

2021 年普通高等学校招生全国统一考试（河北卷）

（适用地区：河北）

物 理

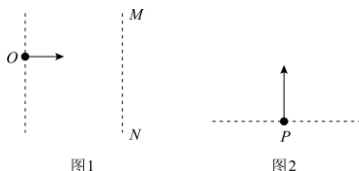
注意事项：

1. 答卷前，考生务必将自己的姓名、准考证号填写在答题卡上。

2. 回答选择题时，选出每小题答案后，用铅笔把答题卡上对应题目的答案标号涂黑；如需改动，用橡皮擦干净后，再选涂其他答案标号。回答非选择题时，将答案书写在答题卡上，写在本试卷上无效。

3. 考试结束后，将本试卷和答题卡一并交回。

一、单项选择题：本题共 7 小题，每小题 4 分，共 28 分。在每小题给出的四个选项中，只有一项是符合题目要求的。

1. 银河系中存在大量的铝同位素 ^{26}Al ， ^{26}Al 核 β 衰变的衰变方程为 $^{26}_{13}\text{Al} \rightarrow ^{26}_{12}\text{Mg} + {}^0_{+1}\text{e}$ ，测得 ^{26}Al 核的半衰期为 72 万年，下列说法正确的是（ ）A. ^{26}Al 核的质量等于 ^{26}Mg 核的质量B. ^{26}Al 核的中子数大于 ^{26}Mg 核的中子数C. 将铝同位素 ^{26}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}Al 将在 144 万年后全部衰变为 ^{26}Mg 2. 铯原子钟是精确的计时仪器，图 1 中铯原子从 O 点以 100m/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 0.2m，重力加速度取 $g = 10\text{m/s}^2$ ，则 $t_1 : t_2$ 为（ ）

A. 100 : 1

B. 1 : 100

C. 1 : 200

D. 200 : 1

3. 普朗克常量 $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$ ，光速为 c ，电子质量为 m_e ，则 $\frac{h}{m_e c}$ 在国际单位制下的单位是（ ）

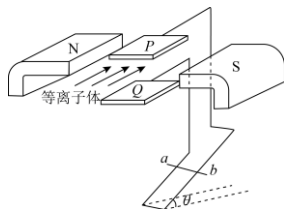
A. J/s

B. m

C. J·m

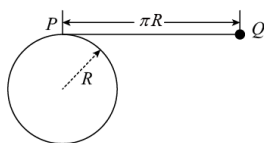
D. m/s

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（ ）

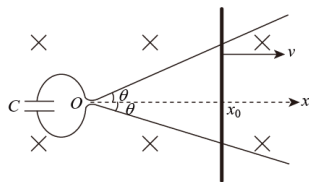
A. $\sqrt[3]{4}$ B. $\sqrt[3]{\frac{1}{4}}$ C. $\sqrt[3]{\frac{5}{2}}$ D. $\sqrt[3]{\frac{2}{5}}$ 5. 如图，距离为 d 的两平行金属板 P、Q 之间有一匀强磁场，磁感应强度大小为 B_1 ，一束速度大小为 v 的等离子体垂直于磁场喷入板间，相距为 L 的两光滑平行金属导轨固定在与导轨平面垂直的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B_2 ，导轨平面与水平面夹角为 θ ，两导轨分别与 P、Q 相连，质量为 m 、电阻为 R 的金属棒 ab 垂直导轨放置，恰好静止，重力加速度为 g ，不计导轨电阻、板间电阻和等离子体中的粒子重力，下列说法正确的是（ ）

- A. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向上, $v = \frac{mgR \sin \theta}{B_1 B_2 L d}$
- B. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向下, $v = \frac{mgR \sin \theta}{B_1 B_2 L d}$
- C. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向上, $v = \frac{mgR \tan \theta}{B_1 B_2 L d}$
- D. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向下, $v = \frac{mgR \tan \theta}{B_1 B_2 L d}$

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)



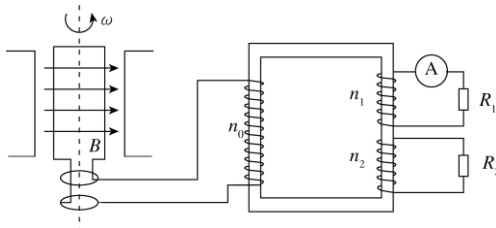
- A. $\sqrt{(2+\pi)gR}$ B. $\sqrt{2\pi gR}$ C. $\sqrt{2(1+\pi)gR}$ D. $2\sqrt{gR}$
7. 如图, 两光滑导轨水平放置在竖直向下的匀强磁场中, 磁感应强度大小为 B , 导轨间距最窄处为一狭缝, 取狭缝所在处 O 点为坐标原点, 狭缝右侧两导轨与 x 轴夹角均为 θ , 一电容为 C 的电容器与导轨左端相连, 导轨上的金属棒与 x 轴垂直, 在外力 F 作用下从 O 点开始以速度 v 向右匀速运动, 忽略所有电阻, 下列说法正确的是 ()



- A. 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

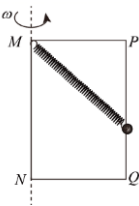
二、多项选择题：本题共 3 小题，每小题 6 分，共 18 分。在每小题给出的四个选项中，有两个或两个以上选项符合题目要求。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

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 ()



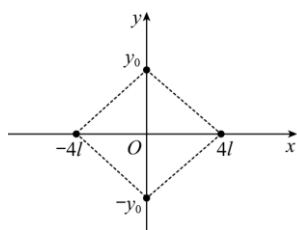
- A. 通过电阻 R_2 的电流为 $\frac{n_1 I}{n_2}$
- B. 电阻 R_2 两端的电压为 $\frac{n_2 I R_1}{n_1}$
- C. n_0 与 n_1 的比值为 $\frac{\sqrt{2} N B L^2 \omega}{I R_1}$
- D. 发电机的功率为 $\frac{\sqrt{2} N B L^2 \omega I (n_1 + n_2)}{n_0}$

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 ()



- 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

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 ()

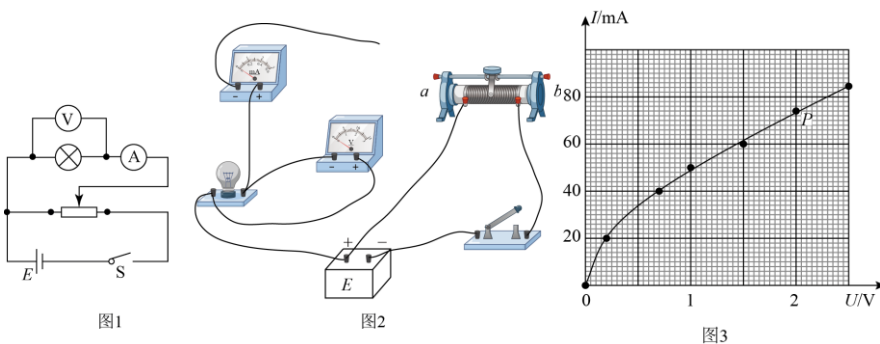


- A. 除无穷远处之外，菱形外部电场强度处处不为零
B. 当 y_0 取某值时，可使得菱形内部只存在两个电场强度为零的点
C. 当 $y_0 = 8l$ 时，将一带负电的试探电荷由点 $(4l, 5l)$ 移至点 $(0, -3l)$ ，静电力做正功
D. 当 $y_0 = 4l$ 时，将一带负电的试探电荷放置在点 (l, l) 处，其所受到的静电力方向与 x 轴正方向成 45° 倾斜向上

三、非选题：共 54 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 62 分。

11. (6 分) 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 ($6.3V$, $0.15A$)，直流电源 ($9V$)，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)。

12. (9 分) 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、50g 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 200g，其上可放钩码)、刻度尺，当地重力加速度为 $9.80m/s^2$ ，实验操作步骤如下：

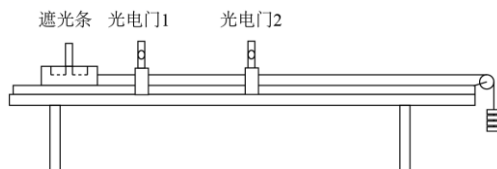


图1

- ①安装器材，调整两个光电门距离为50.00cm，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 / kg	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400
$\Delta E_k / \text{J}$	0.582	0.490	0.392	0.294	0.195
$\Delta E / \text{J}$	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_____；

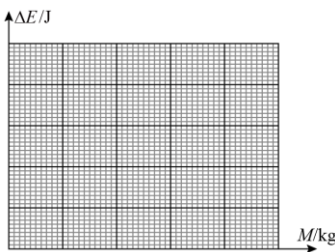
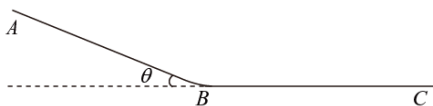


图2

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_____（保留两位有效数字）

- 13.（11分）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 2kg 的背包在滑道顶端 A 处由静止滑下，若 1s 后质量为 48kg 的滑雪者从顶端以 1.5m/s 的初速度、 3m/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 $g = 10\text{m/s}^2$ ， $\sin \theta = \frac{7}{25}$ ， $\cos \theta = \frac{24}{25}$ ，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。

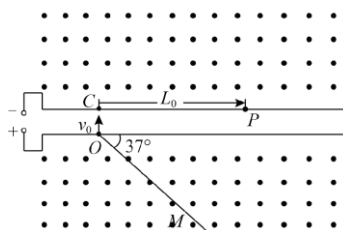


- 14.（16分）如图，一对长平行栅极板水平放置，极板外存在方向垂直纸面向外、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场，极板与可调电源相连，正极板上 O 点处的粒子源垂直极板向上发射速度为 v_0 、带正电的粒子束，单个粒子的质量为 m 、电荷量为 q ，一足够长的挡板 OM 与正极板成 37° 倾斜放置，用于吸收打在其上的粒子， C 、 P 是负极板上的两点， C 点位于 O 点的正上方， P 点处放置一粒子靶（忽略靶的大小），用于接收从上方打入的粒子， CP 长度为 L_0 ，忽略栅极的电场边缘效应、粒子间的相互作用及粒子所受重力。

$$\sin 37^\circ = \frac{3}{5}.$$

- (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 ($CH \leq CP < CS$, 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 ($n \geq 2$) 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)。



(二) 选考题: 共 12 分。请考生从 2 道题中任选一题作答, 并用 2B 铅笔将答题卡上所选题目对应的题号右侧方框涂黑, 按所涂题号进行评分; 多涂、多答, 按所涂的首题进行评分; 不涂, 按本选考题的首题进行评分。

15. 【选修 3-3】(12 分) (1) (4 分) 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_____ (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_____ (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。

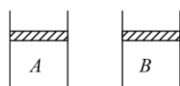


图1

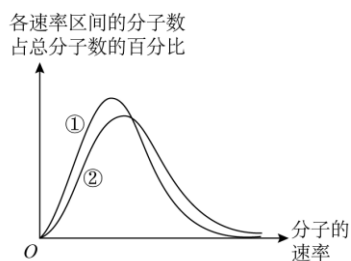


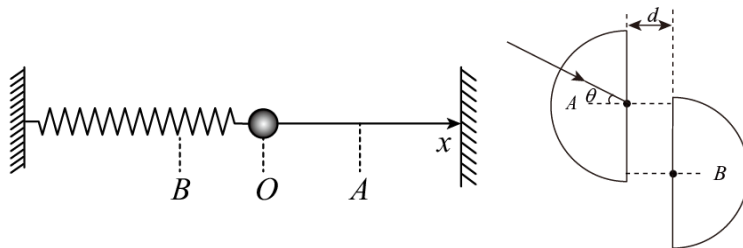
图2

(2) 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 $3.0 \times 10^3 \text{ Pa}$ 。

(i) 当夹层中空气的温度升至 37°C , 求此时夹层中空气的压强;

(ii) 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 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

16. 【选修 3-4】(12 分) (1) (4 分) 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, 2s 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, 2s 内经过的路程为 0.4m 。该弹簧振子的周期为_____s, 振幅为_____m。



(2) 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 $\theta = 60^\circ$ 时, A 右侧恰好无光线射出; 当 $\theta = 30^\circ$ 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:

(i) 半圆柱体对该单色光的折射率;

(ii) 两个半圆柱体之间的距离 d 。

参考答案

1. C

【详解】A. $^{26}_{13}\text{Al}$ 和 $^{26}_{12}\text{Mg}$ 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. $^{26}_{13}\text{Al}$ 核的中子数为 $26 - 13 = 13$ 个， $^{26}_{12}\text{Mg}$ 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 $^{26}_{13}\text{Al}$ 的半衰期为 72 万年，经过 $144 = 2 \times 72$ 万年为 2 个半衰期，剩余质量为 $\frac{1}{4}m$ ，不会全部衰变为 $^{26}_{12}\text{Mg}$ ，D 错误。故选 C。

2. C

【详解】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 $t_1 = \frac{x}{v} = \frac{0.2}{100} \text{ s}$

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 $x = \frac{1}{2}g(\frac{t_2}{2})^2$ 解得

$$t_2 = \sqrt{\frac{8x}{g}} = \sqrt{\frac{8 \times 0.2}{10}} = 0.4 \text{ s}$$

则 $\frac{t_1}{t_2} = \frac{\frac{0.2}{100}}{0.4} = \frac{1}{200}$ 故选 C。

3. B

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

4. D

【详解】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 $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 R^3}{GM}}$ ，

$$R = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$$

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

$$R_{\text{飞}} = \sqrt[3]{\frac{GM_{\text{火}}(2T)^2}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{G \times 0.1M_{\text{地}} \times 4 \times \frac{4\pi^2 R_{\text{同}}^3}{GM_{\text{地}}}}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{2}{5}} R_{\text{同}} \quad \text{则} \quad \frac{R_{\text{飞}}}{R_{\text{同}}} = \sqrt[3]{\frac{2}{5}} \quad \text{故选 D。}$$

5. B

【详解】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 $F_{\text{安}} = B_2L \times \frac{U}{R} = \frac{B_2B_1Lv d}{R}$

再根据金属棒 ab 垂直导轨放置，恰好静止，可得 $F_{\text{安}} = mg \sin \theta$ 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. A

【详解】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 $v = \sqrt{(\pi + 2)gR}$ 故选 A。

7. A

【详解】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 $E = 2Bv^2 t \tan \theta$

由题图可知电容器直接与电源相连, 则电容器的电荷量为 $Q = CE = 2BCv^2 t \tan \theta$

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. BC

【详解】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 $U_2 = I_2 R_2$ 可计算出 $I_2 = \frac{n_2 R_1}{n_1 R_2} I$ 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 $E_{\max} = NBL^2 \omega$, $U_0 = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} NBL^2 \omega$

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 $P_0 = P_1 + P_2 = U_1 I + U_2 I_2 = I^2 R_1 + U_2 I_2$

代入选项 ABC 公式有 $P_0 = \frac{\sqrt{2} NBL^2 \omega I}{n_0} \left(\frac{n_1^2 R_2 + n_2^2 R_1}{n_1 R_2} \right)$

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. BD

【详解】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 $F_{\text{合}} = m\omega^2 r$

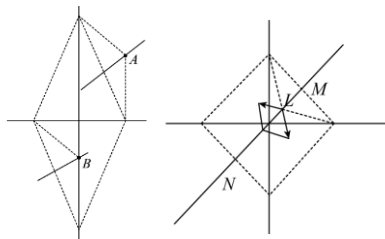
可知, 因角速度变大, 则小球受合外力变大。则 D 正确。故选 BD。

10. ACD

【详解】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；

$$\text{在 } y \text{ 轴正向和 } x \text{ 正向上的点电荷在 } (l, l) \text{ 处的合场强 } E_1 = 2 \frac{kq}{(\sqrt{9l^2 + l^2})^2} \cdot \frac{2\sqrt{2}l - \sqrt{2}l}{\sqrt{9l^2 + l^2}} = \frac{kq}{5\sqrt{5}l^2}$$

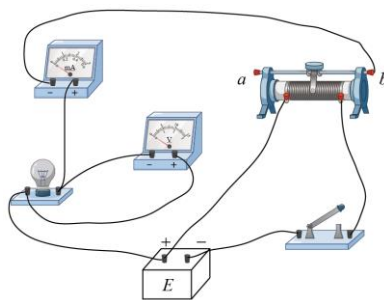
$$\text{在 } y \text{ 轴负向和 } x \text{ 负向上的点电荷在 } (l, l) \text{ 处的合场强 } E_2 = 2 \frac{kq}{(\sqrt{25l^2 + l^2})^2} \cdot \frac{2\sqrt{2}l + \sqrt{2}l}{\sqrt{25l^2 + l^2}} = \frac{kq}{\frac{13}{3}\sqrt{13}l^2} < E_1$$

可知 (l, l) 点的场强沿着 MN 方向且与 x 轴从成 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. 见解析 C 27.0

【详解】(1) [1] 电流表负极与滑动变阻器的右端的 b 位置连接，如图



(2) [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 $U = 2\text{V}$ ， $I = 74\text{mA}$

$$\text{根据欧姆定律 } I = \frac{U}{R} \text{ 可知小灯泡的电阻为 } R = \frac{U}{I} = \frac{2}{74 \times 10^{-3}} \Omega = 27.0 \Omega$$

12. 0.980 0.588 见解析 0.40 (0.38~0.42)

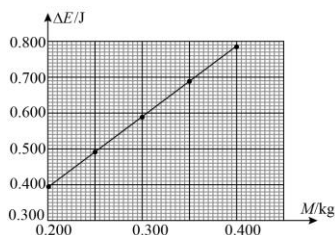
【详解】(1) [1] 四个钩码重力势能的减少量为 $\Delta E_p = 4mgL = 4 \times 0.05 \times 9.8 \times 0.5\text{J} = 0.980\text{J}$

$$(2) [2] \text{ 对滑块和钩码构成的系统，由能量守恒定律可知 } 4mgL - W_f = \frac{1}{2}(4m + M)v_2^2 - \frac{1}{2}(4m + M)v_1^2$$

$$\text{其中系统减少的重力势能为 } \Delta E_p = 4mgL \quad \text{系统增加的动能为 } \Delta E_k = \frac{1}{2}(4m + M)v_2^2 - \frac{1}{2}(4m + M)v_1^2$$

$$\text{系统减少的机械能为 } \Delta E = W_f, \text{ 则代入数据可得表格中减少的机械能为 } \Delta E_4 = 0.98 - 0.392 = 0.588\text{J}$$

(3) [3] 根据表格数据描点得 $\Delta E - M$ 的图像为



[4] 根据做功关系可知 $\Delta E = \mu MgL$

$$\text{则 } \Delta E - M \text{ 图像的斜率为 } k = \mu gL = \frac{0.785 - 0.393}{0.4 - 0.2} = 1.96$$

解得动摩擦因数为 $\mu = 0.40$ (0.38~0.42)

13. (1) $L = 9\text{m}$; (2) $v = 7.44\text{m/s}$

【详解】(1) 设斜面长度为 L ，背包质量为 $m_1 = 2\text{kg}$ ，在斜面上滑行的加速度为 a_1 ，由牛顿第二定律有

$$m_1 g \sin \theta - \mu m_1 g \cos \theta = m_1 a_1$$

$$\text{解得 } a_1 = 2\text{m/s}^2$$

滑雪者质量为 $m_2 = 48\text{kg}$ ，初速度为 $v_0 = 1.5\text{m/s}$ ，加速度为 $a_2 = 3\text{m/s}^2$ ，在斜面上滑行时间为 t ，落后时间 $t_0 = 1\text{s}$ ，

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 $t = 2\text{s}$ 或 $t = -1\text{s}$ (舍去)

故可得 $L = 9\text{m}$

(2) 背包和滑雪者到达水平轨道时的速度为 v_1 、 v_2 ，有 $v_1 = a_1(t + t_0) = 6\text{m/s}$ $v_2 = v_0 + a_2t = 7.5\text{m/s}$

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 $v = 7.44\text{m/s}$

14. (1) $U_0 = \frac{B^2qL_0^2}{8m} - \frac{mv_0^2}{2q}$; (2) $U_{\min} = \frac{7mv_0^2}{18q}$; (3) $CH = \frac{10mv_0}{3qB}$; $CS \rightarrow \infty$

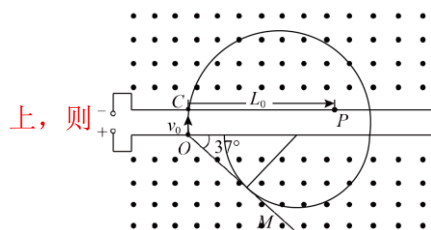
【详解】(1) 从 O 点射出的粒子在板间被加速，则 $U_0q = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

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



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) 设被粒子靶 P' 接收到 n 种能量的粒子中能量最小的粒子，在负极板上方磁场区域偏转的轨迹半径为 r_0 ，则

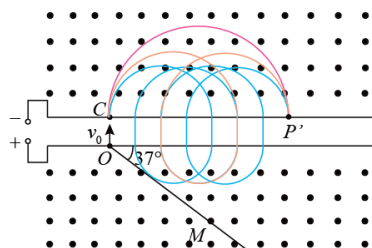
$k(2r_0 - 2r') + 2r_0 = x_{CP'}$ ，其中 $k = n - 1$

由(2)问分析可得 $r' = \frac{mv_0}{qB}$ ，为定值 $r_0 \geq \frac{4mv_0}{3qB}$ 才不能被 OM 板吸收

r_0 越小， k 越小，粒子靶 P' 离 C 点越近。 r_0 最小为 $\frac{4mv_0}{3qB}$ ，由于要求 $n \geq 2$ ，则 k 最小取 1，此时 $x_{CP'}$ 最小，即

CH 点的距离 $CH = x_{CP'_{\min}} = 4 \times \frac{4mv_0}{3qB} - 2 \times \frac{mv_0}{qB} = \frac{10mv_0}{3qB}$

当粒子靶 P' 向右移动时， $x_{CP'}$ 增大，粒子靶 P' 一定能接收到多种能量的粒子，故 $CS \rightarrow \infty$



15. (1) $p_2 = 3.1 \times 10^3 \text{ Pa}$; (2) $\frac{97}{3}$

【详解】(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 $p_2 = 3.1 \times 10^3 \text{ Pa}$

(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 $\Delta V = V_1 - V = \frac{97}{3} V$

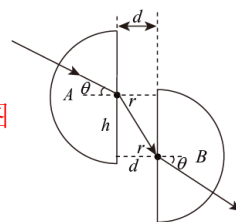
所以增加的空气质量与原有空气质量之比为 $\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta V}{V} = \frac{97}{3}$

16. (i) $n = \frac{2}{3}\sqrt{3}$; (ii) $d = \sqrt{2}(h - \frac{R}{2})$

【详解】(i) 光从半圆柱体 A 射入，满足从光密介质到光疏介质，当 $\theta = 60^\circ$ 时发生全反射，有 $\sin \theta = \frac{1}{n}$

解得 $n = \frac{2}{3}\sqrt{3}$

(ii) 当入射角 $\theta = 30^\circ$ ，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 $d = \sqrt{2}(h - \frac{R}{2})$

17. 大于 ①

【详解】[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。

18. 4 0.2

【详解】[1] 根据简谐运动对称性可知，振子零时刻向右经过 A 点，2s 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

$$T = 2t = 4s$$

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

$$4A = 0.8\text{m}$$

解得振幅为 $A = 0.2\text{m}$