2026 年四川

1. 2026 年 2 月，我国某科创团队发布全球首款速度达到 10 m/s 的全尺寸人形机器人、该机器人体重 75 kg；2025 年 1 月、该团队发布的四足机器人体重 38 kg。若两款机器人均以 10 m/s 的速度同方向运动，则二者的动量大小之差为 (C)

A. $1850\,\mathrm{kg\cdot m/s}$　　B. $750\,\mathrm{kg\cdot m/s}$　　C. $370\,\mathrm{kg\cdot m/s}$　　D. $37\,\mathrm{kg\cdot m/s}$

> 根据题意，由动量表达式 $p=mv$ 可得，二者的动量大小之差为
>
> $\Delta p=m_1v-m_2v=370\,\mathrm{kg\cdot m/s}$
>
> 故选 C。

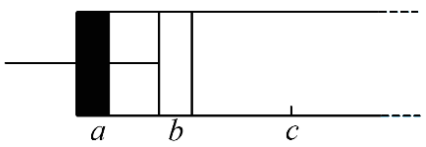
2. 小车在水平地面上做匀速直线运动。零时刻、站在小车上的甲沿与小车运动方向平行的方向抛出一个小球，乙站在小车侧方水平地面上观测到小球做直线运动直至落地。忽略空气阻力。则 (A)

A. 乙观测到小球的运动轨迹与地面垂直　　B. 乙观测到小球的加速度为零

C. 甲抛球方向与小车前进方向相同　　D. 小球相对地面的初速度不为零

> B. 根据题意可知，小球抛出后受重力作用，加速度为重力加速度，方向竖直向下，故 B 错误；
>
> ACD. 由于乙站在小车侧方水平地面上观测到小球做直线运动直至落地，可知，小球相对地面做自由落体运动，乙观测到小球的运动轨迹与地面垂直，则小球相对地面的初速度为零，即甲抛球方向与小车前进方向相反，相对小车的速度大小与小车运动的速度大小相等，故 A 正确，CD 错误。
>
> 故选 A。

3. 如图所示，空气中水平放置两端开口的圆柱形长管、管内有 a、b、c 三个位置，a、b 距离为 1 cm，c 在 b 右侧。持续驱动活塞使其在 a、b 间做周期为 0.1 s 的简谐运动，管内形成稳定机械波。声波在空气中的传播速度取 340 m/s，管足够长。则 (D)



A. 管内机械波为横波　　B. 管内机械波的振幅为 1 cm

C. 管内机械波的波长为 1 cm　　D. 每秒有 10 个完整的波经过位置 c

A．根据题意可知，管内机械波振动方向与传播方向平行，则管内机械波为纵波，故 A 错误；

B．活塞在 ab 间做简谐运动，且 ab 间距离为 $1\,\mathrm{cm}$，则管内机械波的振幅为 $0.5\,\mathrm{cm}$，故 B 错误；

C．管内机械波的波长为 $\lambda = vT = 34\,\mathrm{m}$，故 C 错误；

D．管内机械波的周期为 $0.1\,\mathrm{s}$，则每秒有 $n = \frac{t}{T} = 10$ 个完整的波经过位置 c，故 D 正确；

故选 D。

4. 离地球 280 光年外有一恒星 TOI-561。与 TOI-561 相距约 0.01 AU（日地距离为 1 AU）的行星绕其公转的周期约为地球公转周期的 $\frac{1}{800}$、该行星和地球的公转均视为匀速圆周运动。则 TOI-561 与太阳的质量的比值约为（B）

A．0.16　　B．0.64　　C．1.6　　D．6.4

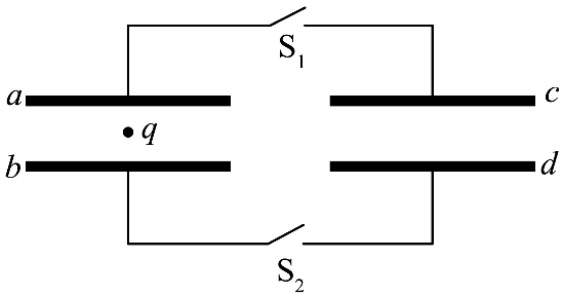
根据题意，由万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{r^2} = m\frac{4\pi^2}{T^2}r$

可得 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$

则有 $\frac{M_{\mathrm{T}}}{M_{\mathrm{太}}} = \frac{r_{\mathrm{行}}^3 \cdot T_{\mathrm{地}}^2}{r_{\mathrm{地}}^3 \cdot T_{\mathrm{行}}^2} = \left(\frac{0.01}{1}\right)^3 \times \left(\frac{1}{\frac{1}{800}}\right)^2 = 0.64$

故选 B。

5. 如图所示、金属薄板 a、b、c、d 完全相同，用长导线和开关 S_1、S_2 连接、a 与 b、c 与 d 平行且间距相等，S_1、S_2 均断开。a、b 带等量异种电荷，c、d 不带电。一质量为 m、带电量为 q 的微粒，静止在 a、b 之间、忽略边缘效应。则（C）



A．S_1 闭合、S_2 断开，微粒向下运动　　B．S_1 断开、S_2 闭合，微粒向上运动

C．S_1、S_2 同时闭合，微粒向下运动　　D．S_1、S_2 同时闭合，微粒保持静止

带电量为 q 的微粒，静止在 a、b 之间，说明重力与电场力平衡，电场力向上。

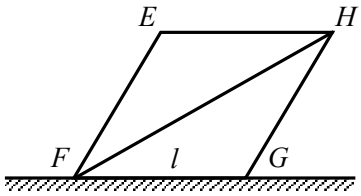
A．S_2 断开，b 的带电量保持不变，根据电容器极板电荷等量关系，a 的带电量不变，因此 ab 间电场强度不变，电场力仍等于重力，微粒保持静止，A 错误；

B．同理可得，B 错误；

CD．S_1、S_2 同时闭合相当于 ab、cd 两个电容器并联，电荷均匀分布在两个电容器的极板上，ab 电容器带电量减小，板间场强减小，电场力小于重力，微粒向下运动，故 C 正确，D 错误。

故选 C。

6. 如图所示，边长为 l 的绝缘菱形支架 $EFGH$ 竖直放置，FG 边固定于水平地面，$\angle EFG = 60°$。E、G 两点各固定一带电小球，两小球带等量异种电荷。点 H、F 间固定一光滑绝缘直轨道，另一带电小球 q 从 H 点沿轨道由静止下滑至 F 点。重力加速度大小为 g、小球均可视为点电荷。则小球 q 在运动过程中（A）



A. 某时刻所受支持力可能为零

B. 到达 F 点时的速率为 $\sqrt{gl}$

C. 电势能先增大后减小

D. 所受电场力的冲量为零

A．根据菱形几何性质和等量异种电荷的电场特点可知 HF 轨道电势处处相等，等量异种电荷中垂线上电场方向平行于电荷连线 EG，若电场力方向与重力垂直轨道的分力方向相反、大小相等，则支持力 $N = 0$，这种情况是可能存在的，故 A 正确；

B．整个过程电场力不做功，只有重力做功，由几何关系得下落高度 $h = \frac{\sqrt{3}}{2}l$

根据动能定理：$mgh = \frac{1}{2}mv^2$

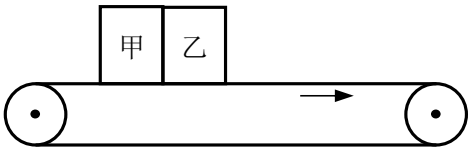
解得 $v = \sqrt{\sqrt{3}gl}$，故 B 错误；

C．HF 是等势线，整个运动过程中小球电势不变，电势能不变，故 C 错误；

D．冲量是矢量，等量异种电荷中垂线上电场方向始终不变，因此电场力方向始终不变，整个过程电场力的总冲量不为零，故 D 错误。

故选 A。

7. 如图所示，以恒定速率运行的传送带上有甲、乙两物块，二者与传送带相对静止，由不可伸长轻绳连接，之间无间隙。甲、乙质量均为 m，与传送带间的动摩擦因数分别为 $\frac{1}{8}$、$\frac{1}{4}$。某时刻、对乙施加水平向右的外力使其以恒定加速度 $\frac{g}{4}$（g 为重力加速度大小）运动，经时间 t_1 撤去外力、再经时间 t_2 绳绷直。甲、乙均可视为质点、传送带足够长。则（D）



A. t_1 和 t_2 满足 $t_1 < t_2$

B. 从撤去外力到绳绷直，因摩擦产生的热量为 $\frac{mg^2(t_1-t_2)^2}{32}$

C. 绳绷直后瞬间甲的动能为 $\frac{mg^2(t_1-t_2)^2}{128}$

D. 绳绷直以后甲、乙不会发生碰撞

以传送带为参考系，初始甲乙均静止。

A．施加外力过程，乙的最大速度 $v = \frac{g}{4}t_1$

撤去外力后，乙的加速度大小 $a_2 = \mu_2 g = \frac{g}{4}$

经时间 t_2 绳绷直，此时乙还有向右的速度，说明 $a_2 t_2 < v$

故 $t_2 < t_1$，故 A 错误；

B．绳绷直时乙的速度 $v_2 = v - a_2 t_2 = \frac{g}{4}(t_1 - t_2)$

从撤去外力到绳绷直，乙的路程（以下所指路程均为相对传送带运动的距离）为 $x_2 = \frac{v+v_2}{2}t_2$

因摩擦产生的热量 $Q_2 = \frac{1}{4}mg\Delta x_2 = \frac{1}{4}mgx_2 = \frac{mg^2t_2(2t_1-t_2)}{32}$，故 B 错误；

C．绳绷直瞬间，根据动量守恒 $mv_2 = 2mv'$

解得 $v' = \frac{g}{8}(t_1 - t_2)$

此速度为相对传送带的速度，此时甲的对地速度要大于 v'，则其动能大于

$\frac{1}{2}mv'^2 = \frac{mg^2(t_1-t_2)^2}{128}$，故 C 错误；

D．绳绷直以后甲、乙相对传送带速度均为 $v' = \frac{g}{8}(t_1 - t_2)$

从绷直到乙相对传送带静止，乙的路程为

$x_2' = \frac{v'^2}{2a_2} = \frac{g}{32}(t_1 - t_2)^2$

从绷直到甲相对传送带静止，甲的加速度为

$a_1 = \frac{1}{8}g$

甲的路程为

$x_1' = \frac{v'^2}{2a_1} = \frac{g}{16}(t_1 - t_2)^2$

从施加外力到绳绷直过程乙的路程为

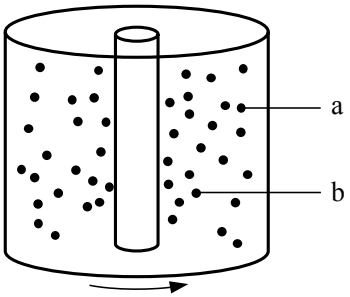
$x_2'' = \frac{v}{2}t_1 + \frac{v+v_2}{2}t_2 = \frac{g}{8}(t_1^2 - t_2^2 + 2t_1t_2)$

比较可知 $x_2' + x_2'' - x_1' > 0$

故绳绷直以后甲、乙不会发生碰撞，故 D 正确。

故选 D。

8. 分离铀 238 和铀 235 常采用离心分离技术，将含有铀 238 和铀 235 两种同位素的气态六氟化铀 $^{238}UF_6$ 和 $^{235}UF_6$ 在高速转动的气体离心机中进行分离，如图所示。则 (BD)



A. 图中 a 为 $^{235}UF_6$ 分子　　B. 图中 b 为 $^{235}UF_6$ 分子

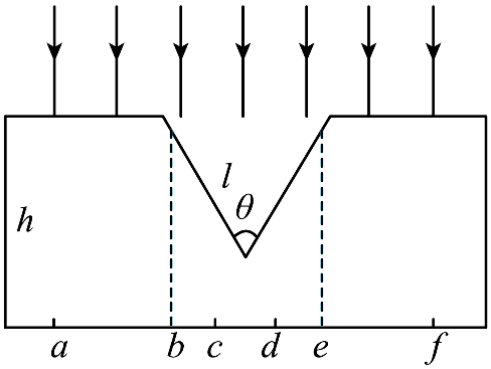
C. 铀 238 和铀 235 的中子数相同　　D. 铀 238 和铀 235 的质子数相同

AB．离心机高速转动时，所有分子转动的角速度 ω 相同，分子做圆周运动所需向心力 $F = m\omega^2 r$。$^{238}UF_6$ 的分子质量大于 $^{235}UF_6$，质量更大的分子需要的向心力更大，更容易发生离心运动，向半径更大的外侧（筒壁附近）聚集，因此：外侧的 a 处聚集质量更大的 $^{238}UF_6$，内侧 b 处聚集质量更小的 $^{235}UF_6$，故 A 错误，B 正确。

CD．铀 238 和铀 235 是铀元素的同位素，同位素的定义是质子数相同、中子数不同的同一元素的不同核素，故 C 错误，D 正确。

故选 BD。

9. 如图所示，在折射率为 $\sqrt{3}$、厚度为 h 的长方体玻璃砖上加工一 V 形凹槽，将其制成左右对称的工件，凹槽边长 $l = \frac{\sqrt{3}}{2}h$、$\theta = 60°$。将工件放置在水平面上，用单色平行光沿竖直方向照射工件，观测到工件底部有多个亮度不同的区域、各区域分界线用 a、b、c、d、e、f 表示。不考虑光的反射和干涉，所有表面均视为平面。则 (BC)



A. c、d 间亮度最高

B. a、b 间和 e、f 间亮度最高

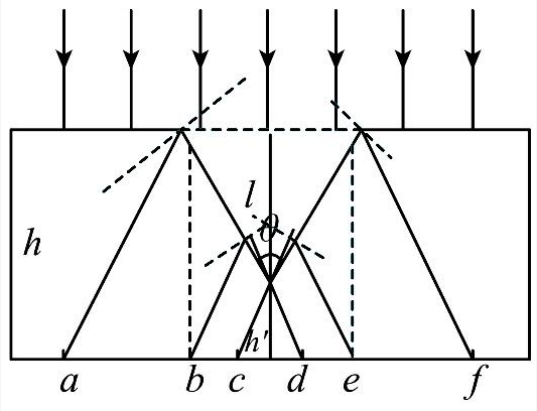
C. c、d 间距为 $\frac{\sqrt{3}}{6}h$

D. a、b 间距和 e、f 间距均为 $\frac{\sqrt{3}}{4}h$

设折射角为 i，根据折射定律 $n=\frac{\sin 60^\circ}{\sin i}$

可得 $i=30^\circ$

根据几何关系可知从 V 形凹槽左侧进入的光，折射光线平行于 V 形凹槽右侧的边，同理从 V 形凹槽右侧进入的光，折射光线平行于 V 形凹槽左侧的边，如图所示



AB．可知 c、d 区域无光线进入，a、b 和 e、f 区域除了从上射入的光线还有折射光线进入，亮度最高，b、c 和 d、e 区域只有折射光线进入，故 A 错误，B 正确；

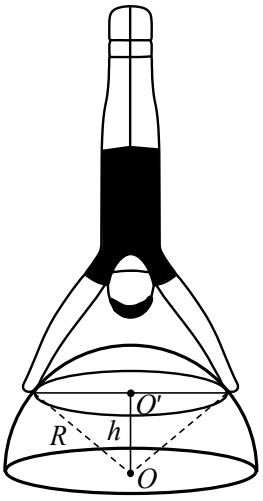
C．根据几何关系可得 $h'=h-l\sin 60^\circ=\frac{h}{4}$

c、d 间距为 $l_{cd}=2\times h'\tan 30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{6}h$，故 C 正确；

D．根据几何关系可得 a、b 间距和 e、f 间距均为 $l_{ab}=h\tan 30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{3}h$，故 D 错误。

故选 BC。

10. 如图所示，球心为 O、半径为 R 的半球体固定于水平地面，质量为 m 的杂技演员依靠双手支撑竖直倒立在球面上。双手对球面压力的作用点的连线是与地面平行、圆心为 O' 的小圆的直径，压力大小均为 N 且不超过 $\frac{3}{5}mg$（g 为重力加速度大小）。手与球面间动摩擦因数为 $\frac{\sqrt{3}}{3}$，最大静摩擦力与滑动摩擦力大小视为相等。设 OO' 长为 h、则（AD）



A. $h=\frac{R}{2}$ 时，演员保持平衡状态，N 大小可能为 $\frac{3}{5}mg$

B. $h=\frac{R}{2}$ 时，演员可以通过增大 N 往上移动

C. $h<\frac{\sqrt{3}}{4}R$ 时，演员不可能保持平衡状态

D. 演员要保持平衡状态，N 的最小值为 $\frac{\sqrt{3}}{4}mg$

设球心 O 到单侧手的作用点连线与竖直轴 OO' 的夹角为 θ，由几何关系得

$\cos\theta=\frac{h}{R}$，$\sin\theta=\frac{\sqrt{R^2-h^2}}{R}$

演员受力平衡：水平分量抵消，竖直方向两个手的支持力和摩擦力的竖直分量平衡重力，整理得 $2(N\cos\theta+f\sin\theta)=mg$

最大静摩擦力满足 $f\le f_{\max}=\mu N$

当静摩擦力取最大值时，联立可得

$N=\frac{mg}{2(\cos\theta+\frac{\sqrt{3}}{3}\sin\theta)}$

A．$h=\frac{R}{2}$ 时，代入数据解得 $N_{\min}=\frac{mg}{2}$

由于 $N\le\frac{3}{5}mg$

可知 N 的范围为 $\frac{mg}{2}\le N\le\frac{3}{5}mg$

N 大小可能为 $\frac{3}{5}mg$，故 A 正确；

B．根据题目分析可知 $h=\frac{R}{2}$ 时，演员可以处于平衡状态，在保持平衡状态的前提下，当 N 增大时，静摩擦力变小，合力始终不变，能否上升与 N 无关，故 B 错误；

C．根据 $N=\frac{mg}{2(\cos\theta+\frac{\sqrt{3}}{3}\sin\theta)}$

结合题意 $N\le\frac{3}{5}mg$

当 $N=\frac{3}{5}mg$ 时，解得平衡临界 $h\approx0.28R<\frac{\sqrt{3}}{4}R$，故 C 错误；

D．根据 $N=\frac{mg}{2(\cos\theta+\frac{\sqrt{3}}{3}\sin\theta)}$

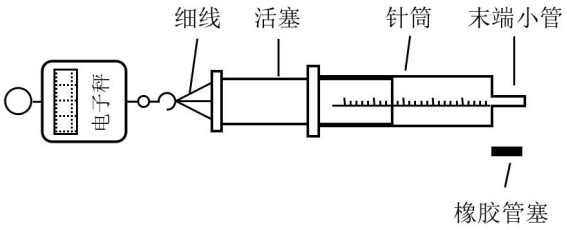
结合辅助角公式可得

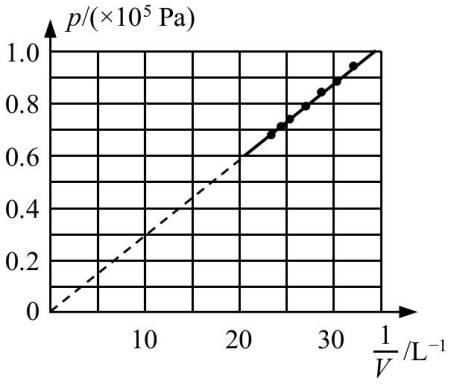
$N=\frac{mg}{\frac{4\sqrt{3}}{3}\sin(\theta+60^\circ)}$

可得 N 的最小值 $N=\frac{\sqrt{3}}{4}mg$，故 D 正确。

故选 AD。

11. 某兴趣小组用注射器、挂钩式电子秤、橡胶管塞、细线等探究气体等温变化的规律，实验过程如下：





(1) 如图 1 所示、将细线系在活塞一端、水平固定针筒，用电子秤挂钩钩住细线、沿水平方向匀速拉动活塞。记录电子秤示数，计算出活塞与针筒内壁间摩擦力大小 f。

(2) 用橡胶管塞塞满注射器末端小管，确认装置密封。

(3) 用电子秤沿水平方向 缓慢（选填“缓慢”或“快速”）拉动活塞，活塞位于刻度 30.0 mL 处时记录第一次电子秤示数，此后针筒内空气柱的体积 V 每增加 2 mL 记录一次示数，得到多组数据。

(4) 计算针筒内空气柱压强 p。已知大气压强为 p_0、活塞横截面积为 S、由电子秤示数计算出活塞所受拉力大小 F，则 $p=p_0+\frac{f-F}{S}$（用 p_0、f、F、S 表示）。

(5) 绘制 $p-\frac{1}{V}$ 图像如图 2 所示。实验表明：质量一定的空气，在温度保持不变的情况下，压强 p 与体积 V 成 反比（选填“正比”或“反比”）。

（3）缓慢；（4）$p_0+\frac{f-F}{S}$；（5）反比

（3）为了保持气体的温度不变，应该用电子秤沿水平方向缓慢拉动活塞；

（4）以活塞为研究对象，根据平衡条件有 $p_0S+f=F+pS$

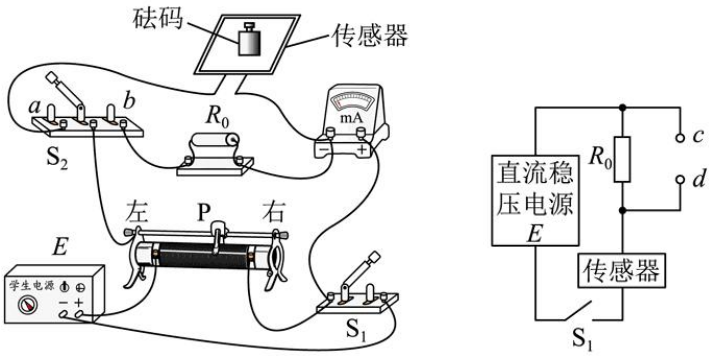
可得针筒内空气柱压强 $p=p_0+\frac{f-F}{S}$

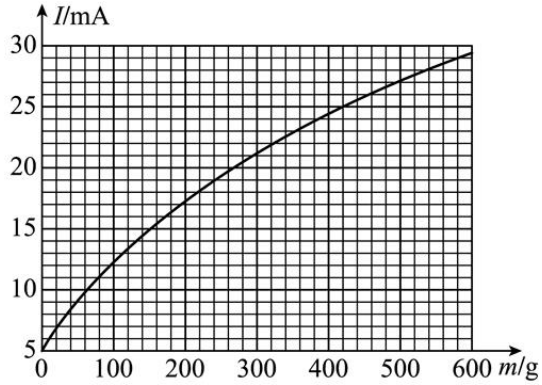
（5）根据 $pV=k$ 可得 $p=k\frac{1}{V}$

> 由图可知 $p-\frac{1}{V}$ 图像斜率不变，即 p 与 $\frac{1}{V}$ 成正比，则压强 p 与体积 V 成反比。

12. 现有一由柔性力敏薄膜和均压板构成的压力传感器，为探究该传感器的电阻变化规律，并用其测量压力，实验小组进行了如下实验。可用器材有：

- 待测压力传感器（以下简称“传感器”，空载阻值约 600 Ω）；
- 直流稳压电源 E（输出电压 6.00 V）；
- 定值电阻 R_0（阻值 80.0 Ω）；
- 滑动变阻器 R_1（最大阻值约 15 Ω），滑动变阻器 R_2（最大阻值约 1000 Ω）；
- 电流表（量程 0 ～ 30 mA，内阻 10.0 Ω）；
- 砝码（质量为 10 g、20 g、50 g、100 g、200 g 各 2 个）；
- 开关 S_1、S_2，导线若干；
- 计算机。





(1) 为探究传感器电阻随压力的变化规律，实验小组将传感器水平放置并连接实验器材，如图 1 所示。

①滑动变阻器应选用 R_1（选填“R_1”或“R_2”）。将滑动变阻器滑片 P 置于右端，闭合开关 S_1，将开关 S_2 拨至 b 端，调节滑片 P 使电流表满偏，此时 R_0 两端的电压为 2.40 V（结果保留 3 位有效数字）。

②保持滑片 P 位置不变，将开关 S_2 拨至 a 端、传感器上砝码质量从零开始每次增加 20 g，记录多组电流表读数 I 和对应的砝码质量 m，并绘制 $I-m$ 图像如图 2 所示。

③根据 $I-m$ 图像，结合图 1 电路分析可得，当 $m=460\,\mathrm{g}$ 时，传感器的阻值为 93.8 Ω（结果保留 3 位有效数字）。用相同的方法处理数据，得到传感器电阻和压力的关系。

(2) 实验小组利用该传感器设计了如图 3 所示的压力测量电路。测量压力时，计算机采集 c、d 间电压值，处理数据得到此时传感器的电阻值，再根据实验（1）得到的传感器电阻和压力的关系显示出压力值。若在某次测量中，c、d 间电压为 2.00 V，此时传感器的电阻为 160 Ω，计算机显示的压力值为 1.62 N。（结果均保留 3 位有效数字，当地重力加速度大小为 $9.80\,\mathrm{m/s^2}$）

(1) ① R_1，2.40；③ 93.8　(2) 160，1.62

（1）①根据实验原理可知，用滑动变阻器与传感器并联，认为压力传感器阻值的变化不影响并联部分电路两端的电压，所以需要滑动变阻器的阻值远小于压力传感器的阻值，所以滑动变阻器应选用最大阻值小的 R_1；

电流表满偏的电流为 30 mA，此时 R_0 两端的电压为 $U=IR_0=30\times10^{-3}\times80.0\,\mathrm{V}=2.40\,\mathrm{V}$

则并联部分电路两端的电压 $U'=IR_0+IR_\mathrm{A}=2.70\,\mathrm{V}$

③当 $m=460\,\mathrm{g}$ 时，电流为 26 mA，则传感器的阻值为 $R=\frac{2.70}{26\times10^{-3}}\,\Omega-10\,\Omega\approx93.8\,\Omega$

（2）流过传感器的电流 $I_0=\frac{2}{80.0}\,\mathrm{A}=0.025\,\mathrm{A}$

此时传感器的阻值为 $R=\frac{6-2}{0.025}\,\Omega=160\,\Omega$

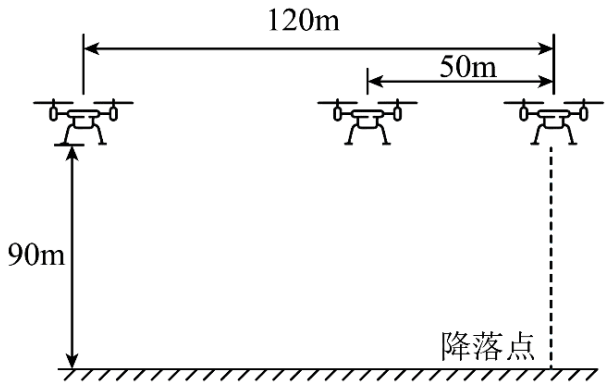
当 $R=160\,\Omega$ 时，电流 $I'=\frac{2.70}{160+10}\,\mathrm{A}\approx15.9\,\mathrm{mA}$

对比图 2 可知砝码的质量为 165 g，则计算机显示的压力值为 $165\times10^{-3}\times9.80\,\mathrm{N}\approx1.62\,\mathrm{N}$

13. 某款国产民用无人机已实现全自动作业。如图所示，无人机完成某次任务后开始返航，此时所在位置与降落点的水平距离为 120 m，竖直距离为 90 m。无人机先以 10 m/s 的速度沿水平直线飞行至与降落点水平距离 50 m 处，然后沿原运动方向做匀减速直线运动至降落点正上方，随后用时 33 s 竖直下降至降落点，返航结束。求：

(1) 无人机沿水平方向做匀减速直线运动的加速度大小。

(2) 无人机从开始返航到返航结束的位移大小和平均速度大小。



(1) $1\,\mathrm{m/s^2}$　(2) $150\,\mathrm{m}$，$3\,\mathrm{m/s}$

（1）根据匀变速直线运动公式 $v^2=2ax_0$，代入数据有 $10^2=2a\times 50$

可得匀减速直线运动的加速度大小为 $a=1\,\mathrm{m/s^2}$

（2）无人机从开始返航到返航结束的位移大小 $x=\sqrt{h^2+l^2}=\sqrt{90^2+120^2}=150\,\mathrm{m}$

无人机匀速时需要的时间为 $t_1=\frac{l-x_0}{v}=\frac{120-50}{10}\,\mathrm{s}=7\,\mathrm{s}$

匀减速阶段的时间为 $t_2=\frac{v}{a}=\frac{10}{1}\,\mathrm{s}=10\,\mathrm{s}$

由于竖直方向运动时间为 $t_3=33\,\mathrm{s}$

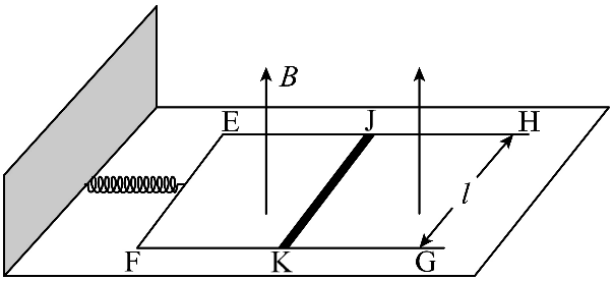
所以全程的平均速度为 $\overline{v}=\frac{x}{t_1+t_2+t_3}=\frac{150}{7+10+33}\,\mathrm{m/s}=3\,\mathrm{m/s}$

14. 如图所示，两根相距 l 的平行金属长导轨 EH、FG 与金属杆 EF 固定连接成 U 形框。U 形框质量为 m，电阻不计，静止在水平绝缘桌面上，与桌面间动摩擦因数为 μ。劲度系数为 k 的绝缘轻弹簧一端连接杆 EF 的中点，另一端与墙壁相连，弹簧水平且处于原长。导轨上静置一质量为 m，电阻为 R 的光滑金属杆 JK。空间存在方向竖直向上的匀强磁场，磁感应强度大小为 B。现使杆 JK 在水平向右的外力作用下做匀速直线运动。杆 JK 始终与导轨垂直且接触良好，弹簧始终与杆 EF 垂直且在弹性限度内，最大静摩擦力与滑动摩擦力大小视为相等，重力加速度大小为 g。

(1) 求 U 形框所受最大静摩擦力的大小；

(2) 若弹簧保持原长，求杆 JK 做匀速直线运动速度的最大值；

(3) 若杆 JK 运动速度大小为 v，当弹簧伸长量为 x_0 时外力功率最小，求此时 U 形框的速度大小和外力功率的最小值。



(1) $2\mu mg$ (2) $\frac{2\mu mgR}{B^2l^2}$ (3) $v-\frac{(kx_0+2\mu mg)R}{B^2l^2}$，$(kx_0+2\mu mg)v$

（1）U 形框和导体棒的总质量为 $2m$，U 形框受到的支持力 $N=2mg$

最大静摩擦力等于滑动摩擦力，即 $f=\mu N=2\mu mg$

（2）当导体棒速度最大时，安培力等于最大静摩擦力，此时 U 形框即将滑动，导体棒切割磁感线产生的感应电动势 $E=Blv_m$

感应电流 $I=\frac{E}{R}=\frac{Blv_m}{R}$

安培力 $F_{\mathrm{A}}=BIl=\frac{B^2l^2v_m}{R}$

根据平衡条件有 $F_{\mathrm{A}}=f=2\mu mg$

解得 $v_m=\frac{2\mu mgR}{B^2l^2}$

（3）设 U 形框的速度为 u，则导体棒与 U 形框的相对速度为 $v-u$，导体棒感应电动势 $E=Bl(v-u)$

感应电流 $I=\frac{Bl(v-u)}{R}$

导体棒受到的安培力 $F'_{\mathrm{A}}=\frac{B^2l^2(v-u)}{R}$

导体棒受到的安培力与 U 形框受到的安培力大小相等，对 U 形框受力分析有

$F'_{\mathrm{A}}=kx_0+2\mu mg$

联立解得 $u=v-\frac{(kx_0+2\mu mg)R}{B^2l^2}$

导体棒做匀速运动，对导体棒，根据平衡条件可得外力 $F=F'_{\mathrm{A}}=kx_0+2\mu mg$

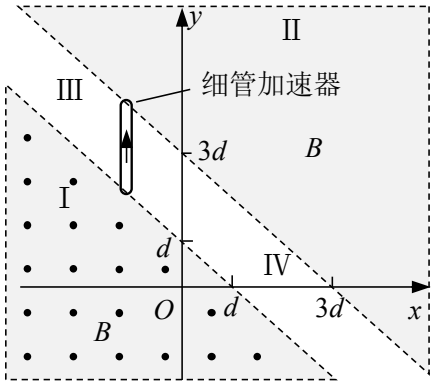
此时外力 F 的功率 $P=Fv=(kx_0+2\mu mg)v$

15. 如图所示，纸面内建有直角坐标系 xOy，直线 $y=-x+d$（$d>0$）左下为Ⅰ区、直线 $y=-x+3d$ 右上为Ⅱ区，两条直线之间在 y 轴左、右两侧分别为Ⅲ区和Ⅳ区。Ⅰ区和Ⅱ区有垂直纸面的匀强磁场，磁感应强度大小均为 B，Ⅰ区磁场方向垂直纸面向外，Ⅱ区磁场方向未知；Ⅲ、Ⅳ区无磁场。Ⅲ区有长度为 $2d$ 且平行于 y 轴的细管加速器，可使进入管内的带正电微粒具有沿 y 轴正方向的恒定加速度。质量为 m、电荷量为 q（$q>0$）的微粒甲在纸面内运动，不计微粒重力，微粒不与细管加速器发生碰撞。

(1) 若甲在 I 区做半径为 $2d$ 的圆周运动，求该运动的速度大小；

(2) 若甲做周期性运动，每次过（d，0）时速度均沿 x 轴正方向，求此周期性运动的周期；

(3) 若甲在 I 区的圆周运动轨迹半径为 $2d$ 且 II 区磁场方向垂直纸面向外。某时刻甲与静止在（d，0）处的不带电微粒乙发生弹性正碰，碰撞过程中无电荷交换，碰撞后乙沿 x 轴正方向运动。乙与甲的质量之比为 k。要使甲与乙再次正碰，且碰撞前甲仅进入 II 区一次，求细管加速器位置的横坐标及 k 需满足的条件。

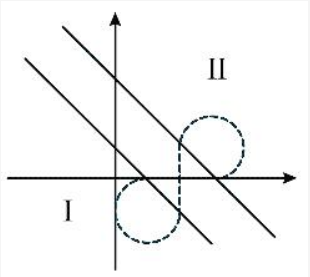


(1) $v=\frac{2qBd}{m}$ (2) $T=\frac{(4+3\pi)m}{qB}$ (3) $x=\frac{\pi+2-\sqrt{9\pi^2+4}}{2\pi}d$，$k\geq\frac{6\pi+1+2\sqrt{9\pi^2+4}}{3}$

（1）洛伦兹力提供向心力 $qvB=m\frac{v^2}{r}$

代入 $r=2d$ 解得 $v=\frac{2qBd}{m}$

（2）若 II 区域的磁场方向垂直于纸面向外，则粒子甲不满足每次经过 $(d,0)$；若 II 区域的磁场方向垂直于纸面向内，则满足如图的回旋运动；综上，II 区域的磁场方向垂直于纸面向内，运动轨迹如图



根据几何关系可知

$R=d=\frac{mv'}{qB}$

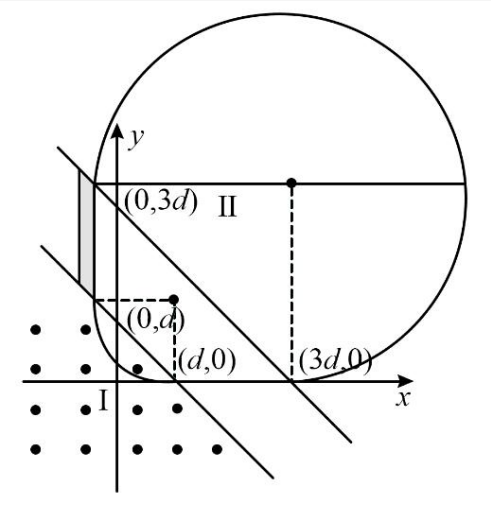
解得 $v'=\frac{qBd}{m}$

总路程

$s=2d+2d+2\times\frac{3}{4}\times2\pi R=4d+3\pi d$

运动周期 $T=\frac{s}{v'}=\frac{(4+3\pi)m}{qB}$

（3）由题知需要在 x 轴上相遇，粒子甲必定在 $(3d,0)$ 处与粒子乙相遇，则碰撞后，粒子甲反向圆周运动后竖直进入细管加速器，粒子乙正向匀速运动，画出运动图示如图



已知甲初速度 $v_0=\frac{2qBd}{m}$

甲、乙发生弹性正碰，根据动量守恒、能量守恒有 $mv_0=mv_1+kmv_2$，$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}kmv_2^2$

联立解得 $v_1=-\frac{k-1}{1+k}v_0$，$v_2=\frac{2}{1+k}v_0$

粒子甲在 I 区域运动的半径

$R_1=\frac{m|v_1|}{qB}=\frac{2k-2}{k+1}d$

则细管加速器的横坐标

$x=d-R_1=\frac{3-k}{k+1}d$

粒子甲在 II 区域运动的半径 $R_2=R_1+2d$

根据 $R_2=\frac{mv_{甲2}}{qB}$

解得 $v_{甲2}=\frac{2k}{k+1}v_0$

粒子甲在细管加速器中做匀加速直线运动，时间为 t，有 $|v_1|+at=v_{甲2}$

联立解得 $at=\frac{2qBd}{m}=v_0$

根据相遇的等时性 $\frac{1}{2}at^2+|v_1|t=2d$，$\frac{2d}{v_2}=\frac{2\pi m}{qB}+t$

由 $x<0$ 可得 $k>3$，化简得 $k\geq\frac{6\pi+1+2\sqrt{9\pi^2+4}}{3}$

则细管加速器的横坐标 $x=\frac{\pi+2-\sqrt{9\pi^2+4}}{2\pi}d$