2025 年云南

1. 2025 年 3 月，我国科学家研制的碳 14 核电池原型机“烛龙一号”发布，标志着我国在核能技术领域与微型核电池领域取得突破。碳 14 的衰变方程为 ${}^{14}_{6}\mathrm{C} \longrightarrow {}^{14}_{7}\mathrm{N} + \mathrm{X}$，则 (A)

   A. X 为电子，是在核内中子转化为质子的过程中产生的

   B. X 为电子，是在核内质子转化为中子的过程中产生的

   C. X 为质子，是由核内中子转化而来的

   D. X 为中子，是由核内质子转化而来的

   > 根据质量数和电荷数守恒有 ${}^{14}_{6}\mathrm{C} \longrightarrow {}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$
   >
   > 可知 X 为电子，电子是在核内中子转化为质子的过程中产生的。
   >
   > 故选 A。

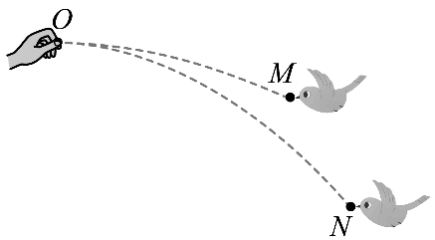
2. 如图所示，中老铁路国际旅客列车从云南某车站由静止出发，沿水平直轨道逐渐加速到 144 km/h，在此过程中列车对座椅上的一高中生所做的功最接近 (B)

   A. $4 \times 10^5\,\mathrm{J}$　　B. $4 \times 10^4\,\mathrm{J}$　　C. $4 \times 10^3\,\mathrm{J}$　　D. $4 \times 10^2\,\mathrm{J}$

   > 高中生的质量约为 50 kg，根据动能定理有 $W = \frac{1}{2}mv^2 = 4 \times 10^4\,\mathrm{J}$。
   >
   > 故选 B。

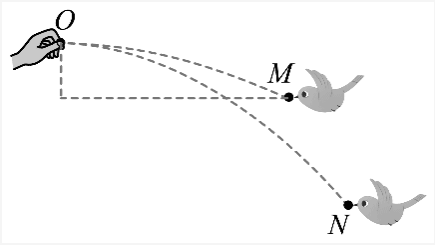
3. 如图所示，某同学将两颗鸟食从 O 点水平抛出，两只小鸟分别在空中的 M 点和 N 点同时接到鸟食。鸟食的运动视为平抛运动，两运动轨迹在同一竖直平面内，则 (D)

   A. 两颗鸟食同时抛出　　B. 在 N 点接到的鸟食后抛出

C. 两颗鸟食平抛的初速度相同　　D. 在 M 点接到的鸟食平抛的初速度较大

AB．鸟食的运动视为平抛运动，则在竖直方向有 $h=\frac{1}{2}gt^2$。

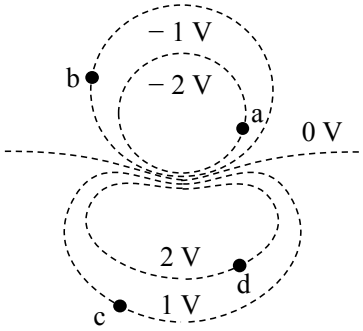


由于 $h_M<h_N$，则 $t_M<t_N$，要同时接到鸟食，则在 N 点接到的鸟食先抛出，故 AB 错误；

CD．在水平方向有 $x=v_0t$，如图所示，过 M 点作一水平面，可看出在相同高度处 M 点的水平位移大，则 M 点接到的鸟食平抛的初速度较大，故 C 错误，D 正确。

故选 D。

4. 某介电电泳实验使用非匀强电场，该电场的等势线分布如图所示。a、b、c、d 四点分别位于电势为 $-2\,\mathrm{V}$、$-1\,\mathrm{V}$、$1\,\mathrm{V}$、$2\,\mathrm{V}$ 的等势线上，则 (C)



A. a、b、c、d 中 a 点电场强度最小

B. a、b、c、d 中 d 点电场强度最大

C. 一个电子从 b 点移动到 c 点电场力做功为 2 eV

D. 一个电子从 a 点移动到 d 点电势能增加了 4 eV

AB．根据等势面越密集电场强度越大，可知 a、b、c、d 中 a 点电场强度最大，故 AB 错误；

C．一个电子从 b 点移动到 c 点电场力做功为 $W_{bc}=-eU_{bc}=2\,\mathrm{eV}$

故 C 正确；

D．一个电子从 a 点移动到 d 点电场力做功为 $W_{ad}=-eU_{ad}=4\,\mathrm{eV}$

由于电场力做正功电势能减小，则一个电子从 a 点移动到 d 点电势能减小了 4 eV，

故 D 错误。

故选 C。

5. 国际编号为 192391 的小行星绕太阳公转的周期约为 5.8 年，该小行星与太阳系内八大行星几乎在同一平面内做圆周运动。规定地球绕太阳公转的轨道半径为 1 AU，八大行星绕太阳的公转轨道半径如下表所示。忽略其它行星对该小行星的引力作用，则该小行星的公转轨道应介于 (C)

行星	水星	金星	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星
轨道半径 R/ AU	0.39	0.72	1.0	1.5	5.2	9.5	19	30

A. 金星与地球的公转轨道之间　　B. 地球与火星的公转轨道之间

C. 火星与木星的公转轨道之间　　D. 天王星与海王星的公转轨道之间

根据开普勒第三定律可知 $\frac{r_{行}^3}{T_{行}^2}=\frac{r_{地}^3}{T_{地}^2}$。

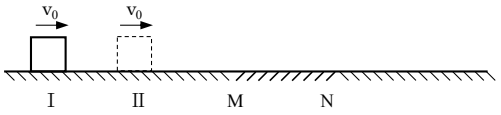
其中 $r_{地}=1\,\mathrm{AU}$，$T_{地}=1$ 年，$T_{行}=5.8$ 年

代入解得 $r_{行}\approx 3.23\,\mathrm{AU}$

故可知该小行星的公转轨道应介于火星与木星的公转轨道之间。

故选 C。

6. 如图所示，质量为 m 的滑块（视为质点）与水平面上 MN 段的动摩擦因数为 μ_1，与其余部分的动摩擦因数为 μ_2，且 $\mu_1>\mu_2$。第一次，滑块从 I 位置以速度 v_0 向右滑动，通过 MN 段后停在水平面上的某一位置，整个运动过程中，滑块的位移大小为 x_1，所用时间为 t_1；第二次，滑块从 II 位置以相同速度 v_0 向右滑动，通过 MN 段后停在水平面上的另一位置，整个运动过程中，滑块的位移大小为 x_2，所用时间为 t_2。忽略空气阻力，则 (A)



A. $t_1<t_2$　　B. $t_1>t_2$　　C. $x_1>x_2$　　D. $x_1<x_2$

CD．对两种运动的整个过程根据能量守恒有

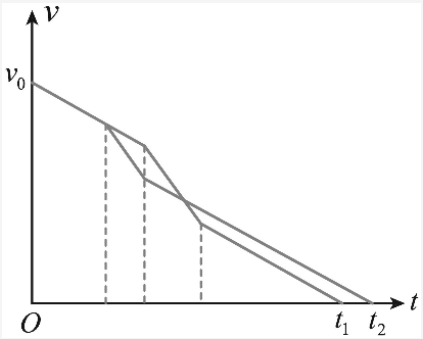
$\frac{1}{2}mv_0^2=\mu_1 mgx_{MN}+\mu_2 mg(x_1-x_{MN})$，$\frac{1}{2}mv_0^2=\mu_1 mgx_{MN}+\mu_2 mg(x_2-x_{MN})$

可得 $x_1=x_2$，故 CD 错误；

AB．根据牛顿第二定律 $\mu mg=ma$

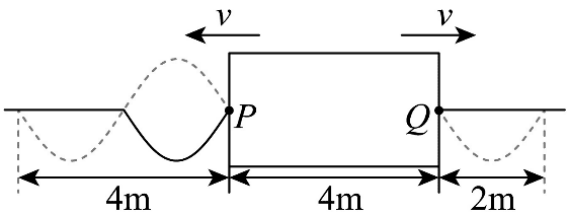
可得 $a=\mu g$

由于 $\mu_1>\mu_2$，故滑块在 MN 上时的加速度大，根据前面分析可知两次运动的总位移相等，即两次运动过程中 $v-t$ 图像与横轴围成的面积相等，由于第二次时滑块距离 M 点的距离较近，根据公式 $v_0^2-v^2=2\mu_2 gx$ 可知第二次到达 M 点时速度较大，作出整个过程中两种运动状态的 $v-t$ 图像可得 $t_1<t_2$，故 A 正确，B 错误；



故选 A。

7. 如图所示，均匀介质中矩形区域内有一位置未知的波源。$t=0$ 时刻，波源开始振动产生简谐横波，并以相同波速分别向左、右两侧传播，P、Q 分别为矩形区域左右两边界上振动质点的平衡位置。$t=1.5\,\mathrm{s}$ 和 $t=2.5\,\mathrm{s}$ 时矩形区域外波形分别如图中实线和虚线所示，则 (D)



A. 波速为 $2.5\,\mathrm{m/s}$

B. 波源的平衡位置距离 P 点 $1.5\,\mathrm{m}$

C. $t=1.0\,\mathrm{s}$ 时，波源处于平衡位置且向下运动

D. $t=5.5\,\mathrm{s}$ 时，平衡位置在 P、Q 处的两质点位移相同

A. 根据波形可知 $\lambda=4\,\mathrm{m}$，$T/2=2.5\,\mathrm{s}-1.5\,\mathrm{s}$，可得 $T=2\,\mathrm{s}$。故波速为 $v=\frac{\lambda}{T}=2\,\mathrm{m/s}$。

故 A 错误；

B. 设波源的平衡位置距离 P 点距离为 x_0，根据左侧 $t=1.5\,\mathrm{s}$ 时的波形可知 $\frac{2+x_0}{v}=1.5\,\mathrm{s}$

解得 $x_0=1\,\mathrm{m}$

故 B 错误；

C．根据左侧实线波形结合同侧法可知波源刚开始的振动方向向下，由于 $t=1.0\,\mathrm{s}=T/2$，故可知此时波源处于平衡位置且向上运动，故 C 错误；

D．由于 $x_0=1\,\mathrm{m}$，可知波源的平衡位置距离 Q 点距离为 $x_1=3\,\mathrm{m}$。

故波传到 P、Q 两点的时间分别为 $t_0=\frac{x_0}{v}=0.5\,\mathrm{s}$，$t_1=\frac{x_1}{v}=1.5\,\mathrm{s}$

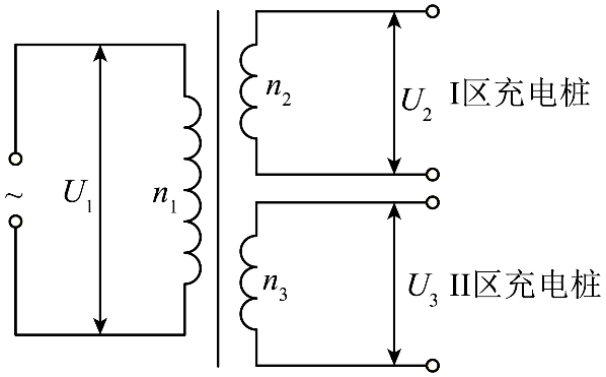
故 $t=5.5\,\mathrm{s}$ 时，平衡位置在 P、Q 处的两质点已经振动的时间分别为 $t_0'=5.5\,\mathrm{s}-0.5\,\mathrm{s}=\frac{5}{2}T$，$t_1'=5.5\,\mathrm{s}-1.5\,\mathrm{s}=2T$

由于波源刚开始向下振动，故 $t=5.5\,\mathrm{s}$ 时，P 处质点处于平衡位置向上振动，Q 处质点处于平衡位置向下振动，故此时平衡位置在 P、Q 处的两质点位移相同。

故 D 正确。

故选 D。

8. 电动汽车充电桩的供电变压器（视为理想变压器）示意图如图所示。变压器原线圈的匝数为 n_1，输入电压 $U_1=1.1\,\mathrm{kV}$；两副线圈的匝数分别为 n_2 和 n_3，输出电压 $U_2=U_3=220\,\mathrm{V}$。当 I、II 区充电桩同时工作时，两副线圈的输出功率分别为 7.0 kW 和 3.5 kW，下列说法正确的是（AC）



A．$n_1:n_2=5:1$

B．$n_1:n_3=1:5$

C．变压器的输入功率为 10.5 kW

D．两副线圈输出电压最大值均为 220 V

AB．根据理想变压器的电压比等于匝数比可得 $n_1:n_2=U_1:U_2=5:1$，$n_1:n_3=U_1:U_3=5:1$。

故 A 正确，B 错误；

C．根据能量守恒可知变压器的输入功率等于总的输出功率，故

$P_{\text{输入}}=P_{\text{输出}}=(7.0+3.5)\,\mathrm{kW}=10.5\,\mathrm{kW}$

故 C 正确；

D．输出电压为交流电的有效值，根据正弦交流电的最大值与有效值的关系可知，两

副线圈输出电压最大值均为 $U_m = 220\sqrt{2}\,\mathrm{V}$

故 D 错误。

故选 AC。

9. 图 a 为 1593 年伽利略发明的人类历史上第一支温度计，其原理如图 b 所示。硬质玻璃泡 a 内封有一定质量的气体（视为理想气体），与 a 相连的 b 管插在水槽中固定，b 管中液面高度会随环境温度变化而变化。设 b 管的体积与 a 泡的体积相比可忽略不计，在标准大气压 p_0 下，b 管上的刻度可以直接读出环境温度。则在 p_0 下（BD）


图 a

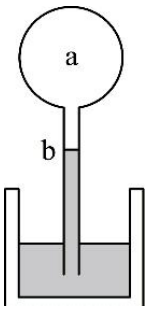


图 b

A. 环境温度升高时，b 管中液面升高

B. 环境温度降低时，b 管中液面升高

C. 水槽中的水少量蒸发后，温度测量值偏小

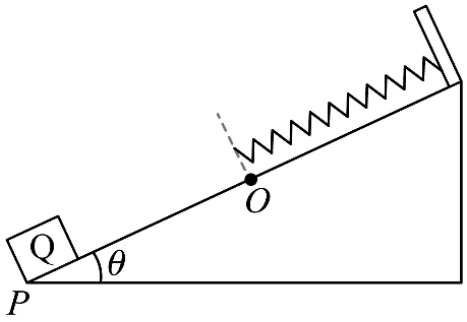
D. 水槽中的水少量蒸发后，温度测量值偏大

AB. 根据题意，a 中气体做等容变化，根据查理定律可知，当环境温度升高，a 中气体压强增大，又 $p_a + \rho g h = p_0$，可知 b 管中液面降低，同理可知环境温度降低时，b 管中液面升高，故 B 正确，A 错误；

CD. 由 AB 选项分析可知，b 管中刻度从上到下温度逐渐升高，同一温度，a 中压强不变，b 管中液面液槽内液面高度差不变，水槽中的水少量蒸发后，槽中液面降低，则 b 管内液面降低，则温度测量值偏大，故 D 正确，C 错误。

故选 BD。

10. 如图所示，倾角为 θ 的固定斜面，其顶端固定一劲度系数为 k 的轻质弹簧，弹簧处于原长时下端位于 O 点。质量为 m 的滑块 Q（视为质点）与斜面间的动摩擦因数 $\mu = \tan\theta$。过程 Ⅰ：Q 以速度 v_0 从斜面底端 P 点沿斜面向上运动恰好能滑至 O 点；过程 Ⅱ：将 Q 连接在弹簧的下端并拉至 P 点由静止释放，Q 通过 M 点（图中未画出）时速度最大，过 O 点后能继续上滑。弹簧始终在弹性限度内，假设最大静摩擦力等于滑动摩擦力，忽略空气阻力，重力加速度为 g。则（CD）



A. P、M 两点之间的距离为 $\frac{kv_0^2-4mg^2\sin^2\theta}{4kg\sin\theta}$

B. 过程Ⅱ中，Q 在从 P 点单向运动到 O 点的过程中损失的机械能为 $\frac{1}{4}mv_0^2$

C. 过程Ⅱ中，Q 从 P 点沿斜面向上运动的最大位移为 $\frac{kv_0^2-8mg^2\sin^2\theta}{2kg\sin\theta}$

D. 连接在弹簧下端的 Q 无论从斜面上何处释放，最终一定静止在 OM（含 O、M 点）之间

A．设 PO 的距离为 L，过程Ⅰ，根据动能定理有

$-mg\sin\theta\cdot L-\mu mg\cos\theta\cdot L=0-\frac{1}{2}mv_0^2$

设 MO 的距离为 L_1，过程Ⅱ中，当 Q 速度最大时，根据平衡条件

$kL_1=mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta$

P、M 两点之间的距离 $L_2=L-L_1$

联立可得 $L_2=\frac{kv_0^2-8mg^2\sin^2\theta}{4kg\sin\theta}$

故 A 错误；

B．过程Ⅱ中，Q 从 P 点单向运动到 O 点，Q 的动能和重力势能均增加，其机械能增加，故 B 错误。（若将“损失的机械能”理解为克服摩擦力做功转化为内能的能量，则其值为 $\frac{1}{4}mv_0^2$；本题按滑块 Q 的机械能理解。）

C．设过程Ⅱ中，Q 从 P 点沿斜面向上运动的最大位移为 x，根据能量守恒定律

$\frac{1}{2}kL^2=mg\sin\theta\cdot x+\mu mg\cos\theta\cdot x+\frac{1}{2}k(x-L)^2$

结合 $-mg\sin\theta\cdot L-\mu mg\cos\theta\cdot L=0-\frac{1}{2}mv_0^2$

解得 $x=\frac{kv_0^2-8mg^2\sin^2\theta}{2kg\sin\theta}$

故 C 正确；

D．无论 Q 从何处释放，Q 在斜面上运动过程中，弹簧与 Q 初始时的势能变为摩擦热，当在 M 点时，满足 $kL_1=mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta$

当在 O 点时，满足 $mg\sin\theta=\mu mg\cos\theta$

所以在 OM（含 O、M 点）之间速度为零时，Q 将静止，故 D 正确。

故选 CD。

11. 某实验小组做了测量木质滑块与橡胶皮之间动摩擦因数 μ 的实验，所用器材如下：钉有橡胶皮的长木板、质量为 250 g 的木质滑块（含挂钩）、细线、定滑轮、弹簧测力计、慢速电机以及砝码若干。实验装置如图 a 所示。

实验步骤如下：

① 将长木板放置在水平台面上，滑块平放在橡胶面上；

② 调节定滑轮高度，使细线与长木板平行（此时定滑轮高度与挂钩高度一致）；

③ 用电机缓慢拉动长木板，当长木板相对滑块匀速运动时，记录弹簧测力计的示数 F；

④ 在滑块上分别放置 50 g、100 g 和 150 g 的砝码，重复步骤③；

⑤ 处理实验数据（重力加速度 g 取 $9.80\,\mathrm{m/s^2}$）。

实验数据如下表所示：

滑块和砝码的总质量 M/g	弹簧测力计示数 F/N	动摩擦因数 μ
250	1.12	0.457
300	1.35	a
350	1.57	0.458
400	1.79	0.457

完成下列填空：

(1) 表格中 a 处的数据为 0.459（保留 3 位有效数字）；

(2) 其它条件不变时，在实验误差允许的范围内，滑动摩擦力的大小与接触面上压力的大小 成正比，μ 与接触面上压力的大小 无关（以上两空填“成正比”“成反比”或“无关”）；

(3) 若在实验过程中未进行步骤②，实验装置如图 b 所示，挂钩高于定滑轮，则 μ 的测量结果将 偏大（填“偏大”“偏小”或“不变”）。

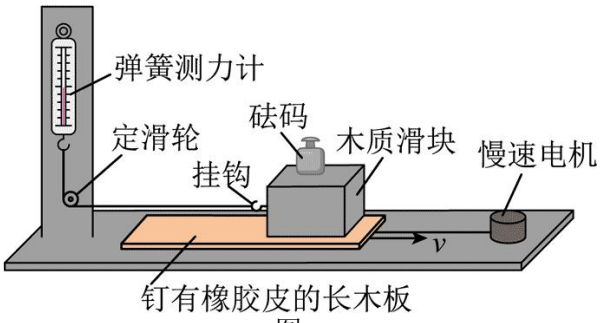


图 a

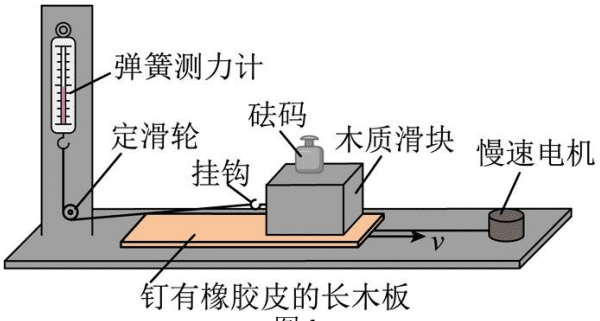


图 b

(1) 0.459　(2) 成正比，无关　(3) 偏大

（1）表格中 a 处的数据 $\mu=\frac{1.35}{0.3\times9.8}\approx0.459$

（2）根据表中数据分析可知其它条件不变时，在实验误差允许的范围内，滑动摩擦力的大小与接触面上压力的大小成正比；

根据表中数据分析可知其它条件不变时，在实验误差允许的范围内，μ 与接触面上压力的大小无关。

（3）实验装置中挂钩高于定滑轮，则绳子拉力有竖直向下的分力，实际的正压力大于测量值的正压力，即 $F_{压测}<F_{压实}$

根据 $\mu=\frac{F}{F_{压测}}$

可得 $\mu_{测}>\mu_{实}$

12. 基于铂电阻阻值随温度变化的特性，某兴趣小组用铂电阻做了测量温度的实验。可选用的器材如下：Pt1000 型号铂电阻、电源 E（电动势 5 V，内阻不计）、电流表 A_1（量程 100 μA，内阻 4.5 kΩ）、电流表 A_2（量程 500 μA，内阻约 1 kΩ）、定值电阻 R_1（阻值 15 kΩ）、定值电阻 R_2（阻值 1.5 kΩ）、开关 S 和导线若干。

查阅技术手册可知，Pt1000 型号铂电阻测温时的工作电流在 0.1 ～ 0.3 mA 之间，在 0 ～ 100 °C 范围内，铂电阻的阻值 R_t 随温度 t 的变化视为线性关系，如图 a 所示。

完成下列填空：

(1) 由图 a 可知，在 0 ～ 100 °C 范围内，温度每升高 1 °C，该铂电阻的阻值增加 3.85

Ω；

(2) 兴趣小组设计了如图 b 所示的甲、乙两种测量铂电阻阻值的电路图，能准确测出铂电阻阻值的是 乙（填“甲”或“乙”），保护电阻 R 应选 R_1（填“R_1”或“R_2”）；

(3) 用（2）问中能准确测出铂电阻阻值的电路测温时，某次测量读得 A_2 示数为 295 μA，A_1 示数如图 c 所示，该示数为 62.0 μA，则所测温度为 51 °C（计算结果保留 2 位有效数字）。

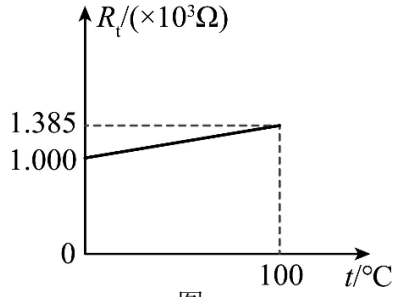


图 a

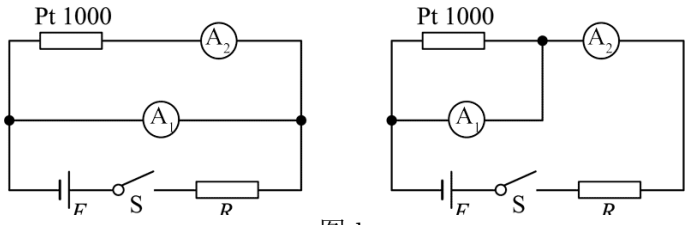


图 b

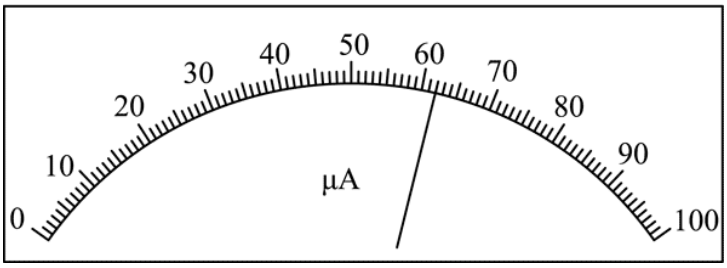


图 c

(1) 3.85　(2) 乙，R_1　(3) 62.0，51

（1）温度每升高 1 °C，该铂电阻的阻值增加

$\Delta R = \frac{1.385-1.000}{100} \times 10^3\,\Omega = 3.85\,\Omega$

（2）由于 A_1 内阻确定，所以用 A_1 测量电阻的电压，用 A_2 与 A_1 之差来测量经过电阻的电流，故能准确测出铂电阻阻值的是乙；

电路中的最大电流为 0.3 mA，可得电路中的最小阻值

$R_{\min} = \frac{5}{0.0003}\,\Omega \approx 17\,\mathrm{k}\Omega$

可知保护电阻 R 应选 R_1。

（3）由图可知 A_1 的分度值为 1 μA，则其读数为 62.0 μA；

根据欧姆定律可得

$R = \frac{I_1 R_{A1}}{I_2 - I_1}$

根据题图可得 $R = 1000 + 3.85t$

代入数据可得 $t \approx 51\,°\mathrm{C}$

13. 用光学显微镜观察样品时，显微镜部分结构示意图如图 a 所示。盖玻片底部中心位置 O 点的样品等效为点光源，为避免 O 点发出的光在盖玻片上方界面发生全反射，可将盖玻片与物镜的间隙用一滴油填充，如图 b 所示。已知盖玻片材料和油的折射率均为 1.5，盖玻片厚度 $d = 2.0\,\mathrm{mm}$，盖玻片与物镜的间距 $h = 0.20\,\mathrm{mm}$，不考虑光在盖玻片中的多次反射，取真空中光速 $c = 3.0 \times 10^8\,\mathrm{m/s}$，$\pi = 3.14$。

(1) 求未滴油时，O 点发出的光在盖玻片的上表面的透光面积（结果保留 2 位有效数字）；

(2) 滴油前后，光从 O 点传播到物镜的最短时间分别为 t_1、t_2，求 $t_2 - t_1$（结果保留 2 位有效数字）。

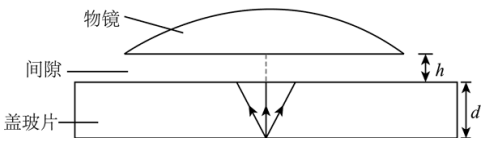


图 a　填充前

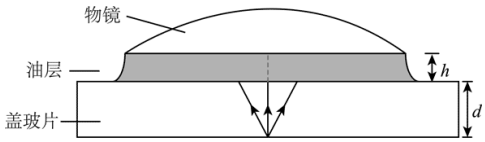


图 b　填充后

(1) $1.0 \times 10^{-5}\,\mathrm{m}^2$　(2) $3.3 \times 10^{-13}\,\mathrm{s}$

（1）由折射定律可知，全反射的临界角满足 $\sin C = \frac{1}{n} = \frac{2}{3}$

设未滴油时，O 点发出的光在盖玻片的上表面的透光圆的半径为 r，由几何关系

$\sin C = \frac{r}{\sqrt{r^2+d^2}}$

代入数据解得 $r = \frac{4\sqrt{5}}{5}\,\mathrm{mm}$

根据 $S = \pi r^2$

所以未滴油时，O 点发出的光在盖玻片的上表面的透光面积为 $S \approx 1.0 \times 10^{-5}\,\mathrm{m}^2$

（2）当光从 O 点垂直于盖玻片的上表面入射时，传播的时间最短，则未滴油时，光从 O 点传播到物镜的最短时间为

$t_1 = \frac{d}{v} + \frac{h}{c} = \frac{d}{\frac{c}{n}} + \frac{h}{c} = \frac{nd+h}{c}$

滴油时，光从 O 点传播到物镜的最短时间为

$t_2 = \frac{d}{v} + \frac{h}{v} = \frac{d}{\frac{c}{n}} + \frac{h}{\frac{c}{n}} = \frac{n(d+h)}{c}$

故 $t_2 - t_1 = \frac{(n-1)h}{c} = \frac{0.5\times0.2\times10^{-3}}{3.0\times10^8}\,\mathrm{s} \approx 3.3 \times 10^{-13}\,\mathrm{s}$

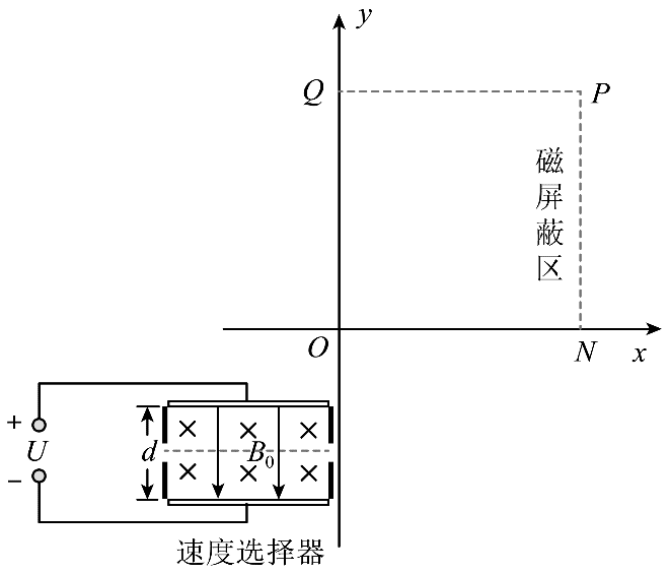
14. 磁屏蔽技术可以降低外界磁场对屏蔽区域的干扰。如图所示，$x \geq 0$ 区域存在垂直 Oxy 平面向里的匀强磁场，其磁感应强度大小为 B_1（未知）。第一象限内存在边长为 $2L$ 的正方形磁屏蔽区 ONPQ，经磁屏蔽后，该区域内的匀强磁场方向仍垂直 Oxy 平面向里，其磁感应强度大小为 B_2（未知），但满足 $0 < B_2 < B_1$。某质量为 m、电荷量为 q（$q > 0$）的带电粒子通过速度选择器后，在 Oxy 平面内垂直 y 轴射入 $x \geq 0$ 区域，经磁场偏转

后刚好从 ON 中点垂直 ON 射入磁屏蔽区域。速度选择器两极板间电压 U、间距 d、内部磁感应强度大小 B_0 已知，不考虑该粒子的重力。

(1) 求该粒子通过速度选择器的速率；

(2) 求 B_1 以及 y 轴上可能检测到该粒子的范围；

(3) 定义磁屏蔽效率 $\eta = \frac{B_1 - B_2}{B_1} \times 100\%$，若在 Q 处检测到该粒子，则 η 是多少？



(1) $\frac{U}{B_0 d}$ (2) $\frac{mU}{qdB_0L}$，$L < y < 3L$ (3) 60%

（1）由于该粒子在速度选择器中受力平衡，故 $qE = qv_0B_0$

其中 $E = \frac{U}{d}$

则该粒子通过速度选择器的速率为 $v_0 = \frac{U}{B_0 d}$

（2）粒子在 $x \geq 0$ 区域内做匀速圆周运动，从 ON 的中点垂直 ON 射入磁屏蔽区域，由几何关系可知 $r_1 = L$

由洛伦兹力提供向心力

$qv_0B_1 = m\frac{v_0^2}{r_1}$

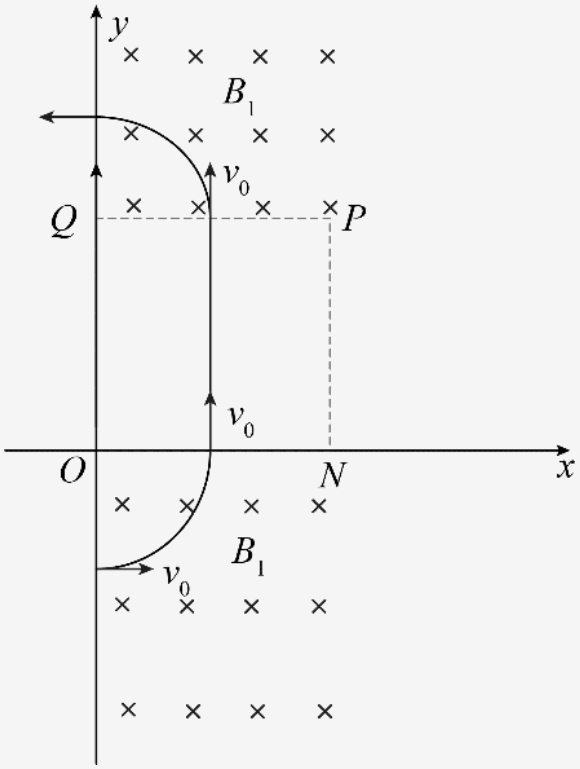
联立可得 $B_1 = \frac{mU}{qdB_0L}$

由于 $B_2 < B_1$，根据洛伦兹力提供向心力

$qv_0B_2 = m\frac{v_0^2}{r_2}$

解得 $r_2 > L$

当 $B_2 = 0$ 时粒子在磁屏蔽区向上做匀速直线运动，离开磁屏蔽区后根据左手定则，粒子向左偏转，如图所示。



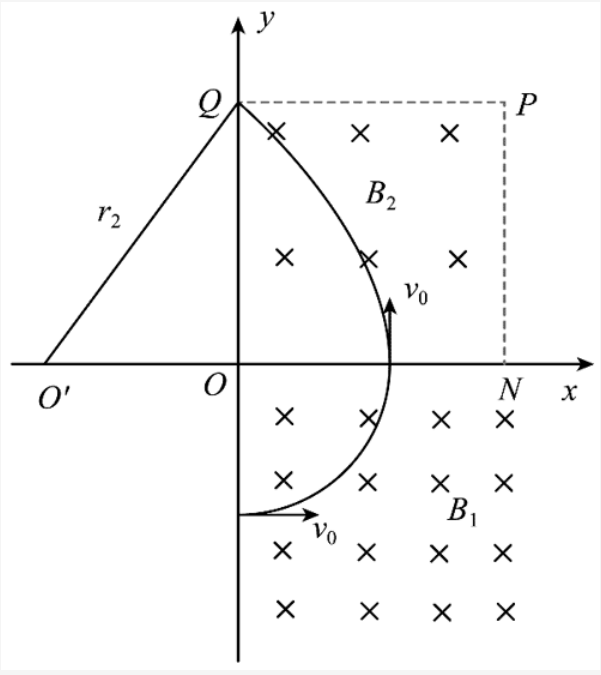
根据洛伦兹力提供向心力

$qv_0B_1 = m\frac{v_0^2}{r_3}$

可得 $r_3 = r_1 = L$

故粒子打在 y 轴 $3L$ 处，综上所述 y 轴上可能检测到该粒子的范围为 $L < y < 3L$。

（3）若在 Q 处检测到该粒子，如图。



由几何关系可知 $r_2^2=(2L)^2+(r_2-L)^2$

解得 $r_2=\frac{5}{2}L$

由洛伦兹力提供向心力

$qv_0B_2=m\frac{v_0^2}{r_2}$

联立解得 $B_2=\frac{2mU}{5qB_0dL}$

其中 $B_1=\frac{mU}{qdB_0L}$

根据磁屏蔽效率 $\eta=\frac{B_1-B_2}{B_1}\times100\%$ 可得若在 Q 处检测到该粒子，则 $\eta=60\%$。

15. 如图所示，光滑水平面上有一个长为 L、宽为 d 的长方体空绝缘箱，其四周紧固一电阻为 R 的水平矩形导线框，箱子与导线框的总质量为 M。与箱子右侧壁平行的磁场边界平面如截面图中虚线 PQ 所示，边界右侧存在范围足够大的匀强磁场，其磁感应强度大小为 B、方向竖直向下。$t=0$ 时刻，箱子在水平向右的恒力 F（大小未知）作用下由静止开始做匀加速直线运动，这时箱子左侧壁上距离箱底 h 处、质量为 m 的木块（视为质点）恰好能与箱子保持相对静止。箱子右侧壁进入磁场瞬间，木块与箱子分离；箱子完全进入磁场前某时刻，木块落到箱子底部，且箱子与木块均不反弹（木块下落过程中与箱子侧壁无碰撞）；木块落到箱子底部时即撤去 F。运动过程中，箱子右侧壁始终与磁场边界平行，忽略箱壁厚度、箱子形变、导线粗细及空气阻力。木块与箱子内壁间的动摩擦因数为 μ，假设最大静摩擦力等于滑动摩擦力，重力加速度为 g。

(1) 求 F 的大小；

(2) 求 $t=0$ 时刻，箱子右侧壁距磁场边界的最小距离；

(3) 若 $t=0$ 时刻，箱子右侧壁距磁场边界的距离为 s（s 大于（2）问中最小距离），求最终木块与箱子的速度大小。

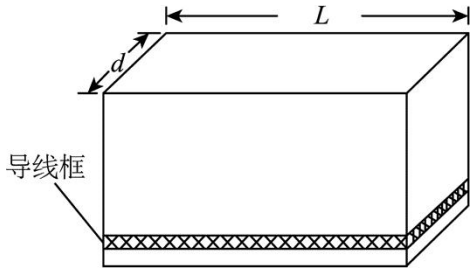


图 a　绝缘箱立体图

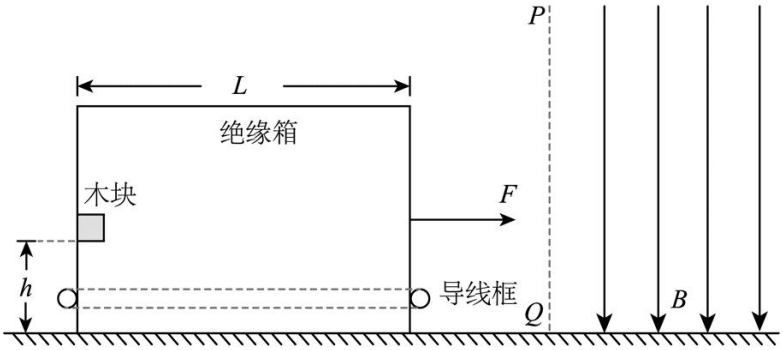


图 b　截面图

(1) $\frac{(M+m)g}{\mu}$　(2) $\frac{(M+m)^2gR^2}{2\mu B^4d^4}$　(3) 当 $\frac{g}{\mu}\left(\sqrt{\frac{2\mu s}{g}}+\sqrt{\frac{2h}{g}}\right)\geq\frac{B^2d^2L}{(M+m)R}$ 时，$v=\frac{g}{\mu}\left(\sqrt{\frac{2\mu s}{g}}+\sqrt{\frac{2h}{g}}\right)-\frac{B^2d^2L}{(M+m)R}$；当 $\frac{g}{\mu}\left(\sqrt{\frac{2\mu s}{g}}+\sqrt{\frac{2h}{g}}\right)<\frac{B^2d^2L}{(M+m)R}$ 时，$v=0$。

（1）对木块与箱子整体受力分析，由牛顿第二定律 $F=(M+m)a$

对木块受力分析，水平方向由牛顿第二定律 $F_N=ma$

竖直方向由平衡条件 $f=mg=\mu F_N$

联立可得 $F=\frac{(M+m)g}{\mu}$

（2）设箱子刚进入磁场中时速度为 v，产生的感应电动势为 $E=Bdv$

由闭合电路欧姆定律得，感应电流为 $I=\frac{E}{R}$

安培力大小为 $F_{安}=BId$

联立可得 $F_{安}=\frac{B^2d^2v}{R}$

若要使两物体分离，此时有 $F_{安}\geq F$

其中 $F=\frac{(M+m)g}{\mu}$

解得 $v\geq\frac{(M+m)gR}{\mu B^2d^2}$

由运动学公式 $v^2=2as$

解得 $s\geq\frac{(M+m)^2gR^2}{2\mu B^4d^4}$

故 $t=0$ 时刻，箱子右侧壁距磁场边界的最小距离为 $s_{\min}=\frac{(M+m)^2gR^2}{2\mu B^4d^4}$

（3）水平方向由运动学公式 $s=\frac{1}{2}at_1^2$

竖直方向有 $h=\frac{1}{2}gt_2^2$

其中 $F=\frac{(M+m)g}{\mu}=(M+m)a$

可得力 F 作用的总时间为

$t=t_1+t_2=\sqrt{\frac{2\mu s}{g}}+\sqrt{\frac{2h}{g}}$

水平方向对系统由动量定理 $Ft-F_{安}\Delta t=(M+m)v-0$

其中 $F_{安}\Delta t=\frac{B^2d^2L}{R}$

联立可得 $v=\frac{g}{\mu}\left(\sqrt{\frac{2\mu s}{g}}+\sqrt{\frac{2h}{g}}\right)-\frac{B^2d^2L}{(M+m)R}$

当 $\frac{g}{\mu}\left(\sqrt{\frac{2\mu s}{g}}+\sqrt{\frac{2h}{g}}\right)\geq\frac{B^2d^2L}{(M+m)R}$ 时，最终木块与箱子的速度大小为

$v=\frac{g}{\mu}\left(\sqrt{\frac{2\mu s}{g}}+\sqrt{\frac{2h}{g}}\right)-\frac{B^2d^2L}{(M+m)R}$

当 $\frac{g}{\mu}\left(\sqrt{\frac{2\mu s}{g}}+\sqrt{\frac{2h}{g}}\right)<\frac{B^2d^2L}{(M+m)R}$ 时，最终木块与箱子的速度大小为 $v=0$。