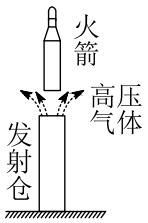
2022 年山东

1. 碘 125 衰变时产生 γ 射线，医学上利用此特性可治疗某些疾病。碘 125 的半衰期为 60 天，若将一定质量的碘 125 植入患者病灶组织，经过 180 天剩余碘 125 的质量为刚植入时的（B）

A. $\frac{1}{16}$　　B. $\frac{1}{8}$　　C. $\frac{1}{4}$　　D. $\frac{1}{2}$

> 设刚植入时碘的质量为 m_0，经过 180 天后的质量为 m，根据
>
> $m=m_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$
>
> 代入数据解得
>
> $m=m_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{180}{60}}=m_0\left(\frac{1}{2}\right)^3=\frac{1}{8}m_0$
>
> 故选 B。

2. 我国多次成功使用“冷发射”技术发射长征十一号系列运载火箭。如图所示，发射仓内的高压气体先将火箭竖直向上推出，火箭速度接近零时再点火飞向太空。从火箭开始运动到点火的过程中（A）



A. 火箭的加速度为零时，动能最大

B. 高压气体释放的能量全部转化为火箭的动能

C. 高压气体对火箭推力的冲量等于火箭动量的增加量

D. 高压气体的推力和空气阻力对火箭做功之和等于火箭动能的增加量

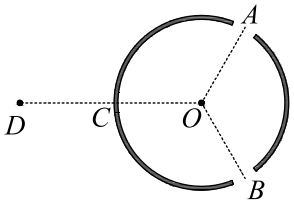
> A．火箭从发射仓发射出来，受竖直向下的重力、竖直向下的空气阻力和竖直向上的高压气体的推力作用，且推力大小不断减小，刚开始向上的时候高压气体的推力大于向下的重力和空气阻力之和，故火箭向上做加速度减小的加速运动，当向上的高压气体的推力等于向下的重力和空气阻力之和时，火箭的加速度为零，速度最大，接着向上的高压气体的推力小于向下的重力和空气阻力之和时，火箭接着向上做加速度增大的减速运动，直至速度为零，故当火箭的加速度为零时，速度最大，动能最大，故 A 正确；
>
> B．根据能量守恒定律，可知高压气体释放的能量转化为火箭的动能、火箭的重力势能和内能，故 B 错误；

C．根据动量定理，可知合力冲量等于火箭动量的增加量，故 C 错误；

D．根据功能关系，可知高压气体的推力和空气阻力对火箭做功之和等于火箭机械能的增加量，故 D 错误。

故选 A。

3. 半径为 R 的绝缘细圆环固定在图示位置，圆心位于 O 点，环上均匀分布着电量为 Q 的正电荷。点 A、B、C 将圆环三等分，取走 A、B 处两段弧长均为 ΔL 的小圆弧上的电荷。将一点电荷 q 置于 OC 延长线上距 O 点为 $2R$ 的 D 点，O 点的电场强度刚好为零。圆环上剩余电荷分布不变，q 为 (C)



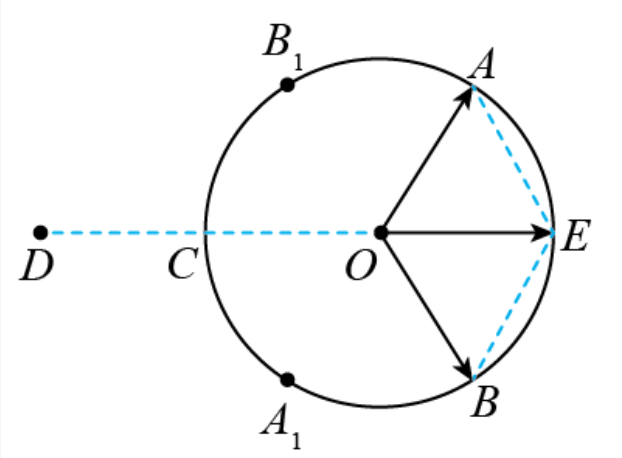
A．正电荷，$q=\frac{Q\Delta L}{\pi R}$

B．正电荷，$q=\frac{\sqrt{3}Q\Delta L}{\pi R}$

C．负电荷，$q=\frac{2Q\Delta L}{\pi R}$

D．负电荷，$q=\frac{2\sqrt{3}Q\Delta L}{\pi R}$

取走 A、B 处两段弧长均为 ΔL 的小圆弧上的电荷，根据对称性可知，圆环在 O 点产生的电场强度为与 A 在同一直径上的 A_1 和与 B 在同一直径上的 B_1 产生的电场强度的矢量和，如图所示，因为两段弧长非常小，故可看成点电荷，则有



$E_1=k\frac{\frac{Q\Delta L}{2\pi R}}{R^2}=k\frac{Q\Delta L}{2\pi R^3}$

由图可知，两场强的夹角为 120°，则两者的合场强为

$E=E_1=k\frac{Q\Delta L}{2\pi R^3}$

根据 O 点的合场强为 0，则放在 D 点的点电荷带负电，大小为

$E'=E=k\frac{Q\Delta L}{2\pi R^3}$

根据

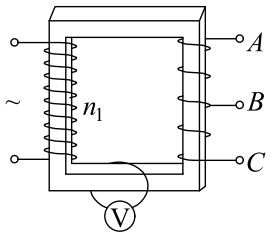
$E' = k\frac{q}{(2R)^2}$

联立解得

$q = \frac{2Q\Delta L}{\pi R}$

故选 C。

4. 如图所示的变压器，输入电压为 220 V，可输出 12 V、18 V、30 V 电压，匝数为 n_1 的原线圈中电压随时间变化为 $u = U_m \cos(100\pi t)$，单匝线圈绕过铁芯连接交流电压表，电压表的示数为 0.1 V。将阻值为 12 Ω 的电阻 R 接在 BC 两端时，功率为 12 W。下列说法正确的是 (D)



A. n_1 为 1100 匝，U_m 为 220 V

B. BC 间线圈匝数为 120 匝，流过 R 的电流为 1.4 A

C. 若将 R 接在 AB 两端，R 两端的电压为 18 V，频率为 100 Hz

D. 若将 R 接在 AC 两端，流过 R 的电流为 2.5 A，周期为 0.02 s

A．变压器的输入电压为 220 V，原线圈的交流电压与时间成余弦函数关系，故输入交流电压的最大值为 $220\sqrt{2}$ V，根据理想变压器原线圈与单匝线圈的匝数比为

$\frac{n_1}{1} = \frac{220\,\text{V}}{0.1\,\text{V}}$

解得原线圈为 2200 匝，A 错误；

B．根据图像可知，当原线圈输入 220 V 时，BC 间的电压应该为 12 V，故 BC 间的线圈匝数关系有

$\frac{n_{BC}}{1} = \frac{12\,\text{V}}{0.1\,\text{V}} = 120$

BC 间的线圈匝数为 120 匝，流过 R 的电流为

$I_{BC} = \frac{P}{U_{BC}} = \frac{12\,\text{W}}{12\,\text{V}} = 1\,\text{A}$

B 错误；

C．若将 R 接在 AB 端，根据图像可知，当原线圈输入 220 V 时，AB 间的电压应该为 18 V。根据交流电原线圈电压的表达式可知，交流电的角速度为 100π，故交流电

的频率为 $f=\frac{1}{T}=\frac{\omega}{2\pi}=50\,\mathrm{Hz}$

C 错误；

D．若将 R 接在 AC 端，根据图像可知，当原线圈输入 220 V 时，AC 间的电压应该为 30 V，根据欧姆定律可知，流过电阻 R 的电流为

$I_{AC}=\frac{U_{AC}}{R}=\frac{30\,\mathrm{V}}{12\,\Omega}=2.5\,\mathrm{A}$

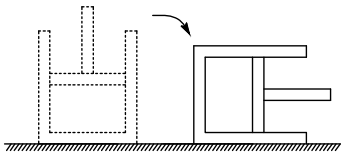
交流电的周期为

$T=\frac{2\pi}{\omega}=0.02\,\mathrm{s}$

D 正确。

故选 D。

5. 如图所示，内壁光滑的绝热气缸内用绝热活塞封闭一定质量的理想气体，初始时气缸开口向上放置，活塞处于静止状态，将气缸缓慢转动 90° 过程中，缸内气体 (C)



A．内能增加，外界对气体做正功

B．内能减小，所有分子热运动速率都减小

C．温度降低，速率大的分子数占总分子数比例减少

D．温度升高，速率大的分子数占总分子数比例增加

初始时气缸开口向上，活塞处于平衡状态，气缸内外气体对活塞的压力差与活塞的重力平衡，则有 $(p_1-p_0)S=mg$，气缸在缓慢转动的过程中，气缸内外气体对活塞的压力差大于重力沿气缸壁的分力，故气缸内气体缓慢地将活塞往外推，最后气缸水平，缸内气压等于大气压。

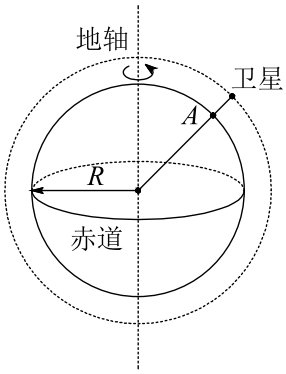
AB．气缸、活塞都是绝热的，故缸内气体与外界没有发生热传递，气缸内气体压强作用将活塞往外推，气体对外做功，根据热力学第一定律 $\Delta U=Q+W$ 得：气体内能减小，故缸内理想气体的温度降低，分子热运动的平均速率减小，并不是所有分子热运动的速率都减小，AB 错误；

CD．气体内能减小，缸内理想气体的温度降低，分子热运动的平均速率减小，故速率大的分子数占总分子数的比例减小，C 正确，D 错误。

故选 C。

6. “羲和号”是我国首颗太阳探测科学技术试验卫星。如图所示，该卫星围绕地球的运动视为匀速圆周运动，轨道平面与赤道平面接近垂直。卫星每天在相同时刻，沿相同方向

经过地球表面 A 点正上方，恰好绕地球运行 n 圈。已知地球半径为 R，自转周期为 T，地球表面重力加速度为 g，则“羲和号”卫星轨道距地面高度为 (C)



A. $\sqrt[3]{\frac{gR^2T^2}{2n^2\pi^2}}-R$　　B. $\sqrt[3]{\frac{gR^2T^2}{2n^2\pi^2}}$　　C. $\sqrt[3]{\frac{gR^2T^2}{4n^2\pi^2}}-R$　　D. $\sqrt[3]{\frac{gR^2T^2}{4n^2\pi^2}}$

地球表面的重力加速度为 g，根据牛顿第二定律得

$\frac{GMm}{R^2}=mg$

解得

$GM=gR^2$

根据题意可知，卫星的运行周期为

$T'=\frac{T}{n}$

根据牛顿第二定律，万有引力提供卫星运动的向心力，则有

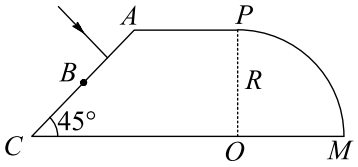
$\frac{GMm}{(R+h)^2}=m\frac{4\pi^2}{T'^2}(R+h)$

联立解得

$h=\sqrt[3]{\frac{gR^2T^2}{4n^2\pi^2}}-R$

故选 C。

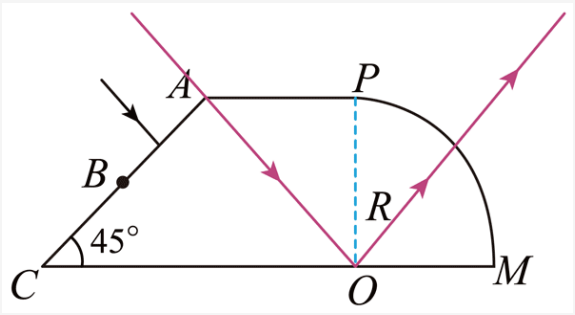
7. 柱状光学器件横截面如图所示，OP 右侧是以 O 为圆心、半径为 R 的 $\frac{1}{4}$ 圆，左侧是直角梯形，AP 长为 R，AC 与 CO 的夹角为 45°，AC 中点为 B。a、b 两种频率的细激光束，垂直 AB 面入射，器件介质对 a，b 光的折射率分别为 1.42、1.40。保持光的入射方向不变，入射点从 A 向 B 移动过程中，能在 PM 面全反射后，从 OM 面射出的光是（不考虑三次反射以后的光）(A)



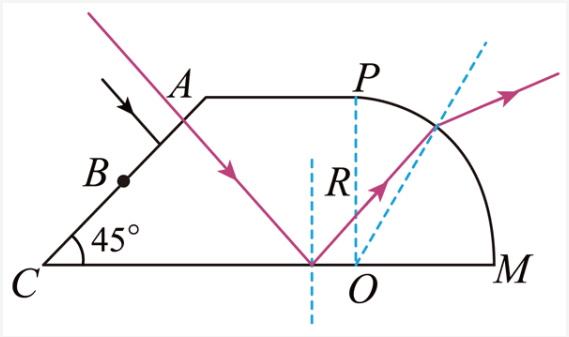
A. 仅有 a 光　　B. 仅有 b 光

C. a、b 光都可以　　D. a、b 光都不可以

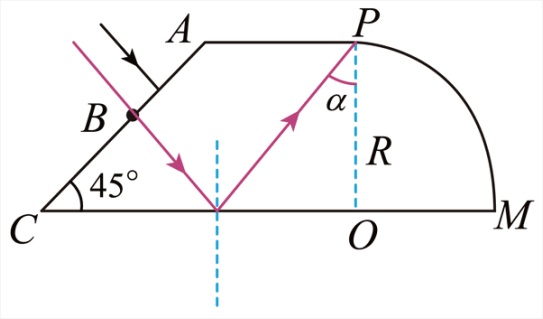
当两种频率的细激光束从 A 点垂直于 AB 面入射时，激光沿直线传播到 O 点，经第一次反射沿半径方向直线传播出去。



保持光的入射方向不变，入射点从 A 向 B 移动过程中，如下图可知，激光沿直线传播到 CO 面经反射向 PM 面传播，根据图像可知，入射点从 A 向 B 移动过程中，光线传播到 PM 面的入射角逐渐增大。



当入射点为 B 点时，根据光的反射定律及几何关系可知，光线传播到 PM 面的 P 点，此时光线在 PM 面上的入射角最大，设为 α，由几何关系得 $\alpha = 45°$。



根据全反射临界角公式得

$\sin C_a = \frac{1}{n_a} = \frac{1}{1.42} < \frac{\sqrt{2}}{2}$

$\sin C_b = \frac{1}{n_b} = \frac{1}{1.40} > \frac{\sqrt{2}}{2}$

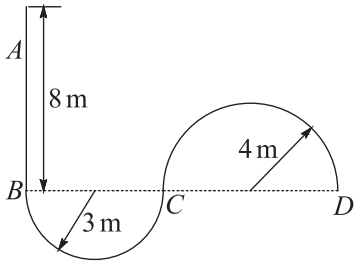
两种频率的细激光束的全反射的临界角关系为

$C_a < 45° < C_b$

故在入射光从 A 向 B 移动过程中，a 光能在 PM 面全反射后，从 OM 面射出；b 光不能在 PM 面发生全反射，故仅有 a 光。A 正确，BCD 错误。

故选 A。

8. 无人配送小车某次性能测试路径如图所示，半径为 3 m 的半圆弧 BC 与长 8 m 的直线路径 AB 相切于 B 点，与半径为 4 m 的半圆弧 CD 相切于 C 点。小车以最大速度从 A 点驶入路径，到适当位置调整速率运动到 B 点，然后保持速率不变依次经过 BC 和 CD。为保证安全，小车速率最大为 4 m/s。在 ABC 段的加速度最大为 2 m/s^2，CD 段的加速度最大为 1 m/s^2。小车视为质点，小车从 A 到 D 所需最短时间 t 及在 AB 段做匀速直线运动的最长距离 l 为 (B)



A. $t=\left(2+\frac{7\pi}{4}\right)$ s，$l=8$ m

B. $t=\left(\frac{9}{4}+\frac{7\pi}{2}\right)$ s，$l=5$ m

C. $t=\left(2+\frac{5}{12}\sqrt{6}+\frac{7\sqrt{6}\pi}{6}\right)$ s，$l=5.5$ m

D. $\left[2+\frac{5}{12}\sqrt{6}+\frac{(\sqrt{6}+4)\pi}{2}\right]$ s，$l=5.5$ m

在 BC 段的最大加速度为 $a_1=2\,\mathrm{m/s^2}$，则根据

$a_1=\frac{v_1^2}{r_1}$

可得在 BC 段的最大速度为

$v_{1m}=\sqrt{6}\,\mathrm{m/s}$

在 CD 段的最大加速度为 $a_2=1\,\mathrm{m/s^2}$，则根据

$a_2=\frac{v_2^2}{r_2}$

可得在 CD 段的最大速度为

$v_{2m}=2\,\mathrm{m/s}<v_{1m}$

可知在 BCD 段运动时的速度为 $v=2\,\mathrm{m/s}$，在 BCD 段运动的时间为

$t_3=\frac{\pi r_1+\pi r_2}{v}=\frac{7\pi}{2}\,\mathrm{s}$

AB 段从最大速度 v_m 减速到 v 的时间

$t_1=\frac{v_m-v}{a_1}=\frac{4-2}{2}\,\mathrm{s}=1\,\mathrm{s}$

位移

$x_2 = \frac{v_m^2 - v^2}{2a_1} = 3\,\mathrm{m}$

在 AB 段匀速的最长距离为

$l = 8\,\mathrm{m} - 3\,\mathrm{m} = 5\,\mathrm{m}$

则匀速运动的时间

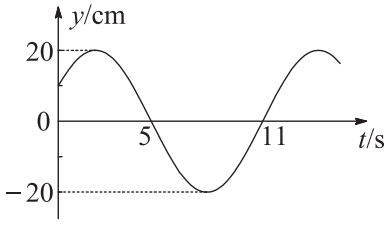
$t_2 = \frac{l}{v_m} = \frac{5}{4}\,\mathrm{s}$

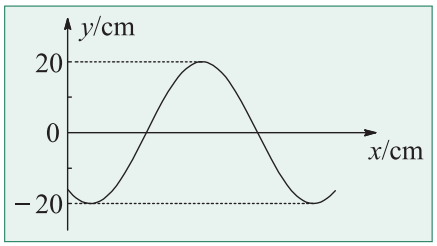
则从 A 到 D 最短时间为

$t = t_1 + t_2 + t_3 = \left(\frac{9}{4} + \frac{7\pi}{2}\right)\,\mathrm{s}$

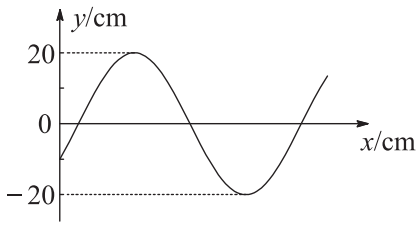
故选 B。

9. 一列简谐横波沿 x 轴传播，平衡位置位于坐标原点 O 的质点振动图像如右图所示。当 $t = 7\,\mathrm{s}$ 时，简谐波的波动图像可能正确的是 (AC)

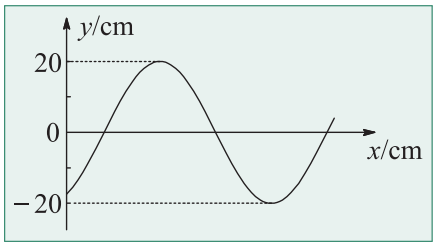




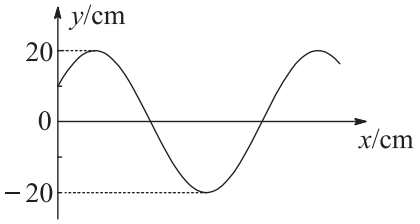
A.



B.



C.



D.

由 O 点的振动图像可知，周期为 $T = 12\,\mathrm{s}$，设原点处的质点的振动方程为

$y = A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right)$

则

$10 = 20\sin\varphi$

解得

$\varphi = \frac{\pi}{6}$

在 $t = 7\,\mathrm{s}$ 时刻

$y_7 = 20\sin\left(\frac{2\pi}{12} \times 7 + \frac{\pi}{6}\right) = -10\sqrt{3}\,\mathrm{cm} \approx -17.3\,\mathrm{cm}$

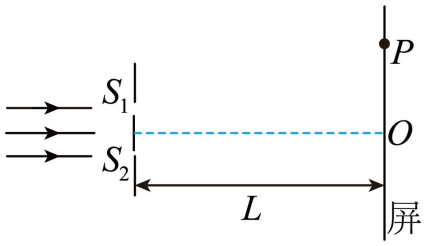
因

$7\,\mathrm{s} = \frac{1}{2}T + \frac{1}{12}T$

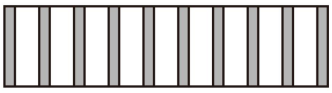
则在 $t = 7\,\mathrm{s}$ 时刻质点在 y 轴负向向下振动，根据“同侧法”可判断若波向右传播，则波形为 C 所示；若波向左传播，则波形如 A 所示。

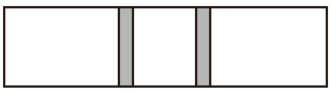
故选 AC。

10. 某同学采用图 甲 所示的实验装置研究光的干涉与衍射现象，狭缝 S_1、S_2 的宽度可调，狭缝到屏的距离为 L。同一单色光垂直照射狭缝，实验中分别在屏上得到了图 乙、图 丙 所示图样。下列描述正确的是（ ACD ）



图甲


图乙


图丙

A. 图 乙 是光的双缝干涉图样，当光通过狭缝时，也发生了衍射

B. 遮住一条狭缝，另一狭缝宽度增大，其他条件不变，图 丙 中亮条纹宽度增大

C. 照射两条狭缝时，增加 L，其他条件不变，图 乙 中相邻暗条纹的中心间距增大

D. 照射两条狭缝时，若光从狭缝 S_1、S_2 到屏上 P 点的路程差为半波长的奇数倍，P 点处一定是暗条纹

A．由干涉图样中间部分等间距条纹可知，该图样是光的双缝干涉图样，当光通过狭缝时，同时也发生衍射，故 A 正确；

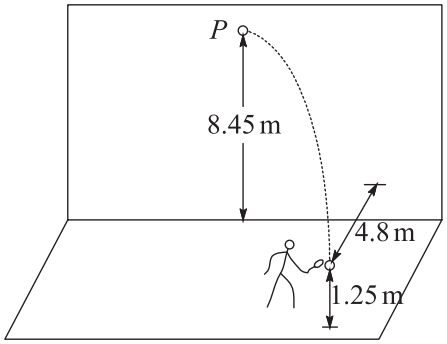
B．狭缝越小，衍射范围越大，衍射条纹越宽，遮住一条狭缝，另一狭缝宽度增大，则衍射现象减弱，衍射图样中亮条纹宽度减小，故 B 错误；

C．根据条纹间距公式 $\Delta x = \frac{L}{d}\lambda$ 可知照射两条狭缝时，增加 L，其他条件不变，干涉图样中相邻暗条纹的中心间距增大，故 C 正确；

D．照射两条狭缝时，若光从狭缝 S_1、S_2 到屏上 P 点的路程差为半波长的奇数倍，P 点处一定是暗条纹，故 D 正确。

故选 ACD。

11. 如图所示，某同学将离地 1.25 m 的网球以 13 m/s 的速度斜向上击出，击球点到竖直墙壁的距离 4.8 m。当网球竖直分速度为零时，击中墙壁上离地高度为 8.45 m 的 P 点。网球与墙壁碰撞后，垂直墙面速度分量大小变为碰前的 0.75 倍。平行墙面的速度分量不变。重力加速度 g 取 $10\,\mathrm{m/s^2}$，网球碰墙后的速度大小 v 和着地点到墙壁的距离 d 分别为 (BD)



A. $v = 5\,\mathrm{m/s}$　　B. $v = 3\sqrt{2}\,\mathrm{m/s}$　　C. $d = 3.6\,\mathrm{m}$　　D. $d = 3.9\,\mathrm{m}$

设网球飞出时的速度为 v_0，竖直方向

$v_{0竖直}^2 = 2g(H-h)$

代入数据得

$v_{0竖直} = \sqrt{2\times 10\times(8.45-1.25)}\,\mathrm{m/s} = 12\,\mathrm{m/s}$

则

$v_{0水平} = \sqrt{13^2-12^2}\,\mathrm{m/s} = 5\,\mathrm{m/s}$

网球水平方向到 P 点的距离

$x_{水平} = v_{0水平}t = v_{0水平}\cdot\frac{v_{0竖直}}{g} = 6\,\mathrm{m}$

根据几何关系可得打在墙面上时，垂直墙面的速度分量

$v_{0水平\perp} = v_{0水平}\cdot\frac{4}{5} = 4\,\mathrm{m/s}$

平行墙面的速度分量

$v_{0水平\parallel} = v_{0水平}\cdot\frac{3}{5} = 3\,\mathrm{m/s}$

反弹后，垂直墙面的速度分量

$v'_{水平\perp} = 0.75\cdot v_{0水平\perp} = 3\,\mathrm{m/s}$

则反弹后的网球速度大小为

$v = \sqrt{v'^2_{水平\perp}+v^2_{0水平\parallel}} = 3\sqrt{2}\,\mathrm{m/s}$

网球落到地面的时间

$t'=\sqrt{\frac{2H}{g}}=\sqrt{\frac{8.45\times2}{10}}\,\mathrm{s}=1.3\,\mathrm{s}$

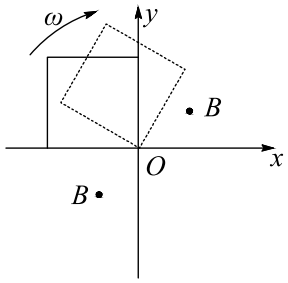
着地点到墙壁的距离

$d=v'_{水平\perp}t'=3.9\,\mathrm{m}$

故 BD 正确，AC 错误。

故选 BD。

12. 如图所示，xOy 平面的第一、三象限内以坐标原点 O 为圆心、半径为 $\sqrt{2}L$ 的扇形区域充满方向垂直纸面向外的匀强磁场。边长为 L 的正方形金属框绕其始终在 O 点的顶点、在 xOy 平面内以角速度 ω 顺时针匀速转动，$t=0$ 时刻，金属框开始进入第一象限。不考虑自感影响，关于金属框中感应电动势 E 随时间 t 变化规律的描述正确的是 (BC)



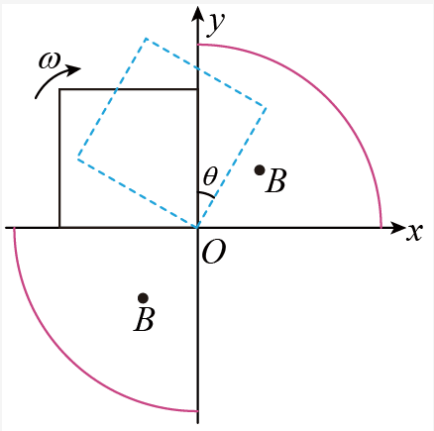
A. 在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{2\omega}$ 的过程中，E 一直增大

B. 在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{2\omega}$ 的过程中，E 先增大后减小

C. 在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{4\omega}$ 的过程中，E 的变化率一直增大

D. 在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{4\omega}$ 的过程中，E 的变化率一直减小

AB. 如图所示，在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{2\omega}$ 的过程中，线框的有效切割长度先变大再变小，当 $t=\frac{\pi}{4\omega}$ 时，有效切割长度最大为 $2L$，此时，感应电动势最大，所以在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{2\omega}$ 的过程中，E 先增大后减小，故 B 正确，A 错误；



CD．在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{4\omega}$ 的过程中，设转过的角度为 θ，由几何关系可得

$\theta=\omega t$

进入磁场部分线框的面积

$S=\frac{L\cdot L\tan\theta}{2}$

穿过线圈的磁通量

$\Phi=BS=\frac{BL^2\tan\omega t}{2}$

线圈产生的感应电动势

$E=\Phi'=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

感应电动势的变化率

$\frac{\Delta E}{\Delta t}=E'$

对 $\Phi=\frac{BL^2\tan\omega t}{2}$ 求二次导数得

$\frac{\Delta E}{\Delta t}=BL^2\omega^2\sec^2\omega t\tan\omega t$

在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{4\omega}$ 的过程中 $BL^2\omega^2\sec^2\omega t\tan\omega t$ 一直变大，所以 E 的变化率一直增大，故 C 正确，D 错误。

故选 BC。

13. 在天宫课堂中，我国航天员演示了利用牛顿第二定律测量物体质量的实验。受此启发，某同学利用气垫导轨、力传感器、无线加速度传感器、轻弹簧和待测物体等器材设计了测量物体质量的实验，如图 甲 所示。主要步骤如下：

① 将力传感器固定在气垫导轨左端支架上，加速度传感器固定在滑块上；

② 接通气源，放上滑块，调平气垫导轨；

③ 将弹簧左端连接力传感器，右端连接滑块。弹簧处于原长时滑块左端位于 O 点。A 点到 O 点的距离为 5.00 cm，拉动滑块使其左端处于 A 点，由静止释放并开始计时；

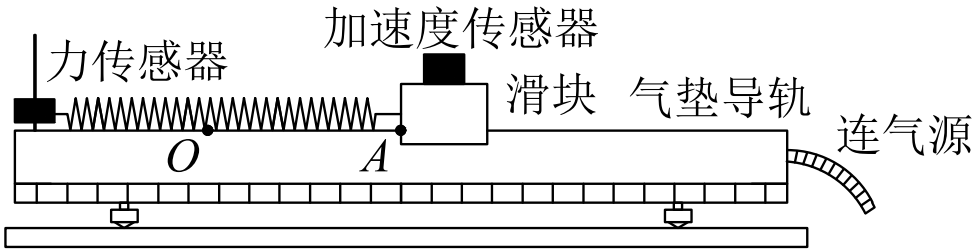
④ 计算机采集获取数据，得到滑块所受弹力 F、加速度 a 随时间 t 变化的图像，部分图像如图 乙 所示。

回答以下问题（结果均保留两位有效数字）：

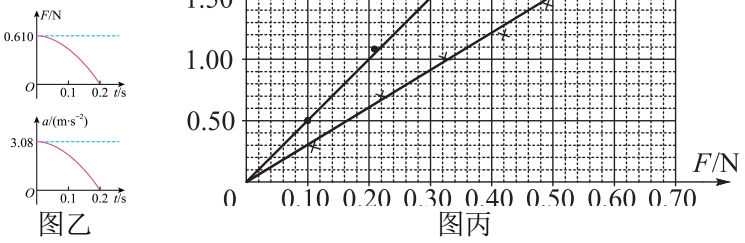
(1) 弹簧的劲度系数为 12 N/m。

(2) 该同学从图 乙 中提取某些时刻 F 与 a 的数据，画出 $a-F$ 图像如图 丙 中 I 所示，由此可得滑块与加速度传感器的总质量为 0.20 kg。

(3) 该同学在滑块上增加待测物体，重复上述实验步骤，在图 丙 中画出新的 $a-F$ 图像Ⅱ，则待测物体的质量为 0.13 kg。



图甲



图乙

图丙

(1) 12　(2) 0.20　(3) 0.13

（1）由题知，弹簧处于原长时滑块左端位于 O 点，A 点到 O 点的距离为 5.00 cm。拉动滑块使其左端处于 A 点，由静止释放并开始计时。结合 $F-t$ 图像有 $\Delta x=5.00\,\mathrm{cm}$，$F=0.610\,\mathrm{N}$

根据胡克定律

$k=\frac{F}{\Delta x}$

计算出

$k\approx 12\,\mathrm{N/m}$

（2）根据牛顿第二定律有

$F=ma$

则 $a-F$ 图像的斜率为滑块与加速度传感器的总质量的倒数，根据 $a-F$ 图像Ⅰ，则有

$\frac{1}{m}=\frac{3-0}{0.6}\,\mathrm{kg}^{-1}=5\,\mathrm{kg}^{-1}$

则滑块与加速度传感器的总质量为

$m=0.20\,\mathrm{kg}$

（3）滑块上增加待测物体，同理，根据 $a-F$ 图像Ⅱ，则有

$\frac{1}{m'}=\frac{1.5-0}{0.5}\,\mathrm{kg}^{-1}=3\,\mathrm{kg}^{-1}$

则滑块、待测物体与加速度传感器的总质量为 $m'=0.33\,\mathrm{kg}$，则待测物体的质量为 $\Delta m=m'-m=0.13\,\mathrm{kg}$。

14. 某同学利用实验室现有器材，设计了一个测量电阻阻值的实验。实验器材：

干电池 E（电动势 1.5 V，内阻未知）；

电流表 A_1（量程 10 mA，内阻为 90 Ω）；

电流表 A_2（量程 30 mA，内阻为 30 Ω）；

定值电阻 R_0（阻值为 150 Ω）；

滑动变阻器 R（最大阻值为 100 Ω）；

待测电阻 R_x；

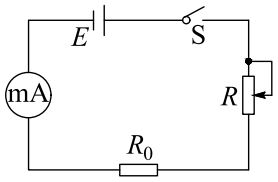
开关 S，导线若干。

测量电路如图所示。

(1) 断开开关，连接电路，将滑动变阻器 R 的滑片调到阻值最大一端。将定值电阻 R_0 接入电路；闭合开关，调节滑片位置，使电流表指针指在满刻度的 $\frac{1}{2}$ 处。该同学选用的电流表为 A_1（填“A_1”或“A_2”）；若不考虑电池内阻，此时滑动变阻器接入电路的电阻值应为 60 Ω。

(2) 断开开关，保持滑片的位置不变。用 R_x 替换 R_0，闭合开关后，电流表指针指在满刻度的 $\frac{3}{5}$ 处，则 R_x 的测量值为 100 Ω。

(3) 本实验中未考虑电池内阻，对 R_x 的测量值无（填“有”或“无”）影响。



(1) A_1，60　(2) 100　(3) 无

（1）若不考虑电源内阻，且在电源两端只接 R_0 时，电路中的电流约为

$I=\frac{E}{R_0}=\frac{1.5}{150}\,\mathrm{A}=10\,\mathrm{mA}$

由题知，闭合开关，调节滑片位置，要使电流表指针指在满刻度的 $\frac{1}{2}$ 处，则该同学选到的电流表应为 A_1。

当不考虑电源内阻，根据闭合电路的欧姆定律有

$E=\frac{I_m}{2}(R+R_0+R_{A1})$

计算出 $R=60\,\Omega$

（2）断开开关，保持滑片的位置不变，用 R_x 替换 R_0，闭合开关后，有

$E=\frac{3I_m}{5}(R+R_x+R_{A1})$

代入数据有 $R_x=100\,\Omega$

（3）若考虑电源内阻，根据闭合电路的欧姆定律有

$E=\frac{I_m}{2}[(R+r)+R_0+R_{A1}]$

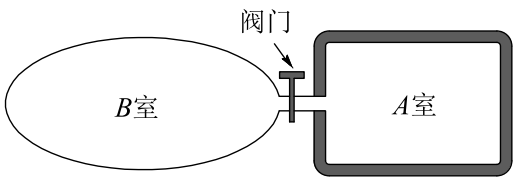
$E=\frac{3I_m}{5}[(R+r)+R_x+R_{A1}]$

联立计算出的 R_x 不受电源内阻 r 的影响。

15. 某些鱼类通过调节体内鱼鳔的体积实现浮沉。如图所示，鱼鳔结构可简化为通过阀门相连的 A、B 两个密闭气室，A 室壁厚、可认为体积恒定，B 室壁薄、体积可变；两室内气体视为理想气体，可通过阀门进行交换。质量为 M 的鱼静止在水面下 H 处。B 室内气体体积为 V，质量为 m；设 B 室内气体压强与鱼体外压强相等、鱼体积的变化与 B 室气体体积的变化相等，鱼的质量不变，鱼鳔内气体温度不变。水的密度为 ρ，重力加速度为 g。大气压强为 p_0，求：

(1) 鱼通过增加 B 室体积获得大小为 a 的加速度，需从 A 室充入 B 室的气体质量 Δm；

(2) 鱼静止于水面下 H_1 处时，B 室内气体质量 m_1。



(1) $\Delta m=\frac{Mma}{V\rho g}$　(2) $m_1=\frac{\rho gH_1+p_0}{\rho gH+p_0}m$

（1）由题知开始时鱼静止在 H 处，设此时鱼的体积为 V_0，有

$Mg=\rho gV_0$

且此时 B 室内气体体积为 V，质量为 m，则 $m=\rho_{气}V$

鱼通过增加 B 室体积获得大小为 a 的加速度，则有

$\rho g(V_0+\Delta V)-Mg=Ma$

联立解得需从 A 室充入 B 室的气体质量

$\Delta m=\rho_{气}\Delta V=\frac{Mma}{V\rho g}$

（2）B 室内气体压强与鱼体外压强相等，则鱼静止在 H 处和水面下 H_1 处时，B 室内的压强分别为

$p_1=\rho gH+p_0,\quad p_2=\rho gH_1+p_0$

由于鱼静止时，浮力等于重力，则鱼的体积不变，由于题可知，鱼体积的变化与 B 室气体体积的变化相等，则鱼在水下静止时，B 室内气体体积不变，由题知开始时鱼静止在 H 处时，B 室内气体体积为 V，质量为 m，由于鱼鳔内气体温度不变，若 $H_1\geqslant H$，则在 H_1 处时，B 室内气体需要增加，设吸入的气体体积为 ΔV，根据玻意耳定律有

$p_1(V+\Delta V)=p_2V$

则此时 B 室内气体质量

$m_1=\rho_{气}(V+\Delta V)=\frac{\rho gH_1+p_0}{\rho gH+p_0}m$

若 $H_1<H$，则在 H_1 处时，B 室内气体需要减少，设释放的气体体积为 ΔV，根据玻意耳定律有

$p_1V=p_2(V+\Delta V)$

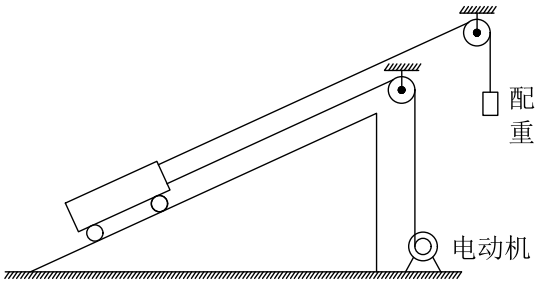
则此时 B 室内气体质量

$m_1=\frac{mV}{V+\Delta V}=\frac{mp_2}{p_1}=\frac{\rho gH_1+p_0}{\rho gH+p_0}m$

16. 某粮库使用额定电压 $U=380\,\mathrm{V}$、内阻 $R=0.25\,\Omega$ 的电动机运粮。如图所示，配重和电动机连接小车的缆绳均平行于斜坡，装满粮食的小车以速度 $v=2\,\mathrm{m/s}$ 沿斜坡匀速上行，此时电流 $I=40\,\mathrm{A}$。关闭电动机后，小车又沿斜坡上行路程 L 到达卸粮点时，速度恰好为零。卸粮后，给小车一个向下的初速度，小车沿斜坡刚好匀速下行。已知小车质量 $m_1=100\,\mathrm{kg}$，车上粮食质量 $m_2=1200\,\mathrm{kg}$，配重质量 $m_0=40\,\mathrm{kg}$，取重力加速度 $g=10\,\mathrm{m/s^2}$，小车运动时受到的摩擦阻力与车及车上粮食总重力成正比，比例系数为 k，配重始终未接触地面，不计电动机自身机械摩擦损耗及缆绳质量。求：

(1) 比例系数 k 值；

(2) 上行路程 L 值。



(1) $k=0.1$　(2) $L=\frac{67}{185}\,\mathrm{m}$

（1）设电动机的牵引绳拉力为 T_1，电动机连接小车的缆绳匀速上行，由能量守恒定律有

$$UI=I^2R+T_1v$$

解得

$$T_1=7400\,\mathrm{N}$$

小车和配重一起匀速，设绳的拉力为 T_2，对配重有

$$T_2=m_0g=400\,\mathrm{N}$$

设斜面倾角为 θ，对小车匀速有

$$T_1+T_2=(m_1+m_2)g\sin\theta+k(m_1+m_2)g$$

而卸粮后给小车一个向下的初速度，小车沿斜坡刚好匀速下行，有

$$m_1g\sin\theta=m_0g+km_1g$$

联立各式解得

$$\sin\theta=0.5,\quad k=0.1$$

（2）关闭电动机后小车和配重一起做匀减速直线运动，设加速度为 a，对系统由牛顿第二定律有

$$(m_1+m_2)g\sin\theta+k(m_1+m_2)g-m_0g=(m_1+m_2+m_0)a$$

可得 $a=\frac{370}{67}\,\mathrm{m/s^2}$

由运动学公式可知

$$v^2=2aL$$

解得

$$L=\frac{67}{185}\,\mathrm{m}$$

17. 中国“人造太阳”在核聚变实验方面取得新突破，该装置中用电磁场约束和加速高能离

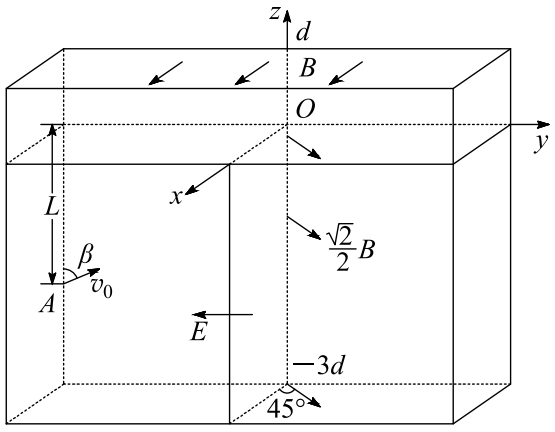
子，其部分电磁场简化模型如图所示，在三维坐标系 $Oxyz$ 中，$0<z\leq d$ 空间内充满匀强磁场Ⅰ，磁感应强度大小为 B，方向沿 x 轴正方向；$-3d\leq z<0$，$y\geq 0$ 的空间内充满匀强磁场Ⅱ，磁感应强度大小为 $\frac{\sqrt{2}}{2}B$，方向平行于 xOy 平面，与 x 轴正方向夹角为 $45°$；$z<0$，$y\leq 0$ 的空间内充满沿 y 轴负方向的匀强电场。质量为 m、带电量为 $+q$ 的离子甲，从 yOz 平面第三象限内距 y 轴为 L 的点 A 以一定速度出射，速度方向与 z 轴正方向夹角为 β，在 yOz 平面内运动一段时间后，经坐标原点 O 沿 z 轴正方向进入磁场Ⅰ。不计离子重力。

(1) 当离子甲从 A 点出射速度为 v_0 时，求电场强度的大小 E；

(2) 若使离子甲进入磁场后始终在磁场中运动，求进入磁场时的最大速度 v_m；

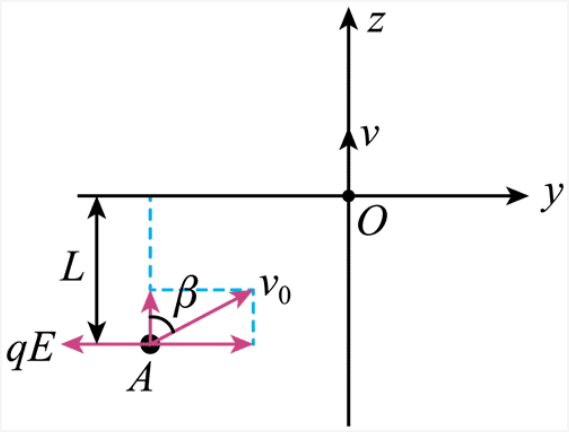
(3) 离子甲以 $\frac{qBd}{2m}$ 的速度从 O 点沿 z 轴正方向第一次穿过 xOy 面进入磁场Ⅰ，求第四次穿过 xOy 平面的位置坐标（用 d 表示）；

(4) 当离子甲以 $\frac{qBd}{2m}$ 的速度从 O 点进入磁场Ⅰ时，质量为 $4m$、带电量为 $+q$ 的离子乙，也从 O 点沿 z 轴正方向以相同的动能同时进入磁场Ⅰ，求两离子进入磁场后，到达它们运动轨迹第一个交点的时间差 Δt（忽略离子间相互作用）。



(1) $\frac{mv_0^2\sin\beta\cos\beta}{qL}$ (2) $\frac{qBd}{m}$ (3) $(d,d,0)$ (4) $(2+2\sqrt{2})\frac{\pi m}{qB}$

（1）如图所示，将离子甲从 A 点出射速度为 v_0 分解到沿 y 轴方向和 z 轴方向，离子受到的电场力沿 y 轴负方向，可知离子沿 z 轴方向做匀速直线运动，沿 y 轴方向做匀减速直线运动，从 A 到 O 的过程，有



$L = v_0 \cos\beta \cdot t, \quad v_0 \sin\beta = at, \quad a = \frac{qE}{m}$

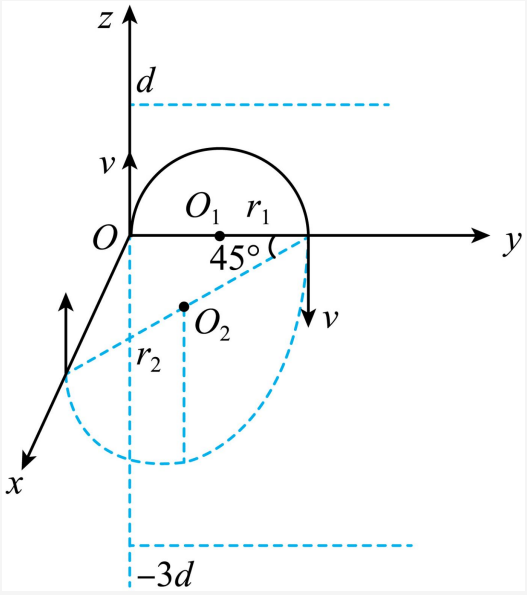
联立解得

$E = \frac{mv_0^2 \sin\beta \cos\beta}{qL}$

（2）离子从坐标原点 O 沿 z 轴正方向进入磁场 Ⅰ 中，在磁场 Ⅰ 中做匀速圆周运动，经过磁场 Ⅰ 偏转后从 y 轴进入磁场 Ⅱ 中，继续做匀速圆周运动，如图所示

由洛伦兹力提供向心力可得

$qvB = \frac{mv^2}{r_1}, \quad qv \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}B = \frac{mv^2}{r_2}$



可得 $r_2 = \sqrt{2}r_1$

为了使离子在磁场中运动，则离子在磁场 Ⅰ 中运动时，不能从磁场 Ⅰ 上方穿出，在磁场 Ⅱ 中运动时，不能从 xOz 平面穿出，则离子在磁场中运动的轨迹半径需满足

$r_1 \leq d, \quad r_2 \leq 3d$

联立可得

$v \leq \frac{qBd}{m}$

要使离子甲进入磁场后始终在磁场中运动，进入磁场时的最大速度为 $\frac{qBd}{m}$。

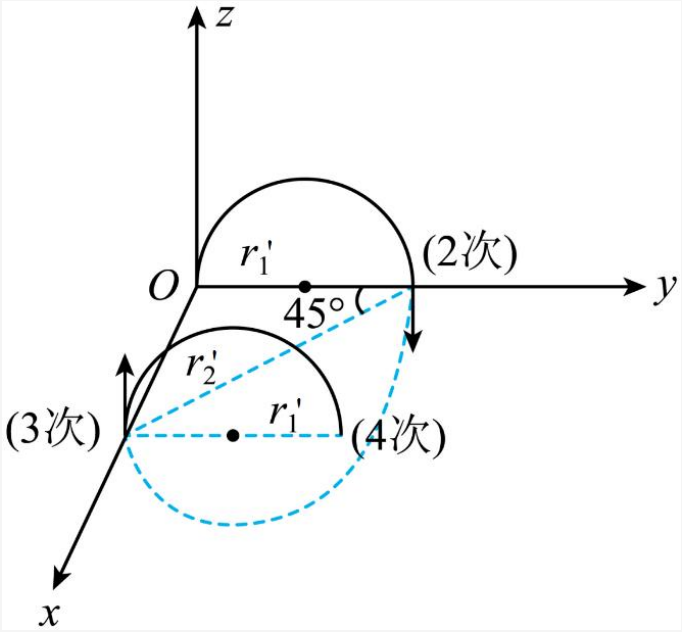
（3）离子甲以 $\frac{qBd}{2m}$ 的速度从 O 点沿 z 轴正方向第一次穿过 xOy 面进入磁场Ⅰ，离子在磁场Ⅰ中的轨迹半径为

$r_1' = \frac{mv}{qB} = \frac{d}{2}$

离子在磁场Ⅱ中的轨迹半径为

$r_2' = \frac{mv}{q \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} B} = \frac{\sqrt{2}d}{2}$

离子从 O 点第一次穿过到第四次穿过 xOy 平面的运动情景，如图所示



离子第四次穿过 xOy 平面的 x 坐标为

$x_4 = 2r_2' \sin 45° = d$

离子第四次穿过 xOy 平面的 y 坐标为

$y_4 = 2r_1' = d$

故离子第四次穿过 xOy 平面的位置坐标为 $(d, d, 0)$。

（4）设离子乙的速度为 v'，根据离子甲、乙动能相同，可得

$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 4mv'^2$

可得

$v' = \frac{v}{2} = \frac{qBd}{4m}$

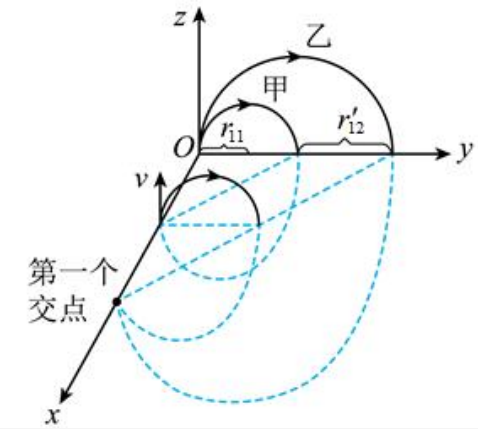
离子甲、离子乙在磁场Ⅰ中的轨迹半径分别为

$r_{11}=\frac{mv}{qB}=\frac{d}{2},\quad r'_{12}=\frac{4mv'}{qB}=d=2r_{11}$

离子甲、离子乙在磁场 II 中的轨迹半径分别为

$r_{21}=\frac{mv}{q\cdot\frac{\sqrt{2}}{2}B}=\frac{\sqrt{2}d}{2},\quad r_{22}=\frac{4mv'}{q\cdot\frac{\sqrt{2}}{2}B}=\sqrt{2}d=2r_{21}$

根据几何关系可知离子甲、乙运动轨迹第一个交点在离子乙第一次穿过 x 轴的位置，如图所示



从 O 点进入磁场到第一个交点的过程，有

$t_{甲}=T_1+T_2=\frac{2\pi m}{qB}+\frac{2\pi m}{q\cdot\frac{\sqrt{2}}{2}B}=(2+2\sqrt{2})\frac{\pi m}{qB}$

$t_{乙}=\frac{1}{2}T'_1+\frac{1}{2}T'_2=\frac{1}{2}\times\frac{2\pi\cdot 4m}{qB}+\frac{1}{2}\times\frac{2\pi\cdot 4m}{q\cdot\frac{\sqrt{2}}{2}B}=(4+4\sqrt{2})\frac{\pi m}{qB}$

可得离子甲、乙到达它们运动轨迹第一个交点的时间差为

$\Delta t=t_{乙}-t_{甲}=(2+2\sqrt{2})\frac{\pi m}{qB}$

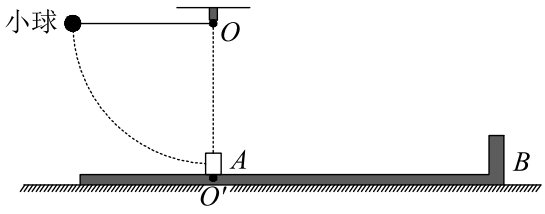
18. 如图所示，“L”型平板 B 静置在地面上，小物块 A 处于平板 B 上的 O′ 点，O′ 点左侧粗糙，右侧光滑。用不可伸长的轻绳将质量为 M 的小球悬挂在 O′ 点正上方的 O 点，轻绳处于水平拉直状态。将小球由静止释放，下摆至最低点与小物块 A 发生碰撞，碰后小球速度方向与碰前方向相同，开始做简谐运动（要求摆角小于 5°），A 以速度 v_0 沿平板滑动直至与 B 右侧挡板发生弹性碰撞。一段时间后，A 返回到 O 点的正下方时，相对于地面的速度减为零，此时小球恰好第一次上升到最高点。已知 A 的质量 $m_A=0.1\,\mathrm{kg}$，B 的质量 $m_B=0.3\,\mathrm{kg}$，A 与 B 的动摩擦因数 $\mu_1=0.4$，B 与地面间的动摩擦因数 $\mu_2=0.225$，$v_0=4\,\mathrm{m/s}$，取重力加速度 $g=10\,\mathrm{m/s^2}$。整个过程中 A 始终在 B 上，所有碰撞时间忽略不计，不计空气阻力，求：

(1) A 与 B 的挡板碰撞后，二者的速度大小 v_A 与 v_B；

(2) B 光滑部分的长度 d；

(3) 运动过程中 A 对 B 的摩擦力所做的功 W_f；

(4) 实现上述运动过程，$\frac{M}{m_A}$ 的取值范围（结果用 $\cos 5°$ 表示）。



(1) $v_A=2\,\mathrm{m/s}$，$v_B=2\,\mathrm{m/s}$　(2) $d=\frac{7}{6}\,\mathrm{m}$　(3) $-\frac{3}{65}\,\mathrm{J}$　(4) $\frac{4\sqrt{2}\pi}{45}<\frac{M}{m_A}<\frac{4\sqrt{2}\pi}{45(1-\sqrt{1-\cos 5^\circ})}$

（1）设水平向右为正方向，因为 O′ 点右侧光滑，由题意可知 A 与 B 发生弹性碰撞，故碰撞过程根据动量守恒和能量守恒有

$$m_Av_0=m_Av_A+m_Bv_B$$

$$\frac{1}{2}m_Av_0^2=\frac{1}{2}m_Av_A^2+\frac{1}{2}m_Bv_B^2$$

代入数据联立解得

$v_A=-2\,\mathrm{m/s}$（方向水平向左），$v_B=2\,\mathrm{m/s}$（方向水平向右）

即 A 和 B 速度的大小分别为 $v_A=2\,\mathrm{m/s}$，$v_B=2\,\mathrm{m/s}$。

（2）因为 A 物体返回到 O 点正下方时，相对地面速度为 0，A 物体减速过程根据动能定理有

$$-\mu_1m_Agx_0=0-\frac{1}{2}m_Av_A^2$$

代入数据解得

$x_0=0.5\,\mathrm{m}$

根据动量定理有

$$-\mu_1m_Agt_2=0-m_Av_A$$

代入数据解得

$t_2=0.5\,\mathrm{s}$

此过程中 A 减速的位移等于 B 物体向右的位移，所以对于此过程 B 有

$$\mu_2(m_A+m_B)g=m_Ba_1$$

$$x_0=v_Bt_1-\frac{1}{2}a_1t_1^2$$

联立各式代入数据解得

$t_1=\frac{1}{3}\,\mathrm{s}$，$t_1'=1\,\mathrm{s}$（舍去）

故根据几何关系有

$$d=v_At_1+x_0$$

代入数据解得

$d = \frac{7}{6}\,\mathrm{m}$

（3）在 A 刚开始减速时，B 物体的速度为

$v_2 = v_B - a_1 t_1 = 1\,\mathrm{m/s}$

在 A 减速过程中，对 B 分析根据牛顿运动定律可知

$\mu_1 m_A g + \mu_2 (m_A + m_B) g = m_B a_2$

解得

$a_2 = \frac{13}{3}\,\mathrm{m/s^2}$

B 物体停下来的时间为 t_3，则有

$0 = v_2 - a_2 t_3$

解得

$t_3 = \frac{3}{13}\,\mathrm{s} < t_2 = 0.5\,\mathrm{s}$

可知在 A 减速过程中 B 先停下来了，此过程中 B 的位移为

$x_B = \frac{v_2^2}{2a_2} = \frac{3}{26}\,\mathrm{m}$

所以 A 对 B 的摩擦力所做的功为

$W_f = -\mu_1 m_A g x_B = -\frac{3}{65}\,\mathrm{J}$

（4）小球和 A 碰撞后 A 做匀速直线运动再和 B 相碰，此过程有

$t_0 = \frac{d}{v_0} = \frac{7}{24}\,\mathrm{s}$

由题意可知 A 返回到 O 点的正下方时，小球恰好第一次上升到最高点，设小球做简谐振动的周期为 T，摆长为 L，则有

$T = 4(t_0 + t_1 + t_2) = \frac{9}{2}\,\mathrm{s}$

由单摆周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 解得，小球到悬挂点 O 点的距离

$L = \frac{81g}{16\pi^2}\,\mathrm{m}$

小球下滑过程根据动能定理有

$MgL = \frac{1}{2}Mv^2$

当碰后小球摆角恰为 $5°$ 时，有

$MgL(1 - \cos 5°) = \frac{1}{2}Mv_1^2$

解得

$v=\sqrt{2gL}=\frac{90\sqrt{2}}{4\pi}\,\mathrm{m/s}$，$v_1=\sqrt{2gL(1-\cos 5^\circ)}=\frac{90\sqrt{2(1-\cos 5^\circ)}}{4\pi}\,\mathrm{m/s}$

小球与 A 碰撞过程根据动量守恒定律有

$$Mv=Mv_1'+m_Av_0$$

小球与 A 碰后小球速度方向与碰前方向相同，开始做简谐运动（要求摆角小于 5°），则要求

$$0<v_1'<v_1$$

故要实现这个过程的范围为

$$\frac{4\sqrt{2}\pi}{45}<\frac{M}{m_A}<\frac{4\sqrt{2}\pi}{45(1-\sqrt{1-\cos 5^\circ})}$$