2026 年陕晋青宁

1. 现代科技为物资运输提供了多种方式。某物流企业分别利用无人机和新能源货车从山上装货点 P 运输货物至山下仓库 Q，两种方式中一定相同的是 (A)

A. 位移　　B. 路程　　C. 时间　　D. 平均速度

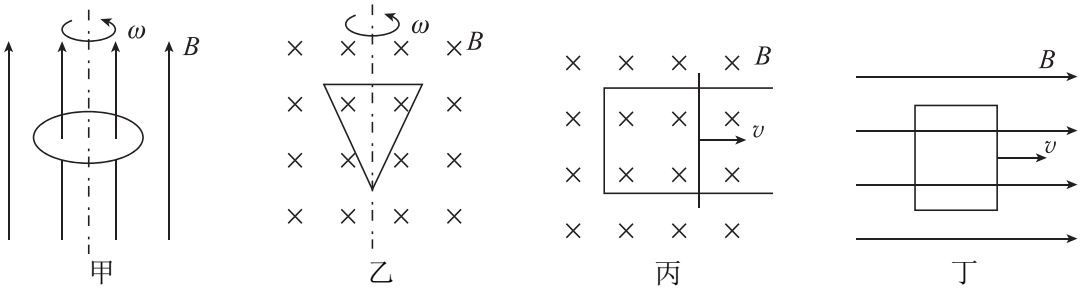
> A．位移是从初位置指向末位置的有向线段，仅由初、末位置决定，两种运输方式的初位置都是 P、末位置都是 Q，故位移一定相同，A 正确；
>
> B．路程是物体运动轨迹的长度，无人机和货车的行驶路径不同，运动轨迹长度不一定相等，故路程不一定相同，B 错误；
>
> C．运动时间由运动路程和运行速率共同决定，两者的路程、运行速率均无确定关系，故时间不一定相同，C 错误；
>
> D．平均速度的定义为 $\overline{v}=\frac{x}{t}$，两者位移 x 相同，但运动时间 t 不一定相同，故平均速度不一定相同，D 错误。
>
> 故选 A。

2. 我国科研人员利用仿生机器鱼研究湖泊生态，当仿生机器鱼在湖中匀速直线下潜时，它受到水的合力方向是 (D)

A. 斜向下　　B. 竖直向下　　C. 斜向上　　D. 竖直向上

> 仿生机器鱼做匀速直线运动，处于平衡状态，所受合外力为 0。机器鱼受两个外力：竖直向下的重力 G，以及水对其施加的所有作用力的合力 F（包含浮力、水的阻力等）。根据平衡条件有 $G+F=0$，可得 $F=-G$，
>
> 即水的合力与重力大小相等、方向相反，为竖直向上。
>
> 故选 D。

3. 下列处于匀强磁场的导体回路中能产生交变电流的是 (B)



A. 甲图中绕轴匀速转动的导体环

B. 乙图中绕轴匀速转动的导体框

C. 丙图中在固定导轨上匀速运动的导体棒所在回路

D. 丁图中匀速运动的导体框

> A．甲：导体环绕轴匀速转动，磁通量不改变，不产生交变电流，故 A 错误；
>
> B．乙：导体框绕轴匀速转动，$\Phi = BS\cos\omega t$，$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 周期性变化，产生交变电流，故 B 正确；
>
> C．丙：导体棒匀速运动，感应电动势 $E = BLv$，电流恒定，故 C 错误；
>
> D．丁：导体框匀速运动，Φ 不变，无感应电流，故 D 错误。
>
> 故选 B。

4. 正电子 e^+ 与电子 e^- 湮灭产生的光子是探测中微子的重要信号。一个静止的正电子与一个静止的电子湮灭转化为两个 γ 光子，该过程动量和能量都守恒。已知正电子与电子的质量均为 m，光速为 c，普朗克常量为 h，则这两个 γ 光子 (B)

A. 总能量为 mc^2　　B. 频率均为 $\frac{mc^2}{h}$　　C. 总动量为 $2mc$　　D. 波长均为 $\frac{mc}{h}$

> 静止的正电子和电子总静能为 $2mc^2$，总动量为 0，湮灭过程满足能量守恒和动量守恒，因此两个光子总能量为 $2mc^2$，总动量为 0，两光子反向运动，每个光子的能量、动量大小均相等，单个光子能量为 mc^2，动量大小 $p = \frac{E}{c} = mc$，
>
> A．两个光子总能量等于正负电子总静能 $2mc^2$，并非 mc^2，故 A 错误；
>
> B．单个光子能量满足 $E = h\nu = mc^2$，解得频率 $\nu = \frac{mc^2}{h}$，故 B 正确；
>
> C．初始系统总动量为 0，由动量守恒可知两个光子总动量为 0，并非 $2mc$，故 C 错误；
>
> D．光子动量满足 $p = \frac{h}{\lambda} = mc$，
>
> 解得波长 $\lambda = \frac{h}{mc}$，并非 $\frac{mc}{h}$，故 D 错误。
>
> 故选 B。

5. 我国自主建设运行的北斗全球卫星导航系统空间段由多颗卫星组成。若轨道半径不同的两颗卫星绕地球做匀速圆周运动，角速度大小分别为 ω_1、ω_2，线速度大小分别为 v_1、v_2，则 (D)

A. $v_1/\omega_1 = v_2/\omega_2$　　B. $v_1/\omega_1^2 = v_2/\omega_2^2$　　C. $v_1^2/\omega_1 = v_2^2/\omega_2$　　D. $v_1^3/\omega_1 = v_2^3/\omega_2$

> 卫星绕地球做匀速圆周运动，万有引力提供向心力 $G\frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r = m\frac{v^2}{r}$，
>
> 其中 G 为引力常量，M 为地球质量，r 为轨道半径，ω 为角速度，v 为线速度。

推导得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$，

A．由 $v=\omega r$，由于轨道半径不同，则 $v_1/\omega_1 \neq v_2/\omega_2$，故 A 错误；

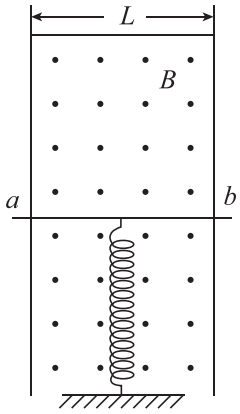
B．由以上分析可知，$\frac{v}{\omega^2} \propto r^{\frac{5}{2}}$，与 r 有关，$v_1/\omega_1^2 \neq v_2/\omega_2^2$，故 B 错误；

C．由以上分析可知，$\frac{v^2}{\omega} \propto \sqrt{r}$，与 r 有关，$v_1^2/\omega_1 \neq v_2^2/\omega_2$，故 C 错误；

D．由以上分析可知，$\frac{v^3}{\omega}=\frac{\left(\frac{GM}{r}\right)^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{\frac{GM}{r^3}}}=GM$，与 r 无关，故 D 正确。

故选 D。

6. 电磁泵减速部分的简化工作原理如图。在垂直纸面向外、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中，竖直放置的 U 形光滑金属导轨左右间距为 L，水平放置的导体棒 ab 质量为 m，与竖直放置且下端固定的绝缘轻弹簧相连，ab 与导轨接触良好且其接入回路的电阻阻值为 R。将 ab 自弹簧原长位置由静止释放，ab 第一次到达最低点时下降高度为 h，此过程中其最大速度为 v。导轨电阻忽略不计，弹簧始终在弹性限度内。在 ab 从静止释放到第一次到达最低点的过程中 (C)



A. 流过导体棒的感应电流方向由 a 向 b　　B. 导体棒所受安培力的冲量为零

C. 通过导体棒的电荷量大小为 $\frac{BLh}{R}$　　D. 导体棒的加速度最大值为 $\frac{B^2L^2v}{mR}$

A．由右手定则可知，流过导体棒的感应电流方向由 b 向 a，故 A 错误；

B．导体棒下降过程中，安培力大小改变，方向不变，由冲量公式 $I=Ft$ 可知，导体棒所受安培力的冲量不为零，故 B 错误；

C．导体棒下降过程中，感应电动势为 $\overline{E}=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{BLh}{\Delta t}$，

感应电流为 $\overline{I}=\frac{\overline{E}}{R}=\frac{BLh}{R\cdot\Delta t}$，

通过导体棒的电荷量大小为 $q=\overline{I}\cdot\Delta t=\frac{BLh}{R}$，故 C 正确；

D．根据题意可知，导体棒下降过程中，先做加速度减小的加速运动，再做加速度增大的减速运动，则导体棒的加速度最大值出现在最低点或初始位置，导体棒速度最大

时有 $mg=\frac{B^2L^2v}{R}+kx'$，

若没有磁场，由能量守恒定律有 $mgx=\frac{1}{2}kx^2$，

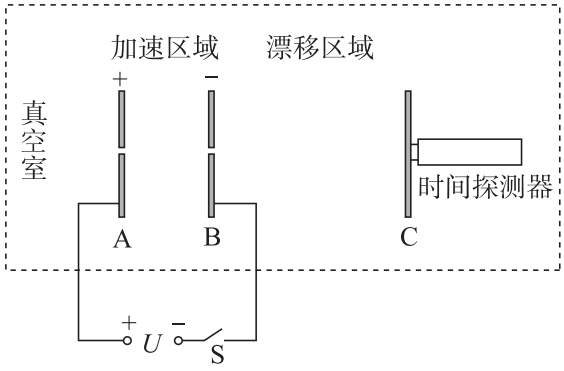
可知，在最低点时，有 $kx=2mg$，

此时，加速度为 $a=\frac{kx-mg}{m}=g$，

有磁场时，由能量守恒定律可知，弹簧的形变量减小，则最低点时加速度小于 g，则导体棒的加速度最大值出现在初始位置，此时，导体棒只受重力，加速度为 $g>\frac{B^2L^2v}{Rm}$，故 D 错误。

故选 C。

7. 飞行时间质谱仪可用于创新药物研发等领域，其简化工作原理如图。开关 S 闭合，在真空室内，电容器极板 AB 间加速电压为 U，两极板中央开有小孔，C 为接收端，BC 间为无场漂移区域。有一质量为 m、电荷量为 q（$q>0$）的带电大分子（不计重力），自漂入（忽略初速度）A 极板小孔起，经加速区域和漂移区域到达 C 端结束，时间探测器显示整个过程时间为 t，则（C）



A. 保持 S 闭合，仅 $\frac{q}{m}$ 变大，t 变长

B. 保持 S 闭合，仅 U 增大，t 变长

C. 保持 S 闭合，AC 位置不变，仅 B 极板向右移动，t 变长

D. 将 S 断开，AC 位置不变，仅 B 极板向右移动，t 变长

ABC．根据题意，设 A、B 距离为 d，B、C 距离为 s，且 $d+s=L$，在 A、B 间有 $\frac{qU}{d}=ma$，$qU=\frac{1}{2}mv^2$，$v=at_1$，

解得 $a=\frac{qU}{md}$，$v=\sqrt{\frac{2qU}{m}}$，$t_1=d\sqrt{\frac{2m}{qU}}$，

在 B、C 间有 $t_2=\frac{s}{v}=s\sqrt{\frac{m}{2qU}}$，

则整个过程时间

$t=t_1+t_2=d\sqrt{\frac{2m}{qU}}+s\sqrt{\frac{m}{2qU}}=(d+L)\sqrt{\frac{m}{2qU}}$。

保持 S 闭合，U 不变，仅 $\sqrt{\frac{q}{m}}$ 变大，t 变短，故 A 错误；

B．结合 A 分析可知，保持 S 闭合，仅 U 增大，t 变短，故 B 错误；

C．结合 A 分析可知，保持 S 闭合，U 不变，AC 位置不变，仅 B 极板向右移动，则 d 增大，s 减小，L 不变，t 变长，故 C 正确；

D．将 S 断开，极板上电荷量 Q 不变，AC 位置不变，仅 B 极板向右移动，A、B 间电场强度 $E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{Cd}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon S}$ 不变，则加速度不变，则有 $v^2=2ad$，$t_1=\frac{d}{\frac{v}{2}}=\frac{2d}{v}$，$t_2=\frac{s}{v}$，

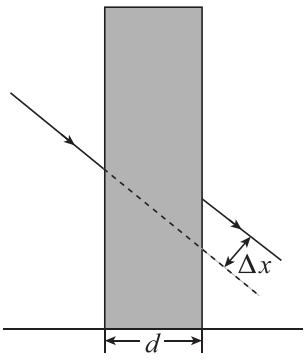
则整个过程时间

$t=t_1+t_2=\frac{2d+s}{v}=\frac{d+L}{\sqrt{2ad}}=\frac{1}{\sqrt{2a}}\left(\sqrt{d}+\frac{L}{\sqrt{d}}\right)$，

由于 d 增大但小于 L，s 减小，L 不变，根据数学知识可知，当 $d=L$ 时，$\left(\sqrt{d}+\frac{L}{\sqrt{d}}\right)$ 有最小值，可知，随着 d 增大但小于 L，$\left(\sqrt{d}+\frac{L}{\sqrt{d}}\right)$ 减小，则总时间 t 减小，故 D 错误。

故选 C。

8. 玻璃镜片折射率是影响眼镜厚度的主要因素之一。如图，一束单色光从空气斜射入厚度为 d 的平行玻璃砖左表面，从右表面射出，出射光线相对入射光线侧移量为 Δx。现换用折射率较大的玻璃砖，保持入射角不变，下列说法正确的是（BC）



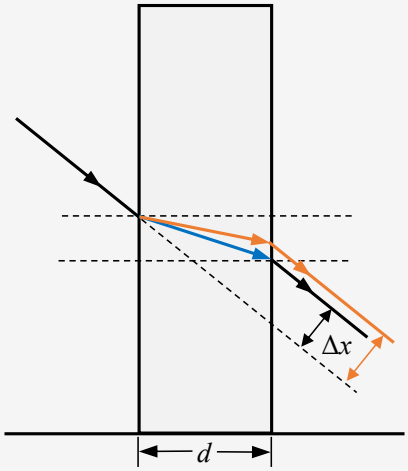
A. 若厚度 d 相同，侧移量变小

B. 若厚度 d 相同，侧移量变大

C. 若侧移量 Δx 相同，厚度变小

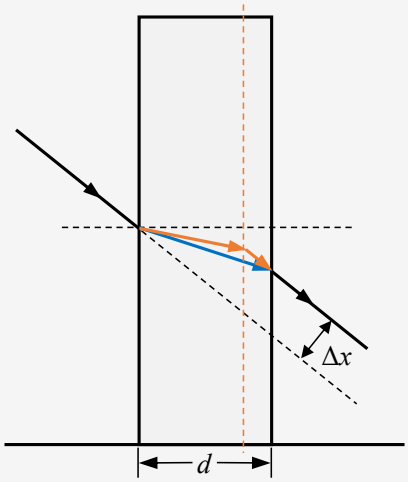
D. 若侧移量 Δx 相同，厚度变大

AB．根据题意，画出光路图（蓝色），现换用折射率较大的玻璃砖，保持入射角不变，折射角变小，若厚度 d 相同，画出光路图（黄色），如图所示。



由图可知，侧移量变大，故 A 错误，B 正确；

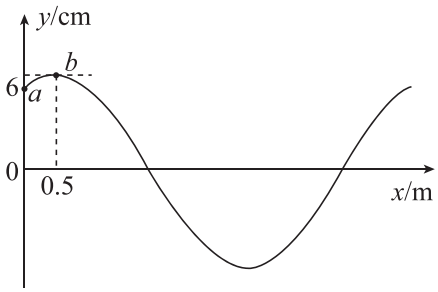
CD. 根据题意，画出光路图（蓝色），现换用折射率较大的玻璃砖，保持入射角不变，折射角变小，若侧移量 Δx 相同，画出光路图（黄色），如图所示。



由图可知，厚度变小，故 C 正确，D 错误。

故选 BC。

9. 一列简谐横波在均匀介质中沿直线传播，a、b 为介质中平衡位置相距 0.5 m 的两个质点。$t = 0$ 时刻的波形图如图，0.5 s 时 a 振动至波谷，1.2 s 时 b 第一次回到波峰，则（ AC ）



A. 波的周期为 1.2 s　　B. 波速为 10 m/s

C. 波的振幅为 $4\sqrt{3}$ cm　　D. 0 ～ 0.6 s 内质点 a 的路程为 $8\sqrt{2}$ cm

A．根据题意由图可知，$t=0$ 时，质点 b 在波峰，1.2 s 时 b 第一次回到波峰，则波的周期为 1.2 s，故 A 正确；

B．由于 $t=0.5\,\mathrm{s}=\frac{5}{12}T<\frac{1}{2}T$ 时 a 振动至波谷，则 $t=0$ 时，质点 a 沿 y 轴负方向振动，则波沿 x 轴正方向传播，质点 a 由波峰振动到此位置的时间为 $\frac{1}{12}T$，则质点 a 的振动传播到质点 b 需要 $t'=\frac{1}{12}T=0.1\,\mathrm{s}$，则波速为 $v=\frac{x}{t'}=\frac{0.5}{0.1}\,\mathrm{m/s}=5\,\mathrm{m/s}$，故 B 错误；

CD．设波的振幅为 A，结合上述分析可知，质点 a 的振动方程为 $y=A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\frac{2}{3}\pi\right)$ cm，

又有 $t=0$ 时，$y=6\,\mathrm{cm}$，

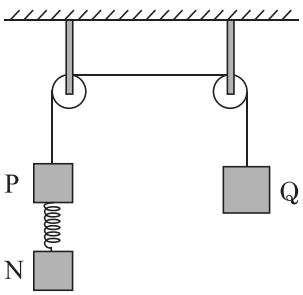
解得 $A=4\sqrt{3}\,\mathrm{cm}$，

$\Delta t=0.6\,\mathrm{s}=\frac{1}{2}T$，

经过 $t=0.6\,\mathrm{s}=\frac{1}{2}T$ 时间，质点 a 通过的路程为 $s=2A=8\sqrt{3}\,\mathrm{cm}$，故 C 正确，D 错误。

故选 AC。

10. 如图，物块 N、P、Q 的质量分别为 m、m、$2m$，Q 通过不可伸长的轻绳绕过两个固定轻质光滑定滑轮与 P 连接，P 与位于正下方的 N 用劲度系数为 k 的轻弹簧相连。初始时托住 N 和 Q，使弹簧处于原长，三个物块均静止。现同时无初速度释放 N 和 Q，运动中，物块均视为质点且不与滑轮相碰，不计空气阻力，弹簧始终在弹性限度内，弹性势能 $E_\mathrm{p}=\frac{1}{2}kx^2$（$x$ 为形变量），重力加速度大小为 g。则 (AD)



A. 释放后瞬间 Q 的加速度大小为 $\frac{g}{3}$　　B. 释放后瞬间轻绳上的拉力大小为 mg

C. 释放后 N 下降的最大距离为 $\frac{3mg}{4k}$　　D. 释放后 N 的速度最大值为 $\frac{g}{2}\sqrt{\frac{3m}{k}}$

AB. 根据题意可知，初始时弹簧处于原长，释放后瞬间，弹簧形变量不变，设释放后瞬间轻绳上的拉力大小为 F_T，对 Q、P 整体，由牛顿第二定律有 $2mg-mg=(m+2m)a$，对 Q，由牛顿第二定律有 $2mg-F_T=2ma$，

联立解得 $a=\frac{g}{3}$，$F_T=\frac{4}{3}mg$，故 A 正确，B 错误；

CD. 设轻绳上的拉力为 F_T，弹簧形变量为 Δx。对 N，由牛顿第二定律有 $mg-k\Delta x=ma_N$；对 P、Q 分别有 $F_T-mg-k\Delta x=ma_{PQ}$、$2mg-F_T=2ma_{PQ}$。联立可得 $mg-k\Delta x=3ma_{PQ}$，故 $a_N=3a_{PQ}$，从静止释放后有 $v_N=3v_{PQ}$，$x_N=3x_{PQ}$。

设释放后 N 下降的最大距离为 $x_N=h$，则 $x_{PQ}=\frac{1}{3}h$，此时弹簧形变量为 $\Delta x_1=h+\frac{1}{3}h$，

由能量守恒定律有 $mgh+2mg\cdot\frac{1}{3}h-mg\cdot\frac{1}{3}h=\frac{1}{2}k(\Delta x_1)^2$，

解得 $h=\frac{3mg}{2k}$。

释放后 N 的速度最大时为 $v_N=v_m$，则有 $v_{PQ}=\frac{1}{3}v_N=\frac{1}{3}v_m$，

又有 $k\Delta x_2=mg$，

解得 $\Delta x_2=\frac{mg}{k}$，

则有 $x'_N=\frac{3mg}{4k}$，$x'_{PQ}=\frac{mg}{4k}$，

由能量守恒定律有

$mgx'_N+2mg\cdot x'_{PQ}-mg\cdot x'_{PQ}=\frac{1}{2}k(\Delta x_2)^2+\frac{1}{2}mv_m^2+\frac{1}{2}(m+2m)\left(\frac{1}{3}v_m\right)^2$，

解得 $v_m=\frac{g}{2}\sqrt{\frac{3m}{k}}$，故 C 错误，D 正确。

故选 AD。

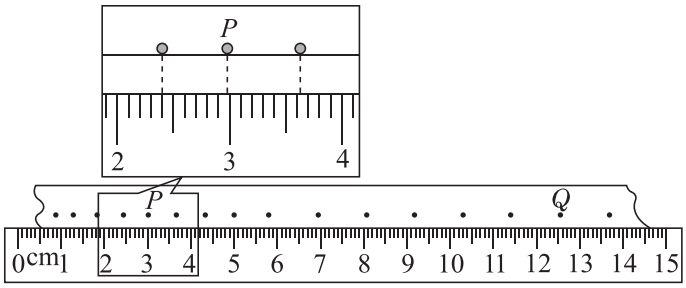
11. 某同学使用打点计时器进行“测量速度和加速度”的实验。

(1) 下述操作正确的是 B（填正确答案标号）。

A. 先拉动纸带，再开始打点　　B. 先开始打点，再拉动纸带

(2) 该同学用电源频率为 50 Hz 的打点计时器从左至右打出如图所示的一条纸带。可用某点左右相邻点间的平均速度代表该点的瞬时速度，则 P 点的瞬时速度为 0.305 m/s（保留三位有效数字）。

(3) 测得 Q 点的瞬时速度 $v_Q=0.560\,\mathrm{m/s}$，则 P、Q 两点间的平均加速度为 1.28 $\mathrm{m/s^2}$（保留三位有效数字）。



(1) B (2) 0.305 (3) 1.28

（1）使用打点计时器时，为了使打点稳定并有效利用纸带，应先接通电源开始打点，待打点稳定后再释放纸带拉动其运动。若先拉动纸带再打点，可能导致纸带上打出的点很少甚至没有点，且初始阶段打点不稳定。

故选 B。

（2）由图可知，P 点左侧相邻点对应的刻度为 $x_1 = 2.40\,\mathrm{cm}$，右侧相邻点对应的刻度为 $x_2 = 3.62\,\mathrm{cm}$。

P 点左右相邻两点间的距离 $\Delta x = x_2 - x_1$，

打点计时器电源频率为 $50\,\mathrm{Hz}$，打点周期 $T = 0.02\,\mathrm{s}$，根据用某点左右相邻点间的平均速度代表该点的瞬时速度，可得 P 点的瞬时速度 $v_P = \frac{\Delta x}{2T} = 0.305\,\mathrm{m/s}$。

（3）根据加速度定义式，P、Q 两点间的平均加速度

$a = \frac{v_Q - v_P}{10T} = \frac{0.560 - 0.305}{0.2}\,\mathrm{m/s^2} \approx 1.28\,\mathrm{m/s^2}$。

12. 在电阻阻值测量中常常会用到平衡比较法。某实验小组测量待测电阻 R_x 的阻值。

(1) 实验步骤如下：

①图 甲 中，开关 S_1 断开时灵敏电流表 G（零刻线在表盘正中间）的指针指向正中间，开关 S_1 闭合时 G 指针向 A 端偏转。用图 乙 所示的电路进行实验，开关 S_2 闭合前，滑动变阻器 R 的滑片应该置于 D 端（填“C”或“D”）。

②图 乙 中，a、b、c 是三个完全相同的电阻，R_M 为电阻箱，R_x 为待测电阻。闭合开关 S_2，调节滑动变阻器 R，发现灵敏电流表 G 指针向 B 端偏转，则此时应调节电阻箱使 R_M 阻值 增大（填“增大”或“减小”），使 G 指零（指针指向正中间）。

③读得电阻箱 R_M 的阻值为 $846\,\Omega$，则待测电阻 R_x 的阻值为 423 Ω。

(2) 当 a、b、c 三个电阻不完全相同时：

①用图 乙 所示电路按上述步骤使灵敏电流表 G 指零，读得 R_M 的阻值记为 R_1，在不增加实验器材的前提下需增加实验步骤完成实验，该步骤为 A（单选，填正确

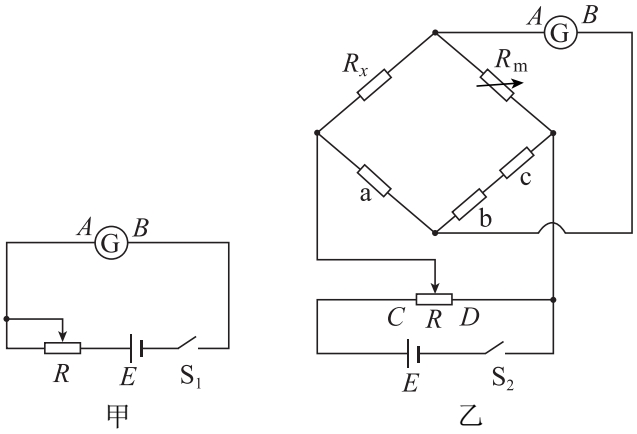
答案标号）。

A. 交换“a”和“b、c”的位置，调节电阻箱使 G 重新指零，读 R_M 阻值

B. 将滑动变阻器的滑片向 C 滑动，使 G 重新指零，读 R_M 阻值

C. 交换“R_M”和“b、c”的位置，调节电阻箱使 G 重新指零，读 R_M 阻值

②按所选步骤读得 R_M 的阻值记为 R_2，则待测电阻 R_x 的阻值为 $\sqrt{R_1R_2}$（用 R_1、R_2 表示）。



(1) ① D；②增大；③ 423　(2) ① A；② $\sqrt{R_1R_2}$

（1）①为了保护灵敏电流表 G，闭合开关 S_2 前，应使测量电路（电桥）两端的电压最小，故滑片应置于 D 端。

②由题意可知，电流从 A 端流入时指针向 A 端偏转。图 乙 中 G 指针向 B 端偏转，说明 B 端电势高。要使 G 指零，需增大 φ_A 或减小 φ_B。根据电路图可知，增大 R_M 可使 R_x 分压减小，φ_A 升高，故应调节电阻箱使 R_M 阻值增大。

③图 乙 为电桥电路，平衡时满足 $\frac{R_x}{R_M}=\frac{R_a}{R_{bc}}$，

已知 a、b、c 为三个完全相同的电阻，代入平衡条件解得 $R_x=423\,\Omega$。

（2）①当 a、b、c 不完全相同时，为了消除电阻阻值不准确带来的系统误差，可采用交换法。即交换比例臂电阻的位置。原平衡条件为 $\frac{R_x}{R_1}=\frac{R_a}{R_{bc}}$，

交换 a 和 b、c 的位置后，新平衡条件为 $\frac{R_x}{R_2}=\frac{R_{bc}}{R_a}$，

两式相乘可消去 R_a 和 R_{bc}，解得 $R_x=\sqrt{R_1R_2}$，

故选 A。

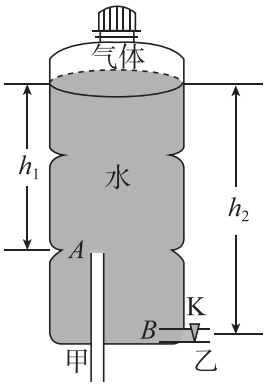
②由上述分析可知 $R_x=\sqrt{R_1R_2}$。

13. 某小组设计并完成了“稳定平抛水柱”实验。如图，竖直放置的储水瓶液面上方封闭少量气体，底部竖直细管甲与大气连通、水平细管乙有一阀门 K。初始时 K 关闭，瓶内

上方气体体积 $V_1 = 200\,\mathrm{mL}$，甲管内恰无水且 A 端口距水面高 $h_1 = 20\,\mathrm{cm}$，乙管 B 端口距水面高 $h_2 = 30\,\mathrm{cm}$；打开 K，水持续从乙管流出，大气通过甲管进入瓶内，当水面与甲管 A 端口齐平时关闭 K，此时瓶内上方气体的总体积 $V_2 = 1510\,\mathrm{mL}$。已知大气压强 $p_0 = 1.00 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$、水的密度 $\rho = 1.00 \times 10^3\,\mathrm{kg/m^3}$，重力加速度 g 取 $10\,\mathrm{m/s^2}$，忽略温度变化与瓶体形变，气体均可视为理想气体。求：

(1) 初始 K 关闭时，瓶内上方气体压强 p_1 和乙管 B 端口处压强 p_2；

(2) 在打开 K 到关闭 K 的过程中，进入瓶内的空气在大气压强下的体积 ΔV。



(1) $9.8 \times 10^4\,\mathrm{Pa}$，$1.01 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$　(2) $1314\,\mathrm{mL}$

（1）初始 K 关闭时，甲管与大气连通且管内恰无水，说明 A 端口处压强等于大气压强 p_0。

由液体压强公式可知，瓶内上方气体压强 p_1 满足 $p_1 + \rho g h_1 = p_0$，

代入数据解得 $p_1 = 9.8 \times 10^4\,\mathrm{Pa}$。

乙管 B 端口处压强 p_2 满足 $p_2 = p_1 + \rho g h_2$，

代入数据解得 $p_2 = 1.01 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$。

（2）当水面与甲管 A 端口齐平时，瓶内上方气体压强等于大气压强 p_0。设进入瓶内的空气在大气压强下的体积为 ΔV，对瓶内原有气体和进入的空气整体应用玻意耳定律，有 $p_1 V_1 + p_0 \Delta V = p_0 V_2$，

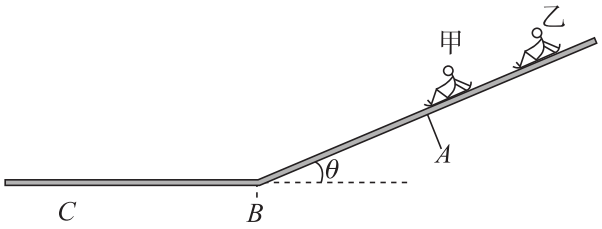
代入数据解得 $\Delta V = 1314\,\mathrm{mL}$。

14. 如图，某游乐场有一条滑道，由两段粗糙程度不同的直道组成，其中 AB 段的长度 $l = 36\,\mathrm{m}$、倾角为 θ，BC 段水平且足够长。初始时游客甲乘滑板从 A 点由静止下滑，经过 $t = 6\,\mathrm{s}$ 到达 B 点，此后进入 BC 段继续滑行。游客甲和滑板的总质量 $m = 60\,\mathrm{kg}$，AB 段、BC 段滑道与滑板间的动摩擦因数分别为 μ_1、μ_2，其中 $\mu_2 = \frac{1}{10}$。重力加速度 g 取 $10\,\mathrm{m/s^2}$，$\sin\theta = \frac{1}{3}$。游客和滑板整体视为质点，不计空气阻力及在 B 点处的机械能损失。

(1) 求 AB 段滑道与滑板间的动摩擦因数 μ_1；

(2) 求 AB 段甲和滑板的机械能损失及动量变化量的大小；

(3) 当甲到达 B 点时，游客乙乘同样滑板恰以 $5\,\mathrm{m/s}$ 的速度经过 A 点下滑。求乙到达 B 点时与甲的距离。



(1) $\mu_1=\frac{\sqrt{2}}{10}$ (2) $2880\,\mathrm{J}$，$720\,\mathrm{kg\cdot m/s}$ (3) $40\,\mathrm{m}$

（1）当甲从 A 点滑至 B 点根据 $L=\frac{1}{2}at^2$，

代入数据可得 $a=2\,\mathrm{m/s^2}$。

根据牛顿第二定律有 $mg\sin\theta-\mu_1 mg\cos\theta=ma$，

又因为 $\sin\theta=\frac{1}{3}$，所以 $\cos\theta=\frac{2\sqrt{2}}{3}$，

代入数据联立可得 $\mu_1=\frac{\sqrt{2}}{10}$。

（2）甲从 A 点滑至 B 点损失的机械能等于这个过程中摩擦力做的功，所以有

$\Delta E=W_f=\mu_1 mg\cos\theta\cdot L=2880\,\mathrm{J}$，

根据前面小问可知甲下滑的加速度为 $a=2\,\mathrm{m/s^2}$；根据运动学公式 $v^2=2aL$ 可得甲到达 B 点的速度为 $12\,\mathrm{m/s}$，

所以 AB 段动量的变化量为 $\Delta p=mv-0=720\,\mathrm{kg\cdot m/s}$。

（3）乙从 A 滑到 B 的过程根据运动学公式有 $L=v_0t'+\frac{1}{2}at'^2$，

代入数据解得 $t'=4\,\mathrm{s}$。

甲在 BC 段上做匀减速运动，根据牛顿第二定律有 $\mu_2 mg=ma_2$，

可得 $a_2=1\,\mathrm{m/s^2}$。

甲到达 B 点的速度为 $v=12\,\mathrm{m/s}$，在 $4\,\mathrm{s}$ 内甲没有停止；

在 $t'=4\,\mathrm{s}$ 内，甲运动的距离 $x=vt'-\frac{1}{2}a_2t'^2$，

代入数据解得 $x=40\,\mathrm{m}$，即甲乙之间的距离为 $40\,\mathrm{m}$。

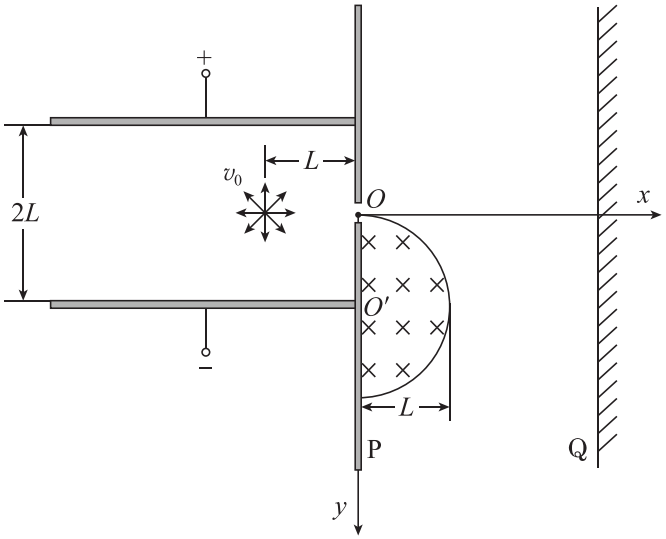
15. 如图，垂直于 x 轴的足够大绝缘薄挡板 P 紧贴平行金属板放置，挡板 P 有一小孔在原点 O 处，O 点到垂直于 y 轴的两金属板距离相等。在 xOy 平面位于 $(-L,0)$ 处的粒子

源以速率 v_0 向面内各方向发射质量为 m、电荷量为 q（$q>0$）的带电粒子。两金属板（上板为正极）间距为 $2L$，板间电压 U 初始为 $\frac{48mv_0^2}{25q}$。在 xOy 平面 y 轴右侧，圆心 O' 位于 $(0,L)$、直径在 y 轴、半径为 L 的半圆区域存在方向垂直于平面向里的匀强磁场，其磁感应强度大小为 $\frac{mv_0}{qL}$。在 $x>L$ 处有一垂直于 x 轴的固定弹性绝缘挡板 Q，粒子若碰到 Q 将发生弹性碰撞且电荷量 q 不变。粒子打到金属板或挡板 P 均会被吸收，不计粒子重力及粒子间的相互作用，忽略边缘效应。（v_0、m、q、L 均为已知量）

(1) 可从小孔进入磁场的粒子，求其从 O 点处射入磁场速度方向与 x 轴正向夹角的正弦值；

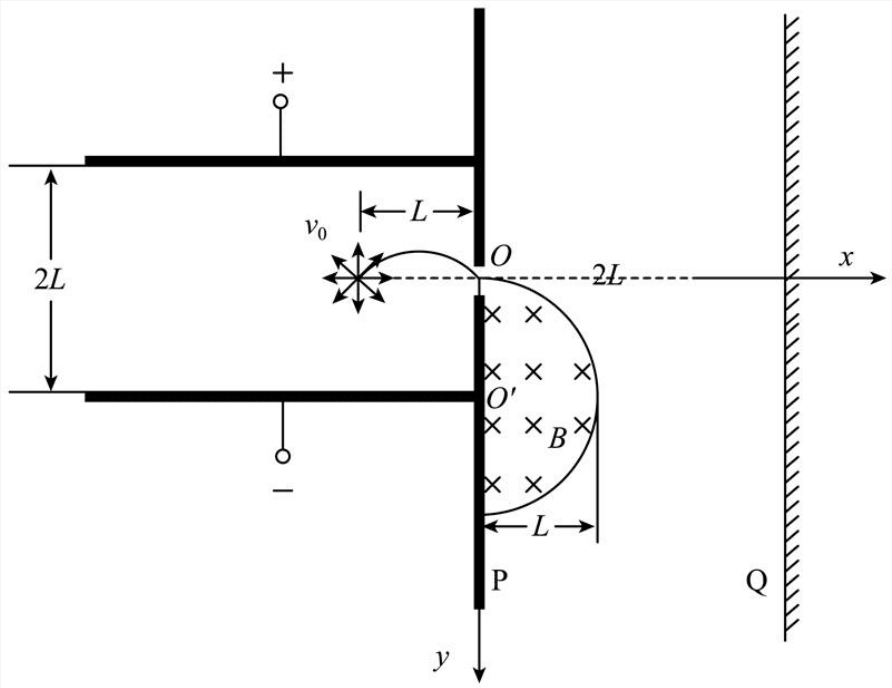
(2) 粒子从磁场射出后与挡板 Q 发生碰撞，求其再次射入磁场到达挡板 P 上位置的 y 坐标；

(3) 若仅改变电压 U 的大小（$U>0$），在不同电压下，粒子源发射的所有粒子均无法打到挡板 P 右侧面；进入磁场的所有粒子打到挡板 P 右侧面有 1 个撞击点或 2 个撞击点，求以上三种情况分别对应的电压取值范围（用已知量 v_0、m、q 表示）。



(1) 0.6 或 0.8　(2) $\frac{2}{5}L$ 或 $\frac{4}{5}L$　(3) $U>\frac{2mv_0^2}{q}$ 时，无粒子能到达 O 点，均无法打到 P 右侧面；当 $0<U<\frac{16mv_0^2}{17q}$ 或 $U=\frac{2mv_0^2}{q}$ 时，1 个撞击点；当 $\frac{16mv_0^2}{17q}\le U<\frac{2mv_0^2}{q}$ 时，2 个撞击点。

（1）粒子在电场中做类斜抛运动



设粒子初速度方向与 x 轴夹角为 θ，加速度

$a=\frac{qU}{m(2L)}=\frac{24v_0^2}{25L}$，

方向沿 y 轴正向。粒子从 $(-L,0)$ 运动到 $(0,0)$，水平方向 $L=v_0\cos\theta\cdot t$，

竖直方向 $0=-v_0\sin\theta\cdot t+\frac{1}{2}at^2$，

联立解得 $v_0^2\sin(2\theta)=aL=\frac{24}{25}v_0^2$，

$\sin(2\theta)=\frac{qU}{2mv_0^2}=\frac{24}{25}$。

在 O 点，$v_x=v_0\cos\theta$，$v_y=-v_0\sin\theta+at=v_0\sin\theta$，

设射入磁场速度方向与 x 轴夹角为 β，则 $\tan\beta=\frac{v_y}{v_x}=\tan\theta$，

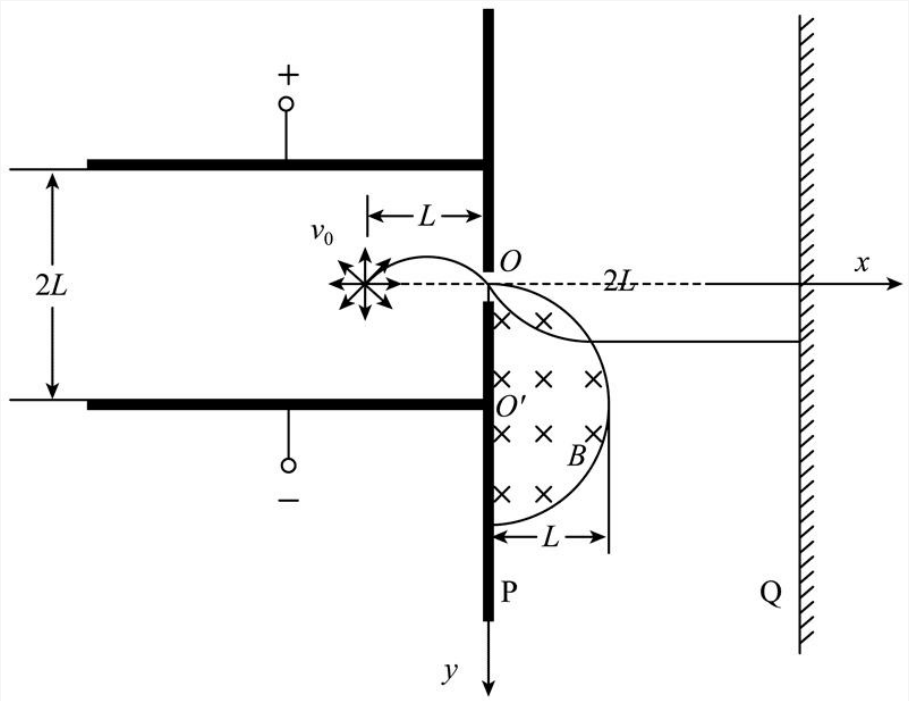
即 $\beta=\theta$。

根据 $\sin(2\beta)=\frac{24}{25}$，$\sin^2\beta+\cos^2\beta=1$，

解得 $\sin\beta=0.6$ 或 $\sin\beta=0.8$。

（2）粒子在磁场中做匀速圆周运动，半径 $R=\frac{mv_0}{qB}=L$，

磁场区域半径也为 L。由几何关系，粒子从 O 点射入，必从磁场边界另一点射出，且射出速度方向水平向右，如下图

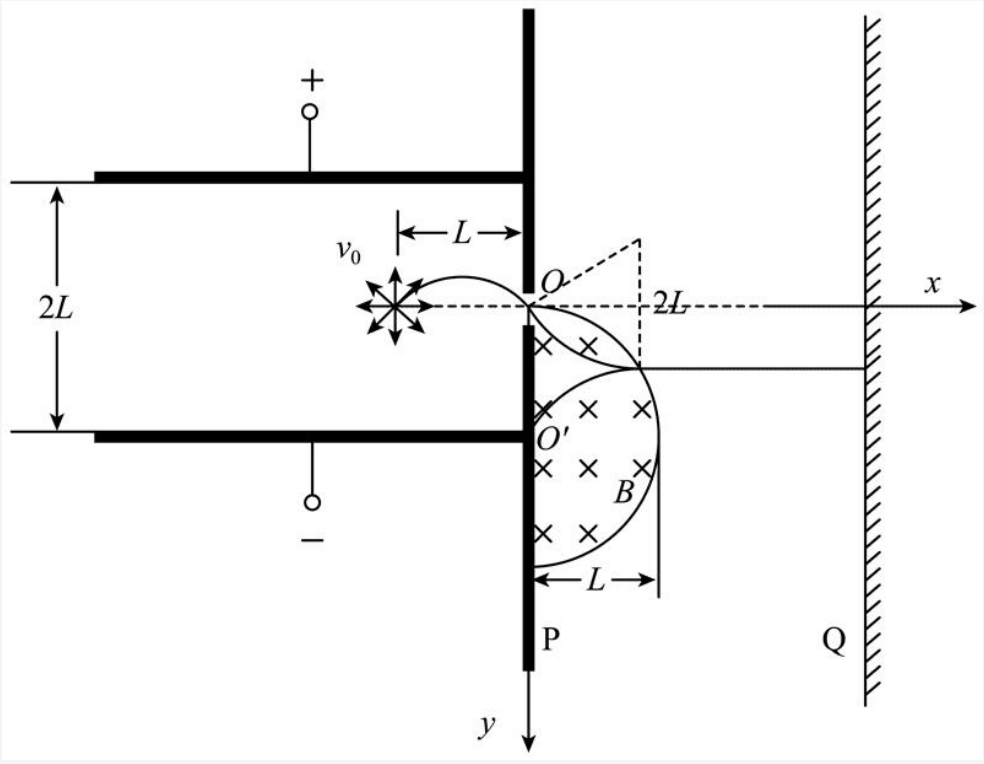


射出点纵坐标 $y_{出} = L(1-\cos\alpha)$，

当 $\sin\alpha = \frac{3}{5}$ 时，$\cos\alpha = \frac{4}{5}$，$y_{出} = \frac{L}{5}$；

当 $\sin\alpha = \frac{4}{5}$ 时，$\cos\alpha = \frac{3}{5}$，$y_{出} = \frac{2L}{5}$。

粒子与 Q 板弹性碰撞后沿 x 轴负方向返回，再次进入磁场。



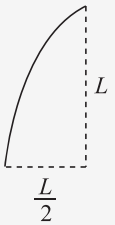
由对称性及圆周运动几何关系，粒子再次打到挡板 P 上的位置纵坐标 $y = 2y_{出}$，

故 y 坐标为 $\frac{2}{5}L$ 或 $\frac{4}{5}L$。

（3）根据（1）可知 $k = \frac{qU}{2mv_0^2}$。粒子能到达 O 点需满足 $\sin(2\theta) = k$，即 $k \leq 1, U \leq \frac{2mv_0^2}{q}$，

若 $U > \frac{2mv_0^2}{q}$，则 $k > 1$，无粒子能到达 O 点，均无法打到 P 右侧面。

当 $U \leq \frac{2mv_0^2}{q}$ 时，存在两个发射角 θ_1、θ_2（假设 θ_2 大于 θ_1）。粒子在电场中不撞板条件为 $|y_{\min}| \leq L$，如下图



右图为刚好到达上极板的临界，根据逆向看，类平抛运动速度偏转角是位移偏转角正切值的 2 倍，可知，此时 $\tan\theta = 2 \times \frac{L}{\frac{1}{2}L} = 4$，

根据数学关系可知此时 $\sin\theta = \frac{4\sqrt{17}}{17}$，$\cos\theta = \frac{\sqrt{17}}{17}$，

解得对于 θ_2 需 $k = \sin(2\theta) \geq \frac{8}{17}$，即 $U \geq \frac{16mv_0^2}{17q}$，

此时 θ_2 对应粒子轨迹刚好与上极板相切。

综上所述，当 $0 < U < \frac{16mv_0^2}{17q}$ 时，仅 θ_1 粒子能进入磁场，1 个撞击点；

当 $\frac{16mv_0^2}{17q} \leq U < \frac{2mv_0^2}{q}$ 时，两粒子均能进入且撞击点不同，2 个撞击点；

当 $U = \frac{2mv_0^2}{q}$ 时，两粒子轨迹重合，1 个撞击点；

当 $U > \frac{2mv_0^2}{q}$，则 $k > 1$，无粒子能到达 O 点，均无法打到 P 右侧面。