

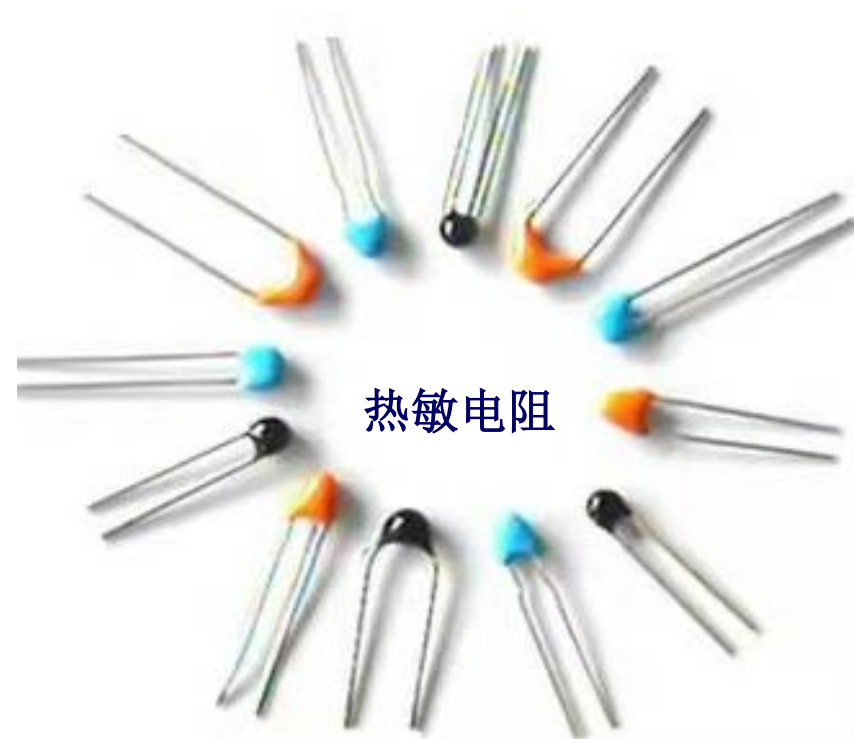


虚拟仿真实验— 热敏电阻温度特性研究实验

物理实验（一）

一、实验目的

1. 了解惠更斯电桥的工作原理
2. 学习测量室温下的电桥灵敏度
3. 测量NTC热敏电阻—温度曲线
4. 计算热敏电阻的灵敏度



二、实验仪器

1. 虚拟仿真实验系统地址: <http://aryun.ustcori.com:3230>

账号: SZDX+学号 (忽略加号), 密码: 学号

2. 热敏电阻温度特性研究实验--用箱式电桥研究热敏电阻温度特性

3. 实验仪器: 自耦调压器、热敏电阻及电炉加热装置、电桥箱

虚拟实验系统使用提示:

- 首次登录需修改密码, 密码至少**10**位, 且需包含大小写字母。
- 登录后请设置“密码问题设置”, 以防忘记密码时找回。
- 登录后点击进入“大学物理仿真实验系统”进行仿真实验。
- 选定实验项目, 点击“开始实验” → “下载运行环境” (运行环境只需安装一次)
- 运行环境安装后, 点击“开始实验”, 下载实验包。请上课前请先下载实验包, 否则课上多人同时下载可能网速会变慢。(每个实验包只需下载一次)

三、实验原理/ 3.1、热敏电阻简介

热敏电阻是电阻值对温度非常敏感的一种电阻器，热敏电阻作为温度传感器具有用料省、成本低、体积小等优点，可以简便灵敏地测量微小温度的变化，在很多科学研究领域都有广泛的应用。

热敏电阻从材料分：

1、半导体热敏电阻材料

此类材料有单晶半导体、多晶半导体、玻璃半导体、有机半导体以及金属氧化物等。它们均具有非常大的电阻温度系数和高的电阻率

2、金属热敏电阻材料

此类材料作为热电阻测温、限流器以及自动恒温加热元件均有较为广泛的应用。如铂电阻温度计、镍电阻温度计、铜电阻温度计等。

3、合金热敏电阻材料

合金热敏电阻材料亦称热敏电阻合金。这种合金具有较高的电阻率，并且电阻值随温度的变化较为敏感，是一种制造温敏传感器的良好材料。



三、实验原理/ 3.1、热敏电阻简介

热敏电阻按阻值随温度变化分类：

1、PTC（正温度系数）：在工作温度范围内，电阻值随温度升高而增大；

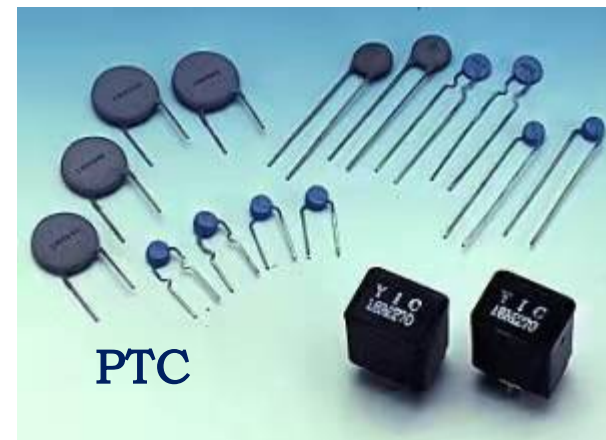
如铂电阻、铜电阻

可用于温度测量、温度控制、过流保护、过热保护、彩电消磁等

2、NTC（负温度系数）：在工作温度范围内，电阻值随温度升高而减小。

可用于温度测量、温度补偿、抑制浪涌等

本次实验：测量NTC电阻的温度特性



三、实验原理/ 3.2 NTC电阻的温度特性

NTC热敏电阻的电阻—温度关系：

$$R = Ae^{\frac{B}{T}}$$

其中 T 为绝对温度， A 是温度 T 趋于无穷时的阻值 R_{∞} ， B 表征了阻值随温度变化的快慢。 A 、 B 是与半导体材料有关的常数。

热敏电阻的电阻温度系数：

$$\alpha = \frac{1}{R_T} \frac{dR}{dt}$$

其中 R_T 是温度为 T 时的电阻值

三、实验原理/ 3.3、电阻的测量新方法——惠更斯电桥

图中四个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_x 组成一个四边形，称为电桥的四个臂，在四边形的一对对角A和C之间连接电源，而在另一对对角B和D之间接入检流计G。当B和D两点电位相等时，G中无电流通过，电桥便达到了平衡，平衡状态下满足：

$$\text{电桥测量公式 } R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3$$

$\frac{R_1}{R_2}$ ：比例臂； R_3 叫比较臂； R_x 是待测电阻

其中 R_1 、 R_2 和 R_3 均可知，即可求出 R_x ，本实验中，热敏电阻就是 R_x

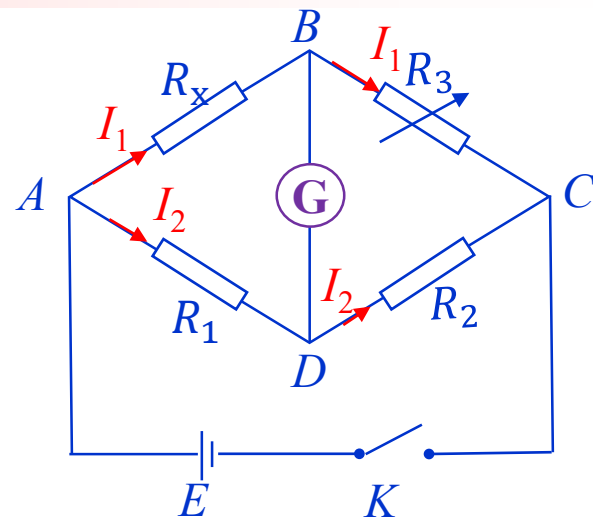


图1 惠更斯电桥

$$\begin{aligned} R_x I_1 &= R_1 I_2 \\ R_3 I_1 &= R_2 I_2 \\ \Rightarrow \frac{R_x}{R_3} &= \frac{R_1}{R_2} \end{aligned}$$

三、实验原理/ 3.3、电阻的测量更方法——惠更斯电桥

电桥灵敏度: $S = \frac{\Delta n}{\Delta R_3 / R_3}$ 物理意义: 电桥平衡后, R_3 改变 ΔR_3 引起检流计指针偏转格 Δn , 反映了电桥对电阻变化量的分辨能力。

影响电桥的灵敏度的因素 (了解即可) :

$$S = \frac{S_i E}{(R_1 + R_2 + R_x + R_3) + \left(2 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_x}{R_3}\right) R_g}$$

S_i, R_g : 检流计的灵敏度和内阻, E : 工作电源电压

提高灵敏度的方法: (1) 选用高灵敏度低内阻的检流计;

(2) 适当减小 $R_1 + R_2 + R_x + R_3$ 的值;

(3) 尽量把桥臂配制成均匀状态 (如四臂电阻相等) 使 $\left(2 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_x}{R_3}\right)$ 的值最小。



三、实验原理/ 3.4、惠更斯电桥的结构

R_1 、 R_2 、 R_3 被集成在电桥箱里，如2所示。其中电阻 R_1 和 R_2 按一个比率旋钮进行调节的。 R_3 是一个可调电阻箱，实验时，热敏电阻通过 R_x 接线柱接入电桥。

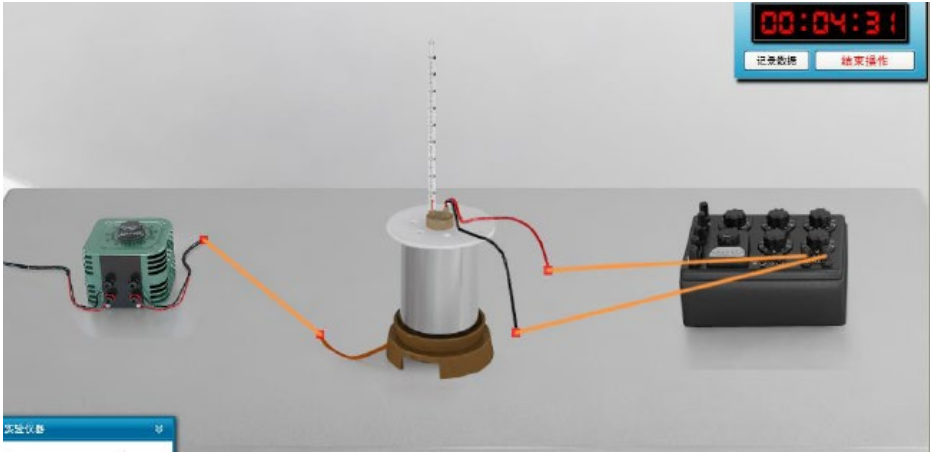


图3 实验线路图

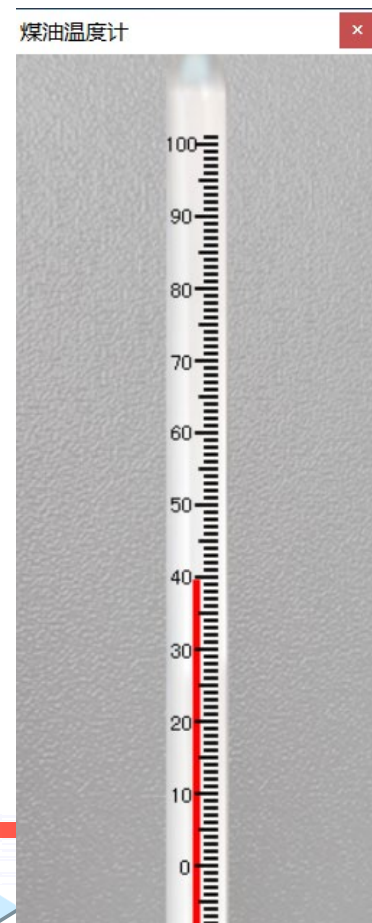
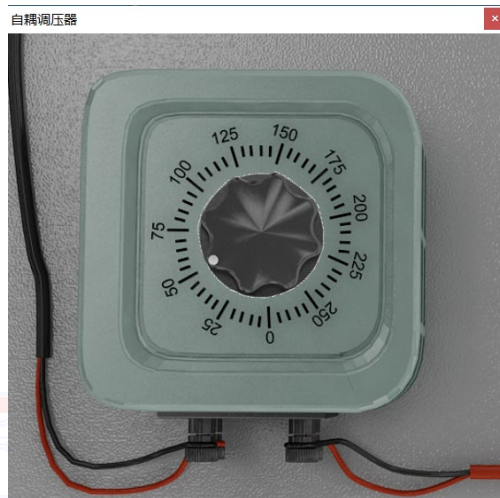
图3为自耦调压器、热敏电阻的实验线路图，用鼠标双击仪器可读取或调节相应数值。



图2 惠更斯电桥的结构

四、实验内容/ 4.1、虚拟实验操作提示

- 双击实验图标可以放大，下图分别是自耦调压器、电阻箱和温度计的放大图。
- 用鼠标调节旋钮：鼠标左键为“增加”，鼠标右键为“减小”
- 可尝试使水温升高，掌握调节电桥平衡的方法。指针的偏转规律为：水温升高 \leftrightarrow 电阻减小 \leftrightarrow 指针向左偏，为使电桥平衡，需减小电阻箱 R_X 的值（使指针向右偏）；反之则需增加 R_X 。
- 调压器电压不易过大（调至30-50V即可），否则可能由于升温过快导致用来调电桥平衡的时间不够，进而引起较大误差。
- 温度升高（降低）过程中，记录一个温度的电阻后，可尝试调节 R_X ，始终保持指针不偏离平衡位置太远。待温度即将到达下一个记录点时，快速调节电阻箱使电桥平衡并记录电阻箱 R_X 的值。



四、实验步骤/4.2、测量电桥的灵敏度

- 1. 按实验电路图连线，对检流计调零。
- 2. 把比率臂设为1，用鼠标调节电阻箱 R_3 的阻值（左键增加，右键减小），把 R_3 设为室温下的电阻值（4100欧姆左右）。
- 3. 打开电压开关B，通过打开（右键）或短暂打开（左键）检流计开关G，同时调节 R_3 的阻值，使电桥平衡，此时 R_3 的示数即为热敏电阻在室温下的电阻值。
- 4. 电桥平衡后，打开检流计的开关G，微调电阻箱 R_3 的值，使检流计分别偏离平衡位置1-3格，记下电阻的变化至表1，由此计算室温下的电桥灵敏度。

室温：18.6℃
热敏电阻的阻值： $R_0 = 5120\Omega$
电桥灵敏度： $S = \frac{\Delta n}{\Delta R_x / R_0}$

Δn （偏转格数）	1	2	3
$R_X(\Omega)$ （向左偏转）	5330	5570	5810
$R_X(\Omega)$ （向右偏转）	4910	4730	4560
$\Delta R_X(\Omega)$ （平均值）	210	420	625
电桥灵敏度	24.381	24.381	24.576

表1 测量电桥灵敏度数据记录



四、实验步骤/4.3、测量热敏阻值随温度的变化曲线

1. 调节自耦调压器的电压值，使烧杯里的水的温度从 20℃ 升高到 85℃ 以上，每隔5℃测量一次热敏电阻值 R_T ，记录数据表格2。
2. 然后把自耦调压器输出电压值调为0，使水慢慢冷却。同样，降温过程中每隔5℃测量一次热敏电阻值 R_T ，最后取升降和温的平均电阻值，并作出热敏电阻阻值与温度对应关系曲线。

温度 (°C)	20	25	30	35	40	45	50
$R_T(\Omega)$ (上升)	4200	3400	2800	2300	1900	1550	1290
$R_T(\Omega)$ (下降)	4240	3430	2830	2320	1920	1570	1300
$R_T(\Omega)$ (平均)	4220	3415	2815	2310	1910	1560	1295
温度 (°C)	55	60	65	70	75	80	85
$R_T(\Omega)$ (上升)	1080	920	780	660	570	485	420
$R_T(\Omega)$ (下降)	1090	930	790	670	580	490	430
$R_T(\Omega)$ (平均)	1085	925	785	665	575	487.5	425

表2 阻值随温度改变的测量数据

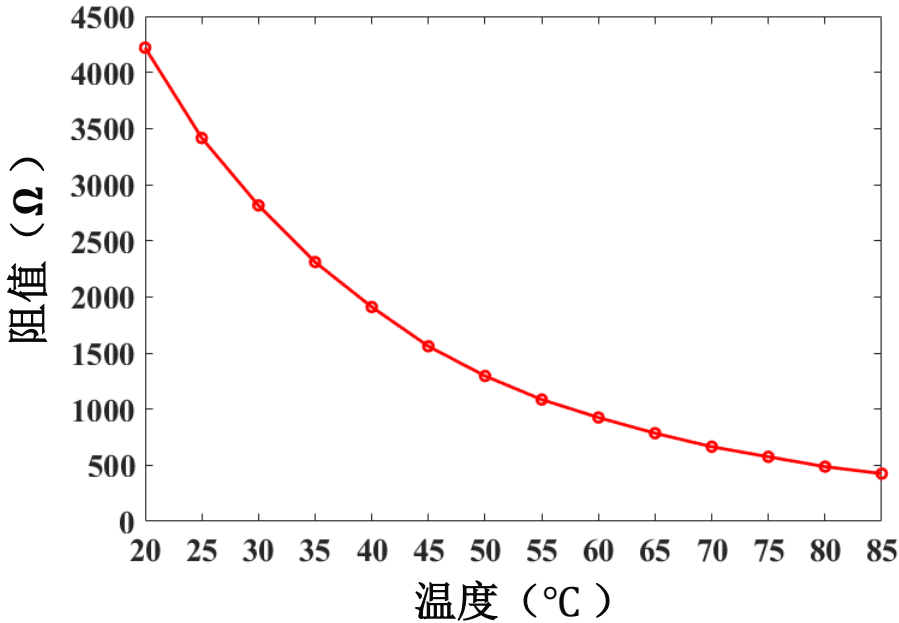
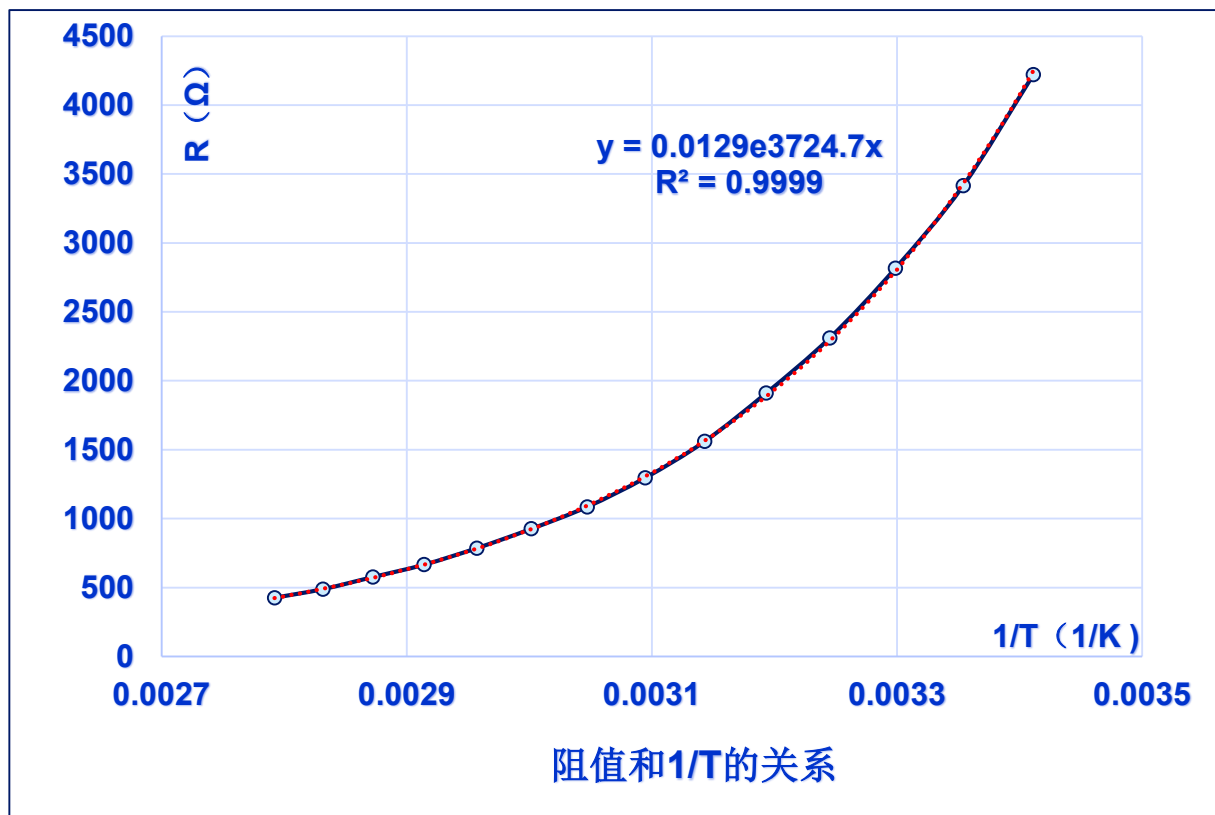


图4 阻值与温度的关系

五、数据处理/5.1、计算 R_{∞} 和B的值

方法1：做电阻值和 $1/T$ 的关系曲线



$R = Ae^{B/T}$ ，其中 T 为绝对温度， A 是温度 T 趋于无穷时的阻值 R_{∞}

对比公式 $R = Ae^{B/T}$ 得：

$$R_{\infty} = 0.0129 \Omega$$

$$B = 3724.7 \text{ K}$$

$$R = 0.0129 e^{\frac{3724.7}{T}}$$

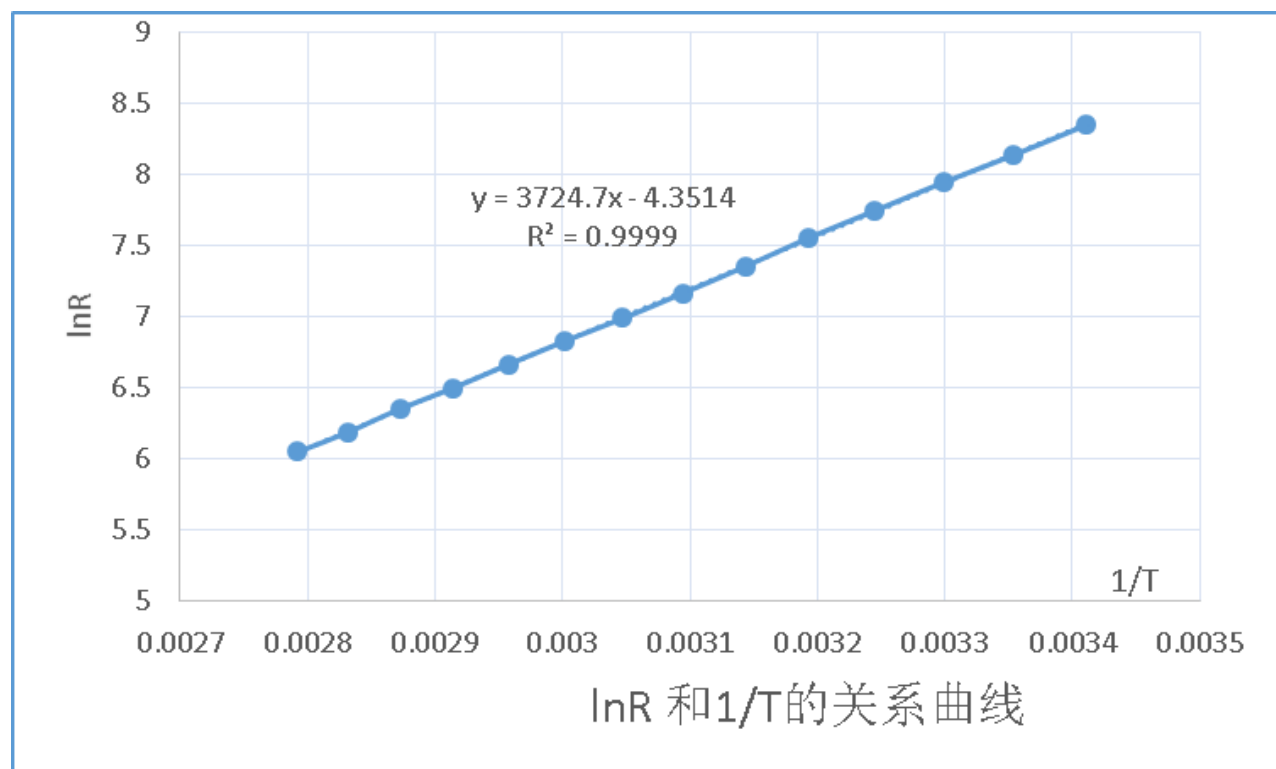
注意这里 T 需换算绝对温度



五、数据处理/5.1、计算 R_∞ 和 B 的值

方法2（手工作图适合）：“曲线改直线”法，对公式 $R = R_\infty e^{B/T}$ 两边求自然对数，可得到以 $1/T$ 为横坐标， $\ln(R)$ 为纵轴的直线：

$$\ln(R) = \ln(R_\infty) + B/T \quad (\text{注意这里 } T \text{ 需换算绝对温度})$$



直线的斜率：3724.7

在y轴的截距： $\ln(R_\infty) = -4.35$

由此可得

$$R_\infty = 0.0129\Omega, \quad B = 3724.7K$$

五、数据处理/5.2、计算50°C时的电阻温度系数 α

由 $R = R_{\infty} e^{B/T}$ 对温度 T 求导: $\frac{dR}{dT} = -\frac{B \cdot R_{\infty}}{T^2} e^{B/T}$

温度系数 $\alpha = \frac{1}{R_T} \frac{dR}{dT} = -\frac{B \cdot R_{\infty}}{R_T \cdot T^2} e^{B/T}$ 。

带入数值:

$$R_{\infty} = 0.0129 \Omega,$$

$$B = 3724.7 K,$$

$$T = 50^{\circ}\text{C} = 323.15 \text{K},$$

$$R_T = 1295 \Omega$$

可得50°C时的电阻温度系数

$$\alpha = -\frac{3724.7 \times 0.0129}{1259 \times 323.15^2} e^{\frac{3724.67}{323.15}} = -0.037 (1/K)。$$

六、报告要求

1. 计算室温下惠更斯电桥的灵敏度
2. 画出热敏电阻的阻值随温度的变化曲线
3. 求出热敏电阻的材料常数 B 以及温度趋于无穷时的阻值 R_{∞}
4. 求出热敏电阻在 50°C 时的电阻温度系数 α 。