第38届全国中学生物理竞赛决赛实验考试（试题一）

物 理 竞 赛 实 验 试 题 · 试 题 一

2021 年 | 决赛实验考试

A、（11 分）

A1.（2 分）

采用伏安法测量一个待测电阻。从图 1 中分别读出伏特表电压和毫安表电流，并填写在答题纸指定位置。如果测量中采用的是电流表外接法，并且毫安表所用档位内阻为 5.7Ω、伏特表的内阻可以表示为 1 kΩ/V，请在答题纸指定位置给出待测电阻的阻值。

图待补

表盘照片，详见原卷

图 1 伏特表和毫安表的量程和示数

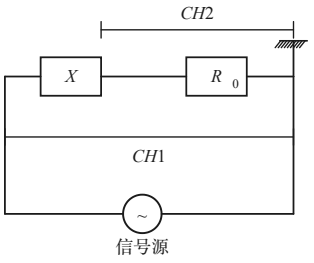

图 2 用一台双踪示波器测量一未知元件阻抗

图待补

实测波形，详见原卷

图 3 双踪示波器显示波形

A2.（2 分）

图 2 是用一台双踪示波器测量一个待测线性元件的交流特性的电路图，其中信号源输出标准正弦信号，X 表示待测元件，R_0 为一标准电阻，R_0=100Ω。图 3 给出了双踪示波器显示的波形，其中横向的每格扫描时间为 200μs，CH1、CH2 通道的偏转因数分别为 1 V/格、500 mV/格。请在答题纸上指定位置填写由图 3 读出的示波器 CH1 和 CH2 通道所测信号的电压峰峰值、两路信号之间的相位差（以度为单位表示）、并由此求出待测元件 X 的复阻抗（用实部虚部表示）。若待测元件 X 是纯电感、纯电容或纯电阻中的一种，请根据上述测量结果将你的判断填写在答题纸指定位置。

A3.（3 分）

在不同 HeNe 混合气体总压下测得一支 HeNe 激光器的激光输出功率随工作电流变化的关系如图 4 所示。请在答题纸指定位置列出所有你能由此图总结出的经验规律。激光器由激光管充入适当比例的高纯 He、

Ne 气体制成。如充气前已将激光管内压强抽至 3×10^{-3} Pa，并假定充入的 He、Ne 气量相当，请从下面选项中选择适宜的 He、Ne 气体纯度填在答题纸上。（He、Ne 气体纯度越高，激光器性能越好，但气体价格也会随纯度迅速提高）

图待补

实测曲线族，详见原卷

图 4 不同总压下 HeNe 激光器输出功率与工作电流关系

a. 99%　　**b.** 99.9%

c. 99.99%　　**d.** 99.999%

e. 99.9999%　　**f.** 99.99999%

A4. （4 分）

假设有一电阻型温度传感器，在 0-100 ℃ 之间其阻值 R_T 随温度在 100-150 Ω 之间线性变化。利用如图 5 所示的电路可以实现一个数字温度计，在 0-100 ℃ 内能方便地由数字多用表电压挡示数 U_T 直接（或需移动小数点）读取温度传感器所测温度（℃ 为单位）的近似值。已知直流稳压电源的输出电压为 U=30 V，三个电阻箱 R_1、R_2、R_3 的电阻变化范围为 0.1-99999.9 Ω，且参数调好后，固定 R_1、R_2、R_3 阻值不变，且 R_1=R_2，假设数字多用表所有电压挡最小分辨率均为 0.01 mV。要求 0 ℃ 时 U_T=0.00 mV，则 100 ℃ 时 U_T 为 1.00 mV、10.00 mV、100.00 mV、1000.00 mV（这几个示数均可视为 100 ℃，只是温度分辨率不同）中的哪种，才能保证数字温度计在 0-100 ℃ 间温度测量误差均不超过 1 ℃，并且温度分辨率最高？此时 R_1 和 R_3 的阻值为多少？

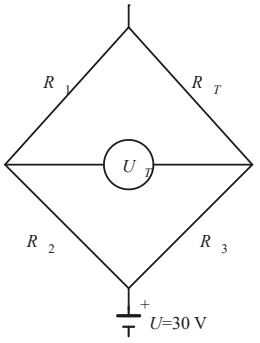

图 5 温度计电路图

B、（14 分）

如图 6 所示，迈克尔逊干涉仪利用分束镜 G_1 将入射光束分成两束，两束光分别经过两个反射镜 M_1 和 M_2 反射到分束镜处合束后，在空间相干叠加形成干涉图样。反射镜 M_1 可沿导轨前后移动改变位置。

图 7 为其实物图。如用白光扩展光源照射并适当调节干涉仪，可实现白光的等厚干涉。

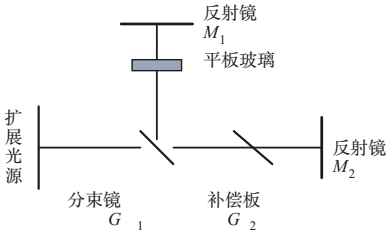

图 6 迈克尔逊干涉仪光路图



图 7 迈克尔逊干涉仪实物图

B1. （2 分）

在反射镜 M_1 和 M_2 偏离相互垂直状态一个微小角度 α 时，转动大转轮移动 M_1 镜，在两束光光程相等（此时 M_1 镜位置为 d_0）附近可观察到白光等厚干涉的彩色直条纹。分别顺时针和逆时针转动转轮寻找出现彩色直条纹的准确位置，这两种情况下图 7 中大转轮读数窗的读数是否相同？请说明原因。在 d_0 位置时，调小夹角 α，干涉条纹有何变化？

B2. （7 分）

在 d_0 位置时，调节 α 角尽量小，再在 M_1 镜前平行放置一平板玻璃（忽略平板玻璃反射），白光的干涉条纹消失。此时换成激光扩展光源照明，能观察到圆环条纹，进一步微调 α 角直至圆环条纹不随眼睛观察位置变动而发生吞吐。在放置平板玻璃前，通过眼睛看到的 M_1 和 M_2 镜的相对位置为：

a. M_1 镜离眼睛更近；b. M_2 镜离眼睛更近；c. M_1 和 M_2 镜重合。

放置平板玻璃后，通过眼睛看到的 M_1 和 M_2 镜的相对位置为：

a. M_1 镜离眼睛更近；b. M_2 镜离眼睛更近；c. M_1 和 M_2 镜重合。

此时，若大范围移动 M_1 镜远离观察者，圆环条纹吞吐情况如何，两臂之间的光程差如何变化？若反方向大范围移动 M_1 镜，结果又是如何？

B3. （5 分）

假定移动 M_1 镜离开 d_0 位置，使得条纹吞进，直至整个视场呈现完全均匀亮度，此时 M_1 镜位置为 d_1，其位移量为 $\Delta=|d_1-d_0|$，请给出折射率 n 用玻璃板厚度 t 和 Δ 表示的关系式。若分别用 σ_t 和 σ_Δ 表示 t 和 Δ 的不确定度，请给出用 t、Δ、σ_t 和 σ_Δ 表示的 n 的不确定度。已测得 $\Delta=(2.776\pm0.005)\,\mathrm{mm}$，平板玻璃厚度 t 用螺旋测微器测量结果如表 1 所示，螺旋测微器零点读数为 0.009 mm，允差为 0.004 mm，允差满足均匀分布。请分别计算出 t 和 n 的测量结果及其不确定度。

序号	1	2	3	4	5	6
t (mm)	7.975	7.973	7.976	7.975	7.974	7.975

C、（15 分）

C. 图 8 是采用转动法测量刚体转动惯量的示意图。被测刚体是一个塔轮，可以绕固定轴 OO' 转动，且相对 OO' 轴的转动惯量为 I，并在转动中受到一个固定摩擦力矩 M_μ。质量为 m 的砝码通过定滑轮 C 拉动刚体，假设实验中砝码下落的加速度远远小于重力加速度 g_0（为了与质量单位 g 进行区分，本题统一用 g_0 表示重

力加速度，取 g_0=9.800 m/s^2），则刚体受到的拉力为 mg_0。塔轮的绕线半径为 r=2.500 cm，忽略滑轮及绳子的质量、滑轮轴摩擦力等，则刚体受到的拉力矩为 mg_0r。每次让砝码从静止开始下落，固定下落高度 h=85.65 cm，下落时间为 t，可以推出

$$mg_0r-M_\mu=\frac{2hI}{rt^2}$$



图 8 刚体转动惯量测量

保持其它条件不变，测量不同 m 下的 t，结果如表 2 所示，其中 t 是多次重复测量的平均值，假设 t 之外其它数据误差均可忽略。

m (g)	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00
t (s)	16.70	11.37	9.26	7.89	7.02	6.37

C1　对表 2 测量结果进行数据处理，计算不同 m 下的 $1/t^2$，将结果填入答题纸的数据表 1 中。

C2　用最小二乘法对 $1/t^2$ 和 m 的关系做线性拟合，计算拟合斜率 k 和截距 b，并通过相关系数计算斜率 k 的拟合不确定度 σ_k。不需求 b 不确定度，直接保留两位有效数字。

C3　通常情况，用最小二乘法拟合的前提假设之一是各数据点的 y_i 精度相等，利用所有数据点相对拟合直线的 y 残差平方和 $Q^2=\sum_{i=1}^{n}(y_i-b-kx_i)^2$ 取最小值为判据，得出 k 和 b 的表达式。本实验中，假设不同 m 下测得的时间 t 具有相同的不确定度 σ_t=0.03 s，请计算不同 m 下 $1/t^2$ 的不确定度，并填入答题纸的数据表 1 中，不难看出各 $1/t^2$ 的不确定度不同。对于这种不等精度的情况，为了更合理地衡量 y 方向不同精度的数据点对拟合结果的贡献，需要按不同的权重对残差平方求和，以 $Q'^2=\sum_{i=1}^{n}(\frac{y_i-b-kx_i}{\sigma_{y_i}})^2$ 取最小值为判据，得出 k 和 b 的表达式。为方便计算，设 $A=\sum_{i=1}^{n}\frac{x_i}{\sigma_{y_i}^2}$，$B=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{\sigma_{y_i}^2}$，$C=\sum_{i=1}^{n}\frac{y_i}{\sigma_{y_i}^2}$，$D=\sum_{i=1}^{n}\frac{x_i^2}{\sigma_{y_i}^2}$，$E=\sum_{i=1}^{n}\frac{x_iy_i}{\sigma_{y_i}^2}$，$F=\sum_{i=1}^{n}\frac{y_i^2}{\sigma_{y_i}^2}$，请给出 Q'^2 用 A、B、C、D、E、F 表示的表达式，并根据 Q'^2 取最小值这一条件，给出 k 和 b 用 A、B、C、D、E、F 表示的表达式。根据数据表 1 中的数值（以数据表 1 中给定的单位为准），计算出 A、B、C、D、E 的数值（不要求不确定度和单位，保留到个位），并由此求出 k 和 b 的结果（均不要求不确定度。最终结果 k 有效数字按 C2 中 σ_k 保留、b 保留两位有效数字）。

C4　给出转动惯量 I 和摩擦力矩 M_μ 用 C3 中的斜率 k 和截距 b 表示的表达式，并用 C3 中拟合结果计算 I 和 M_μ（不要求不确定度，I 和 M_μ 的有效数字根据 k 和 b 的有效数字保留）。