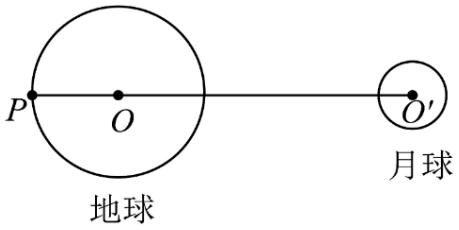
2026 年贵州

1. 某同学乘坐列车时，在自己的座位上利用车厢内信息屏和手机秒表估算隧道长度。该同学进隧道时速度为 60 m/s，出隧道时速度为 50 m/s，总用时 200 s。若列车在隧道中做匀减速直线运动，则该隧道长为 (C)

A. 5000 m　　B. 8000 m　　C. 11000 m　　D. 14000 m

> 列车在隧道内做匀减速直线运动，匀变速直线运动的平均速度满足 $\overline{v}=\frac{v_0+v}{2}$。
>
> 位移等于平均速度乘以运动时间，即 $x=\overline{v}t$。
>
> 代入已知条件 $v_0=60\,\mathrm{m/s}$、$v=50\,\mathrm{m/s}$、$t=200\,\mathrm{s}$。
>
> 计算得 $x=\frac{60+50}{2}\times 200\,\mathrm{s}=11000\,\mathrm{m}$。
>
> 故选 C。

2. 月球引潮力是引起海洋潮汐的主要原因，可等效为地表某点处质量为 Δm 的海水所受月球引力减去地心处相同质量的物质所受月球引力。已知地球半径为 R，地心 O 与月心 O' 间距为 d，月球质量为 M，引力常量为 G，地表 P 点背对月球，P、O 和 O' 在同一直线上，如图所示，则 P 点处质量为 Δm 的海水所受月球引潮力大小为 (D)

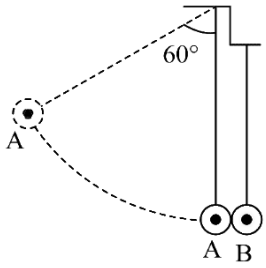


A. $\left|\frac{GM\Delta m}{d}-\frac{GM\Delta m}{R}\right|$　　B. $\left|\frac{GM\Delta m}{d^2}-\frac{GM\Delta m}{R^2}\right|$

C. $\left|\frac{GM\Delta m}{d+R}-\frac{GM\Delta m}{d}\right|$　　D. $\left|\frac{GM\Delta m}{(d+R)^2}-\frac{GM\Delta m}{d^2}\right|$

> 根据题图可知 P 点距月心的距离为 $d+R$，地心与月心间距为 d，月球质量为 M，根据万有引力公式结合月球引潮力的定义可得 P 点处质量为 Δm 的海水所受月球引潮力大小为 $F=\left|\frac{GM\Delta m}{(d+R)^2}-\frac{GM\Delta m}{d^2}\right|$。
>
> 故选 D。

3. 如图，完全相同的均质小球 A、B 被不可伸长的细线悬挂，静止在同一竖直平面内，相互接触无挤压，悬挂点到球心的距离分别为 L 和 $\frac{4}{5}L$，A 被拉至与竖直方向成 60° 的位置并由静止释放，随后与 B 发生弹性正碰。忽略空气阻力，B 的球心上升的最大高度为 (A)



A. $\frac{1}{2}L$　　B. $\frac{1}{3}L$　　C. $\frac{1}{4}L$　　D. $\frac{1}{5}L$

设 A、B 小球的质量均为 m，忽略空气阻力，则 A 从静止释放至与 B 发生碰撞前瞬间，由动能定理可得 $mgL(1-\cos 60^\circ)=\frac{1}{2}mv_A^2$

A 球与 B 球碰撞过程中，根据动量守恒定律和机械能守恒定律有 $mv_A=mv'_A+mv'_B$

$\frac{1}{2}mv_A^2=\frac{1}{2}mv'^2_A+\frac{1}{2}mv'^2_B$

可得 $v'_B=v_A$

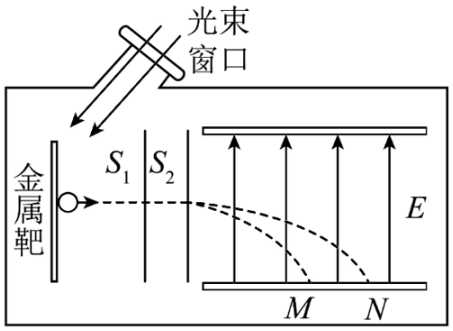
由于 $\frac{1}{2}mv'^2_B<\frac{4}{5}mgL$

所以从碰撞后至下次碰撞前，B 做圆周运动，设 B 的球心上升的最大高度为 h，则对 B 从碰后至上升到最大高度的过程，由动能定理可得 $-mgh=0-\frac{1}{2}mv'^2_B$

解得 $h=\frac{1}{2}L$

故选 A。

4. 如图，密闭真空中，有一竖直放置的金属靶和水平放置的两平行极板，极板与金属靶受光面垂直，板间存在竖直向上的匀强电场 E。用频率为 ν_1 和 ν_2 的光分别照射靶时，垂直靶面逸出最大初动能分别为 E_{k1} 和 E_{k2} 的光电子，经狭缝 S_1、S_2 后进入电场，分别落到下极板 M、N 处。忽略极板边缘效应及电子间的相互作用，则 (A)



A. $E_{k1}<E_{k2}$，$\nu_1<\nu_2$　　B. $E_{k1}<E_{k2}$，$\nu_1>\nu_2$

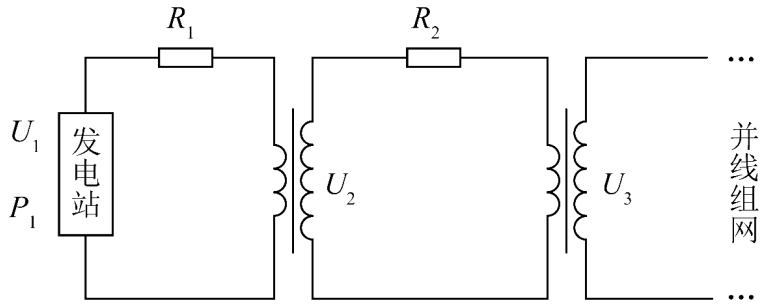
C. $E_{k1}>E_{k2}$，$\nu_1<\nu_2$　　D. $E_{k1}>E_{k2}$，$\nu_1>\nu_2$

光电子进入匀强电场后做类平抛运动，竖直方向：加速度 $a=\frac{qE}{m}$。

对所有电子，竖直方向加速度和位移均相同，根据 $y=\frac{1}{2}at^2$ 可知，运动时间相同。

> 水平方向做匀速运动，则落在 M 的电子初速度较小，即 $E_{k1} < E_{k2}$。
>
> 对光电效应过程，根据爱因斯坦光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0$，可知 $\nu_1 < \nu_2$。
>
> 故选 A。

5. 如图，某发电站输出电压 $U_1 = 13.8\,\mathrm{kV}$ 的交流电，经两个变压器先后将电压升至 $U_2 = 220\,\mathrm{kV}$ 和 $U_3 = 500\,\mathrm{kV}$，再并入电网。输电线电阻 $R_1 = 12\,\Omega$，$R_2 = 8\,\Omega$。设所用变压器均为理想变压器，若发电站输出功率 $P_1 = 690\,\mathrm{kW}$，则 R_1 和 R_2 上损失的总功率为 (B)



A. 30.118 kW　　B. 30.072 kW　　C. 30.024 kW　　D. 30 kW

> 发电站输出总功率 $P_1 = U_1 I_1$。
>
> $I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{690\times10^3\,\mathrm{W}}{13.8\times10^3\,\mathrm{V}} = 50\,\mathrm{A}$
>
> 因此 R_1 所在回路电流：
>
> R_1 的功率损失：$\Delta P_1 = I_1^2 R_1 = 30000\,\mathrm{W} = 30\,\mathrm{kW}$
>
> 理想变压器无损耗，第一个变压器副线圈输出功率等于原线圈输入功率，即 $P_2 = P_1 - \Delta P_1$
>
> 结合 $P_2 = U_2 I_2$，得 R_2 所在回路电流：$I_2 = 3\,\mathrm{A}$
>
> R_2 的功率损失：$\Delta P_2 = I_2^2 R_2 = 72\,\mathrm{W} = 0.072\,\mathrm{kW}$
>
> 故选 B。

6. 如图，农民伯伯挑玉米时用双手分别抓住轻绳的 O、O' 点处，某时刻绳 OA、$O'B$ 与竖直方向的夹角均为 $45°$，手对绳的作用力分别垂直于 OA、$O'B$，所有作用力在同一竖直平面内，此时人和物均处于平衡状态。已知每筐玉米质量为 m，重力加速度大小为 g，忽略筐和扁担质量，则此时扁担对肩膀的作用力大小为 (B)



A. $\frac{\sqrt{2}}{2}mg$　　B. mg　　C. $\sqrt{2}mg$　　D. $2mg$

对单侧 O 点受力分析：O 点受三个力：向下的玉米重力 mg、OA 绳的拉力 T、手垂直 OA 的作用力 F，系统平衡。

根据平衡条件 $T = mg\cos 45°$

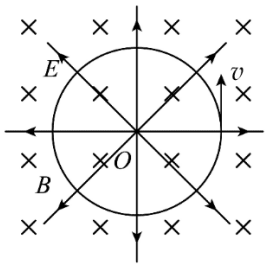
则单侧绳对扁担向下的分力为 $N_1 = T\cos 45°$

扁担对肩膀的作用力大小为 $N = 2N_1$

解得 $N = mg$

故选 B。

7. 如图，空间中存在垂直于纸面向里的匀强磁场及从 O 点沿径向向外的电场，某处电场强度大小 $E = \frac{k}{r^2}$，k 为常量，r 为该处到 O 的距离。一带负电粒子在纸面内沿逆时针方向做匀速圆周运动。当磁感应强度大小为 B_1 时，粒子运动半径为 r_1，速率为 v，电势能为 E_{p1}；当磁感应强度大小为 B_2（$B_2 > B_1$）时，粒子运动半径为 r_2，速率仍为 v，电势能为 E_{p2}。取无限远处的电势为零，不计粒子重力，则 (C)



A. $r_2 > r_1$，$E_{p2} > E_{p1}$　　B. $r_2 > r_1$，$E_{p2} < E_{p1}$

C. $r_2 < r_1$，$E_{p2} < E_{p1}$　　D. $r_2 < r_1$，$E_{p2} > E_{p1}$

带负电粒子在纸面内沿逆时针方向做匀速圆周运动，则根据左手定则洛伦兹力背离圆心，电场力指向圆心，两力的合力提供向心力。

当磁感应强度大小为 B_1 时，粒子运动半径为 r_1，速率为 v，此时有 $q\frac{k}{r_1^2} - qvB_1 = \frac{mv^2}{r_1}$

当磁感应强度大小为 B_2（$B_2 > B_1$）时，粒子运动半径为 r_2，速率仍为 v，此时有 $q\frac{k}{r_2^2} - qvB_2 = \frac{mv^2}{r_2}$

> 联立可得 $q\frac{k}{r_1}-qvB_1r_1=q\frac{k}{r_2}-qvB_2r_2$
>
> 因为 $B_2>B_1$，所以 $r_2<r_1$
>
> 又沿电场方向电势降低，电子在电势低处电势能大，故 $E_{p2}<E_{p1}$。
>
> 故选 C。

8. 在贵州凯里，人们常将小西红柿和红辣椒加工后放入如图所示的瓦罐中，罐口处倒扣一个钵并用水密封，发酵制作酸汤。发酵过程中罐内物质缓慢产生气体，压强足够大时气体以气泡形式溢出，间歇性放气。罐内气体可视为理想气体，设罐内气体温度和体积保持不变，则 (AD)



A. 在放气过程中，溢出的气体对外界做正功

B. 在放气过程中，溢出的气体对外界做负功

C. 在刚放气完到下次即将放气的过程中，发酵产生气体，罐内气体内能减小

D. 在刚放气完到下次即将放气的过程中，发酵产生气体，罐内气体内能增大

> AB．在放气过程中，气体体积增大，则溢出的气体对外界做正功，故 A 正确，B 错误；
>
> CD．在刚放气完到下次即将放气的过程中，发酵产生气体，气体的质量增加，温度不变，罐内气体内能增大，故 C 错误，D 正确。
>
> 故选 AD。

9. 光在折射率为 n 的光纤中传播路程 L，等效于光在真空中传播路程 nL，nL 称为光程。如图 a，两根同种光纤在 A、B 处被熔接为耦合点，形成上下两支路，上下支路 A、B 之间的光纤长度相同。波长为 λ 的光经过耦合点时的变化情况如图 b 所示，任意支路的光经过耦合点，与输入口同侧的输出口的光未额外增加光程，异侧输出口的光额外增加 $\frac{\lambda}{4}$ 光程。现有波长为 λ 的光从 1 口入射，则上下支路的光 (BC)

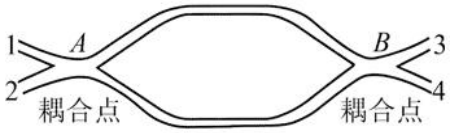


图 a

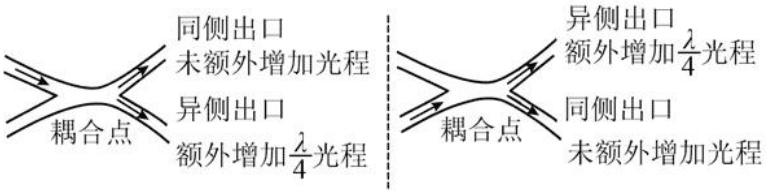
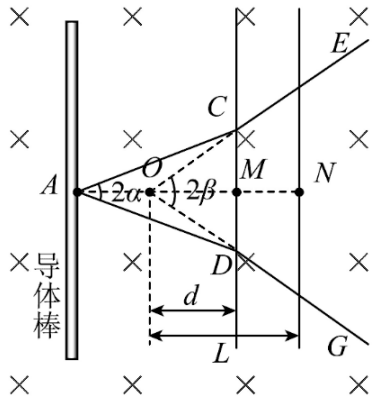


图 b

A. 在 3 口干涉加强　B. 在 3 口干涉削弱　C. 在 4 口干涉加强　D. 在 4 口干涉削弱

> 现有波长为 λ 的光从 1 口入射，经过耦合点 A 后，在上通道的光程为 nL，下通道的光程为 $nL+\frac{\lambda}{4}$，经过耦合点 B 后，上通道的光到 3 口光程为 nL，下通道的光到 3 口光程为 $nL+\frac{\lambda}{4}+\frac{\lambda}{4}$，两光的光程差为 $\frac{\lambda}{2}$，则在 3 口干涉削弱；经过耦合点 B 后，上通道的光到 4 口光程为 $nL+\frac{\lambda}{4}$，下通道的光到 4 口光程为 $nL+\frac{\lambda}{4}$，两光的光程差为零，则在 4 口干涉加强。
>
> 故选 BC。

10. 如图，水平绝缘桌面上固定有光滑金属导轨 ECADG，其中 EC 和 GD 的延长线交于 $\angle CAD$ 的角平分线上 O 点，M、N 点在 AO 的延长线上，M 为 CD 的中点，$\angle CAD=2\alpha$，$\angle EOG=2\beta$，$|OM|=d$，$|ON|=L$。导轨所在区域存在磁感应强度大小为 B、方向竖直向下的匀强磁场。质量为 m 的导体棒在水平拉力作用下，从 A 点以速度 v_0 向右匀速运动到 M 点，此时撤去拉力，运动到 N 点时速度为 $\frac{v_0}{2}$。已知导体棒单位长度电阻为 r，导体棒在运动过程中始终垂直于 AN 且与导轨接触良好，导轨电阻不计。则导体棒 (AC)



A. 从 A 到 M 的过程中，电流为 $\frac{Bv_0}{r}$

B. 从 M 到 N 的过程中，通过导体棒的电荷量为 $\frac{B(L^2-d^2)}{2dr}$

C. 速度 v_0 满足关系式 $v_0=\frac{2B^2(L^2-d^2)\tan\beta}{mr}$

D. 从 A 到 M 的过程中，产生的焦耳热为 $\frac{B^2d^2v_0\tan\beta}{r\tan\alpha}$

A．从 A 到 M 的过程中，导体棒向右匀速运动，设某时刻接入电路的导体棒长度为 L'，则有感应电动势 $E=BL'v_0$

导体棒接入电路的电阻为 $R'=L'r$

则电流为 $I=\frac{E}{R'}=\frac{Bv_0}{r}$，故 A 正确；

B．从 M 到 N 的过程中，结合 A 分析可知，某时刻导体棒速度为 v 时，感应电流为 $I'=\frac{Bv}{r}$

由电流定义式可得，通过导体棒的电荷量为 $q=\overline{I}\Delta t=\sum I'\Delta t=\frac{B}{r}\sum v\Delta t$

又有 $\sum v\Delta t=L-d$

则有 $q=\frac{B(L-d)}{r}$，故 B 错误；

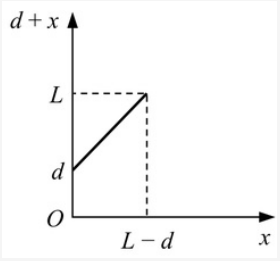
C．从 M 到 N 的过程中，令某时刻导体棒速度为 v 时，导体棒的位移为 x，由几何关系可得，导体棒接入电路的长度为 $2(d+x)\tan\beta$，可知该时刻导体棒所受安培力为 $B\cdot\frac{Bv}{r}\cdot2(d+x)\tan\beta$

对该过程由动量定理有 $-\sum B\cdot\frac{Bv}{r}\cdot2(d+x)\tan\beta\cdot\Delta t=m\left(\frac{v_0}{2}-v_0\right)$

则有 $\frac{2B^2\tan\beta}{r}\sum(d+x)v\cdot\Delta t=\frac{mv_0}{2}$

解得 $v_0=\frac{4B^2\tan\beta}{mr}\sum(d+x)\cdot x$

作出该过程 $d+x$ 与 x 关系图像，如图所示

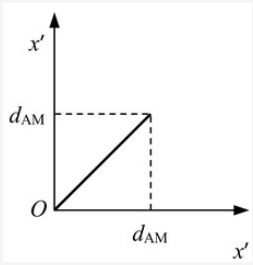


则有 $\sum(d+x)\cdot x=\frac{1}{2}(d+L)(L-d)$

联立解得 $v_0=\frac{2B^2(L^2-d^2)\tan\beta}{mr}$，故 C 正确；

D．从 A 到 M 的过程中，设某时刻导体棒位移大小为 x'，则导体棒接入电路的长度为 $2x'\tan\alpha$，该时刻导体棒所受安培力为 $B\cdot\frac{Bv_0}{r}\cdot2x'\tan\alpha$，该过程中安培力做功为 $W=-\sum B\cdot\frac{Bv_0}{r}\cdot2x'\tan\alpha\cdot x'=-\frac{2B^2v_0\tan\alpha}{r}\sum x'\cdot x'$

作出该过程 x' 与 x' 关系图像，如图所示



则有 $\sum x' \cdot x' = \frac{1}{2} d_{AM}^2 = \frac{d^2 \tan^2 \beta}{2 \tan^2 \alpha}$

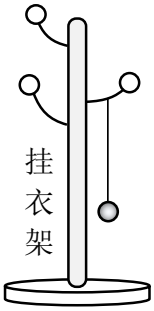
由功能关系有产生的焦耳热 $Q = |W|$

联立解得 $Q = \frac{B^2 d^2 v_0 \tan^2 \beta}{r \tan \alpha}$，故 D 错误。

故选 AC。

11. 如图，某同学居家设计简易单摆测量重力加速度。主要器材有：细线、金属球、卷尺、手机、挂衣架。

请完成下列步骤：



(1) 用卷尺测量金属球直径三次后得平均值 $d = 1.82\,\text{cm}$。

(2) 用卷尺测量摆线长度三次后得平均值 L。将金属球从平衡位置拉至一个偏角小于 $5°$ 的位置并由静止释放，用手机秒表测量金属球 20 次全振动的时间 t。重复测量三次，得周期的平均值 T。

(3) 改变摆线长度，重复步骤（2）。得 L、t（t_1、t_2、t_3）和 T 的数据如下表：

$L/\,\text{cm}$	$t_1/\,\text{s}$	$t_2/\,\text{s}$	$t_3/\,\text{s}$	$T/\,\text{s}$
110.10	42.43	42.25	42.38	2.12
100.37	40.43	40.50	40.38	
90.23	38.62	38.38	38.50	1.93

计算上表中 $L = 100.37\,\text{cm}$ 时的 $T =$ 2.02 s。（保留三位有效数字）

(4) 根据重力加速度表达式 $g =$ $\frac{2\pi^2(2L+d)}{T^2}$（用 π、T、L 和 d 表示），计算实验值。

(5) 查询当地重力加速度，发现 g 的实验值偏小。为减小空气阻力引起的误差，应尽量选择质量 大（填“大”或“小”）、体积 小（填“大”或“小”）的摆球。

(1) $d = 1.82\,\text{cm}$ (2) 摆线长度 L，20 次全振动的时间 t，周期 T (3) 2.02 (4) $\frac{2\pi^2(2L+d)}{T^2}$ (5) 大，小

（3）金属球做 20 次全振动的时间为 $t_1+t_2+t_3$，则周期 $T=\frac{t_1+t_2+t_3}{20\times3}=\frac{t_1+t_2+t_3}{60}$

当 $L=100.37\,\text{cm}$ 时，代入数据可得 $T=\frac{40.43+40.50+40.38}{60}\,\text{s}=2.02\,\text{s}$

（4）根据单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，其中 $l=L+\frac{d}{2}$，则 $T=2\pi\sqrt{\frac{L+\frac{d}{2}}{g}}$

可得重力加速度表达式为 $g=\frac{2\pi^2(2L+d)}{T^2}$。

（5）为减小空气阻力引起的误差，应尽量选择质量大、体积小的摆球。

12. 在绝缘板上均匀涂敷一种导电材料，制作的电阻样品如图 a 所示。所制三个电阻的涂层长度相同、宽度较小且相同、厚度不同（几微米），阻值均约为几十欧。某实验小组通过测量三个电阻阻值，比较其涂层厚度，所用器材有：

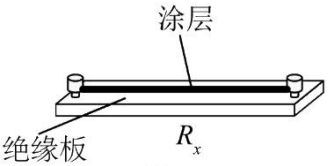


图 a

待测电阻 R_{x1}、R_{x2} 和 R_{x3}；

电压表 V_1（量程 $0\sim3\,\text{V}$）；

电压表 V_2（量程 $0\sim5\,\text{V}$）；

电阻箱 R_0（阻值 $0\sim999.9\,\Omega$）；

滑动变阻器 R（阻值 $0\sim10\,\Omega$）；

直流电源 E（电动势 $4.5\,\text{V}$）；

开关；导线若干。

请完成下列步骤：

(1) 实验小组设计了如图 b 所示的电路图。根据图 b 完成图 c 中的实物图连线。

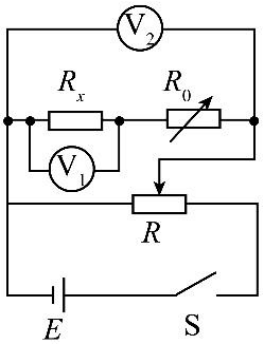


图 b

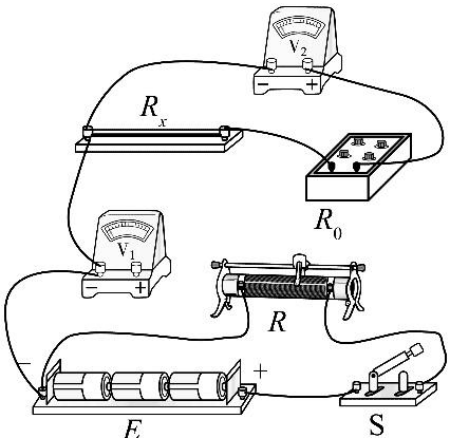


图 c

(2) 接入 R_{x1}，闭合 S，调节 R 和 R_0，R_0 的示数如图 d 所示，此时 R_0 读数为 36.2 Ω，电压表 V_1 和 V_2 读数分别为 1.81 V 和 3.62 V，由此可知 $R_{x1}=36.2$ Ω。断开 S，改换待测电阻，重复上述步骤。分别测得 $R_{x2}=20.2\,\Omega$，$R_{x3}=70.5\,\Omega$。

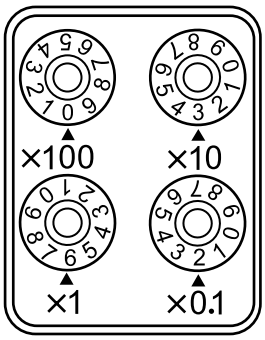


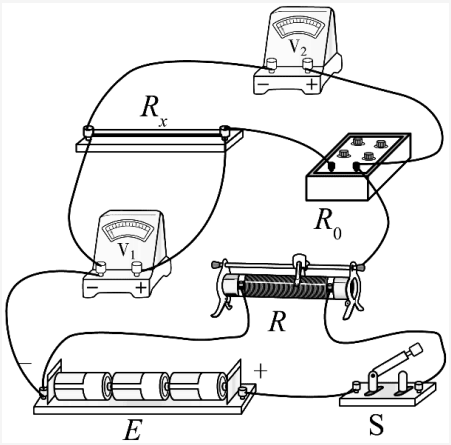
图 d

(3) 由三个电阻测量值可知 R_{x2}（填“R_{x1}”“R_{x2}”或“R_{x3}”）涂层最厚。

(4) 实验完成后，该小组通过原理分析，发现此方法测电阻未考虑电压表 V_1 内阻的影响。若已知电压表 V_1 内阻为 R_{V1}，电压表 V_1 和 V_2 示数分别为 U_1 和 U_2，电阻箱示数为 R_0，则 $R_x=\frac{U_1R_0R_{V1}}{R_{V1}U_2-(R_0+R_{V1})U_1}$（用 R_{V1}、R_0、U_1 和 U_2 表示）。经分析发现，本实验中考虑电压表 V_1 内阻后，不影响判断三个电阻涂层厚度关系。

(1) 如图 (2) 36.2 Ω，36.2 Ω (3) R_{x2} (4) $\frac{U_1R_0R_{V1}}{R_{V1}U_2-(R_0+R_{V1})U_1}$

（1）根据电路图可得实物连接图如图所示



（2）由题图（d）可知 R_0 的读数为 $36.2\,\Omega$，结合题图（b）和串联电路分压规律 $\frac{R_x}{R_x+R_0}=\frac{U_1}{U_2}$

解得 $R_x=\frac{U_1}{U_2-U_1}R_0$

代入电压表的读数可得 $R_{x1}=\frac{1.81}{3.62-1.81}\times 36.2\,\Omega=36.2\,\Omega$

（3）三个电阻导电材料相同、涂层长度相同、宽度较小且相同，由电阻定律 $R_x=\rho\frac{L}{S}$ 可知横截面积越大，即涂层越厚的电阻，阻值越小，由于 R_{x2} 阻值最小，则 R_{x2} 涂层最厚。

（4）若考虑电压表 V_1 内阻，则根据串、并联电路规律和欧姆定律有 $\frac{U_2-U_1}{R_0}=\frac{U_1}{R_x}+\frac{U_1}{R_{V1}}$

解得 $R_x=\frac{U_1R_0R_{V1}}{R_{V1}U_2-(R_0+R_{V1})U_1}$

13. 图 a 是绳波在某时刻的照片。设该绳波为简谐横波，以绳中各质点平衡位置的连线为 x 轴、质点振动方向为 y 轴，建立如图 b 所示的直角坐标系，图中实线、虚线分别表示 $t=0$ 和 $t=0.25\,\mathrm{s}$ 时绳波的图像。若该绳波沿 x 轴负方向传播，周期大于 $0.25\,\mathrm{s}$。



图 a

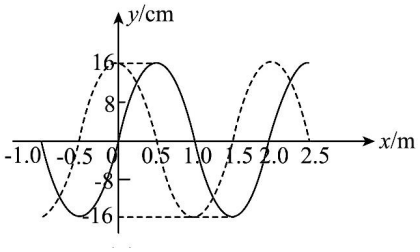


图 b

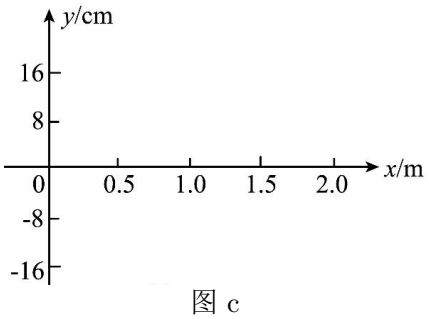


图 c

(1) 求绳波的波长和振幅；

(2) 求绳波的周期和传播速度；

(3) 在图 c 中，画出 $t=0.5\,\mathrm{s}$ 时绳波在 $0\sim2.0\,\mathrm{m}$ 内的图像。

(1) $\lambda=2\,\mathrm{m}$，$A=16\,\mathrm{cm}$　(2) $T=1\,\mathrm{s}$，$v=2\,\mathrm{m/s}$　(3) 如图

（1）由题图（b）可知绳波的波长为 $\lambda=2\,\mathrm{m}$，振幅 $A=16\,\mathrm{cm}$。

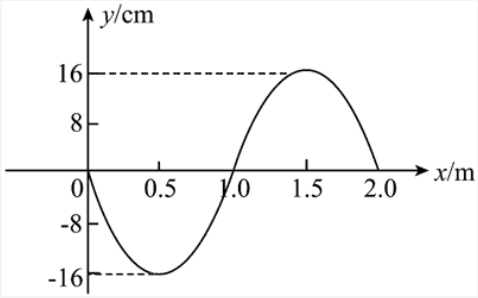
（2）由于绳波沿 x 轴负方向传播，则由题图（b）可知绳波从 $t=0$ 到 $t=0.25\,\mathrm{s}$，传播的时间为 $\Delta t=\frac{1}{4}T+nT$（$n=0,1,2,\cdots$）

由于 $T>0.25\,\mathrm{s}$

则 n 只能取 0，解得 $T=1\,\mathrm{s}$

则波速 $v=\frac{\lambda}{T}=2\,\mathrm{m/s}$

（3）时间 $t=0.5\,\mathrm{s}=\frac{T}{2}$，则此时的波形为 $t=0$ 时的图像沿 x 轴负方向传播半个周期，$0\sim2.0\,\mathrm{m}$ 内的图像为题图中实线关于 x 轴对称的图像，如图所示



14. 在竖直平面内，一带电荷量为 q（$q>0$）的小球在重力作用下从 P 点由静止开始下落，运动过程中始终受到与运动方向相反的空气阻力作用，其大小 f 与速率 v 满足 $f=kv$（k 为常量）。小球第一次经过 P 点正下方的 M 点时达到最大速率 v_0，此时，施加竖直向上的恒定匀强电场，小球做变速运动。经过一段时间后，小球在 M 点正上方的 N 点再次达到最大速率 v_0，此后匀速上升。已知小球速率从第一次 v_0 到再次达到 v_0 的过程中，克服空气阻力做功为 W_f，重力加速度大小为 g。求：

(1) 小球的质量和电场强度大小；

(2) 小球的最大加速度大小；

(3) 施加电场后，M、N 两点间的电势差。

(1) $m=\frac{kv_0}{g}$，$E=\frac{2kv_0}{q}$　(2) $a_{\max}=2g$　(3) $U_{MN}=\frac{2W_f}{q}$

（1）小球第一次达到最大速率 v_0 时，受力平衡，根据平衡条件有 $mg = kv_0$

解得小球的质量为 $m = \frac{kv_0}{g}$

小球再次到达最大速率 v_0 时，受力平衡，小球到达 M 点上方 N 点，速度方向竖直向上，则空气阻力竖直向下，根据力的平衡条件 $mg + kv_0 = qE$

解得电场强度大小为 $E = \frac{2kv_0}{q}$

（2）对小球从 P 点运动到 M 点的过程，由牛顿第二定律有 $mg - kv = ma$

可知小球做加速度减小的加速运动，从 M 点运动到最低点的过程，由牛顿第二定律有 $mg - qE + kv - mg = ma$

可知小球做加速度减小的减速运动，小球从最低点运动到 N 点的过程，由牛顿第二定律有 $qE - kv - mg = ma$

可知小球做加速度减小的加速运动，小球从静止释放时加速度为 g，小球运动到 M 点加恒定匀强电场时有 $qE + kv_0 - mg = ma_{\max}$

解得 $a_{\max} = 2g > g$

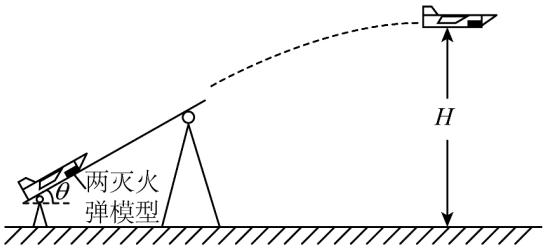
则小球的最大加速度大小为 $2g$。

（3）对小球从 M 点运动到 N 点的过程，由动能定理有 $qU_{MN} - mgh - W_f = 0$

其中 $U_{MN} = Eh$

联立解得 M、N 两点间的电势差为 $U_{MN} = \frac{2W_f}{q}$。

15. 如图，机舱内装有质量均为 $m_1 = 5\,\mathrm{kg}$ 的甲、乙两个灭火弹模型的弹射型无人机，静止在 $\theta = 30^\circ$ 的斜直轨道上，无人机空载时质量 $m_0 = 30\,\mathrm{kg}$。无人机在弹射系统作用下以 $v_0 = 15\,\mathrm{m/s}$ 的速度沿轨道离开，随后无人机依靠自身动力飞行，达到高度 $H = 125\,\mathrm{m}$ 时，开始以 $v_1 = 20\,\mathrm{m/s}$ 的速度沿水平方向做匀速直线运动，并进行投弹训练。设两弹所受空气阻力不计，落地点均在同一水平面上，取重力加速度 $g = 10\,\mathrm{m/s^2}$。



(1) 求载弹无人机在斜直轨道上运动过程中所受合力的冲量大小和方向；

(2) 设水平飞行过程中，载弹无人机水平方向动力与质量满足 $F = \frac{1960}{m}$（国际单位制），所受空气阻力大小恒为 $f = 49\,\mathrm{N}$，方向与飞行方向相反，若两弹相对无人机无初速度先后被释放，时间间隔 $\Delta t = 2\,\mathrm{s}$，求两弹落地点之间的距离；

(3) 设无人机水平飞行过程中，先相对无人机无初速度释放甲，当甲落地时沿水平方向发射乙，此时乙相对地面的速度大小为 v，若无人机的速度始终不变，求乙从发射到落地的过程中，两弹之间距离的最小值与 v 取值的关系。

(1) $600\,\mathrm{N\cdot s}$，方向与水平方向夹角为 $30°$　(2) $42.4\,\mathrm{m}$　(3) $s_{\min}=\sqrt{125^2-\frac{(1250-v^2)^2}{100}}$

（1）载弹无人机在斜直轨道上运动过程中，由动量定理有 $I_{合}=(2m_1+m_0)v_0$

代入数据解得 $I_{合}=600\,\mathrm{N\cdot s}$

则载弹无人机在斜直轨道上运动过程中所受合力的冲量大小为 $600\,\mathrm{N\cdot s}$，方向沿斜直轨道向上，即与水平方向夹角为 $30°$。

（2）先释放一个灭火弹后载弹无人机水平方向的动力大小为 $F_1=\frac{1960}{m_1+m_0}\,\mathrm{N}=56\,\mathrm{N}$

水平方向由牛顿第二定律有 $F_1-f=(m_1+m_0)a$

则释放第一个灭火弹后，第二个灭火弹与无人机一起做匀加速直线运动，所以后释放的灭火弹释放时的速度为 $v_2=v_1+a\Delta t$

从释放第一个灭火弹到释放第二个灭火弹的过程，由速度位移公式可知后释放的灭火弹的位移为 $x_1=\frac{v_2^2-v_1^2}{2a}$；由于两弹所受空气阻力不计，则两弹释放后均做平抛运动，有 $H=\frac{1}{2}gt_0^2$

则两弹落地点之间的距离为 $\Delta x=x_1+v_2t_0-v_1t_0=42.4\,\mathrm{m}$

（3）相对无人机无初速度释放甲，且无人机的速度始终不变，则根据平抛运动规律可知，甲落地时，乙在甲的正上方 H 处，设发射乙后乙的运动时间为 t，则此时两弹之间的距离为 $s=\sqrt{(vt)^2+\left(H-\frac{1}{2}gt^2\right)^2}=\sqrt{\frac{1}{4}g^2t^4+(v^2-gH)t^2+H^2}$

由二次函数知识可知，当 $t^2=\frac{2(gH-v^2)}{g^2}$，两弹之间距离最小，即 $s_{\min}=\sqrt{H^2-\frac{(gH-v^2)^2}{g^2}}$

由于 $t^2\geq 0$，所以不考虑 $gH-v^2<0$

解得 $s_{\min}=\sqrt{125^2-\frac{(1250-v^2)^2}{100}}$（国际单位制）