斜率为 $k=\mu gL=\frac{0.785-0.393}{0.4-0.2}=1.96$ 解得动摩擦因数为 $\mu=0.40$（0.38～0.42）

13. 如图，一滑雪道由 AB 和 BC 两段滑道组成，其中 AB 段倾角为 θ，BC 段水平，AB

段和 BC 段由一小段光滑圆弧连接，一个质量为 2 kg 的背包在滑道顶端 A 处由静止滑下，若 1 s 后质量为 48 kg 的滑雪者从顶端以 1.5 m/s 的初速度、3 m/s^2 的加速度匀加速追赶，恰好在坡底光滑圆弧的水平处追上背包并立即将其拎起，背包与滑道的动摩擦因数为 $\mu=\frac{1}{12}$，重力加速度取 $g=10\,\mathrm{m/s^2}$，$\sin\theta=\frac{7}{25}$，$\cos\theta=\frac{24}{25}$，忽略空气阻力及拎包过程中滑雪者与背包的重心变化，求：

(1) 滑道 AB 段的长度；

(2) 滑雪者拎起背包时这一瞬间的速度。



(1) $L=9\,\mathrm{m}$　(2) $v=7.44\,\mathrm{m/s}$，方向水平向右

（1）设斜面长度为 L，背包质量为 $m_1=2\,\mathrm{kg}$，在斜面上滑行的加速度为 a_1，由牛顿第二定律有 $m_1g\sin\theta-\mu m_1g\cos\theta=m_1a_1$ 解得 $a_1=2\,\mathrm{m/s^2}$ 滑雪者质量为 $m_2=48\,\mathrm{kg}$，初速度为 $v_0=1.5\,\mathrm{m/s}$，加速度为 $a_2=3\,\mathrm{m/s^2}$，在斜面上滑行时间为 t，落后时间 $t_0=1\,\mathrm{s}$，则背包的滑行时间为 $t+t_0$，由运动学公式得 $L=\frac{1}{2}a_1(t+t_0)^2$ $L=v_0t+\frac{1}{2}a_2t^2$ 联立解得 $t=2\,\mathrm{s}$ 或 $t=-1\,\mathrm{s}$（舍去）故可得 $L=9\,\mathrm{m}$

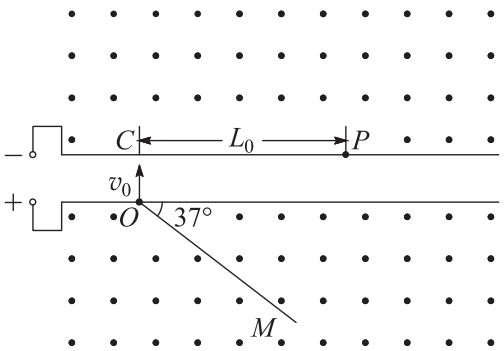
（2）背包和滑雪者到达水平轨道时的速度为 v_1、v_2，有 $v_1=a_1(t+t_0)=6\,\mathrm{m/s}$ $v_2=v_0+a_2t=7.5\,\mathrm{m/s}$ 滑雪者拎起背包的过程，系统在光滑水平面上外力为零，动量守恒，设共同速度为 v，有 $m_1v_1+m_2v_2=(m_1+m_2)v$ 解得 $v=7.44\,\mathrm{m/s}$，方向水平向右

14. 如图，一对长平行栅极板水平放置，极板外存在方向垂直纸面向外、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场，极板与可调电源相连，正极板上 O 点处的粒子源垂直极板向上发射速度为 v_0、带正电的粒子束，单个粒子的质量为 m、电荷量为 q，一足够长的挡板 OM 与正极板成 37° 倾斜放置，用于吸收打在其上的粒子，C、P 是负极板上的两点，C 点位于 O 点的正上方，P 点处放置一粒子靶（忽略靶的大小），用于接收从上方打入的粒子，CP 长度为 L_0，忽略栅极的电场边缘效应、粒子间的相互作用及粒子所受重力。$\sin 37^\circ=\frac{3}{5}$。

(1) 若粒子经电场一次加速后正好打在 P 点处的粒子靶上，求可调电源电压 U_0 的大小；

(2) 调整电压的大小，使粒子不能打在挡板 OM 上，求电压的最小值 $U_{\min}$；

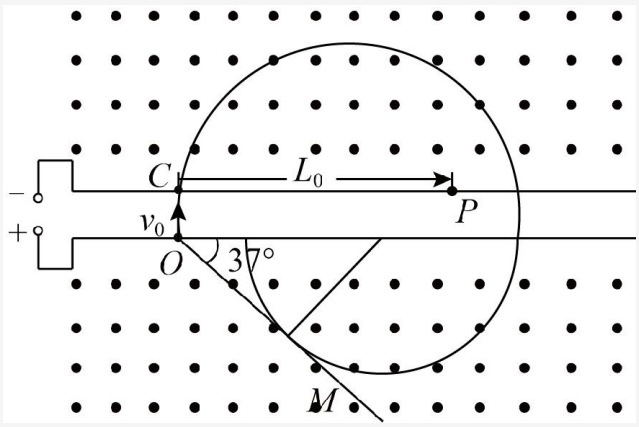
(3) 若粒子靶在负极板上的位置 P 点左右可调，则负极板上存在 H、S 两点（$CH\leqslant CP<CS$，H、S 两点未在图中标出）、对于粒子靶在 HS 区域内的每一点，当电压从零开始连续缓慢增加时，粒子靶均只能接收到 n（$n\geqslant 2$）种能量的粒子，求 CH 和 CS 的长度（假定在每个粒子的整个运动过程中电压恒定）。



(1) $U_0=\frac{B^2qL_0^2}{8m}-\frac{mv_0^2}{2q}$　(2) $U_{\min}=\frac{7mv_0^2}{18q}$　(3) $CH=\left(\frac{2}{3}n+2\right)\frac{mv_0}{qB}$（$n\geqslant 2$）；$CS=\left(\frac{2n}{3}+\frac{8}{3}\right)\frac{mv_0}{qB}$（$n\geqslant 2$）

（1）从 O 点射出的粒子在板间被加速，则 $U_0q=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$ 粒子在磁场中做圆周运动，则半径 $r=\frac{L_0}{2}$ 由 $qvB=m\frac{v^2}{r}$ 解得 $U_0=\frac{B^2qL_0^2}{8m}-\frac{mv_0^2}{2q}$

（2）当电压有最小值时，当粒子穿过下面的正极板后，圆轨道与挡板 OM 相切，此时粒子恰好不能打到挡板上，则

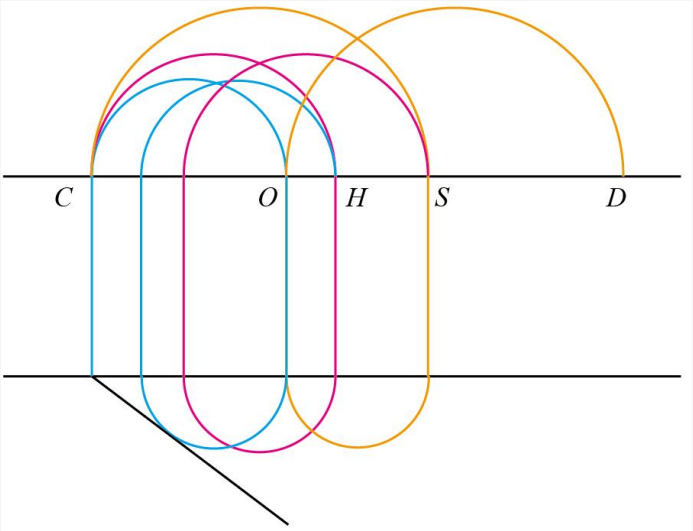


从 O 点射出的粒子在板间被加速，则 $U_{\min}q=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$ 粒子在负极板上方的磁场中做圆周运动 $qvB=m\frac{v^2}{r_{\min}}$ 粒子从负极板传到正极板时速度仍减小到 v_0，则 $qv_0B=m\frac{v_0^2}{r}$ 由几何关系可知 $2r_{\min}=\frac{r'}{\sin 37^\circ}+r'$ 联立解得 $v=\frac{4v_0}{3}$ $U_{\min}=\frac{7mv_0^2}{18q}$

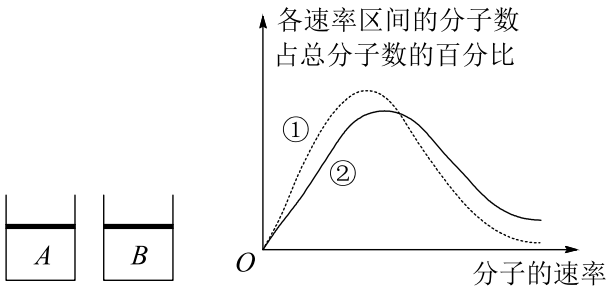
（3）由（2）可知，当粒子刚不打到 OM 上时 $r_1=\frac{4mv_0}{3qB}$，$r_2=\frac{mv_0}{qB}$。

粒子每次打到上极板的落点依次相隔 $2(r_1-r_2)$。当靶可接收两种能量的粒子时，有 $CH=2r_2+2(2r_1-2r_2)$，$CS=2r_2+3(2r_1-2r_2)$。

依此类推，当靶可接收 n（$n\geqslant 2$）种能量的粒子时，$CH=2r_2+n(2r_1-2r_2)=\left(\frac{2n}{3}+2\right)\frac{mv_0}{qB}$，$CS=2r_2+(n+1)(2r_1-2r_2)=\left(\frac{2n}{3}+\frac{8}{3}\right)\frac{mv_0}{qB}$。



15. 两个内壁光滑、完全相同的绝热汽缸 A、B，汽缸内用轻质绝热活塞封闭完全相同的理想气体，如图 1 所示，现向活塞上表面缓慢倒入细沙，若 A 中细沙的质量大于 B 中细沙的质量，重新平衡后，汽缸 A 内气体的内能大于（填“大于”、“小于”或“等于”）汽缸 B 内气体的内能，图 2 为重新平衡后 A、B 汽缸中气体分子速率分布图像，其中曲线①（填图像中曲线标号）表示汽缸 B 中气体分子的速率分布规律。



（1）对活塞分析有 $p=\frac{mg}{S}$ 因为 A 中细沙的质量大于 B 中细沙的质量，故稳定后有 $p_A>p_B$；所以在达到平衡过程中外界对气体做功有 $W_A>W_B$ 则根据 $\Delta U=W+Q$ 因为气缸和活塞都是绝热的，故有 $\Delta U_A>\Delta U_B$ 即重新平衡后 A 气缸内的气体内能大于 B 气缸内的气体内能；

（2）由图中曲线可知曲线②中分子速率大的分子数占总分子数百分比较大，即曲线②的温度较高，所以由前面分析可知 B 气缸温度较低，故曲线①表示气缸 B 中气体分子的速率分布。

16. 某双层玻璃保温杯夹层中有少量空气，温度为 27 °C 时，压强为 3.0×10^3 Pa。

(1) 当夹层中空气的温度升至 37 °C，求此时夹层中空气的压强；

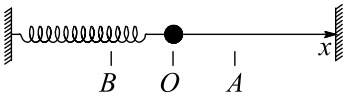
(2) 当保温杯外层出现裂隙，静置足够长时间，求夹层中增加的空气质量与原有空气质量的比值，设环境温度为 27 °C，大气压强为 1.0×10^5 Pa。

(1) $p_2 = 3.1 \times 10^3\,\mathrm{Pa}$　(2) $\frac{97}{3}$

（1）由题意可知夹层中的气体发生等容变化，根据理想气体状态方程可知 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ 代入数据解得 $p_2 = 3.1 \times 10^3\,\mathrm{Pa}$

（2）当保温杯外层出现裂缝后，静置足够长时间，则夹层压强和大气压强相等，设夹层体积为 V，以静置后的所有气体为研究对象有 $p_0 V = p_1 V_1$ 解得 $V_1 = \frac{100}{3} V$ 则增加空气的体积为 $\Delta V = V_1 - V = \frac{97}{3} V$ 所以增加的空气质量与原有空气质量之比为 $\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta V}{V} = \frac{97}{3}$

17. 如图，一弹簧振子沿 x 轴做简谐运动，振子零时刻向右经过 A 点，2 s 后第一次到达 B 点，已知振子经过 A、B 两点时的速度大小相等，2 s 内经过的路程为 0.4 m。该弹簧振子的周期为 4 s，振幅为 0.2 m。



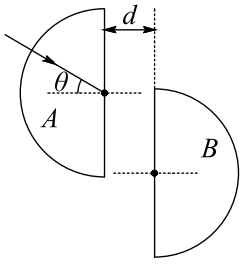
（1）根据简谐运动对称性可知，振子零时刻向右经过 A 点，2 s 后第一次到达 B 点，已知振子经过 A、B 两点时的速度大小相等，则 A、B 两点关于平衡位置对称，而振动经过了半个周期的运动，则周期为 $T = 2t = 4\,\mathrm{s}$

（2）从 A 到 B 经过了半个周期的振动，路程为 $s = 0.4\,\mathrm{m}$，而一个完整的周期路程为 0.8 m，为 4 个振幅的路程，有 $4A = 0.8\,\mathrm{m}$ 解得振幅为 $A = 0.2\,\mathrm{m}$

18. 将两块半径均为 R、完全相同的透明半圆柱体 A、B 正对放置，圆心上下错开一定距离，如图所示，用一束单色光沿半径照射半圆柱体 A，设圆心处入射角为 θ，当 $\theta = 60°$ 时，A 右侧恰好无光线射出；当 $\theta = 30°$ 时，有光线沿 B 的半径射出，射出位置与 A 的圆心相比下移 h，不考虑多次反射，求：

(1) 半圆柱体对该单色光的折射率；

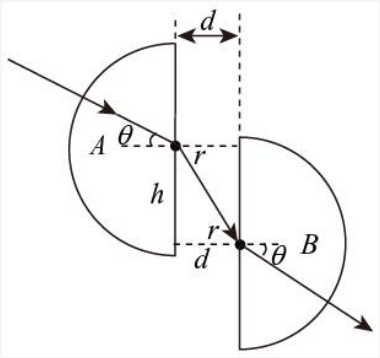
(2) 两个半圆柱体之间的距离 d。



(1) $n = \frac{2\sqrt{3}}{3}$　(2) $d = \sqrt{2}\left(h - \frac{R}{2}\right)$

（i）光从半圆柱体 A 射入，满足从光密介质到光疏介质，当 $\theta = 60°$ 时发生全反射，有 $\sin\theta = \frac{1}{n}$ 解得 $n = \frac{2\sqrt{3}}{3}$

（ii）当入射角 $\theta = 30°$，经两次折射从半圆柱体 B 的半径出射，设折射角为 r，光路如图



由折射定律有 $\sin\theta \cdot n = \sin r$ 有几何关系有 $\tan r = \frac{h - R\sin\theta}{d}$ 联立解得 $d = \sqrt{2}\left(h - \frac{R}{2}\right)$