2023 年湖南

1. 2023 年 4 月 13 日，中国“人造太阳”反应堆中科院环流器装置（EAST）创下新纪录，实现 403 秒稳态长脉冲高约束模等离子体运行，为可控核聚变的最终实现又向前迈出了重要的一步，下列关于核反应的说法正确的是（A）

A. 相同质量的核燃料，轻核聚变比重核裂变释放的核能更多

B. 氘氚核聚变的核反应方程为 ${}_1^2\mathrm{H}+{}_1^3\mathrm{H}\rightarrow{}_2^4\mathrm{He}+{}_{-1}^0\mathrm{e}$

C. 核聚变的核反应燃料主要是铀 235

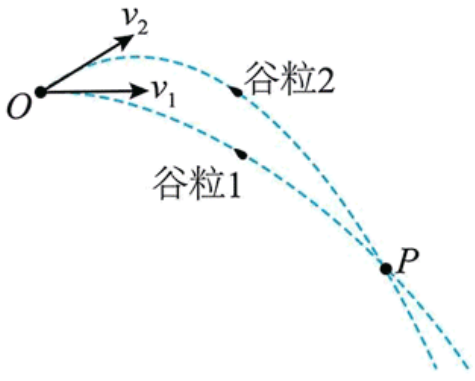
D. 核聚变反应过程中没有质量亏损

> A．相同质量的核燃料，轻核聚变比重核裂变释放的核能更多，A 正确；
>
> B．根据质量数守恒和核电荷数守恒可知，氘氚核聚变的核反应方程为
>
> ${}_1^2\mathrm{H}+{}_1^3\mathrm{H}\rightarrow{}_2^4\mathrm{He}+{}_0^1\mathrm{n}$
>
> B 错误；
>
> C．核聚变的核反应燃料主要是氘核和氚核，C 错误；
>
> D．核聚变反应过程中放出大量能量，有质量亏损，D 错误。
>
> 故选 A。

2. 如图（a），我国某些农村地区人们用手抛撒谷粒进行水稻播种。某次抛出的谷粒中有两颗的运动轨迹如图（b）所示，其轨迹在同一竖直平面内，抛出点均为 O，且轨迹交于 P 点，抛出时谷粒 1 和谷粒 2 的初速度分别为 v_1 和 v_2，其中 v_1 方向水平，v_2 方向斜向上。忽略空气阻力，关于两谷粒在空中的运动，下列说法正确的是（B）



图（a）



图（b）

A. 谷粒 1 的加速度小于谷粒 2 的加速度　　B. 谷粒 2 在最高点的速度小于 v_1

C. 两谷粒从 O 到 P 的运动时间相等　　D. 两谷粒从 O 到 P 的平均速度相等

A．抛出的两谷粒在空中均仅受重力作用，加速度均为重力加速度，故谷粒 1 的加速度等于谷粒 2 的加速度，A 错误；

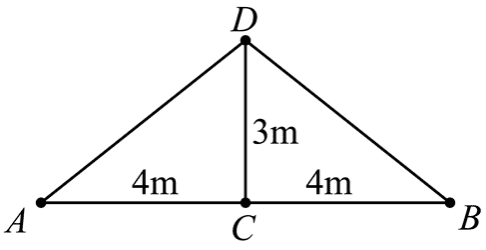
C．谷粒 2 做斜向上抛运动，谷粒 1 做平抛运动，均从 O 点运动到 P 点，故位移相同。在竖直方向上谷粒 2 做竖直上抛运动，谷粒 1 做自由落体运动，竖直方向上位移相同故谷粒 2 运动时间较长，C 错误；

B．谷粒 2 做斜抛运动，水平方向上为匀速直线运动，故运动到最高点的速度即为水平方向上的分速度。与谷粒 1 比较水平位移相同，但运动时间较长，故谷粒 2 水平方向上的速度较小即最高点的速度小于 v_1，B 正确；

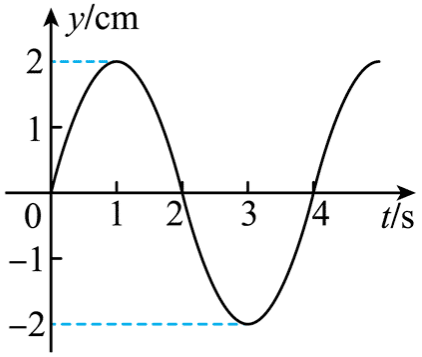
D．两谷粒从 O 点运动到 P 点的位移相同，运动时间不同，故平均速度不相等，谷粒 1 的平均速度大于谷粒 2 的平均速度，D 错误。

故选 B。

3. 如图（a），在均匀介质中有 A、B、C 和 D 四点，其中 A、B、C 三点位于同一直线上，AC = BC = 4 m，DC = 3 m，DC 垂直 AB。$t = 0$ 时，位于 A、B、C 处的三个完全相同的横波波源同时开始振动，振动图像均如图（b）所示，振动方向与平面 ABD 垂直，已知波长为 4 m。下列说法正确的是 (C)



图(a)



图(b)

A. 这三列波的波速均为 2 m/s

B. $t = 2$ s 时，D 处的质点开始振动

C. $t = 4.5$ s 时，D 处的质点向 y 轴负方向运动

D. $t = 6$ s 时，D 处的质点与平衡位置的距离是 6 cm

A．由图（b）的振动图像可知，振动的周期为 4 s，故三列波的波速为 $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{4m}{4s} = 1\,\mathrm{m/s}$

A 错误；

B．由图（a）可知，D 处距离波源最近的距离为 3 m，故开始振动后波源 C 处的横波传播到 D 处所需的时间为

$t_C = \frac{DC}{v} = \frac{3\,\mathrm{m}}{1\,\mathrm{m/s}} = 3\,\mathrm{s}$

故 $t = 2\,\mathrm{s}$ 时，D 处的质点还未开始振动，B 错误；

C. 由几何关系可知 $AD = BD = 5\,\mathrm{m}$，波源 A、B 产生的横波传播到 D 处所需的时间为 $t_{AB} = \frac{AD}{v} = \frac{5\,\mathrm{m}}{1\,\mathrm{m/s}} = 5\,\mathrm{s}$

故 $t = 4.5\,\mathrm{s}$ 时，仅波源 C 处的横波传播到 D 处，此时 D 处的质点振动时间为

$t_1 = t - t_C = 1.5\,\mathrm{s}$

由振动图像可知此时 D 处的质点向 y 轴负方向运动，C 正确；

D. $t = 6\,\mathrm{s}$ 时，波源 C 处的横波传播到 D 处后振动时间为

$t_2 = t - t_C = 3\,\mathrm{s}$

由振动图像可知此时 D 处为波源 C 处传播横波的波谷；$t = 6\ s$ 时，波源 A、B 处的横波传播到 D 处后振动时间为

$t_3 = t - t_{AB} = 1\,\mathrm{s}$

由振动图像可知此时 D 处为波源 A、B 处传播横波的波峰。根据波的叠加原理可知此时 D 处质点的位移为

$y = 2A - A = 2\,\mathrm{cm}$

故 $t = 6\ s$ 时，D 处的质点与平衡位置的距离是 $2\ cm$。D 错误。

故选 C。

4. 根据宇宙大爆炸理论，密度较大区域的物质在万有引力作用下，不断聚集可能形成恒星。恒星最终的归宿与其质量有关，如果质量为太阳质量的 1 ~ 8 倍将坍缩成白矮星，质量为太阳质量的 10 ~ 20 倍将坍缩成中子星，质量更大的恒星将坍缩成黑洞。设恒星坍缩前后可看成质量均匀分布的球体，质量不变，体积缩小，自转变快。不考虑恒星与其它物体的相互作用。已知逃逸速度为第一宇宙速度的 $\sqrt{2}$ 倍，中子星密度大于白矮星。根据万有引力理论，下列说法正确的是 (B)

A. 同一恒星表面任意位置的重力加速度相同

B. 恒星坍缩后表面两极处的重力加速度比坍缩前的大

C. 恒星坍缩前后的第一宇宙速度不变

D. 中子星的逃逸速度小于白矮星的逃逸速度

A．恒星可看成质量均匀分布的球体，同一恒星表面任意位置物体受到的万有引力提供重力加速度和绕恒星自转轴转动的向心加速度，不同位置向心加速度可能不同，故不同位置重力加速度的大小和方向可能不同，A 错误；

B．恒星两极处自转的向心加速度为零，万有引力全部提供重力加速度。恒星坍缩前后可看成质量均匀分布的球体，质量不变，体积缩小，由万有引力定律可知，恒星表面物体受到的万有引力变大，根据牛顿第二定律可知恒星坍缩后表面两极处的重力加速度比坍缩前的大。B 正确；

C．由第一宇宙速度的表达式为 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$，恒星坍缩前后质量不变，体积缩小，故第一宇宙速度变大，C 错误；

D．由质量分布均匀球体的质量表达式 $M=\frac{4\pi}{3}R^3\rho$ 得

$R=\sqrt[3]{\frac{3M}{4\pi\rho}}$

已知逃逸速度为第一宇宙速度的 2 倍，则

$$\nu'=\sqrt{2}\nu=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

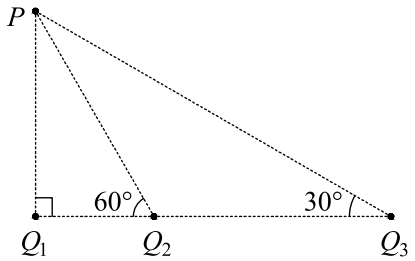
联立整理得

$$\nu'^2=2\nu^2=\frac{2GM}{R}=4G\sqrt[3]{\frac{\pi\rho M^2}{3}}$$

由题意可知中子星的质量和密度均大于白矮星，结合上式表达式可知中子星的逃逸速度大于白矮星的逃逸速度，D 错误。

故选 B。

5. 如图，真空中有三个点电荷固定在同一直线上，电荷量分别为 Q_1、Q_2 和 Q_3，P 点和三个点电荷的连线与点电荷所在直线的夹角分别为 90°、60° 和 30°。若 P 点处的电场强度为零，$q>0$，则三个点电荷的电荷量可能为 (D)



A. $Q_1=q$，$Q_2=\sqrt{2}q$，$Q_3=q$　　B. $Q_1=-q$，$Q_2=-\frac{4\sqrt{3}}{3}q$，$Q_3=-4q$

C. $Q_1=-q$，$Q_2=\sqrt{2}q$，$Q_3=-q$　　D. $Q_1=q$，$Q_2=-\frac{4\sqrt{3}}{3}q$，$Q_3=4q$

AB．选项 AB 的电荷均为正和均为负，则根据电场强度的叠加法则可知，P 点的场强不可能为零，AB 错误；

C. 设 P、Q_1 间的距离为 r，则 Q_1、Q_3 在 P 点产生的合场强大小有

$\cos 120^\circ = \frac{\left(\frac{kq}{r^2}\right)^2+\left(\frac{kq}{4r^2}\right)^2-E^2}{2\cdot\frac{k^2q^2}{4r^4}}$

解得

$E = \frac{\sqrt{21}kq}{4r^2}$

而 Q_2 产生的场强大小为 $E = \frac{3\sqrt{2}kq}{4r^2}$

则 P 点的场强不可能为零，C 错误；

D. 设 P、Q_1 间的距离为 r，则 Q_1、Q_3 在 P 点产生的合场强大小有

$\cos 120^\circ = \frac{\left(\frac{kq}{r^2}\right)^2+\left(\frac{4kq}{4r^2}\right)^2-E^2}{2\cdot\frac{4k^2q^2}{4r^4}}$

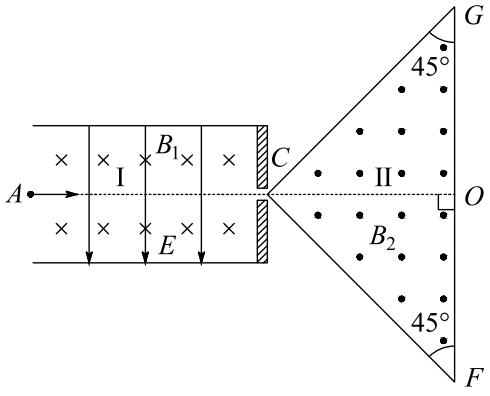
解得 $E = \frac{\sqrt{3}kq}{r^2}$

而 Q_2 产生的场强大小为 $E = \frac{\sqrt{3}kq}{r^2}$

则 P 点的场强可能为零，D 正确。

故选 D。

6. 如图，真空中有区域 I 和 II，区域 I 中存在匀强电场和匀强磁场，电场方向竖直向下（与纸面平行），磁场方向垂直纸面向里，等腰直角三角形 CGF 区域（区域 II）内存在匀强磁场，磁场方向垂直纸面向外。图中 A、C、O 三点在同一直线上，AO 与 GF 垂直，且与电场和磁场方向均垂直。A 点处的粒子源持续将比荷一定但速率不同的粒子射入区域 I 中，只有沿直线 AC 运动的粒子才能进入区域 II。若区域 I 中电场强度大小为 E、磁感应强度大小为 B_1，区域 II 中磁感应强度大小为 B_2，则粒子从 CF 的中点射出，它们在区域 II 中运动的时间为 t_0。若改变电场或磁场强弱，能进入区域 II 中的粒子在区域 II 中运动的时间为 t，不计粒子的重力及粒子之间的相互作用，下列说法正确的是 (D)



A. 若仅将区域 I 中磁感应强度大小变为 $2B_1$，则 $t > t_0$

B. 若仅将区域 I 中电场强度大小变为 $2E$，则 $t > t_0$

C. 若仅将区域 II 中磁感应强度大小变为 $\frac{\sqrt{3}}{4}B_2$，则 $t = \frac{t_0}{2}$

D. 若仅将区域 II 中磁感应强度大小变为 $\frac{\sqrt{2}}{4}B_2$，则 $t = \sqrt{2}t_0$

由题知粒子在 AC 做直线运动，则有

$qv_0B_1 = qE$

区域Ⅱ中磁感应强度大小为 B_2，则粒子从 CF 的中点射出，则粒子转过的圆心角为 90°，

根据 $qvB = m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，有

$t_0 = \frac{\pi m}{2qB_2}$

A. 若仅将区域 I 中磁感应强度大小变为 $2B_1$，则粒子在 AC 做直线运动的速度，有 $qv_A \cdot 2B_1 = qE$

则

$v_A = \frac{v_0}{2}$

再根据 $qvB = m\frac{v^2}{r}$，可知粒子半径减小，则粒子仍然从 CF 边射出，粒子转过的圆心角仍为 90°，则 $t = t_0$，A 错误；

B. 若仅将区域 I 中电场强度大小变为 2E，则粒子在 AC 做直线运动的速度，有 $qv_BB_1 = q \cdot 2E$

则 $v_B = 2v_0$

再根据 $qvB = m\frac{v^2}{r}$，可知粒子半径变为原来的 2 倍，则粒子 F 点射出，粒子转过的圆心角仍为 90°，则 $t = t_0$，B 错误；

C. 若仅将区域Ⅱ中磁感应强度大小变为 $\frac{\sqrt{3}}{4}B_2$，则粒子在 AC 做直线运动的速度仍为 v_0，

再根据 $qvB = m\frac{v^2}{r}$，可知粒子半径变为原来的 $\frac{4}{\sqrt{3}} > 2$，则粒子从 OF 边射出，根据几何关系可知转过的圆心角为 60°，根据 $qvB = m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，有

$t = \frac{4\sqrt{3}\pi m}{9qB_2}$

则 $t = \frac{8\sqrt{3}t_0}{9}$

C 错误；

D. 若仅将区域Ⅱ中磁感应强度大小变为 $\frac{\sqrt{2}}{4}B_2$，则粒子在 AC 做直线运动的速度仍为 v_0，

再根据 $qvB = m\frac{v^2}{r}$，可知粒子半径变为原来的 $\frac{4}{\sqrt{2}} > 2$，则粒子 OF 边射出，根据几何关系

可知转过的圆心角为 45°，根据 $qvB = m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，有

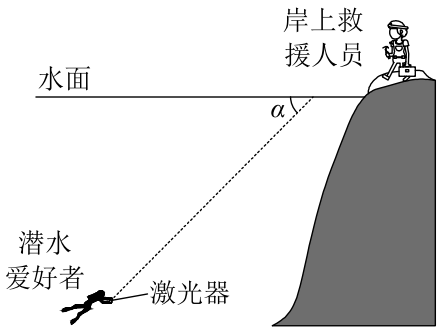
$t = \frac{\sqrt{2}\pi m}{2qB_2}$

则 $t=\sqrt{2}t_0$

D 正确。

故选 D。

7. 一位潜水爱好者在水下活动时，利用激光器向岸上救援人员发射激光信号，设激光光束与水面的夹角为 α，如图所示。他发现只有当 α 大于 41° 时，岸上救援人员才能收到他发出的激光光束，下列说法正确的是（BC）



A. 水的折射率为 $\frac{1}{\sin 41^\circ}$

B. 水的折射率为 $\frac{1}{\sin 49^\circ}$

C. 当他以 $\alpha=60^\circ$ 向水面发射激光时，岸上救援人员接收激光光束的方向与水面夹角小于 60°

D. 当他以 $\alpha=60^\circ$ 向水面发射激光时，岸上救援人员接收激光光束的方向与水面夹角大于 60°

AB．他发现只有当 α 大于 41° 时，岸上救援人员才能收到他发出的激光光束，则说明 $\alpha=41^\circ$ 时激光恰好发生全反射，则 $\sin(90^\circ-41^\circ)=\frac{1}{n}$，求得 $n=\frac{1}{\sin 49^\circ}$。A 错误、B 正确；

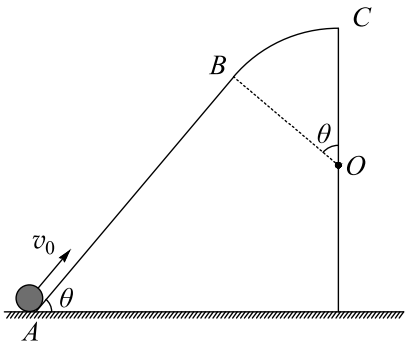
CD．当他以 $\alpha=60^\circ$ 向水面发射激光时，入射角 $i_1=30^\circ$，则根据折射定律有

$n\sin i_1=\sin i_2$

折射角 i_2 大于 30°，则岸上救援人员接收激光光束的方向与水面夹角小于 60°，C 正确、D 错误。

故选 BC。

8. 如图，固定在竖直面内的光滑轨道 ABC 由直线段 AB 和圆弧段 BC 组成，两段相切于 B 点，AB 段与水平面夹角为 θ，BC 段圆心为 O，最高点为 C、A 与 C 的高度差等于圆弧轨道的直径 $2R$。小球从 A 点以初速度 v_0 冲上轨道，能沿轨道运动恰好到达 C 点，下列说法正确的是（AD）



A. 小球从 B 到 C 的过程中，对轨道的压力逐渐增大

B. 小球从 A 到 C 的过程中，重力的功率始终保持不变

C. 小球的初速度 $v_0=\sqrt{2gR}$

D. 若小球初速度 v_0 增大，小球有可能从 B 点脱离轨道

A．由题知，小球能沿轨道运动恰好到达 C 点，则小球在 C 点的速度为 $v_C=0$，则小球从 C 到 B 的过程中，有

$mgR(1-\cos\alpha)=\frac{1}{2}mv^2$

$F_N=mg\cos\alpha-m\frac{v^2}{R}$

联立有 $F_N=3\,\mathrm{mg}\cos\alpha-2\,\mathrm{mg}$

则从 C 到 B 的过程中 α 由 0 增大到 θ，则 $\cos\alpha$ 逐渐减小，故 F_N 逐渐减小，而小球从 B 到 C 的过程中，对轨道的压力逐渐增大，A 正确；

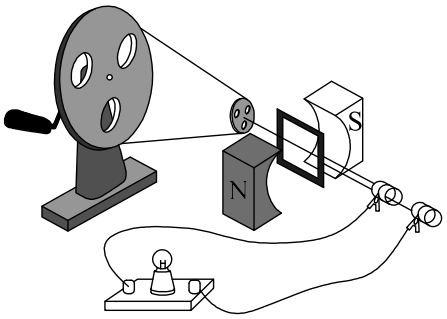
B．由于 A 到 B 的过程中小球的速度逐渐减小，则 A 到 B 的过程中重力的功率为 $P=-mgv\sin\theta$，则 A 到 B 的过程中小球重力的功率始终减小，则 B 错误；

C．从 A 到 C 的过程中有 $-mg\cdot 2R=\frac{1}{2}mv_C^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，解得 $v_0=2\sqrt{gR}$。C 错误；

D．小球在 B 点恰好脱离轨道有 $mg\cos\theta=m\frac{v_B^2}{R}$，则 $v_B=\sqrt{gR\cos\theta}$，则若小球初速度 v_0 增大，小球在 B 点的速度有可能为 $\sqrt{gR\cos\theta}$，故小球有可能从 B 点脱离轨道，D 正确。

故选 AD。

9. 某同学自制了一个手摇交流发电机，如图所示。大轮与小轮通过皮带传动（皮带不打滑），半径之比为 4:1，小轮与线圈固定在同一转轴上。线圈是由漆包线绕制而成的边长为 L 的正方形，共 n 匝，总阻值为 R。磁体间磁场可视为磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。大轮以角速度 ω 匀速转动，带动小轮及线圈绕转轴转动，转轴与磁场方向垂直。线圈通过导线、滑环和电刷连接一个阻值恒为 R 的灯泡。假设发电时灯泡能发光且工作在额定电压以内，下列说法正确的是（ AC ）



A. 线圈转动的角速度为 4ω

B. 灯泡两端电压有效值为 $3\sqrt{2}nBL^2\omega$

C. 若用总长为原来两倍的相同漆包线重新绕制成边长仍为 L 的多匝正方形线圈，则灯泡两端电压有效值为 $\frac{4\sqrt{2}nBL^2\omega}{3}$

D. 若仅将小轮半径变为原来的两倍，则灯泡变得更亮

A．大轮和小轮通过皮带传动，线速度相等，小轮和线圈同轴转动，角速度相等，根据 $v=\omega r$，大轮与小轮半径之比为 4:1，则小轮转动的角速度为 4ω，线圈转动的角速度为 4ω，A 正确；

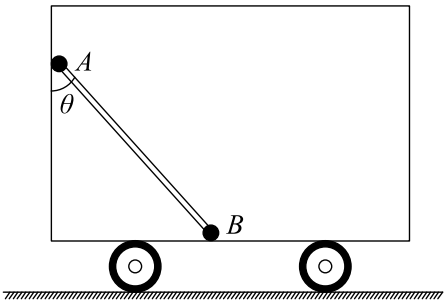
B．线圈产生感应电动势的最大值 $E_{\max}=nBS\cdot 4\omega$，又 $S=L^2$，联立可得 $E_{\max}=4nBL^2\omega$，则线圈产生感应电动势的有效值 $E=\frac{E_{\max}}{\sqrt{2}}=2\sqrt{2}nBL^2\omega$，根据串联电路分压原理可知灯泡两端电压有效值为 $U=\frac{RE}{R+R}=\sqrt{2}nBL^2\omega$，B 错误；

C．若用总长为原来两倍的相同漆包线重新绕制成边长仍为 L 的多匝正方形线圈，则线圈的匝数变为原来的 2 倍，线圈产生感应电动势的最大值 $E'_{\max}=8nBL^2\omega$，此时线圈产生感应电动势的有效值 $E'=\frac{E'_{\max}}{\sqrt{2}}=4\sqrt{2}nBL^2\omega$，根据电阻定律 $R'=\rho\frac{l}{S'}$，可知线圈电阻变为原来的 2 倍，即为 $2R$，根据串联电路分压原理可得灯泡两端电压有效值 $U'=\frac{RE'}{R+2R}=\frac{4\cdot 2}{3}nBL^2\omega$，C 正确；

D．若仅将小轮半径变为原来的两倍，根据 $v=\omega r$ 可知小轮和线圈的角速度变小，根据 $E=\frac{nBS\omega}{\sqrt{2}}$，可知线圈产生的感应电动势有效值变小，则灯泡变暗，D 错误。

故选 AC。

10. 如图，光滑水平地面上有一质量为 $2m$ 的小车在水平推力 F 的作用下加速运动。车厢内有质量均为 m 的 A、B 两小球，两球用轻杆相连，A 球靠在光滑左壁上，B 球处在车厢水平底面上，且与底面的动摩擦因数为 μ，杆与竖直方向的夹角为 θ，杆与车厢始终保持相对静止假设最大静摩擦力等于滑动摩擦力。下列说法正确的是（CD）



A. 若 B 球受到的摩擦力为零，则 $F=2mg\tan\theta$

B. 若推力 F 向左，且 $\tan\theta\leq\mu$，则 F 的最大值为 $2mg\tan\theta$

C. 若推力 F 向左，且 $\mu<\tan\theta\leq2\mu$，则 F 的最大值为 $4mg(2\mu-\tan\theta)$

D. 若推力 F 向右，且 $\tan\theta>2\mu$，则 F 的范围为 $4mg(\tan\theta-2\mu)\leq F\leq4mg(\tan\theta+2\mu)$

A. 设杆的弹力为 N，对小球 A：竖直方向受力平衡，则杆水平方向的分力与竖直方向的分力满足 $\frac{N_x}{N_y}=\tan\theta$

竖直方向 $N_y=mg$

则 $N_x=mg\tan\theta$

若 B 球受到的摩擦力为零，对 B 根据牛顿第二定律可得 $N_x=ma$

可得 $a=g\tan\theta$

对小球 A、B 和小车整体根据牛顿第二定律 $F=4ma=4\,\mathrm{mg}\tan\theta$

A 错误；

B. 若推力 F 向左，根据牛顿第二定律可知加速度向左，小球 A 所受向左的合力的最大值为 $N_x=mg\tan\theta$

对小球 B，由于 $\tan\theta\leq\mu$，小球 B 受到向左的合力

$F=\mu(N_y+mg)-N_x\geq mg\tan\theta$

则对小球 A，根据牛顿第二定律可得 $N_x=ma_{max}$

对系统整体根据牛顿第二定律 $F=4ma_{max}$

解得 $F=4\,\mathrm{mg}\tan\theta$

B 错误；

C. 若推力 F 向左，根据牛顿第二定律可知加速度向左，小球 A 向左方向的加速度由杆对小球 A 的水平分力提供，小球 A 所受向左的合力的最大值为

$N_x=mg\tan\theta$

小球 B 所受向左的合力的最大值

$F_{\max} = (N_y + mg) \cdot \mu - N_x = 2\mu mg - mg\tan\theta$

由于 $\mu < \tan\theta \leq 2\mu$ 可知

$F_{\max} < mg\tan\theta$

则对小球 B，根据牛顿第二定律 $F_{\max} = 2\mu mg - mg\tan\theta = ma_{\max}$

对系统根据牛顿第二定律 $F = 4ma_{\max}$

联立可得 F 的最大值为 $F = 4\,\mathrm{mg}(2\mu - \tan\theta)$

C 正确；

D. 若推力 F 向右，根据牛顿第二定律可知系统整体加速度向右，由于小球 A 可以受到左

壁向右的支持力，理论上向右的合力可以无限大，因此只需要讨论小球 B 即可，当小球 B 所受的摩擦力向左时，小球 B 向右的合力最小，此时

$$F_{\min} = N_x - (N_y + mg)\mu = mg\tan\theta - 2\mu mg\tan\theta$$

当小球所受摩擦力向右时，小球 B 向右的合力最大，此时

$$F_{\max} = N_x + (N_y + mg)\mu = mg\tan\theta + 2\mu mg\tan\theta$$

对小球 B 根据牛顿第二定律

$$F_{\min} = ma_{\min}$$

$$F_{\max} = ma_{\max}$$

对系统根据牛顿第二定律 $F = 4ma$

代入小球 B 所受合力分范围可得 F 的范围为

$4\,\mathrm{mg}(\tan\theta - 2\mu) \leqslant F \leqslant 4\,\mathrm{mg}(\tan\theta + 2\mu)$

D 正确。

故选 CD。

11. 某同学探究弹簧振子振动周期与质量的关系，实验装置如图（a）所示，轻质弹簧上端悬挂在铁架台上，下端挂有钩码，钩码下表面吸附一个小磁铁，其正下方放置智能手机，

手机中的磁传感器可以采集磁感应强度实时变化的数据并输出图像，实验步骤如下：

(1) 测出钩码和小磁铁的总质量 m；

(2) 在弹簧下端挂上该钩码和小磁铁，使弹簧振子在竖直方向做简谐运动，打开手机的磁传感器软件，此时磁传感器记录的磁感应强度变化周期等于弹簧振子振动周期；

(3) 某次采集到的磁感应强度 B 的大小随时间 t 变化的图像如图（b）所示，从图中可以算出弹簧振子振动周期 $T=$ $\frac{t_0}{10}$ （用“t_0”表示）；

(4) 改变钩码质量，重复上述步骤；

(5) 实验测得数据如下表所示，分析数据可知，弹簧振子振动周期的平方与质量的关系是 线性的 （填“线性的”或“非线性的”）；

m/kg	$10T/\mathrm{s}$	T/s	T^2/s^2
0.015	2.43	0.243	0.059
0.025	3.14	0.314	0.099
0.035	3.72	0.372	0.138
0.045	4.22	0.422	0.178
0.055	4.66	0.466	0.217

(6) 设弹簧的劲度系数为 k，根据实验结果并结合物理量的单位关系，弹簧振子振动周期的表达式可能是 A （填正确答案标号）；

(7) 除偶然误差外，写出一条本实验中可能产生误差的原因：钩码振动过程中受空气阻力的影响 。

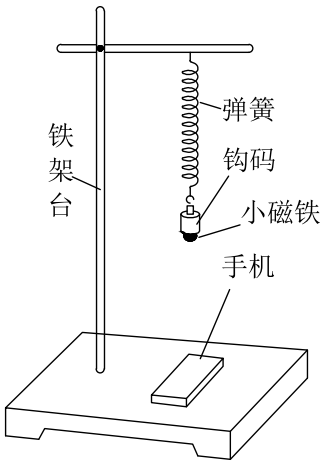


图 a

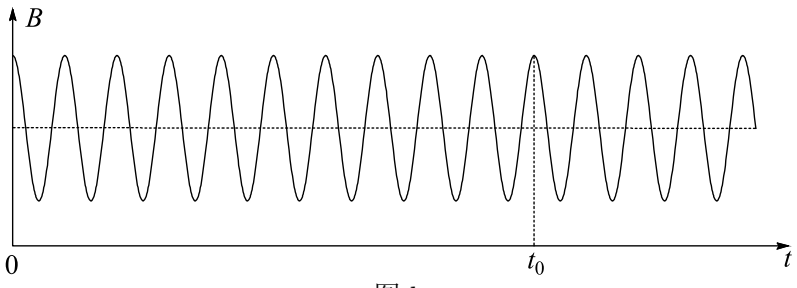


图 b

(1) $\frac{t_0}{10}$ (2) 线性的 (3) A (4) 空气阻力

（3）从图中可以算出弹簧振子振动周期 $T=\frac{t_0}{10}$

（5）分析数据可知，弹簧振子振动周期的平方与质量的比值接近于常量 3.95，则弹簧振子振动周期的平方与质量的关系是线性的；

(6) 因 $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 的单位为

$$\sqrt{\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{N/m}}}=\sqrt{\frac{\mathrm{kg\cdot m}}{\mathrm{kg\cdot m/s^2}}}=\mathrm{s}$$

因为 s（秒）为周期的单位，则其它各项单位都不是周期的单位，故选 A。

（7）除偶然误差外，钩码振动过程中受空气阻力的影响可能会使本实验产生误差。

12. 某探究小组利用半导体薄膜压力传感器等元件设计了一个测量微小压力的装置，其电路如图（a）所示，R_1、R_2、R_3 为电阻箱，R_F 为半导体薄膜压力传感器，C、D 间连接电压传感器（内阻无穷大）。

(1) 先用欧姆表“×100”挡粗测 R_F 的阻值，示数如图（b）所示，对应的读数是 1000 Ω；

(2) 适当调节 R_1、R_2、R_3，使电压传感器示数为 0，此时，R_F 的阻值为 $\frac{R_1R_3}{R_2}$（用 R_1、R_2、R_3 表示）；

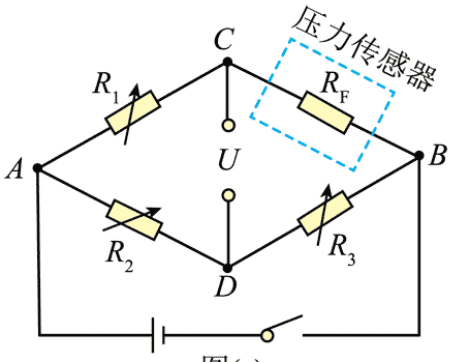
(3) 依次将 0.5 g 的标准砝码加载到压力传感器上（压力传感器上所受压力大小等于砝码重力大小），读出电压传感器示数 U，所测数据如下表所示：

次数	1	2	3	4	5	6
砝码质量 m/ g	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
电压 U/ mV	0	57	115	168	220	280

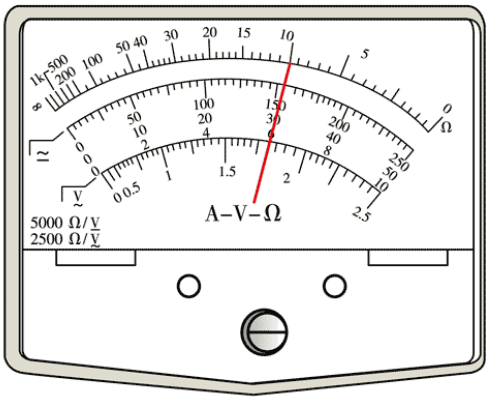
根据表中数据在图（c）上描点，绘制 $U-m$ 关系图线 如图 ；

(4) 完成前面三步的实验工作后，该测量微小压力的装置即可投入使用．在半导体薄膜压力传感器上施加微小压力 F_0，电压传感器示数为 200 mV，则 F_0 大小是 1.8×10^{-2} N（重力加速度取 9.8 m/s^2，保留 2 位有效数字）；

(5) 若在步骤（4）中换用非理想毫伏表测量 C、D 间电压，在半导体薄膜压力传感器上施加微小压力 F_1，此时非理想毫伏表读数为 200 mV，则 $F_1>F_0$（填“>”“=”或“<”）。

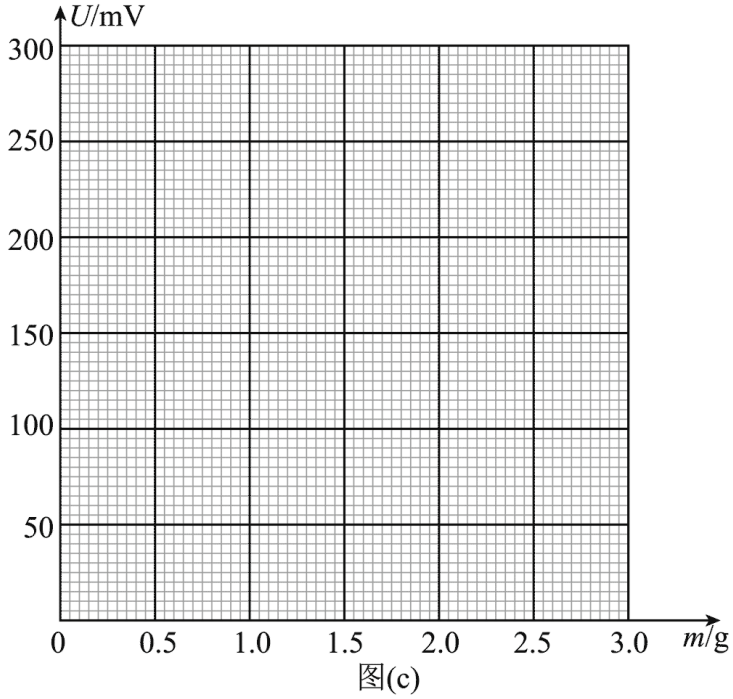

压力传感器
C
R_1
R_F
A
U
B
R_2
R_3
D

图(a)


A–V–Ω
5000 Ω/V
2500 Ω/V

图(b)

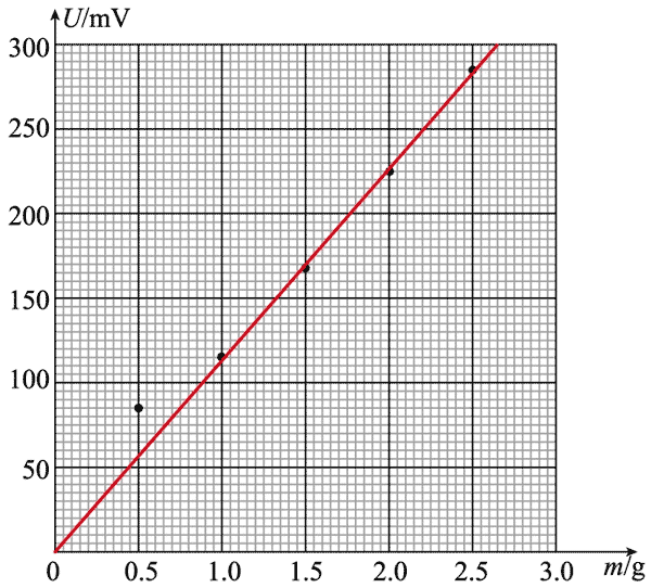
图 a


U/mV
300
250
200
150
100
50
0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
m/g

图(c)

图 b

(1) 1000　(2) $\frac{R_1R_3}{R_2}$　(3) 如图



(4) 1.8×10^{-2}　(5) $>$

（1）欧姆表读数为 $10\times100\,\Omega=1000\,\Omega$

（2）当电压传感器读数为零时，CD 两点电势相等，即

$U_{CB}=U_{DB}$

即

$$\frac{U_{AB}}{R_1+R_F}R_F=\frac{U_{AB}}{R_2+R_3}R_3$$

解得 $R_F=\frac{R_1R_3}{R_2}$

（3）绘出 U-m 图像如图

（4）由图像可知，当电压传感器的读数为 200 mV 时，所放物体质量为 1.80 g，则 $F_0=mg=1.80\times10^{-3}\times9.8\,\mathrm{N}=1.8\times10^{-2}\,\mathrm{N}$

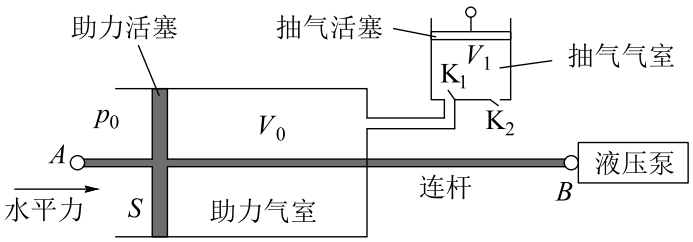
（5）可将 CD 以外的电路等效为新的电源，CD 两点电压看做路端电压，因为换用非理想电压传感器当读数为 200 mV 时，实际 CD 间断路（接理想电压传感器时）时的电压大于 200 mV，则此时压力传感器的读数 $F_1>F_0$。

13. 汽车刹车助力装置能有效为驾驶员踩刹车省力．如图，刹车助力装置可简化为助力气室和抽气气室等部分构成，连杆 AB 与助力活塞固定为一体，驾驶员踩刹车时，在连杆 AB 上施加水平力推动液压泵实现刹车。助力气室与抽气气室用细管连接，通过抽气降低助力气室压强，利用大气压与助力气室的压强差实现刹车助力．每次抽气时，K_1 打

开，K_2 闭合，抽气活塞在外力作用下从抽气气室最下端向上运动，助力气室中的气体充满抽气气室，达到两气室压强相等；然后，K_1 闭合，K_2 打开，抽气活塞向下运动，抽气气室中的全部气体从 K_2 排出，完成一次抽气过程．已知助力气室容积为 V_0，初始压强等于外部大气压强 p_0，助力活塞横截面积为 S，抽气气室的容积为 V_1。假设抽气过程中，助力活塞保持不动，气体可视为理想气体，温度保持不变。

(1) 求第 1 次抽气之后助力气室内的压强 p_1；

(2) 第 n 次抽气后，求该刹车助力装置为驾驶员省力的大小 ΔF。



(1) $p_1 = \frac{p_0V_0}{V_0+V_1}$ (2) $\Delta F = [1 - (\frac{V_0}{V_0+V_1})^n]p_0S$

（1）第 1 次抽气过程，助力气室发生等温变化，由玻意耳定律有

$$p_0V_0 = p_1(V_0 + V_1)$$

解得 $p_1 = \frac{V_0}{V_0+V_1}p_0$。

（2）第 2 次抽气过程，有

$$p_1V_0 = p_2(V_0 + V_1)$$

解得 $p_2 = \left(\frac{V_0}{V_0+V_1}\right)^2 p_0$。

以此类推，第 n 次抽气后，助力气室内的压强为

$$p_n = \left(\frac{V_0}{V_0+V_1}\right)^n p_0$$

故第 n 次抽气后，驾驶员省力的大小为

$$\Delta F = (p_0 - p_n)S$$

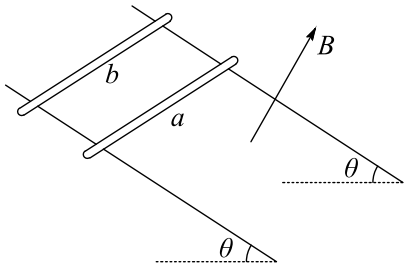
解得 $\Delta F = \left[1 - \left(\frac{V_0}{V_0+V_1}\right)^n\right] p_0S$。

14. 如图，两根足够长的光滑金属直导轨平行放置，导轨间距为 L，两导轨及其所构成的平面均与水平面成 θ 角，整个装置处于垂直于导轨平面斜向上的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B。现将质量均为 m 的金属棒 a、b 垂直导轨放置，每根金属棒接入导轨之间的电阻均为 R。运动过程中金属棒与导轨始终垂直且接触良好，金属棒始终未滑出导轨，导轨电阻忽略不计，重力加速度为 g。

(1) 先保持棒 b 静止，将棒 a 由静止释放，求棒 a 匀速运动时的速度大小 v_0；

(2) 在（1）问中，当棒 a 匀速运动时，再将棒 b 由静止释放，求释放瞬间棒 b 的加速度大小 a_0；

(3) 在（2）问中，从棒 b 释放瞬间开始计时，经过时间 t_0，两棒恰好达到相同的速度 v，求速度 v 的大小，以及时间 t_0 内棒 a 相对于棒 b 运动的距离 Δx。



(1) $v_0=\frac{2mgR\sin\theta}{B^2L^2}$　(2) $a_0=2g\sin\theta$　(3) $v=g\sin\theta\cdot t_0+\frac{v_0}{2}$，$\Delta x=\frac{mv_0R}{B^2L^2}$

（1）棒 a 匀速运动时，对棒 a 由平衡条件有 $mg\sin\theta=BI_1L$，由法拉第电磁感应定律有 $E_1=BLv_0$，由欧姆定律有 $I_1=\frac{E_1}{2R}$，联立解得

$v_0=\frac{2mgR\sin\theta}{B^2L^2}$

（2）当棒 a 匀速运动时释放棒 b，棒 b 受到沿导轨向下的安培力，则释放棒 b 的瞬间，对棒 b 由牛顿第二定律有

$mg\sin\theta+BI_1L=ma$

又 $BI_1L=mg\sin\theta$，联立解得 $a_0=2g\sin\theta$。

（3）释放棒 b 后，两棒中产生的感应电动势方向相反，两棒所受安培力均减小。对棒 a 由动量定理有

$(mg\sin\theta-F)t_0=mv-mv_0$

对棒 b 由动量定理有

$(mg\sin\theta+F)t_0=mv$

结合（1）问结果解得 $v=gt_0\sin\theta+\frac{v_0}{2}$。

设棒 a 速度为 v_i、棒 b 速度为 v_j 时，棒中电流为

$I=\frac{BL(v_i-v_j)}{2R}$

两棒所受安培力大小均为

$F=BIL=\frac{B^2L^2(v_i-v_j)}{2R}$

对棒 b 由动量定理有

$\left[mg\sin\theta+\frac{B^2L^2(v_i-v_j)}{2R}\right]\Delta t=m\Delta v$

对全过程求和，注意到 $\sum \Delta t = t_0$、$\sum (v_i - v_j)\Delta t = \Delta x$、$\sum \Delta v = v$，解得

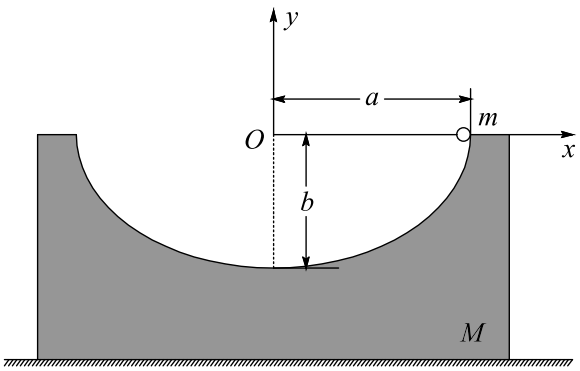
$\Delta x = \frac{mv_0R}{B^2L^2}$

15. 如图，质量为 M 的匀质凹槽放在光滑水平地面上，凹槽内有一个半椭圆形的光滑轨道，椭圆的半长轴和半短轴分别为 a 和 b，长轴水平，短轴竖直．质量为 m 的小球，初始时刻从椭圆轨道长轴的右端点由静止开始下滑．以初始时刻椭圆中心的位置为坐标原点，在竖直平面内建立固定于地面的直角坐标系 xOy，椭圆长轴位于 x 轴上。整个过程凹槽不翻转，重力加速度为 g。

(1) 小球第一次运动到轨道最低点时，求凹槽的速度大小以及凹槽相对于初始时刻运动的距离；

(2) 在平面直角坐标系 xOy 中，求出小球运动的轨迹方程；

(3) 若 $\frac{M}{m} = \frac{b}{a-b}$，求小球下降 $h = \frac{b}{2}$ 高度时，小球相对于地面的速度大小（结果用 a、b 及 g 表示）。



(1) $v_2 = \sqrt{\frac{2m^2gb}{M^2+Mm}}$，$x_2 = \frac{m}{M+m}a$　(2) $\frac{[x(M+m)-ma]^2}{M^2a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$　(3) $2b\sqrt{\frac{g}{a+3b}}$

（1）小球从静止到第一次运动到轨道最低点的过程，水平方向上小球和凹槽组成的系统动量守恒，有

$0 = mv_1 - Mv_2$

由机械能守恒定律有

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

联立解得 $v_2 = \sqrt{\frac{2m^2gb}{M(M+m)}}$。

由人船模型规律有 $mx_1 = Mx_2$，又 $x_1 + x_2 = a$，解得凹槽相对于初始时刻运动的距离

$x_2 = \frac{ma}{M+m}$

（2）当小球的坐标为 (x,y) 时，小球向左运动的位移 $x_1'=a-x$，凹槽水平向右运动的位移 $x_2'=\frac{m}{M}(a-x)$。小球在凹槽所在的椭圆上运动，有

$\frac{(x-x_2')^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1$

整理得小球运动的轨迹方程

$\frac{[(M+m)x-ma]^2}{M^2a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1$

（3）将 $\frac{M}{m}=\frac{b}{a-b}$ 代入（2）问结果化简可得

$[x-(a-b)]^2+y^2=b^2$

即小球的运动轨迹是半径为 b 的圆。小球下降 $h=\frac{b}{2}$ 的过程中，系统水平方向动量守恒、机械能守恒，有

$mv_{1x}'=Mv_2'$

$mg\frac{b}{2}=\frac{1}{2}mv_1'^2+\frac{1}{2}Mv_2'^2$

由速度分解有 $v_1'\sin 30^\circ=v_{1x}'$，联立解得

$v_1'=2b\sqrt{\frac{g}{a+3b}}$

