

# 大学物理实验教案

(教师用)

基础物理实验中心

2006年7月

## 目 录

实验1 长度测量·····	2
实验2 密度的测量·····	7
实验3 惠斯通电桥测电阻·····	11
实验4 转动惯量的测量·····	17
实验5 铜电阻和热敏电阻的温度特性·····	21
实验6 冲击法测量磁场·····	23
实验8 牛顿环实验·····	27
实验9 用分光计测光学玻璃折射率·····	31
实验15 简谐振动的研究·····	33
实验17 透镜焦距的测量·····	37
实验22 拉伸法测金属杨氏模量·····	40
实验29 声速的测量·····	47
实验30 用光电效应测普朗克常量·····	49
实验32 迈克尔逊干涉的调节和使用·····	52
实验40 伏安法测电阻及电表的选择·····	54
实验45 固体导热系数的测量·····	57
实验47 电饭锅温度控制电路的设计与组装·····	61
实验48 万用表电路的设计与组装·····	64
实验49 模拟电子秤·····	68
实验51 热敏电阻温度计的设计安装和使用·····	71
实验52 磁性液体表观密度的实验研究·····	75
实验53 磁性液体密封容器泄放压的实验研究·····	78
实验58 黑箱实验·····	80

## 实验1 长度测量

——主讲教师：戚 非

### 教学目标

1. 掌握游标卡尺及螺旋测微器的原理，学会正确使用游标卡尺、螺旋测微器；
2. 掌握数据记录、等精度测量中不确定度的估算方法和有效数字的基本运算；
3. 掌握实验结果的表示法。

### 教学方法

采用启发式,引导式教学方法

### 实验仪器

游标卡尺，螺旋测微器，待测物（垫片、圆柱体和钢珠）。

### 重点及难点

重点：游标卡尺及螺旋测微器的原理

难点：读数及注意事项

### 教学过程设计

#### 一 实验原理介绍

##### 1. 游标卡尺

(1) 游标卡尺的原理是什么？

游标是将主尺的 $(n-1)$ 分格分成 $n$ 等分(称为 $n$ 分游标)。设主度尺上每个等分格的长度为 $y$ ，游标刻度尺上每个等分格的长度为 $x$ ，则有

$$mx = (m-1)y \quad (1)$$

主刻度尺与游标刻度尺每个分格之差 $y-x=y/n$ 为游标卡尺的最小读数，即最小刻度的分度数值。主刻度尺的最小分度是毫米，若 $n=10$ ，即游标刻度尺上10个等分格的总长度和主刻度尺上的9mm相等，每个游标分度是0.9mm，主刻度尺与游标刻度尺每个分度之差 $\Delta x=1-0.9=0.1$ （mm）（如图1），称作10分度游标卡尺；如 $n=20$ ，则游标卡尺的最小分度为 $1/20\text{mm}=0.05\text{mm}$ ，称为20分度游标卡尺；本次实验用50分度的游标卡尺，其分度数值为 $1/50\text{mm}=0.02\text{mm}$ 。

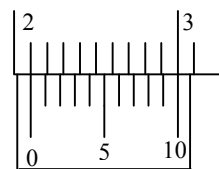


图 1

(2) 游标卡尺是怎样读数的？

游标卡尺的读数表示的是主刻度尺的0线与游标刻度尺的0线之间的距离。读数可

分为两部分：首先，从游标刻度上 0 线的位置读出整数部分（毫米位）；其次，根据游标刻度尺上与主刻度尺对齐的刻度线读出不足毫米分格的小数部分，二者相加就是测量值。

(3) 使用游标卡尺时应注意什么问题？

1) 游标卡尺使用前，应该先将游标卡尺的卡口合拢，检查游标尺的 0 线和主刻度尺的 0 线是否对齐。若对不齐说明卡口有零误差，应记下零点读数，用以修正测量值；

2) 推动游标刻度尺时，不要用力过猛，卡住被测物体时松紧应适当，更不能卡住物体后再移动物体，以防卡口受损；

3) 用完后两卡口要留有间隙，然后将游标卡尺放入包装盒内，不能随便放在桌上，更不能放在潮湿的地方。

## 2. 螺旋测微器

(1) 螺旋测微器的原理是什么？

螺旋测微器内部螺旋的螺距为 0.5mm，因此副刻度尺（微分筒）每旋转一周，螺旋测微器内部的测微螺丝杆和副刻度尺同时前进或后退 0.5mm，而螺旋测微器内部的测微螺丝杆套筒每旋转一格，测微螺丝杆沿着轴线方向前进 0.01mm，0.01mm 即为螺旋测微器的最小分度数值。在读数时可估计到最小分度的 1/10，即 0.001mm，故螺旋测微器又称为千分尺。

(2) 螺旋测微器是怎样读数的？

读数可分两步：首先，观察固定标尺读数准线（即微分筒前沿）所在的位置，可以从固定标尺上读出整数部分，每格 0.5mm，即可读到半毫米；其次，以固定标尺的刻度线为读数准线，读出 0.5mm 以下的数值，估计读数到最小分度的 1/10，然后两者相加。

使用螺旋测微器时要注意 0 点误差，即当两个测量界面密合时，看一下副刻度尺 0 线和主刻度尺 0 线所对应的位置。经过使用后的螺旋测微器 0 点一般对不齐，而是显示某一读数，使用时要分清是正误差还是负误差。如果零点误差用  $\delta_0$  表示，测量待测物的读数是  $d$ 。此时，待测量物体的实际长度为  $d' = d - \delta_0$ ， $\delta_0$  可正可负。

(3) 使用螺旋测微器应注意什么问题？

1) 注意防止读错整圈数；

2) 在使用时，当测量面与物体要接触时，应慢慢旋动棘轮，直至听到“喀喀”声为止，这时可读数；

3) 注意防止回程误差，由于螺丝和螺母不可能完全密合，螺旋转动方向改变时它的接触状态也改变，两次读数将不同，由此产生的误差叫回程误差。为防止此误差，测量时应向同一方向转动，使十字线和目标对准，若移动十字线超过了目标，就要多退回

一些，重新再向同一方向转动。

## 二 实验内容及要求

1. 用游标卡尺测垫片内、外径和厚度，选择不同部位多次测量；
2. 用游标卡尺测圆柱体的直径、高度，并求其体积；
3. 用螺旋测微器测量小钢球直径，并求其体积。

## 三 数据处理示例

实验记录：

### 1. 垫片的测量

量具：游标卡尺  $\Delta_{ins} = 0.02mm$  零点读数：  $0.00mm$

内 容 次 数	内径 $d(mm)$	厚度 $h(mm)$	外径 $D(mm)$
1	13.64	2.16	34.60
2	13.62	2.14	34.58
3	13.64	2.16	34.56
4	13.62	2.14	34.56
5	13.60	2.16	34.58
6	13.62	2.14	34.58
平均值	13.62	2.15	34.58
$S = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	0.015	0.01	0.015
$S_{\bar{x}} = \frac{1}{\sqrt{n}} S$	0.006	0.005	0.006
$\Delta_A = 2S_{\bar{x}}$	0.012	0.009	0.012
$\Delta_B = \Delta_{ins}$	0.02	0.02	0.02
$U = \sqrt{4S_{\bar{x}}^2 + \Delta_{ins}^2}$	0.03	0.03	0.03
测量结果	$13.62 \pm 0.03$	$2.15 \pm 0.03$	$34.58 \pm 0.03$

钢珠的测量

测量量具：螺旋测微器；  $\Delta_{ins} = 0.004mm$

零点读数：0.004mm

次数 内容	1	2	3	4	5	6	平均值
直径 $D'$ (mm)	13.978	13.979	13.978	13.977	13.978	13.978	13.974

误差项	$S = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	$S_{\bar{x}} = \frac{1}{\sqrt{n}} S$	$\Delta_A = 2S_{\bar{x}}$	$\Delta_B = \Delta_{ins}$	$U_{D'} = \sqrt{4S_{\bar{x}}^2 + \Delta_{ins}^2}$
直 径 $D'$ (mm)	$6.3 \times 10^{-4}$	$2.6 \times 10^{-4}$	$5.2 \times 10^{-4}$	0.004	0.004

测量结果：  $D' = 13.974 \pm 0.004 \text{mm}$ 

$$\bar{V} = \frac{\pi}{6} \bar{D}'^3 = 1428.04 (\text{mm})^3$$

$$U_V = \frac{\pi}{2} \bar{D}'^2 (U_{D'}) = 0.13 (\text{mm})^3$$

$$\therefore V = \bar{V} \pm U_V = 1428.0 \pm 0.1 (\text{mm})^3$$

## 2. 圆柱体的测量

测量量具：游标卡尺；  $\Delta_{ins} = 0.02 \text{mm}$ 

零点读数：0.00mm

次数 内容	1	2	3	4	5	6	平均值
高度 $H'$ (mm)	30.42	30.40	30.42	30.40	30.42	30.42	30.42
直径 $D'$ (mm)	34.84	34.86	34.84	34.86	34.86	34.84	34.85

误差处理：

	$H' (mm)$	$D' (mm)$
平均值	30.42	34.85
$S = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	0.01	0.01
$S_{\bar{x}} = \frac{1}{\sqrt{n}} S$	0.004	0.004
$\Delta_A = 2S_{\bar{x}}$	0.008	0.008
$\Delta_B = \Delta_{ins}$	0.02	0.02
$U = \sqrt{4S_{\bar{x}}^2 + \Delta_{ins}^2}$	0.03	0.03
测量结果	$30.42 \pm 0.03$	$34.85 \pm 0.03$

圆柱体的体积  $V = \frac{\pi}{4} D'^2 H'$

$$\therefore \bar{V} = \frac{\pi}{4} \bar{D}'^2 \bar{H}' = 2900 \times 10 (mm)^3$$

$$\begin{aligned}
 U_V &= \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial D'}\right)^2 U_{D'}^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial H'}\right)^2 U_{H'}^2} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{\pi}{2} \bar{H}' \bar{D}'\right)^2 U_{D'}^2 + \left(\frac{\pi}{4} \bar{D}'^2\right)^2 U_{H'}^2} \\
 &= 6 \times 10 mm
 \end{aligned}$$

结果表达式为： $V = (2900 \pm 6) \times 10 mm$

#### 四 课后练习题

1. 何谓仪器的分度数值？米尺、20分度游标卡尺和螺旋测微器的分度数值各为多少？如果用它们测量一个物体约7cm的长度，问每个待测量能读得几位有效数字？

2. 游标刻度尺上30个分格与主刻度尺29个分格等长，问这种游标尺的分度数值为多少？

## 实验2 密度的测量

——主讲教师：徐 朋

### [实验目的]

1. 掌握物理天平的原理与使用方法；
2. 掌握流体静力称衡法，学会交换法；
3. 正确计算物体的密度及其不确定度。

### [实验原理]

1. 测不规则物体的密度  $\rho$  ( $\rho > \rho_0$ —水的密度)

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \rho_0$$

2. 测不规则物体的密度  $\rho'$  ( $\rho' < \rho_0$ )

$$\rho' = \frac{m_3}{m_4 - m_5} \rho_0$$

3. 测液体的密度

$$\rho_x = \frac{m_1 - m_b}{m_1 - m_2} \rho_0$$

### [实验仪器]

天平，蒸馏水，烧杯，温度计；待测有机物块，待测液体。

### [实验任务]

1. 调整天平
  - (1) 调水平
  - (2) 调零点
2. 测不规则有机物体的密度  $\rho$ 
  - (1) 采用交换法称测有机物体在空气中的质量  $m_1$ ；
  - (2) 将有机物体悬吊、浸没在水中，称衡此时有机物体的表观质量  $m_2$ ；
  - (3) 测读水温，查 265 页表 7.2，记录此温度相应水的密度  $\rho_0$ ；计算  $\rho$ 。
3. 测不规则蜡块的密度  $\rho'$ 
  - (1) 采用交换法称测蜡块在空气中的质量  $m_3$ ；
  - (2) 按教材图 4，将蜡块悬吊在空气中、有机物体浸没在水中，测出质量  $m_4$ ；



(3) 按教材图 5, 将蜡块、有机物体同时浸没在水中, 测出质量  $m_5$ ;

(4) 测读水温, 查表、记录该温度相应水的密度  $\rho_0$ ; 计算  $\rho'$ 。

#### 4. 测液体的密度 $\rho_x$

(1) 采用交换法称测有机物体在空气中的质量  $m_a$  (同  $m_1$ );

(2) 将有机物体悬吊、浸没在水中, 称衡此时有机物体的表观质量  $m_c$  (同  $m_2$ );

(3) 将有机物体悬吊、浸没在待测液中, 称衡出此时有机物体的质量  $m_b$ ;

(4) 测读水温, 从表中查出该温度相应的水的密度  $\rho_0$ ; 计算  $\rho_x$ 。

### [数据处理]

测量数据的记录、处理与测量结果之相关要求如下:

#### 1. 仪器误差的确定

天平的仪器误差  $\Delta_{ins}$  取分度值 (感量) 的一半。

$$\text{如: } e = 20\text{mg} \Rightarrow \Delta_{ins} = 10\text{mg} = 0.01\text{g}$$

$$e = 10\text{mg} \Rightarrow \Delta_{ins} = 5\text{mg} = 0.005\text{g}$$

#### 2. 读数取位

天平感量为  $20\text{mg}$ :  $m = (34.35 \pm 0.01)\text{g}$

天平感量为  $10\text{mg}$ :  $m = (34.345 \pm 0.005)\text{g}$

注: 单次测量结果中, 绝对不确定度  $U$  取仪器误差  $\Delta_{ins}$ , 即  $m_i = m_i \pm \Delta_{ins}$

#### 3. 数据处理与测量结果

有机柱体的密度:  $\rho = \bar{\rho} \pm U_{\rho}$  (参照教材 21 页例 3);

蜡块的密度  $\rho'$  注意有效数字的位数,  $\rho'$  的不确定度不作要求。

### [注意事项]

1. 液体密度的测量, 作为知识拓展可简介, 其操作不作要求;

2. 教材中表 2 的测量次数改为 1 (即单次测量);

3. 强调几点

(1) 流体静力称衡法的优点、交换法的意义;

(2) 天平的调节要领; 天平调零以指针居中 (指针连续几次的左右摆幅相同) 为平衡标志; 不测停点; 及时止动等。

- (3) 水中置物的方法；烧杯中的水不宜过多（ $\frac{1}{2}$ 左右；量少可再续加少许），以置入物体后水未溢出为原则；细线的长度要适中；
- (4) 记录温度注意有效数字；查 265 页表 7.2 中水的密度时，就近取值；
- (5) 记录天平的相关信息；操作中及时观察天平，确保其处于正常状态。
- (6) 戴手套或用镊子接触砝码。

**[思考题]** 等其余内容详见教材。

### 数据处理示例

今有一铝质物体，用流体静力衡量法测量其密度，数据见表 1。

表 1 用流体静力衡量法测量密度 单位： $\text{Kg} \times 10^{-3}$

日期	天平型号	蒸馏水温度	$m_{\text{左}}$ (g)	$m_{\text{下}}$ (g)
04. 12. 1	TG704 10mg	11.0°C	27. 060	17. 031

查蒸馏水温度表  $t = 11.0^\circ\text{C}$  时，

$$\rho_0 = 0.9996 \times 10^3 \approx 1.000 \times 10^3 \text{ Kg} / \text{m}^3。$$

由测量原理 
$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \rho_0 \quad (1)$$

得扩展不确定度传播公式

$$U_\rho = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho}{\partial m_1}\right)^2 U_1^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial m_2}\right)^2 U_2^2} \quad (2)$$

将 (1) 代入 (2)，得

$$U_\rho = \sqrt{\left[\frac{-m_1}{(m_1 - m_2)^2}\right]^2 U_1^2 + \left[\frac{m_2^2}{(m_1 - m_2)^2}\right]^2 U_2^2} * \rho_0 \quad (3)$$

式中的  $U_1$  和  $U_2$  取天平的分度值（即天平感量）的 1/2，

$$E = 10\text{mg} = 0.01 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

$$U_1 = U_2 = 0.005 \text{ Kg}$$

将表 1 中数据代入上式,

$$\begin{aligned} U_\rho &= \sqrt{\left[ \frac{17.031}{(27.060 - 17.031)^2} \right]^2 \times 0.005^2 + \left[ \frac{27.060^2}{(27.060 - 17.031)^2} \right]^2 \times 0.005^2 \times 1.000} \\ &= 0.006 \times 10^3 \text{ Kg} / \text{m}^3 \end{aligned}$$

此为铝块密度测量结果的扩展不确定度。再将表 1 中数据代入 (1) 中得铝块密度为

$$\bar{\rho} = \frac{27.160}{27.160 - 17.031} \times 1.000 = 2.698 \times 10^3 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

测量结果表达式为

$$\rho = (2.698 \pm 0.006) \times 10^3 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

## 实验 3 惠斯通电桥测电阻

——主讲教师：李学慧

讲解实验 3 的同时延伸宏观介绍实验五和实验四十九

?

延伸至

“平衡电桥” → “非平衡电桥”

实验 5（箱式电桥）

延伸至

预备性实验（基础性实验） → 研究性实验

基础性实验（提高性实验）

所以实验 3 是基础，要求学生真正搞懂

## 实验3 惠斯通电桥测电阻的电子教案

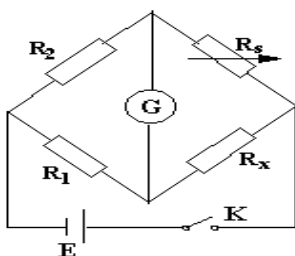
### 一、讲课内容（启发式、引导式的教学方法）20-25 分钟（11:55-14:05）共 125 分钟

#### 1. 教学目标

- (1) 了解惠斯通电桥的**结构原理**和使用方法
- (2) 了解惠斯通电桥测电阻这种方法的优缺点和**使用条件**
- (3) 准确度、灵敏度与哪些因素有关

#### 2. 课堂讨论题（设置 5 个题）

- (1) 电桥的平衡条件是什么？怎样利用平衡条件来测电阻？



答案要点：①  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_s}$

$$\text{② } R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_s = c \cdot R_s \quad (c \text{ 是倍率, } R_s \text{ 可读)}$$

- (2) 怎样判断电桥是否平衡？这种判断方法是否充分可靠？

答案要点：① 检流计指针示零

② 检流计要充分灵敏（即  $R_x$  微小改变  $\Delta R_x$  时，检流计指针偏转要足够大）。

讨论后再由教师讲解电桥灵敏度的概念。（实际进行是在测量时，以一名最先调整好的学生为例进行演示讲解，感觉直观）

如果  $R_x$  变化  $\Delta R_x$ ，指针偏转不能被查觉（看不出指针偏转），则测量误差一定大于  $\Delta R_x$  所以这个微小变化  $\Delta R_x$  决定于电桥灵敏度  $S$ 。

$$\text{① } S \text{ 的定义: } S = \frac{\Delta n}{\frac{\Delta R_x}{R_x}} = \frac{\Delta n}{\frac{\Delta R_s}{R_s}}$$

当  $\Delta R_x = R_x$  时（即分母是 1），也就是  $R_x$  变化一倍，所引起的检流计偏转的格数。

②  $S$  的作用：如灵敏度  $S$  已知，则可求出由于检流计灵敏度不够带来的测量误差：

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta n}{S} \quad (\Delta n \text{ 取 } 0.2) \text{ 或 } \Delta R_x = \frac{0.2}{S} R_x$$

搞清电桥灵敏度的概念，再启发同学回答问题，设计了4个问题：

(3) 为了提高电桥的准确度，对  $R_1, R_2, R_S$  各有什么要求？

答案要点：

$$\textcircled{1} R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_S$$

$$\text{由传递公式：} \frac{U_{R_x}}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_S}{R_S}\right)^2}$$

$$\text{如果 } S \text{ 不够大：} \frac{U_{R_x}}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_S}{R_S}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{S}\right)^2}$$

每项的相对误差都要足够小。

②自组电桥板  $R_1, R_2$  的标称误差为 2% (时间长，现在可能更大)。

(4) 图中阻流器  $R_0$  的作用是什么？怎样操作

答案要点：①粗调时，保护检流计，细调时，使电桥灵敏度  $S$  最大。

②粗调时，断开  $K_0$ ，细调时，闭合  $K_0$ 。

(5) 滑线变阻器的作用是什么？怎样操作？

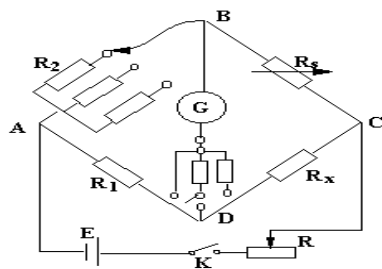
答案要点：①限制桥路中的电流，保护检流计和其它原件不过载。

②粗调时，滑线变阻器处于电阻最大位置。

细调时，滑线变阻器处于电阻最小位置。

## 二、测量内容

### (一) 自组电桥



第一步：正确联接电路

第二步：通电之前可调器件应放何位置（提问）：

①滑线可变电阻开始置于何位置？如何进行正确操作？

②此联好的线路，倍率是多少？电阻箱  $R_S$  开始大概放在什么位置？（头脑必须清楚）

③阻流器通电之前开关  $K_0$  应接通还是断开？

（粗调时断开，电流从  $R_0$  通过，保护  $G$  作用）

第三步：测量

注：4个电阻中，本科：都要求测，但只需对一个电阻选择一个倍率进行全过程的数据处理。

数据表格

被测电阻	倍率 $C$	比较臂 $R_S (\Omega)$	灵敏度 (相对)		结果表达式 $R = R_X \pm U_{R_X}$
			$\Delta R_S$	$\Delta n$	
$R_{X_1}$	10				
	1				
	0.1				
$R_{X_2}$	10				
	1				
	0.1				
$R_{X_3}$	10				
	1				
	0.1				
$R_{X_4}$	10				
	1				
	0.1				

选  $R_{X_2} = 470\Omega$  (标称值) 一组测量数据进行处理:

$$\frac{U_{R_X}}{R_X} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_S}{R_S}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{S}\right)^2}$$

$$\text{本装置 (电桥板)} \quad \frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{\Delta R_2}{R_2} \approx 2\%$$

$$\frac{\Delta R_S}{R_S} \approx 0.1\%$$

代入相对不确定度

$$\begin{aligned} \frac{U_{R_X}}{R_X} &= \sqrt{(2 \times 10^{-2})^2 + (2 \times 10^{-2})^2 + (1 \times 10^{-3})^2 + \left(\frac{0.2}{187.36}\right)^2} \\ &= 2.8 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

$$U_{R_X} = \frac{U_{R_X}}{R_X} \cdot R_X = 2.8 \times 10^{-2} \times 4.686 \times 10^2 = 1 \times 10$$

$$R_X = R_X \pm U_{R_X} = (4.7 \pm 0.1) \times 10^2 \Omega$$

### 注意问题：

- 检流计红点、白点位置
- 检流计指针指向一边可能原因（导线断、开关、倍率和电阻箱  $R_S$  设置不对）
- 电路的最佳联法（先串联，确认对角点）
- 倍率和比较臂阻值（清楚）

### 知识点的联系（知识链条）：

## 实验3 惠斯通电桥测电阻

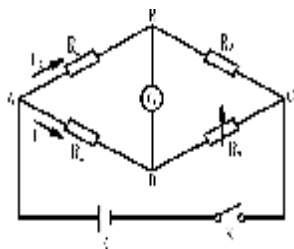


图1 电桥原理图

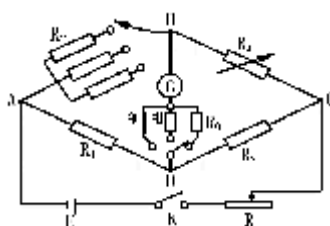


图2 实验线路图

### 被测阻值不发生变化

“惠斯通电桥”是“平衡电桥”，是预备性实验（基础性实验）而由此可以延伸至“非平衡电桥”的研究性实验“测温电桥的设计、安装和使用”（新教材“热敏电阻温度计的设计安装和使用”）电桥模块中的三段式

## 实验5 铜电阻和热敏电阻的温度特性

被测阻值发生变化-----反应温度特性

用箱式电桥测试，但依然是平衡电桥，强调箱式电桥与自组电桥各臂对应关系



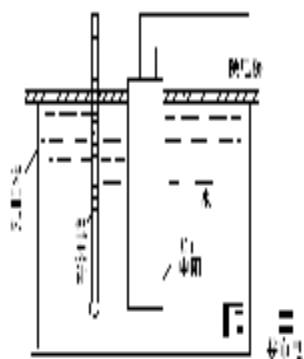


图 1 测 Cu 热电阻温度特性实验装置

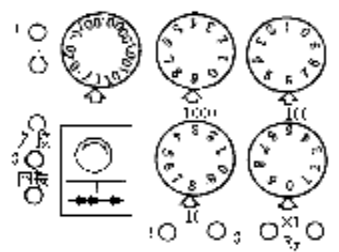


图 2 QJ23 电桥面板图

### 实验 51 热敏电阻温度计的设计安装和使用

非平衡电桥  $R_t$  的阻值发生变化，则电桥的平衡条件被破坏，G 中就有电流通过，指针发生偏转，偏转越大，说明  $R_t$  变化也越大。

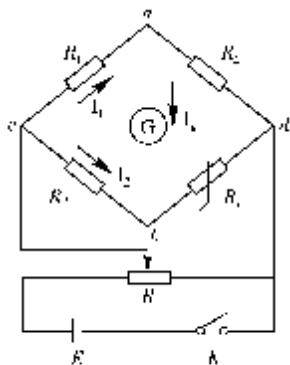


图2 非平衡电桥

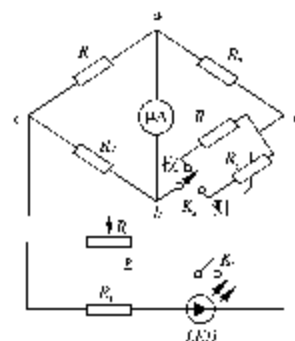


图3 灵敏电桥的实验电路

## 实验 4 转动惯量的测量

——主讲教师：徐 朋

### 教学重点：

1. 培养学生在独立完成本实验任务的过程中，从查阅资料、开放预习、操作，到完成数据处理、独立撰写课程论文的多种能力。
2. 掌握三线摆、秒表等仪器的基本原理和调节、使用方法；学会用三线摆测不同刚体转动惯量的方法。
3. 在处理数据的过程中，应用实验误差理论计算不确定度和百分误差；分析误差原因，对提高测量结果的精度提出、实施改进措施。

### 教学难点：

1. 转动惯量不确定度的分析；
2. 改进测量方法的实施过程。

### 实验要求：

1. 测准各刚体、三线摆装置的几何参量；
2. 记录各待测刚体的质量，测准它们的扭转摆动周期；
3. 计算转动惯量及其不确定度；对测量结果加以分析和讨论；提出改进方案并付诸实施。
4. 答辩。

### 基本实验内容：

1. 调解下圆盘水平，用钢直尺测出上、下圆盘间距；
2. 扭动上圆盘，待下圆盘的纯扭转摆动稳定后，用秒表（或电脑通用计数器）测出刚体扭转摆动若干周期相应的总时间，共做五次；
3. 分别将独立的刚体置于下圆盘上（中心重合），测出刚体扭转摆动若干周期相应的总时间，共做五次；
4. 将两个相同的刚体对称置于下圆盘上，使两刚体的边缘同切于下圆盘的中心，测出刚体扭转摆动若干周期相应的总时间，共做五次；
5. 处理数据
  - ①下圆盘的转动惯量  $J_1$   
推导计算  $\bar{J}_1$  和不确定度  $U_{\bar{J}_1}$ ，得出结果；
  - ②不同刚体的转动惯量

将实验结果与各自理论值相比较，求出百分误差。

## 数据记录与处理

### (一) 秒表测空载圆盘等数据

刚体 参量	质量 (g)	直径 D (cm)	半径 $\frac{D}{2}$ (cm)
下圆盘 (g)	$m_0=1970.3 \pm 0.1$	$D_{\text{下}}=20.004$	10.002
		$D_{\text{上}}=12.024$	6.012
圆环 (g)	$m_1=905.8 \pm 0.1$	$D_{\text{内}}=5.930$	2.975
		$D_{\text{外}}=10.018$	5.009
圆柱 (g)	$m_{21}=905.8 \pm 0.1$ $m_{22}=907.1 \pm 0.1$	$D_{21}=8.006$	4.003
		$D_{22}=8.006$	4.003

$H=57.59\text{cm}$

单位 [秒]

测量次数 刚体	1	2	3	4	5	6	$T=t/50$
空载下圆盘( $t_0$ )	70.57	71.38	70.06	71.71	70.97	71.04	1.428
下盘与圆环( $t_1$ )	62.65	63.52	63.06	63.08	64.62	63.64	1.272
下盘与两圆柱 ( $t_2$ )	69.44	69.06	68.64	68.60	68.32	68.09	1.378

$$J_0=mgDdT_0/(16\pi^2 H)=0.0087272(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$$

$$U_0/J_0=146 \times 10^{-4}$$

$$U_0=146 \times 10^{-4} \times J_0$$

$$U_0=146 \times 10^{-4} \times 0.0087272 \approx 0.0001(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$$

$J_0$  与不确定度对齐,应取到小数点后四位,故结果表达式为  $J$

$$J=0.0087 \pm 0.0001(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$$

### (二) 电脑通用计数器测空载圆盘

与秒表测空载圆盘求解类似,只数值略有不同而已

$$J_1=mgDdT_1/(16\pi^2 H)$$

$$=1.9804 \times 9.80064 \times 0.2000 \times 0.11964 \times 1.3722^2 / (16 \times 3.1416^2 \times 0.6325)$$

$$=0.0087522(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$$

$$\text{周期的 A 类不确定度: } S(t_1)=0.001(\text{s}) \quad S(T_1)=0.001/30=0.00003(\text{s})$$

$$\text{电脑通用计数器误差极限为: } \Delta_{\text{ins}}=0.0001(\text{s})$$

仍取置信概率为 0.95, 则

$$U_{T1}=\sqrt{4 \times 0.00003^2 + 0.0001^2}$$

转动惯量的相对不确定度为:

$$U_1/J_1 = \sqrt{(0.5^2 + 2^2 + 3.3^2 + 3.2^2 + 1.46^2) \times (10^{-4})^2}$$

第一项为微小量,可忽略

$$U_1/J_1 = 5.013 \times 10^{-4} \times 0.0087522 \approx 0.000004(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$$

表达式 J 为:

$$J = 0.008755 \pm 0.000004(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$$

### (三) 通用计数器测下盘与圆柱

首先将各数据带入公式计算  $J_2$

$$J_2 = mgDdT_2 / (16\pi^2 H)$$

$$= 1.9804 \times 9.80064 \times 0.2000 \times 0.11964 \times 1.1787^2 / (16 \times 3.1416^2 \times 0.6325) - 0.0087552$$

$$= 0.0094325 - 0.0087552 = 0.0006773(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$$

通用计数器误差极限为:  $\Delta \text{ins} = 0.0001(\text{s})$

周期 T 的 A 类不确定度:  $S(t_2) = 0.002(\text{s})$

$$S(T_2) = 0.002/30 = 0.00007(\text{s})$$

$$U(T_2) = \sqrt{4 \times 0.0001^2 + 0.00007^2} = 0.0002(\text{s})$$

相对不确定度为:

$$U_2/J_2 =$$

$$\sqrt{[U_{m_0}/(m_0 + m_1)]^2 + [U_{m_1}/(m_0 + m_1)]^2 + (U_R/R)^2 + (U_r/r)^2 + 4(U_T/T)^2 + (U_H/H)^2 + (U_{J_1}/J_1)^2}$$

根号内前两项为微小量,可舍去.

$$U_2/J_2 = 7.3 \times 10^{-4}$$

$$U_2 = 7.3 \times 10^{-4} \times 0.0006773 = 0.0000005(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$$

## 分析与讨论

### 理论值的计算

#### (一) 下圆盘的转动惯量

将所得数据带入理论值计算公式中

$$J = 1/2 m_0 (1/2 D_0)^2 = (1/2) \times 1.9804 \times (0.2000/2)^2 = 0.0099(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$$

#### (二) 圆柱的转动惯量

$$J = (1/2) m (D_1/2)^2 = (1/2) \times 0.90534 \times (0.08006/2)^2$$

$$J = 0.00073(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$$

### (三) 百分误差的计算

1. 秒表测下圆盘:  $|0.009902 - 0.0087272| \times 100\% / 0.009902 = 11.86\%$

2. 通用计数器测下圆盘的百分误差:

$$|0.009902 - 0.0087552| \times 100\% / 0.009902 = 11.58\%$$

3. 通用计数器测圆柱的百分误差:

$$|0.000725 - 0.000677| \times 100\% / 0.000725 = 6.62\%$$

### (四) 误差来源分析

1. 圆盘没有完全水平
2. 上下圆盘中心点连线不在一条直线上
3. 秒表测量时,起点和终点均目测,不够精确.
4. 圆盘在扭动运动中同时有摆动.
5. 下圆盘上三条钢丝与圆盘交点并不构成等边三角形,将导致上下圆盘中心点连线不在一条直线上.
6. 由于钢丝太细,不能遮光,在钢丝上贴一片小纸条,但同时也会带来空气阻力.
7. 尤其应注意的是,如果贴上的纸条过大,将导致所测得周期为原打算测周期数的 2 倍.

### 结论

由秒表所测结果和电脑通用计数器所测结果可以看出,其结果位数相差两位,所以在实验要求并不十分精确的情况下,完全可以用秒表替代电脑通用计数器

### 注意

1. 实验中若遮光纸条过大或过小,将使周期的测量出现问题,导致百分误差较大.
2. 转动上圆盘幅度过大或过小时,必须待圆盘转动幅度稳定之后才能重新测量, (可在下圆盘标上刻度,以显示每次转动的圆盘幅度)

## 实验 5 铜电阻和热敏电阻的温度特性

——主讲教师：刘 军

### [实验目的]

1. 测量热敏电阻的温度特性
2. 掌握箱式电桥的使用
3. 学习用曲线改直的方法处理数据

### [教学方法]

采用讨论式，提案式教学方法

### [实验原理]

半导体热敏电阻与热电阻相比具有灵敏度高、体积小、反应快等优点。大多数热敏电阻具有负的温度特性，称为 NTC 型热敏电阻，其阻值与温度的关系可表示为

$$R_T = R_{T_0} e^{B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (1)$$

式中， $R_{T_0}$  和  $R_T$  分别是温度  $T_0(K)$  和  $T(K)$  时的阻值； $T$  和  $T_0$  是开尔文温标； $B$  是材料常数，单位是 K。也有些热敏电阻具有正的温度特性，称为 PTC 型热敏电阻，其阻值与温度的关系可表示为  $R_T = R_{T_0} e^{B(T-T_0)}$ ，热敏电阻的主要性能指标是：

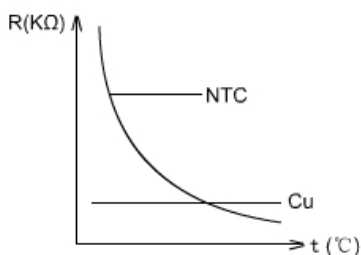
- (1) 标称值  $R_H$  是指  $25^\circ\text{C}$  时的阻值。
- (2) 温度系数  $\alpha_T$ 。定义为温度变化一度时阻值的变化量与该温度下阻值之比

$$\alpha_T = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR_T}{dT} \quad (3)$$

将式 (2) 代入式 (3)，得

$$\alpha_T = -\frac{B}{T^2} \quad (4)$$

$\alpha_T$  不仅与材料常数有关，还与温度有关，低温段比高温段更灵敏。如果不作特殊说明，是指  $T = 293\text{K}$  时的  $\alpha_T$ 。材质不同， $\alpha_T$  也有很大差别，大约为  $(-3 \sim -6) \times 10^{-2}/\text{K}$ ，它比热电阻的  $\alpha_T$  高出 10 倍左右。图 1 是 Cu 电阻和某一负温度系数热敏电阻的温度特性曲线。热敏电阻的缺点是非线性严重，元件的稳定性较差。



(3) 材料常数  $B$  是与材质有关的常数，对 NTC 型热敏电阻来说， $B$  值约为  $1500 \sim 6000\text{K}$ 。(2) 式两边取对数，得

图 1 Cu 电阻和 NTC 热敏电阻的温度特性

$$\ln R_T = \ln R_{T_0} + B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \quad (5)$$

令  $\ln R_T = y$ ,  $\ln R_{T_0} - \frac{B}{T_0} = A$ ,  $\frac{1}{T} = x$  则 (5) 式变为

$$y = A + Bx \quad (6)$$

### [实验任务]

1. 测绘 NTC 热敏电阻的温度特性曲线
2. 绘制  $\ln R_T - \frac{1}{T}$  图, 由图求出材料常数 B
3. 计算温度系数  $\alpha_T$

### [数据处理]

中值点 (  $2.97 \times 10^{-3}$ , 7.094 )

$M_1(2.69 \times 10^{-3}, 6.000)$

$M_2(3.27 \times 10^{-3}, 8.333)$

$$B = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{8.333 - 6.000}{(3.27 - 2.69) \times 10^{-3}} = 4.02 \times 10^3 (K)$$

由于不作特殊说明,  $\alpha_T$  指 293K 时的温度系数

$$\text{所以 } \alpha_T = -\frac{B}{T^2} = -\frac{4.02 \times 10^3}{293^2} = -4.69 \times 10^{-2} (K^{-1})$$

### [预习思考题]

1. 本实验装置的系统误差因素有哪些? 请指出三个以上。并说明在实验操作中怎样才能控制和减少这些误差因素的影响。
2. 热敏电阻和铜热电阻比较,  $R_H$  可以很大,  $\alpha_T$  可以很高, 体积可以很小, 这些特点对于测温性能有什么优越性?

## 实验 6 冲击法测量磁场

——主讲教师：王晓秋

### 教学目标：

- 掌握用冲击法测磁感应强度的原理和方法；
- 测定螺线管轴线上磁感应强度的分布；
- 培养学生的独立动手能力和综合应用能力。

### 重点与难点：

- 重点：用冲击法测磁感应强度的原理和方法
- 难点：冲击电流计工作原理

### 实验内容：

- 分析、连接测量电路；
- 测量磁通冲击常数  $C_{\phi}$ ；
- 测定螺线管轴线上的磁感应强度及其分布；
- 计算螺线管轴线各处  $B$  值，并作  $B-X$  曲线；
- 计算螺线管中点和端点处  $B$  的实验值和理论值的相对百分误差。

### 教学方法：

采用讨论式、提案式教学方法

### 教学过程设计：

#### 一 实验简介：

##### 1 测量电路：

- 回路 I：直流电源  $E$  与螺线管接通，构成磁化电流回路，用以产生  $B$  和  $\phi$ 。
- 回路 II：直流电源  $E$  与互感器  $M$  初级线圈连接而构成定标回路，用以测量  $C_{\phi}$ 。
- 回路 III：冲击电流计  $G$ ，外电阻  $R$ （电阻箱）、互感器  $M$  的次级线圈、螺线管内的探测线圈构成电流计回路。

##### 2 测量方法：

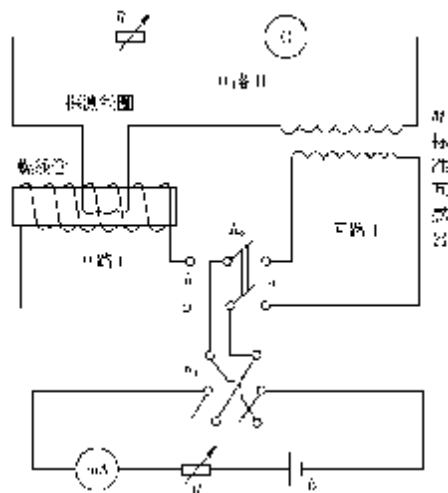


图 1 用冲击法测量磁感应强度装置



冲击法—是将探测线圈中的脉冲电流通过冲击电流计，使电流计指示值发生变化，根据指示值的变化量来计算  $B$ 。

在探测线圈中产生脉冲电流的方法有：

- 1) 抽拉线圈法——将探测线圈迅速撤离被测现场；
- 2) 转线圈法——将探测线圈迅速反转  $180^\circ$ ；
- 3) 变化磁场法——将被测磁场迅速变为零，或迅速反向。

本实验采用变化磁场法

**3 实验原理：**螺线管内磁通量的变化可由冲击电流计示数读出

$$\Delta\phi = C_\phi d_m$$

$$\text{回路 I: } \Delta\phi = NS\Delta B = 2NSB \qquad B = \frac{\Delta\phi}{2NS} = \frac{C_\phi d_m}{2NS}$$

$$\text{回路 II: } \Delta\phi = M_0\Delta I = C_\phi d_{m0} \qquad C_\phi = \frac{M_0\Delta I}{d_{m0}} = \frac{2M_0I_0}{d_{m0}}$$

式中  $B$  和  $\Delta\phi$  分别为螺线管内磁场强度和磁通量的变化， $C_\phi$  为磁通冲击常数， $d_m$  和  $d_{m0}$  为冲击电流计指示值， $N$  为探测线圈的匝数， $S$  为平均截面积， $M_0$  为标准互感器的互感。

## 二 问题讨论：

问题 1：螺线管磁场是如何产生的？螺线管中  $\phi$  变化是如何产生的？

答案要点：由回路 I， $K_1$  闭合， $K_2$  合向“b”，调节  $R_1$  使流过螺线管的电流达到规定值  $I$ ，在螺线管内产生磁场。螺线管内磁场的变化利用换向开关  $K_1$ ，使电流从  $I_0$  变为  $-I_0$ ，即电流有一瞬间变化量  $\Delta I = 2I_0$ 。

问题 2：冲击电流计如何测  $\Delta\phi$  和  $B$ ？

答案要点： $\Delta\phi = C_\phi d_m$ ， $B = \frac{\Delta\phi}{2NS} = \frac{C_\phi d_m}{2NS}$

问题 3：为什么使用标准互感器来测磁通冲击常数  $C_\phi$ ？怎样测量？

答案要点：标准互感器可提供回路 III 中磁通量的变化  $\Delta\phi$ ，由式  $\Delta\phi = C_\phi\Delta I_0 = M_0\Delta I_0$  可确定磁通冲击常数  $C_\phi$ ；

利用  $K_1$  换向开关使互感器  $M$  初级线圈电流从  $I_0$  变为  $-I_0$ ，即  $\Delta I_0 = 2I_0$ ，因

$$\text{此得到 } C_{\phi} = \frac{2MI_0}{d_{m0}}。$$

问题 4: 磁通冲击常数  $C_{\phi}$  与哪些量有关? 回路 I 和回路 II 中  $C_{\phi}$  是否相等?

答案要点: 磁通冲击常数  $C_{\phi}$  与电流计回路总电阻  $R$  (包括电阻箱电阻, 探测线圈、互感线圈的电阻及冲击电流计的内阻) 有关。

回路 I 和回路 II 中  $C_{\phi}$  相等。

问题 5: 为减小测量误差, 实验中应注意哪些问题?

答案要点: 1) 实验仪器安排要尽量使螺线管、标准互感器、滑线变阻器之间离远些, 以免相互感应;  
2) 电流换向开关的切换速度要快。

### 三 提案报告:

1. 按图 1 连接测量电路
2. 测量磁通冲击常数  $C_{\phi}$ 
  - 1)  $K_2$  倒向  $a$ ,  $R_1$  调至最大值, 接通  $K_1$ , 逐渐减小  $R_1$ , 使流过标准互感器的电流  $I_0$  小于其额定值。记下  $I_0$  值。
  - 2)  $K_1$  迅速反向, 记录光标的最大偏转  $d_{0左}$ 。再迅速把  $K_1$  反向, 在反方向又读得一个最大偏转  $d_{0右}$ , 取其平均值  $\overline{d_0}$
3. 测定螺线管内的磁感应强度沿轴线上的分布
  - 1)  $K_2$  倒向  $b$ , 接通  $K_1$ , 调节  $R_1$  使流过螺线管的电流达到规定值  $I_0$ ;
  - 2) 将探测线圈安置在螺线管轴的中心。迅速把  $K_1$  反向, 记录光标的最大偏转  $d_{m左}$ , 再迅速把  $K_1$  反向记录光标在反方向的最大偏转  $d_{m右}$ , 取其平均值  $\overline{d_m}$  作为最大偏转。
  - 3) 保持电流  $I_0$  不变, 逐次移动探测线圈 1cm, 重复 2) 中的测量方法, 记下各处光标最大偏转的平均值  $\overline{d_{m1}}$ ,  $\overline{d_{m2}}$ , ..., 直至螺线管端部。
4. 数据记录

表 1 仪器参数

螺线管线圈				探测线圈		
总长 $L(\text{cm})$	总匝数 $N_0$	平均直径 $D(\text{cm})$	单位长度 匝数 $n$	总长 $l(\text{cm})$	总匝数 $N$	截面积 $S(\text{cm}^2)$

表 2 测磁通常数										
		0.600A			0.500A			0.400A		
$d$	左									
	右									
	平均									
$C_\varphi$										
$\overline{C_\varphi}$										

表 3 测  $B$  沿轴线分布  $I=0.500A$ 

x		0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
$d$	左											
	右											
	平均											
$B/10^{-3} T$												

## 四 独立操作:

略

## 实验 8 牛顿环实验

——主讲教师：刘 军

### [实验目的]

1. 通过实验加深对等厚干涉原理的理解
2. 学习用牛顿环测量平凸透镜曲率半径的方法
3. 掌握读数显微镜的使用
4. 学习用逐差法（或作图法）处理数据

### [教学方法]

采用启发式，引导式教学方法

### [实验原理]

当一曲率半径很大的平凸透镜的凸面与一磨光平玻璃板相接触时，在透镜的凸面与平玻璃板之间将形成一空气薄膜，离接触点等距离的地方，厚度相同。如图 1 所示，若以波长为  $\lambda$  的单色平行光投射到这种装置上，则由空气膜上下表面反射的光波将互相干涉，形成的干涉条纹为膜的等厚各点的轨迹，这种干涉是一种等厚干涉，在反射方向观察时，将看到一组以接触点为中心的亮暗相间的圆环

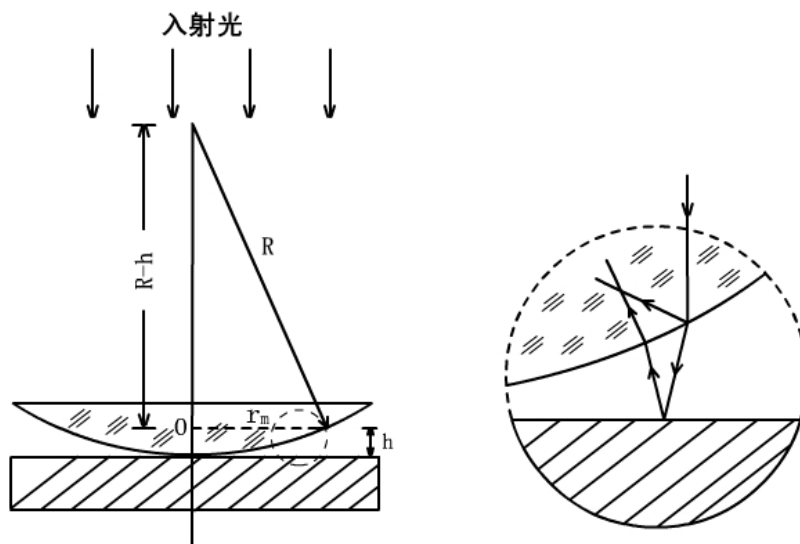


图 1

干涉条纹，而且中心是一暗斑（图 2a）；如果在透射方向观察，则看到的干涉环纹与反射光的干涉环纹的光强分布恰成互补，中心是亮斑，原来亮环处变为暗环，暗环处变为亮环（图 2b），这种干涉现象最早为牛顿所发现，故称牛顿环。

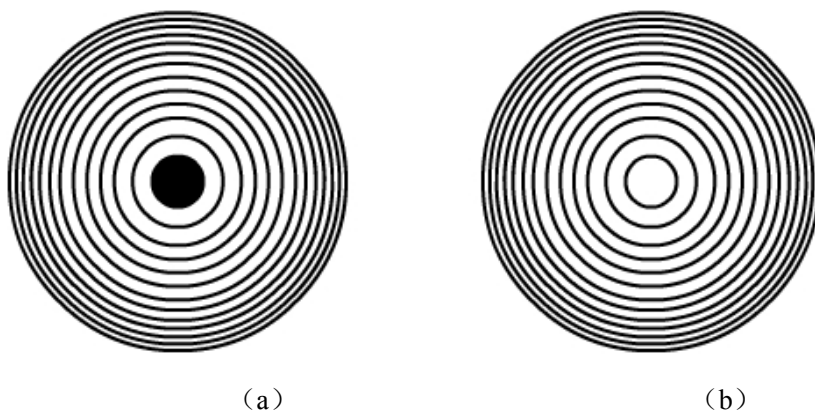


图 2

平凸透镜的曲率半径为  $R$ ，形成的  $m$  级干涉暗环的半径为  $r_m$ ，不难证明

$$\text{暗环 : } r_m^2 = mR\lambda \quad (1)$$

$$\text{亮环 : } r_m'^2 = (2m-1)R\frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

以上两式表明，当  $\lambda$  已知时，只要测出第  $m$  级暗环（或亮环）的半径，即可算出透镜的曲率半径  $R$ ；相反，当  $R$  已知时，即可算出  $\lambda$ ，但由于两接触面之间难免附着尘埃，并且在接触时难免发生弹性形变，因而接触处不可能是一个几何点，而是一个圆面，所以近圆心处环纹比较模糊和粗阔，以至难以确切判定环纹的干涉级数  $m$  和环的中心，因而利用 (1) 来准确测量曲率半径  $R$  实际上是不可能的。通常将 (1) 式变成如下形式：

$$R = \frac{d_m^2 - d_n^2}{4(m-n)\lambda} \quad (3)$$

式中  $d_m$  和  $d_n$  分别是第  $m$  级和第  $n$  级暗环的直径。由 (3) 式可知，任意两环直径的平方差和干涉级数无关，而只与两个环的环序数差  $m-n$  有关。只要精确测定两个环的直径就可以准确地算出透镜的曲率半径  $R$ ，但为了减少误差，提高测量精度，必须测量距中心较远的、比较清晰的两个环纹的直径。

### [实验任务]

#### 1. 读数显微镜的调整

(1) 对准。移动牛顿环元件使其几何中心对准读数显微镜的物镜。

(2) 调焦。调节目镜使十字叉丝清晰；旋转物镜调节手轮，使镜筒由最低位置缓缓上升，边升边观察，直至目镜中看到聚焦清晰的牛顿环。并保证测量时，显微镜的一根叉丝与显微镜的移动方向垂直，移动时始终保持这根叉丝与各干涉环相切。

## 2. 牛顿环直径的测量

(1) 转动读数显微镜读数鼓轮，同时在目镜中观察，使十字叉丝由牛顿环中央缓缓的向一侧移动至 35 环（预计最大测量环数外两环）。然后自 35 环起单方向移动十字叉丝测出第 33 环到第 24 环的直径的左右两边读数，求得 33—24 环的直径。测量过程中，不能中途倒退，只能单方向前进。

(2) 重复步骤 (1) 再测一次

## [数据处理]

用逐差法求平凸透镜曲率半径  $R$ 。

环序数 项目	29.0	30.0	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0	36.0
$X_m(mm)$	28.219	28.275	28.284	28.396	28.455	28.513	28.582	28.642
$X'_m(mm)$	20.294	20.225	20.150	20.094	20.030	19.975	19.921	19.853
$d_m(mm)$	7.925	8.050	8.134	8.302	8.425	8.538	8.661	8.789
$d_m^2(mm^2)$	62.806	64.803	66.162	68.923	70.981	72.897	75.013	77.247

将  $m = 29.0 \sim 32.0$  分为一组， $m = 33.0 \sim 36.0$  分为二组，逐 4 相减，则

$$b_1 = \frac{d_{33}^2 - d_{29}^2}{m - n} = \frac{70.981 - 62.806}{33.0 - 29.0} = 2.04$$

$$\text{同理 } b_2 = 2.02, b_3 = 2.21, b_4 = 2.08$$

$$\text{则 } b = \frac{1}{4} \sum b_i = \frac{2.04 + 2.02 + 2.21 + 2.08}{4} = 2.1$$

$$R = \frac{b}{4\lambda} = \frac{2.1}{4 \times 5893 \times 10^{-7}} = 8.9 \times 10^2 (mm) = 0.89(m)$$

## [注意事项]

1. 干涉环两侧的环序数不要数错。
2. 防止实验装置受震引起干涉环的变化。
3. 调整显微镜镜筒时，要从下往上调，防止镜筒与  $45^\circ$  玻璃片、牛顿环等元件接触。
4. 在测量牛顿环直径的过程中，为了避免出现“空程”，只能单方向前进，不能中途倒退后再前进。

**[预习思考题]**

1. 如果牛顿环已调好，读数显微镜也是完好的，但测量时从目镜中看不见干涉条纹，问题可能在哪里？如何调节才能找到干涉条纹？
2. 在本实验中测量  $R$  是，为什么不用计算式  $r_m^2 = mR\lambda$ ，而用  $R = \frac{d_m^2 - d_n^2}{4(m-n)\lambda}$ 。
3. 为什么相邻两暗条纹（或亮条纹）之间的距离靠近中心的要比边缘的大？
4. 牛顿环是一种干涉现象，在反射方向观察这一现象，应是哪两束光相遇而产生的干涉？

**[分析思考题]**

1. 牛顿环的中心在什么情况下是暗的？在什么情况下是亮的？
2. 在本实验中若遇到下列情况，对实验结果是否有影响？为什么？
  - (1) 牛顿环中心是亮斑而不是暗斑。
  - (2) 测各个直径时，十字刻线交点未通过圆环中心，因而测量的是弦而不是真正的直径。
3. 怎样利用牛顿环来测定未知光波的波长？
5. 如何用作图法求平凸透镜曲率半径  $R$ ？

## 实验 9 用分光计测光学玻璃折射率

——主讲教师：于有凡

### 教学目标

1. 了解分光计的原理和构造，掌握分光计的调节和使用方法。
2. 用分光计测定棱镜角。

### 教学方法

采用讨论式，提案式教学方法

### 实验内容

1. 准法测定三棱镜的顶角，数据与处理见附表；
2. 用反射法测定三棱镜的顶角

### 重点及难点

重点：望远镜（目镜的调节，分划板的清晰度，物理的调节）

### 教学过程设计

介绍分光计的作用；分光计是一种常用的光学仪器，也就是一种精密的测角仪。在几何光学实验中，主要用来，测定棱镜角，光束的偏向角……等等。玻璃的折射率。在物理光学实验中，用来观察光谱，测量光谱谱线的波长。介绍分光计的结构；

强调：

- ①双游标为消除偏心差而设计
- ②载物盘下螺丝目的为减少摩擦，提高精度。延长仪器的寿命。

注意事项：

- ①三棱镜的拿法。
- ②转动望远镜时要手把的位置。
- ③测量时，一般将度盘的  $0^\circ$  线置于望远镜下，减少在测角度时， $0^\circ$  线通过游标引起的计算上的不方便。

调节的目的：

- ①光轴的旋转平面垂直于三棱镜的垂面。
- ②平行光管光轴垂直于分光计主轴。

强调：

- ①粗调的重要性（目测法）
- ②逐渐逼近法（半逼近法）调节



## 原始数据及数据处理

记录 棱镜角  $A=180^\circ - \Theta$ 

$\Theta_1$	$\Theta_2$	$\Theta_1'$	$\Theta_2'$
$320^\circ 18'$	$140^\circ 19'$	$80^\circ 16'$	$260^\circ 17'$
$320^\circ 17'$	$140^\circ 18'$	$80^\circ 17'$	$260^\circ 18'$
$320^\circ 19'$	$140^\circ 20'$	$80^\circ 17'$	$260^\circ 18'$
$320^\circ 20'$	$140^\circ 18'$	$80^\circ 16'$	$260^\circ 18'$
$320^\circ 19'$	$140^\circ 17'$	$80^\circ 15'$	$260^\circ 17'$
$308^\circ 57'$	$128^\circ 59'$	$68^\circ 56'$	$248^\circ 57'$

由  $\Theta = \frac{1}{2} [(\Theta_2' - \Theta_2) + (\Theta_1' - \Theta_1)]$  得

$$\Theta_1 = \frac{1}{2} [(360^\circ - 320^\circ 18' + 80^\circ 16') + (260^\circ 17' - 140^\circ 19')] = 119^\circ 58'$$

$$\Theta_2 = 120^\circ 00' \quad \Theta_3 = 119^\circ 58' \quad \Theta_4 = 119^\circ 58' \quad \Theta_5 = 119^\circ 58' \quad \Theta_6 = 119^\circ 59'$$

$$\begin{aligned} \therefore \bar{\theta} &= \frac{1}{6} (\Theta_1 + \Theta_2 + \Theta_3 + \Theta_4 + \Theta_5 + \Theta_6) \\ &= \frac{1}{6} (119^\circ 58' + 120^\circ 00' + 119^\circ 58' + 119^\circ 58' + 119^\circ 58' + 119^\circ 59') \end{aligned}$$

$$\therefore \bar{\theta} = 119^\circ 58' 25''$$

$$= \sqrt{\frac{\sum (\bar{\theta} - \theta_i)^2}{5}} = \sqrt{\frac{(25'' + 1'35'' + 25'' + 25'' + 25'' + 35'')^2}{5}} = 1'$$

## 思考题

1. 有同学说在平台上放水准仪好调，为什么不放水准仪？
2. 在测量角度时  $0^\circ$  线通过游标时怎样计算测量角度。
3. 分光计用两个游标的作用是什么？

## 实验 15 简谐振动的研究

### 图解法在物理实验中的巧妙应用——以简谐振动的研究为主例

——主讲教师：徐朋

#### 教学重点：

1. 培养学生在独立完成本实验任务的过程中，从查阅资料、开放预习、操作，到完成数据处理、独立撰写课程论文的多种能力。
2. 掌握图解法的基本要点和应用步骤；领悟巧用图解法的思想。
3. 在谐振实验数据的处理过程中，应用图解法得出测量结果。
4. 比较图解法和逐差法处理数据的结果。

#### 教学难点：

1. 探索图解法应用在双变量数据处理过程中的巧妙之处；
2. 以实例说明化复杂函数关系为线性关系的主要原则。

#### 实验要求：

本实验 涉及到“大学物理”课程的一些知识；涉及到力学实验、电学实验、智能化仪器等相关内容；体现了科学思维在处理实验数据中的妙用；图解法和逐差法处理数据的过程，可训练和提高学生双变量测量的数据处理水平。

简谐振动实验采用气垫导轨法，研究谐振的特性(周期与系统质量的关系)。通过实验，测出谐振弹簧系统的等效质量、等效倔强系数。

1. 调节气垫导轨的水平状态；组成简谐振动系统；设定电脑通用计数器的周期档；
2. 测定振动周期随质量变化的相关数据；
3. 用图解法处理实验数据，得出弹簧的等效质量及其等效倔强系数；
5. 比较图解法和逐差法处理数据的结果的一致性。

#### 注意：

1. 正确选择横、纵坐标量，尽量使图像“线性化”（既方便作图又便于分析实验结果）

如：牛顿第二定律  $a - \frac{1}{m}$  曲线；

电位差计实验  $\frac{1}{U_{02}} - R$  曲线；

2. 合理选择坐标系原点，恰当选择单位（最大限度地保证有效数字）

3. 准确地描绘图线，直线必须过中值点！

描点：用×、+、△、⊙、⊕等符号

连线：各个实验点可以不在直线上，但必须保证各实验点均匀分布于直线的两侧，直线光滑。

4. 正确解释图线的物理意义

说明“斜率”、“截距”、“极值”、“曲线下的面积”等物理意义。

## 数据处理

滑翔器质量  $m_0 = 172.20$  (g)，振幅  $A = 10.00$  cm

表 1 弹簧谐振数据记录表

次数 $i$	配重质量 $m_{0i}$ (g)	$m_i = m_0 + m_{0i}$ (g)	振动 50 次时间 $t(s)$		周 期 $T = \frac{t}{50}(s)$	平均周期 $\bar{T}_i(s)$	$\bar{T}_i^2$ ( $s^2$ )
			1	2			
1	0.00	172.20	1	65.5914	1.31183	1.31200	1.72134
			2	65.6085	1.31217		
2	13.11	185.31	1	67.9454	1.35891	1.35874	1.84619
			2	67.9288	1.35858		
3	12.91	198.22	1	70.1582	1.40316	1.40305	1.96855
			2	70.1467	1.40393		
4	13.50	211.72	1	72.4030	1.44866	1.44831	2.09670
			2	72.3980	1.44796		
5	12.78	224.50	1	74.4829	1.48966	1.48951	2.21863
			2	74.4679	1.48936		
6	12.83	237.33	1	76.4908	1.53982	1.53973	2.37077
			2	76.4820	1.53964		
7	12.77	250.10	1	78.4165	1.56833	1.56833	2.45966
			2	78.4167	1.56833		
8	12.75	262.85	1	80.3153	1.60631	1.60644	2.58063

			2	80.3278	1.60656		
--	--	--	---	---------	---------	--	--

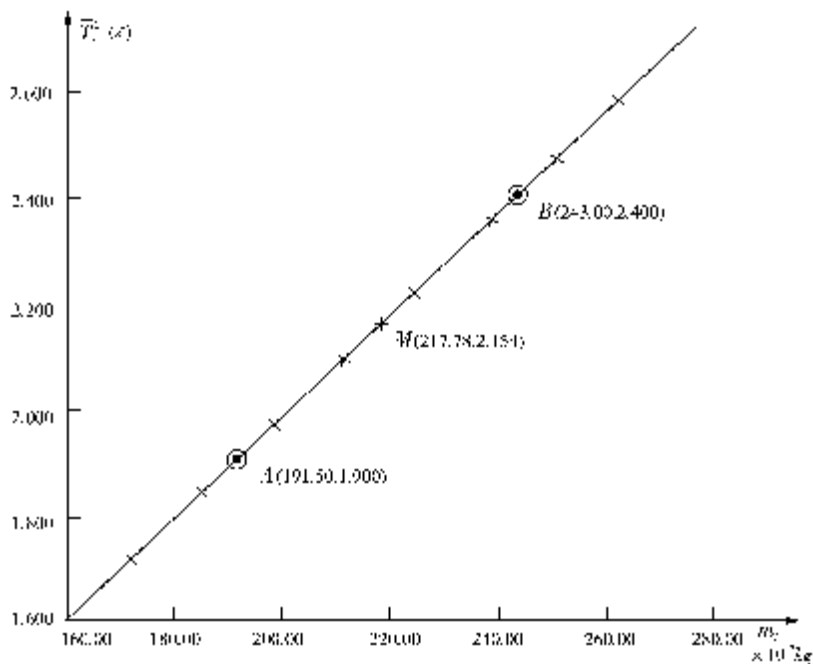
### 1. 选择图解法处理数据

以  $m_i$  为横坐标、 $\bar{T}_i^2$  为纵坐标建立坐标系；依据表 1 中的数据描点；过中点  $M$  ( $\bar{x}, \bar{y}$ ) 连线；计算直线的斜率  $b$ 、直线的截距  $a$ ；再根据 (6) 式和 (7) 式算出  $k$  和  $\Delta m$ 。

$\bar{T}_i^2 - m_i$  图线如图 3 所示。中值点为  $M$  (217.78, 2.154)；选取点 A (191.50, 1.900) 和点 B (243.00, 2.400) 作为取用点计算斜率

$$b = \frac{T_B^2 - T_A^2}{m_B - m_A} = \frac{2.400 - 1.900}{(243.00 - 191.50) \times 10^{-3}} = 9.708 \text{ (S}^2\text{kg}^{-1}\text{)} ;$$

截距  $a = \bar{y} - b\bar{x} = 2.154 - 8.974 \times 217.78 \times 10^{-3} = 0.200 \text{ (S}^2\text{)} 。$



$T^2 - m$  图线

将  $a$ 、 $b$  代入 (6) 式和 (7) 式算得：

$$k = \frac{4\pi^2}{b} = 4.068 \text{ (Nm}^{-1}\text{)}, \quad \Delta m = \frac{a}{b} = 0.0206 \text{ (kg)}$$

### 2. 选择逐差法处理数据

将表 1 中  $i = 1-4$  分为一组， $i = 5-8$  分为另一组；逐 4 求差

$$b_1 = \frac{T_5^2 - T_1^2}{m_5 - m_1} = \frac{2.21863 - 1.72134}{(224.50 - 172.20) \times 10^{-3}} = 9.508 \text{ (S}^2\text{kg}^{-1}\text{)}$$

同理  $b_2 \approx 10.08 \text{ (S}^2\text{kg}^{-1}\text{)},$

$$b_3 \approx 9.466 \text{ (S}^2\text{kg}^{-1}\text{)},$$

$$b_4 \approx 9.447 \text{ (S}^2\text{kg}^{-1}\text{)}$$

则

$$\bar{b} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 b_i = \frac{9.508 + 10.08 + 9.466 + 9.447}{4} = 9.625 \text{ (S}^2\text{kg}^{-1}\text{)}$$

将中值点 M (217.78, 2.154) 的坐标、 $\bar{b}$  值同时代入书中公式  $y = bx + a$  中, 计算得到  $a = 0.200 \text{ (S}^2\text{)}$ ; 再将  $a$ 、 $\bar{b}$  代入 (6) 式和 (7) 式计算得:

$$k = 4.097 \text{ (Nm}^{-1}\text{)}, \quad \Delta m = 0.0208 \text{ (kg)}$$

## 实验 17 透镜焦距的测量

——主讲教师：于有凡

### 教学目标

通过本此授课应使学生掌握以下知识内容：

1. 透镜成像的基本规律
2. 测量透镜焦距的基本方法。

### 教学方法

采用讨论式，提案式教学方法

### 实验内容

1. 讲授实验原理、仪器使用方法、实验步骤等。
  - (1) 透镜成像的基本原理
  - (2) 光学元件共轴的调节方法
  - (3) 透镜焦距的测量方法讲授时间：20 分钟
2. 指导学生熟悉实验仪器、讨论实验中可能出现的问题。  
讲授时间：25 分钟
3. 指导学生实验。  
讲授时间：2 课时

### 重点及难点

- 1、各测量的符号规则
- 2、透镜焦平面及光的可逆性原理
- 3、逐次成像的方法
- 4、光学元件共轴的调节方法

### 教学过程设计

透镜是光学仪器中最基本的元件，了解并掌握透镜焦距的测量方法，不仅有助于加深理解几何光学中的成象规律，也有助于加强对光学仪器调节和使用的训练。

#### 【实验原理】

- 1、由物距与像距求焦距

如图 1 所示：

根据透镜成像的高斯公式：

$$\frac{1}{S'} - \frac{1}{S} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

有：

$$f' = \frac{SS'}{S - S'} \quad (2)$$

测量出公式中各项即可计算出凸透镜的焦距。注意各测量量的正负号。

## 2、由透镜两次成像求焦距

如图 2 所示：

$$f = \frac{L^2 - d^2}{4L} \quad (3)$$

**讨论：**  $L > 4f$ ，如何改变  $L$  使测量精度更高

## 3、由光的可逆性原理求焦距

- (1) 透镜的焦平面的概念
- (2) 光的可逆性的概念
- (3) 测量方法（演示）

## 4、由辅助透镜成像法求凹透镜焦距

如图 4 所示：

成像公式：

$$f_2 = \frac{SS'}{S' - S} \quad (4)$$

提示： $S$ 、 $S'$  均为正

多透镜的逐次成像法

- 5、讨论：
  - 1、为什么  $S$ 、 $S'$  均为正
  - 2、如何调整实验参数提高测量精度

## 【实验任务】

- 1、光具座上各光学元件的共轴调节（演示）
- 2、4 项内容的测量（见附表）

**讨论：** 如何确定实验中的  $\Delta_b$

## 原始数据及数据处理

表一：物距、像距求像距

次数	S (cm)	S' (cm)	f (cm)
1	15.90	28.10	10.15
2	16.93	25.69	10.20
3	17.98	24.22	10.32
$\bar{f}(cm)$	10.22		

表二：两次成像求焦距

次数	X <sub>1</sub> (cm)	X <sub>2</sub> (cm)	d=X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> (cm)	L (cm)	f (cm)
1	12.71	48.50	-35.79	61.58	10.19
2	13.08	44.81	-31.73	57.80	10.10
3	13.59	40.92	-27.33	54.24	10.12
$\bar{f}(cm)$	10.14				

表三：可逆原理求焦距

次数	1	2	3	4	5	6
f (cm)	10.15	10.51	9.95	10.61	10.02	10.52
$\bar{f}(cm)$	10.29					
S	0.27					
$S_{\bar{x}}$	0.11					

表四：辅助透镜求凹透镜焦距

次数	P'(cm)	P''(cm)	L(cm)	S(cm)	S'(cm)	f(cm)
1	54.02	58.90	46.95	7.07	11.95	17.31
2	48.10	56.61	40.35	7.75	16.26	14.81
3	46.45	52.52	38.82	7.63	13.68	17.25
$\bar{f}(cm)$	16.48					

注：讨论测量 2 与测量 1、3 的误差为何如此大。

可逆原理求焦距误差处理  $\Delta_A = 2S_{\bar{x}} = 0.22$

$\Delta_B = 0.05cm$



$$u = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2} = \sqrt{0.22^2 + 0.05^2} = 0.2$$

$$f = \bar{f} + \pm u = 10.3 \pm 0.2(\text{cm})$$

## 实验 22 拉伸法测金属杨氏模量

——主讲教师：于淑华

### 教学目标

1. 掌握用光杠杆测量微小长度变化的原理和方法，测定金属丝的杨氏弹性模量。
2. 训练正确地调整测量系统的能力。
3. 学会用逐差法进行数据处理的方法。

### 教学方法

采用讨论式，提案式教学方法

### 实验内容

1. 仪器调整
2. 测定钢丝受外力后的伸长量。
3. 选择不同的测量工具，分别测量镜面与标尺的距离及钢丝的原长、光杠杆镜架长度、钢丝的直径。并根据上述测量内容绘制数据表。
4. 采用逐差法处理数据。

### 重点及难点

重点：微小位移的测量方法

难点：望远镜，光杠杆，标尺这一测量系统的调节。

### 教学过程设计

课堂讨论

1. 什么是杨氏模量？

在弹性形变范围内，按照胡克定律，应力  $\sigma$  与应变  $\varepsilon$  成正比，

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

比例系数  $E$ ，称为杨氏模量。

本实验采用静态拉伸法测杨氏模量，就是根据定义式进行测量。

2. 若金属丝原长为  $l$ ，截面积为  $S = \frac{1}{4}\pi d^2$ ，在拉力  $\Delta F$  作用下，伸长  $\Delta l$ ，则定义式可为：

$$E = \frac{4\Delta F \ell}{\pi d^2 \Delta \ell}$$

此式中哪些量容易测量，哪些量不易测量？

$\Delta F$ 、 $\ell$ 、 $d$  都比较容易测量，唯有  $\Delta \ell$  因十分微小，不易测量准确。

3. 从上面的分析可以看出  $\Delta \ell$  的测量是本实验要解决的关键问题，为了能准确测量这样微小的伸长量，必须采用哪些特殊的方法？

(1) 采用 CCD 系统 (CCD 摄像机和监视器系统)，钢丝的伸长量可以在监视器上直接显示出来；

(2) 采用百分表系统，钢丝的伸长量可在度盘上显示出来；

(3) 采用光杠杆系统，将微小伸长量放大后再测该长度。

本实验采用方法 (3) 进行测量。

4. 结合书中图 2 理解光杠杆系统测量微小伸长量的原理，并将定义式改写为实验公式：

$$E = \frac{8lBg}{\pi D^2 b} \cdot \frac{\Delta m}{\Delta x}$$

请根据实验提供的实验仪器对上述量选择测量工具？

$l$  和  $B$  用卷尺测量， $D$  用千分尺， $b$  用游标卡尺。 $\Delta m$  用标准砝码， $\Delta x$  用望远镜。前 4 个量是直接测量，后 2 个量是双变量测量，目的是求  $m$  对  $\Delta x$  的变化率。

5. 如何根据几何光学的原理来调节望远镜、光杠杆和标尺之间的位置关系？如何调节望远镜？

(1) 望远镜，平面镜，标尺的位置关系要仔细调节，使该标尺在平面镜中的像处在望远镜的光轴上，只有这样，才能在望远镜中看到标尺的像。

(2) 望远镜的光轴与平面镜的法线平行。标尺平面要竖直。

望远镜的调节

(1) 调节目镜，看清分划板。

(2) 调节物镜，使“目标”成像在分划板上，这里的“目标”是指什么？

6. 在砝码盘上加载时为什么采用正反向测量取平均的办法？

为了消除弹性形变的滞后效应带来的系统误差。

课后思考题

1. 望远镜，光杠杆，标尺这一测量系统，调节较困难，实际上用一台激光器取代

望远镜也可以测量微小伸长量。不仅调节容易，也消除了由于调节不精确带来的系统误差。请你设计出这一测量系统，并推导出测量公式，说明测量方案。

## 原始数据及数据处理

表1 第一组 钢丝受外力后伸长量的测量

次数	砝码质量	增重读数	减重读数	平均读数	偏转量	逐4相减
1	0.000	3.80	3.49	3.65	0.00	1.95
2	1.000	3.10	2.79	2.95	0.70	1.77
3	2.000	2.65	2.32	2.49	1.16	1.67
4	3.000	2.25	1.80	2.03	1.62	1.53
5	4.000	1.85	1.55	1.70	1.95	
6	5.000	1.15	1.20	1.18	2.47	
7	6.000	0.82	0.81	0.82	2.83	
8	7.000	0.50	0.49	0.50	3.15	

$b=9.72\text{mm}$   $D=169.00\text{cm}$   $L_0=65.10\text{cm}$   $d_{\text{上}}=0.702\text{mm}$   $d_{\text{中}}=0.701\text{mm}$   $d_{\text{下}}=0.693\text{mm}$

表2 第二组 钢丝受外力后伸长量的测量

次数	砝码质量	增重读数	减重读数	平均读数	偏转量	逐4相减
1	0.000	4.38	4.23	4.31	0.00	2.05
2	1.000	3.70	3.51	3.61	0.70	1.74
3	2.000	3.21	3.00	3.11	1.20	1.62
4	3.000	2.80	2.52	2.66	1.65	1.55
5	4.000	2.40	2.12	2.26	2.05	
6	5.000	2.02	1.72	1.87	2.44	
7	6.000	1.63	1.35	1.49	2.82	
8	7.000	1.29	0.92	1.11	3.20	

表3 第三组 钢丝受外力后伸长量的测量

次数	砝码质量	增重读数	减重读数	平均读数	偏转量	逐4相减
1	0.000	0.91	0.91	0.91	0.00	1.47
2	1.000	0.49	0.45	0.47	0.44	1.37
3	2.000	0.12	0.03	0.08	0.83	1.27
4	3.000	-0.21	-0.28	-0.25	1.16	1.25
5	4.000	-0.52	-0.60	-0.56	1.47	
6	5.000	-0.88	-0.92	-0.90	1.81	

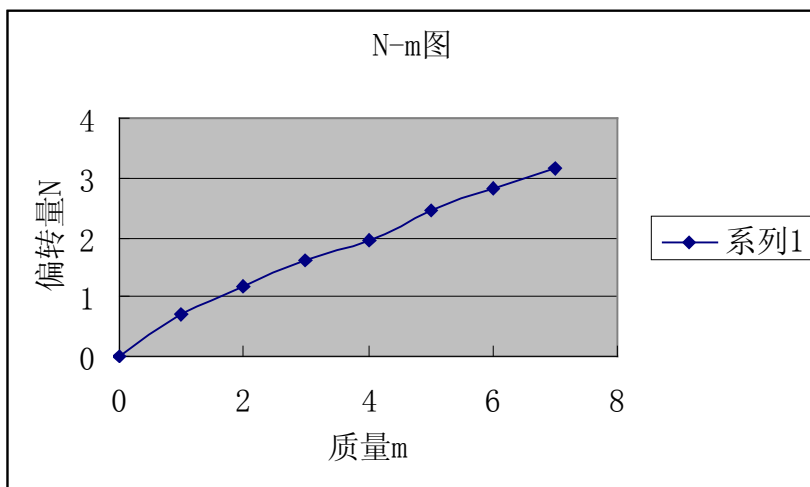
7	6.000	-1.15	-1.22	-1.19	2.10	
8	7.000	-1.45	-1.55	-1.50	2.41	

取第一组数据用逐差法处理：

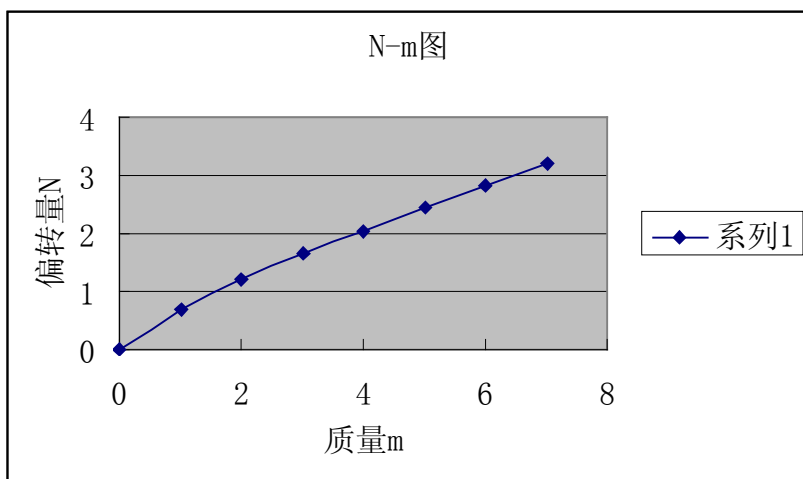
得： $E=1.64 \times 10^{11} \text{N/m}^2$

三组数据分别用作图法得：

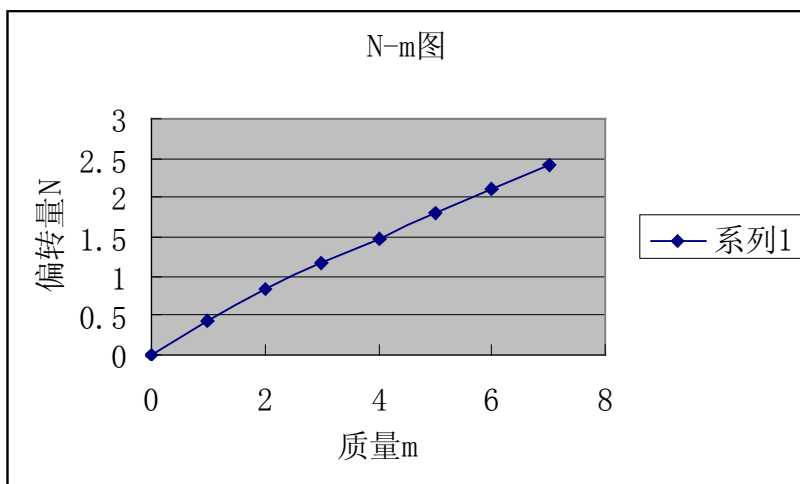
第一组



第二组



第三组



最小二乘法:

第一组

砝码质量 $m(kg)$	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000
偏转量 $\Delta x(cm)$	0.00	0.70	1.16	1.62	1.95	2.47	2.83	3.15

$$D=169.00\text{cm} \quad l_0 = 65.10 \text{ cm} \quad d = 0.699 \text{ mm} \quad b = 79.72 \text{ mm}$$

由计算器的回归运算得:

$$x \text{ 平均} = 1.735 \quad x \text{ 平均的平方} = 3.010 \quad x \text{ 平方的平均} = 4.03$$

$$y \text{ 平均} = 3.5 \quad y \text{ 平均的平方} = 12.25 \quad y \text{ 平方的平均} = 16.5$$

$$x \text{ 平均乘以 } y \text{ 平均} = 6.0725 \quad x \text{ 与 } y \text{ 乘积的平均} = 8.38$$

$$k = 2.26 \times 10^2$$

$$E = 1.59 \times 10^{11}$$

$$r = 0.99$$

第二组

砝码质量 $m(kg)$	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000
偏转量 $\Delta x(cm)$	0.00	0.70	1.20	1.65	2.05	2.44	2.82	3.20

由计算器的回归运算得:

$$k=2.23 \times 10^2$$

$$r=0.99$$

第三组

砝码质量 m(kg)	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000
偏转量 $\Delta x$ (cm)	0.00	0.44	0.83	1.16	1.47	1.81	2.10	2.41

由计算器的回归运算得:

$$k=2.94 \times 10^2$$

$$r=0.99$$

**讨论的问题:**

1. 原长测量的起始点和终止点的选取? 测量方法? 为什么这样选取? 学生在测量中易出现的问题?

三种说法: 书上认为上夹头中点到下夹头下端。

上夹头中点到下夹头中点

讨论结果: 定为原长从上夹头下端面测到下夹头的上端面, 将下夹头上圆柱实验室给出。

2. 在增减砝码时, 有时标尺读数差别较大, 有时标尺读数不变, 怎样分析出现这种情况的原因?

下卡头处有摩擦, 或摩擦过大, 摩擦过大原因一是生锈, 二是支架不竖直。

初始配重不够, 钢丝不直, 易出现标尺读数有些点过大的情况。

3. 本实验中的几个长度量采用几种不同的仪器来测量, 为什么要这样安排? 实验中哪个量的测量误差对结果的影响最大? 如何进一步改进?

$$\frac{U_E}{E} = \sqrt{\left(\frac{u_l}{l}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{u_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{u_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{u_k}{k}\right)^2}$$

$$\frac{u_l}{l} = \frac{0.2}{651} = 3.07 \times 10^{-4}$$

$$\frac{u_D}{D} = \frac{0.2}{1690} = 1.18 \times 10^{-4}$$

$$\frac{2u_d}{d} = \frac{0.004 \times 2}{0.699} = 0.01$$

$$\frac{u_b}{b} = \frac{0.02}{79.72} = 2.51 \times 10^{-4}$$

$$\frac{u_k}{k} = \frac{0.2}{19.5} = 0.01$$

由以上的计算可知，实验中钢丝直径及光杠杆测量的标尺的变化量的测量误差对结果的影响最大。

4. 书中钢丝直径的测量方法是否符合杨氏模量的定义，需进一步探讨？

讨论后的结论为：书中钢丝直径的测量不符合杨氏模量的定义，只对钢丝初始时的直径进行测量即可，无需再加 7 千克的配重测其直径。

## 实验 29 声速的测量

——主讲教师：戚非

### 教学目标

1. 学生了解声波产生的原理，声速测量的原理与方法；
2. 进一步熟悉信号发生器和示波器的使用。
3. 进一步掌握逐差法处理数据。

### 教学方法

研究式，答辩式

### 实验任务

1. 接好电路，并选择合适的信号频率
2. 用相位法测波长：每遇一个相同点，测一个接收器的位置  $x$ ，连续测 10 个数据，用逐差法处理数据。
3. 共振法测波长：连续测量 8 个声压最大时接收器的位置，用逐差法处理数据

### 实验原理

声波速度  $V$  与频率和波长  $\lambda$  的关系为  $V = \gamma\lambda$ 。超声波发生器利用压电体的逆压电效应，即在交流电压下使压电体产生机械振动，而在空气中激发出声波，声波频率由频率计直接读出。波长可用下面两种方法测出，原理见图 3：

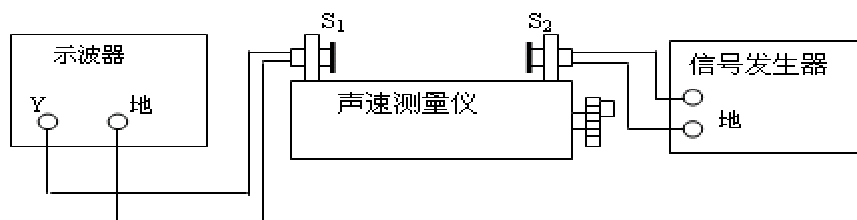


图 3 驻波法测声速实验装置图

#### 1. 相位法

将发射换能器输出的交变电信号输入示波器 X 轴，而将接收换能器输出的信号输入示波器 Y 轴，则荧光屏上就能观察到李萨如图形，调节接收换能器到发射换能器的间距，使荧光屏上相应于相位  $\Delta\psi$  改变  $2\pi$ ，则两换能器之间的距离变化了  $\lambda$ 。



## 2 共振法

在发生器和接收器之间的波为驻波，接收器端面处于波节时，按声压来说是处于波腹，经接受器转换成的电信号也最强。移动接收器，两次出现最强的电信号时接收器之

间的距离即为  $\frac{1}{2}\lambda$

### 实验数据

$$\gamma = 42.0\text{kHz}$$

#### 1 相位法：

位置记录

i	1	2	3	4	5	6	7	8
一	12.412	20.949	29.602	36.286	46.725	54.185	63.662	72.090
二	12.453	21.183	29.975	38.673	47.065	55.528	64.042	72.362
三	12.639	21.344	30.534	39.490	47.211	55.739	64.180	72.703
四	12.702	21.615	31.000	39.809	47.484	55.940	64.500	72.991
五	12.732	21.782	31.140	39.922	47.632	56.045	64.536	73.140
$\bar{X}_i$	12.590	21.375	30.466	39.306	47.223	55.487	64.184	72.657

#### 2. 共振法

	1	2	3	4	5	6	7	8
$X_i$	12.700	17.005	21.290	25.459	29.790	34.034	38.408	42.680
$X_{10+i}$	55.780	60.170	63.375	67.605	71.915	76.340	80.489	84.740

$$1 \quad 4\lambda = 34.633, 34.122, 33.718, 33.621$$

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{16}(34.633 + 34.112 + 33.718 + 33.621) = 8.505\text{mm}$$

$$v = \lambda\gamma = 357(\text{m/s})$$

$$2 \quad 5\lambda = 43.080, 43.166, 42.085, 42.164, 42.126, 42.301, 42.081, 42.060$$

$$\bar{\lambda} = 8.476(\text{mm})$$

$$v = 356(\text{m/s})$$

## 实验 30 用光电效应测普朗克常量

——主讲教师：刘 军

### 教学目标：

用光电效应测普朗克常数

### 教学方式：

采用研究式、答辩式教学方法

### 重点及难点：

1. 光电效应理论
2. 截止电压的测定

### 教学过程：

1. 光电效应定义
2. 光电效应规律
3. 爱因斯坦光量子假说的解释

$$h\nu = \frac{1}{2} mV_{\max}^2 + W \quad \text{①}$$

当光电子具有最大动能

$$\frac{1}{2} mV_{\max}^2 = eV_0 \quad \text{②}$$

代入① .  $h\nu = eV_0 + h\nu_0$

$$\text{即 } V_0 = \frac{h}{e}(\nu - \nu_0)$$

$V_0$  与  $\nu$  成线性关系，直线的斜率  $\frac{h}{e}$  截距为  $\nu_0$

### 基本步骤：

1. 仪器调整，设置电压电流量程。
2. 预热汞灯。
3. 连接仪器并调整光源与暗盒高度。
4. 检测暗电流。
5. 测截止电压。

### 注意事项：

1. 实验中尽量防止散射光进入光电管。

2. 由于汞灯具有紫外辐射，切忌用肉眼直视汞灯。
3. 更换滤色片时要先盖住光源出孔，试验完毕盖住光电管暗盒。

## 数据及处理:

$$\lambda = 3650 \text{ \AA}$$

$U_{KA}(V)$	-2.00	-1.90	-1.80	-1.70	-1.60	-1.50	-1.40	-1.30	-1.20	-1.15	-1.10
$i_{KA}(\mu A)$	-1.5	-1.5	-1.4	-1.4	-1.3	-1.1	-0.9	-0.5	-0.1	0.00	0.3
$U_{KA}(V)$	-1.00	-0.90	-0.80	-0.70	-0.60	-0.50	-0.40	-0.30	-0.20	-0.10	0.00
$i_{KA}(\mu A)$	0.8	1.4	2.1	2.8	3.5	4.3	5.3	6.2	7.1	7.9	8.7

$$\lambda = 4050 \text{ \AA}$$

$U_{KA}(V)$	-2.00	-1.90	-1.80	-1.70	-1.60	-1.50	-1.40	-1.30	-1.20	-1.10	-1.00
$i_{KA}(\mu A)$	-1.0	-1.0	-1.0	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5
$U_{KA}(V)$	-0.90	-0.83	-0.80	-0.70	-0.60	-0.50	-0.40	-0.30	-0.20	-0.10	0.00
$i_{KA}(\mu A)$	-0.2	0.00	0.1	0.6	1.3	1.9	2.6	3.4	4.1	4.9	5.5

$$\lambda = 4360 \text{ \AA}$$

$U_{KA}(V)$	-2.00	-1.90	-1.80	-1.70	-1.60	-1.50	-1.40	-1.30	-1.20	-1.10	-1.00
$i_{KA}(\mu A)$	-0.9	-0.9	-0.9	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7	-0.7	-0.6
$U_{KA}(V)$	-0.90	-0.80	-0.70	-0.60	-0.50	-0.40	-0.30	-0.20	-0.10	0.00	
$i_{KA}(\mu A)$	-0.4	-0.2	0.0	0.5	0.9	1.7	2.4	3.0	3.7	4.3	

$$\lambda = 5460 \text{ \AA}$$

$U_{KA}(V)$	-2.00	-1.90	-1.80	-1.70	-1.60	-1.50	-1.40	-1.30	-1.20	-1.10	-1.00
$i_{KA}(\mu A)$	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
$U_{KA}(V)$	-0.90	-0.80	-0.70	-0.60	-0.50	-0.45	-0.40	-0.30	-0.20	-0.10	0.00
$i_{KA}(\mu A)$	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	0.0	0.3	0.8	1.3	1.9	2.3

$$\lambda = 5770 \text{ \AA}$$

$U_{KA}(V)$	-2.00	-1.90	-1.80	-1.70	-1.60	-1.50	-1.40	-1.30	-1.20	-1.10	-1.00
$i_{KA}(\mu A)$	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
$U_{KA}(V)$	-0.90	-0.80	-0.70	-0.60	-0.50	-0.40	-0.30	-0.20	-0.10	0.00	
$i_{KA}(\mu A)$	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.0	0.1	0.4	0.7	1.0	1.3	

波长、频率与截止电压表

波长	356.0	404.7	435.8	546.1	577.0
频率( $\times 10^{-14} \text{ HZ}$ )	8.22	7.41	6.88	5.49	5.20
$V_0(V)$	-1.15	-0.83	-0.70	-0.45	-0.50

## 实验 32 迈克尔逊干涉的调节和使用

——主讲教师：王晓秋

### 教学目标

学会迈克尔逊干涉仪的调节及测定钠光波长。

### 教学方法

采用讨论式、提案式教学方法。

### 教学内容

学生能独立调节迈克尔逊干涉仪，达到可记录测量数据的程度，即已消除了视差；视场中出现清晰的、对比度较好的干涉圆环，转动微调手轮可见干涉条纹“涌出”或“陷入”。

在测量中要消除一起的空程差；学会读取数据。

采用逐差法进行数据处理。

### 重点与难点

迈克尔逊干涉仪的调节。

### 教学过程设计

课堂讨论

本实验测什么？

钠光波长。

怎样测？

调节好迈克尔逊干涉仪，利用等倾条纹的变化测钠光波长。

迈克尔逊干涉仪哪些钮学生可动？哪些钮学生不可动？

除了 M1 背面的三个螺钉学生不允许以外，其它 7 个钮都可动。

结合挂图说明光路图和产生干涉条纹的原因。注意：

(1) 图 1 中的  $P_1$  为分光板，后表面镀有半反射膜。 $P_2$  为补偿板，使两光束在玻璃中的光程相等。

(2) 公式 (4) 应进一步推导为  $\lambda = 2 \frac{\Delta d}{\Delta k}$

2. 测量时要注意消除仪器的空程误差。

原始数据及数据处理范例

数据记录表格

k	0	50	100	150	200	250	300	350
d(mm)	30.77583	30.79029	30.82166	30.82166	30.83685	30.85181	30.86711	30.87372

$$b_1 = \frac{30.83685 - 30.77538}{200} \approx 3074 \times 10^{-7}$$

$$\text{同理 } b_2 \approx 3067 \times 10^{-7}; \quad b_3 = 3041 \times 10^{-7}; \quad b_4 = 2603 \times 10^{-7}$$

$$b = \frac{(3074 + 3076 + 3041 + 2603) \times 10^{-7}}{4} \approx 2948 \times 10^{-7}$$

$$\text{则 } \lambda = 2b = 2948 \times 10^{-7} \times 2 \approx 590 \times 10^{-6} \text{ (mm)}$$

### 思考题

为什么移动  $M_1$  时干涉条纹的可见度变化呢？

因为实验中的钠光，包含两种相差很小的波长  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$ ，当两种光产生的条纹为重叠的亮条纹和暗条纹时，可见度低；当两种光产生的亮条纹重叠或暗条纹重叠时，可见度高。

## 实验 40 伏安法测电阻及电表的选择

——主讲教师：于淑华

### 教学目标

1. 学习和训练在实际测试过程中，如何根据误差要求和误差分配原则，对实验仪器作出合理的选择。
2. 学习和训练如何根据误差分析选定简单测量电路，确定电表的量程、规格、电源输出电压。
3. 学习分析系统误差及其修正方法。

### 教学方法

采用研究式，答辩式教学方法

### 实验内容

1. 用不同量程的直流电流表、电压表测出两只电阻的阻值，并进行误差分析。
2. 完成课程论文并进行答辩。

### 重点及难点

重点：分析系统误差及其修正方法。

难点：根据误差分析选定简单测量电路，确定电表的量程、规格、电源输出电压。

### 操作提示及操作程序编写

编写操作程序时，可根据下面提示的框架来编写，但应结合给出的数据，边运算边说明。

1. 选择电表的量限，使  $\frac{V_m}{I_m}$  与被测电阻的标称值接近。
2. 根据标称值与  $\sqrt{R_A R_V}$  的数值比较，决定采用内接法或外接法。
3. 连接电路（电路图自行设计）后进行测量，并对测量结果进行修正。
4. 根据  $\sqrt{\left(\frac{U_V}{V}\right)^2 + \left(\frac{U_I}{I}\right)^2} < 2\%$  的要求，解出 V 和 I 的取值范围。不等式中有两个未知量 V 和 I，求出的解不是唯一的，为了得到唯一解，应再加上一个限制条件，

比如，令  $\frac{U_V}{V} = \frac{U_I}{I}$  也可称为不确定度均分原理，这样  $\sqrt{\left(\frac{U_V}{V}\right)^2 + \left(\frac{U_I}{I}\right)^2} < 2\%$  可

变换为下面的两个不等式

$$\sqrt{2\left(\frac{U_V}{V}\right)^2} < 2\% \quad , \quad \sqrt{2\left(\frac{U_I}{I}\right)^2} < 2\% \quad \text{将} \frac{U_V}{V} = \frac{a_V \% \cdot V_m}{V} \quad \text{代入} \sqrt{2\left(\frac{U_V}{V}\right)^2} < 2\%$$

可解出 V, 将  $\frac{U_I}{I} = \frac{a_I \% \cdot I_m}{I}$  代入  $\sqrt{2\left(\frac{U_I}{I}\right)^2} < 2\%$  可解出 I。

要求：学生检索与本实验项目相关的文献至少 1 份，年限在 03-05 年度。

### 实验数据与处理

	1	2	3	4	5
V (伏)	2. 0				
I (微安)	44. 4				
$\frac{V}{I} = R'_x$ (欧)	45000				
$\frac{U}{R}$ (%)	1%				

根据待测电阻的标准值  $R_x = 40k\Omega$ ，选择：

- (1) 电压表量程：  $V_{\max} = 2V$ ，内阻  $R_V = 2154\Omega$ ，准确度等级  $a_V = 1.0$
- (2) 电流表量程：  $I_{\max} = 50\mu A$ ，内阻  $R_A = 3990\Omega$ ，准确度等级  $a_A = 0.5$
- (3) 接法：采用内接法
- (4)  $\frac{U}{R} < 2\%$ ，电压表在 1.2V--2.0V 之间测读；电流表在 25 微安—50 微安之间测读。

从所测数据计算不确定度：

$$u_V = 2 \times 1.0\% = 0.02V$$

$$u_A = 50 \times 10^{-6} \times 0.5\% = 0.25 \times 10^{-6}$$

$$\frac{U_R}{R} \sqrt{\left(\frac{u_V}{V}\right)^2 + \left(\frac{u_I}{I}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0.25 \times 10^{-6}}{44.4 \times 10^{-6}}\right)^2 + \left(\frac{0.02}{2}\right)^2} = 0.01 = 1\%$$



**创新课题**

某一电阻器约  $1\text{k}\Omega$ ，请设计一个伏安法测电阻的电路，要求  $\frac{U}{R} < 0.5\%$

提供仪器：

电压表  $a_V=0.2$ ， $0\sim 30\sim 60\text{mV}$  内阻  $15\text{k}\Omega/\text{V}$

电流表  $a_I=0.2$ ， $0\sim 50(4\text{k}\Omega)\sim 100\mu\text{A}(2\text{k}\Omega)$

稳压电源，滑线变阻器，开关等。

## 实验 45 固体导热系数的测量

——主讲教师：于有凡

### 教学目标：

1. 掌握一种测量不良导体导热系数的方法。
2. 测量橡皮导热系数

### 教学方法：

采用研究式，答辩式教学方法

### 实验内容：

1. 温度升高。180V~200V  $\xrightarrow{20 \text{ 分钟}}$  150V，每隔 5 分钟读一下温度示数。如 10 分钟上下  $\theta_1$  和  $\theta_2$  都不变。即认为稳态。记下  $\theta_1$  和  $\theta_2$  的值。

2. 抽出样品。让铜盘温度上升 1mv 后，移去 A 圆筒。盖上原来橡皮，让 P 盘自然冷却，每隔 30 秒读一次  $\theta$ ，由  $\theta_2$  邻近温度读出冷却数率  $\left. \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \right|_{\theta=\theta_2}$

3. 热电偶插入 A.P 小孔时，要抹上些硅油，插到底部。热电偶冷端插入浸于冰中的细玻璃管内，管内也要灌入适当的硅油。冷端在冰中视为  $0^\circ\text{C}$

4. B 样品几何尺寸。甲游标卡尺多次测量取平均值。散热盘质量  $m$  约 1Kg. 可用药物天平称衡。

5. 本实验选用铜—康铜热点电偶。温差  $100^\circ\text{C}$  时，温差电动势约 4mv. 故现用量程 0-10mv，并能测到 0.01mv 的数子电压表。

测  $\theta_1$  时 G 板向上方，测  $\theta_2$  时 G 板向下方。

### 重点和难点：

1. 稳态
2. 散热速率操作

### 教学过程设计：

傅立叶热传导方程式。  $\frac{\Delta Q}{\Delta T} = \lambda \cdot A \cdot \frac{\theta_1 - \theta_2}{H}$   $\lambda$  为导热系数，单位为瓦特每米

开尔文 当  $\theta_1$  与  $\theta_2$  稳定  $\frac{Q}{t} = -\lambda \frac{d\theta}{dh} s$  负号表示热量向温度低的方向传播。

铜盘在  $\theta_2$  的冷却速率  $\left. \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \right|_{\theta=\theta_2}$  既：  $\theta_1$  和  $\theta_2$  值稳定不变，这时可以认为发热体 A 通过样品上平面传入的热量与由散热盘 p 想周围环境散失的热量的速率相等。

冷却速率和热容等于散热速率

$$mc \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \Big|_{\theta=\theta_2} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

代入 (2) 式得

$$\lambda = mc \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \Big|_{\theta=\theta_2} \times \frac{h}{\theta_1 - \theta_2} \times \frac{1}{\pi R^2}$$

(3) 即为本次实验的应用方程

**数据处理:**

$\theta_1 (mv)$	3.57	3.59	3.60	3.62	3.62	3.62	3.62	3.62
$\theta_2 (mv)$	2.38	2.41	2.44	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45

$t$	0	30s	60s	90s	120s	150s
$\theta (mv)$	2.57	2.53	2.49	2.45	2.42	2.38

例 1: (未修正型)

$$\bar{m} = 903.72 \text{ (g)}$$

$$C = 0.0917 \text{ cal/g} \cdot \text{K}$$

$$2R_{\text{接}} = 12.906 \text{ cm}$$

$$h = 7.93 \text{ mm}$$

$$\lambda = mc \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \Big|_{\theta=\theta_2} \times \frac{h}{\theta_2 - \theta_1} \times \frac{1}{\pi R^2}$$

$$= 903.72 \times 0.0917 \times \frac{2.53 - 2.38}{120} \times \frac{0.793}{3.14 \times 6.45^2}$$

$$= 5.37 \times 10^{-4} \text{ 卡/秒} \cdot \text{厘米} \cdot \text{度}$$

$$= 0.23 \text{ w/m}^0 \text{ c}$$

误差分析

$$E \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta(\delta\theta)}{\delta\theta} = \frac{0.01 \times 2mv}{(2.53 - 2.38)mv} = 0.13$$

$$\Delta\lambda = 0.23 \times 0.13 = 0.03$$

结论:

$$\lambda \pm \Delta\lambda = (0.23 \pm 0.03) \text{ w/cm}^0 \text{ c}$$

例 2: (修正型)

V=150v 时, 每隔 2 分钟记一次数据

$\theta_1(mv)$	3.54	3.49	3.43	3.40	3.38	3.37	3.60	3.35	3.35
$\theta_2(mv)$	2.63	2.58	2.54	2.52	2.49	2.45	2.45	2.44	2.42
$\theta_1(mv)$	3.35	3.35	3.35	3.35					
$\theta_2(mv)$	2.41	2.40	2.40	2.40					

散热铜板 P 在\*附近散热, 每隔 30 秒纪录一次

$\theta(mv)$	2.62	2.57	2.50	2.46	2.40	2.35	2.30	2.26	2.22	2.18	2.13	2.10
--------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

橡胶盘参数

d/mm	h/mm
128.70	8.02
129.04	7.96
129.06	8.04
$\bar{d} / mm = 128.93$	$\bar{h} / mm = 8.00$

下铜盘参数:

$$m=88848g \quad R=64.99mm \quad h=77.50$$

$$\lambda = 888.84 \text{ 克} \times 0.0917 \text{ 卡} / \text{克} \cdot \text{度} \times \frac{(2.50 - 2.30) \text{ 毫伏}}{12.0 \text{ 秒}} \times \frac{0.80 \text{ 厘米}}{(3.35 - 2.40) \text{ 毫伏}} \times \frac{1}{3.14 \times (6.45)^2 \text{ 厘米}^2} \\ \times \frac{(6.50 + 2 \times 0.78) \text{ 厘米}}{(2 \times 6.50 + 2 \times 0.78) \text{ 厘米}} = 4.8 \times 10^{-4} \text{ 卡} / \text{秒} \cdot \text{厘米} \cdot \text{度} = 0.0020 \text{ W} / \text{cm} \cdot ^0 \text{ c}$$

误差主要来自冷却速率这一项,即

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \approx \frac{\Delta(\delta\theta)}{\delta\theta} = \frac{0.01 \times 2(\text{毫伏})}{(2.50 - 2.30)\text{毫伏}} = 0.10$$

$$\Delta\lambda = 0.0020 \text{ W/cm}\cdot^{\circ}\text{C} \times 0.10 = 0.0002 \text{ W/cm}\cdot^{\circ}\text{C}$$

$$\text{因此 } \lambda \pm \Delta\lambda = (0.0020 \pm 0.0002) \text{ W/cm}\cdot^{\circ}\text{C}$$

**结论:**

例 1 误差大,不可加盖散热

例 2 误差小,不加盖散热,略作修正

## 实验 47 电饭锅温度控制电路的设计与组装

——主讲教师：于淑华

### 教学目标

1. 让学生掌握电饭锅温度控制电路的工作原理
2. 在教材的提示下能独立设计出温度控制电路，
3. 用所给出的器件连接出温控电路并进行检测和分析

### 教学方法

研究式，答辩式

### 实验原理

#### 1) 磁钢限温器的工作原理

磁钢限温器是电饭锅的限温元件，在常温下，按下限温

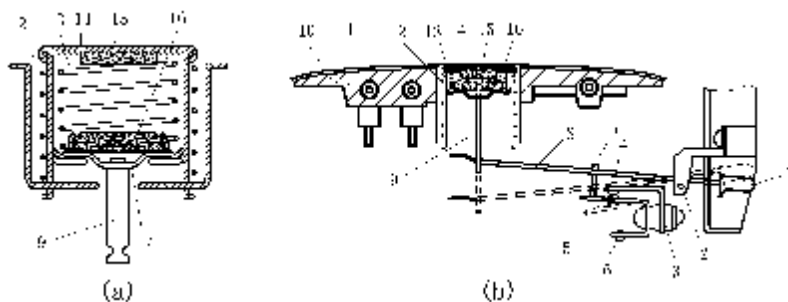


图 4 磁钢限温器的结构及安装图

当温度上升到一定温度时，感温磁钢的磁化强度急剧下降到零，两磁钢间吸合力小于内簧弹力与永久磁钢重力之合力，永久磁钢下落，带动杠杆动作，使动触点离开静触点，如图中虚线所示，从而断电。

#### 2) 双金属片保温器

下图为双金属片保温器结构示意图。

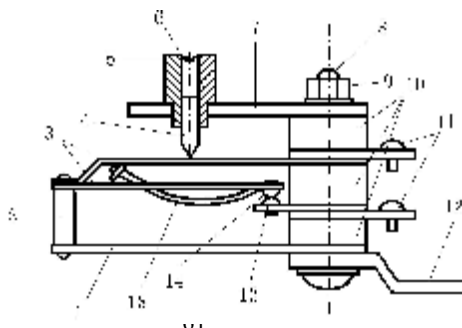


图 5 双金属片保温器结构示意图

在常温下，双金属片处于平直状态，温度升高产生弯曲变形，切断电源；当温度下降时，双金属片逐渐恢复原状，此时，动静触点重新接触，再次接通电源。此后不断重复这一过程，这样就实现了保温的目的。

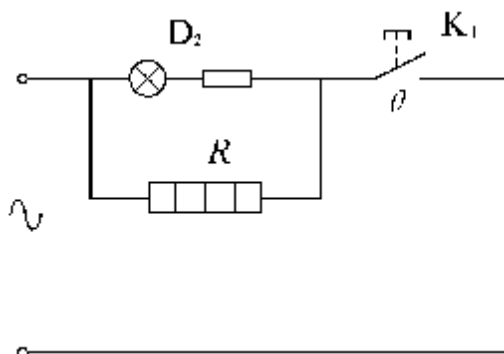
## 实验任务

1. 磁钢限温器、双金属片保温器的工作原理
2. 设计自动控制电路并连接电路
3. 检验该电路的工作过程，看其是否符合设计要求，并作出评价。

## 方法提示

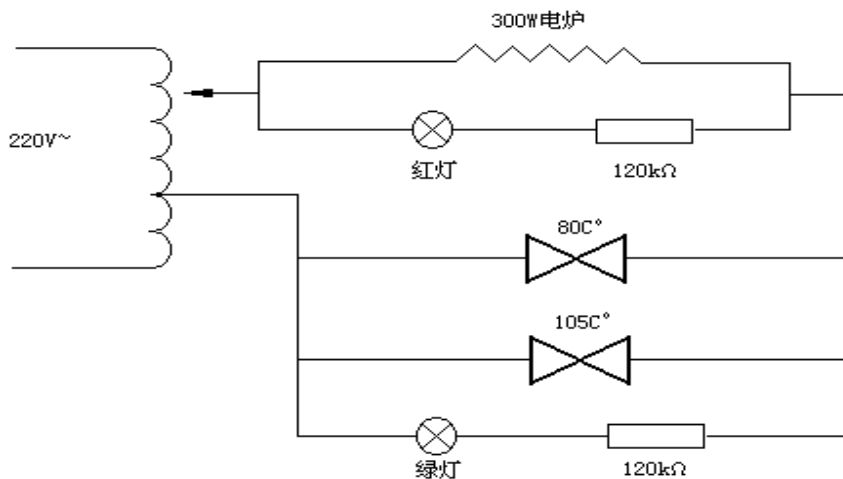
1. 电加热器与开关串联后接入电源，绝对不可把电加热器与开关并联，或者不接开关直接将电加热器接入电源。

2. 提示电路中， $K_1$  闭合，则  $D_2$  和  $R$  同时工作，即红灯亮、电加热盘升温，当升温到接近  $T_b$  时， $K_1$  自动断开，从而使  $R$  断电。由于电热丝有余热，电加热盘温度还提示电路要持续上升一段后开始下降。考虑：电加热器在加热与保温两种状态下实际起着什么作用？



## 检测记录

按自动控温电路图接线



### 自动控温电路图

当 $<80^{\circ}\text{C}$ 时加温，红灯亮，黄灯灭。 $>105^{\circ}\text{C}$ 时断电，黄灯亮，红灯灭。当温度再次 $<80^{\circ}\text{C}$ 时又加温，红灯，黄灯交替亮，呈保温状态。

#### 重点及难点

- 1 磁钢限温器、双金属片保温器的工作原理
- 2 电加热器在加热与保温两种状态下起着什么作用



## 实验 48 万用表电路的设计与组装

——主讲教师：徐朋

### 教学目标

- 1.理解万用表组装原理。
- 2.会根据量程计算各电阻阻值。
- 3.会设计检验电路。

### 教学方法

采用研究式，答辩式教学方法

### 重点难点

理解电路的设计思想，知道给出量程怎样计算电阻阻值。欧姆档中值电阻的含义与作用，外电阻与表头示数的关系。

### 实验任务

- (1) 根据量程计算出  $R_1 \sim R_7$  电阻阻值，将电阻按综合电路连接到实验板上。
- (2) 自行设计直流电流档，电压档的检验电路，理解欧姆档的调零原理及怎样测出欧姆档的定标曲线，了解何为中值电阻。
- (3) 按自己设计的电路依次作电路档，电压档的检测，每档分别记录三次标准表、设计表的显示值；作欧姆档的定标曲线  $I - R_x$  图，检查中心电阻欧姆是否符合要求。
- (4) 要求学生课后查阅文献，编写课程论文。

电阻的计算：

$$\text{表头满偏电流 } I_g = 50\mu A$$

$$R_m = R_g + R_0 = 5k\Omega$$

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + R_7 = 5k\Omega$$

#### 1. 电流档

50mA 档（见图 4）

$$I_g (R_m + R_s - R_1) = (0.05 - I_g) R_1$$

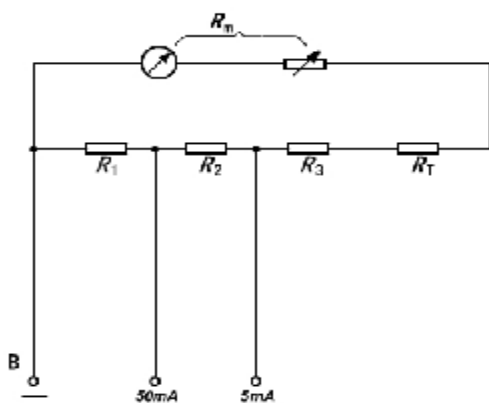


图4. 电流档的设计

$$R_1 = \frac{I_g (R_m + R_s)}{50mA} = 10\Omega \quad (1)$$

同理可求  $R_2 = 90\Omega$

1. 电压档

5V 档 (见图 5)

$$I_g R_m + 2I_g R_4 = 5V \quad (2)$$

2.  $R_4 = 47.5K\Omega$

同理可求  $R_5 = 450k\Omega$

3. 欧姆档

x1k 档 (见图 6-a、b)

电池电压范围为 1.2---1.65V。取最小值 1.2V,  $R_1$  滑动端移至最右端表头内阻 (或中值电阻) 为

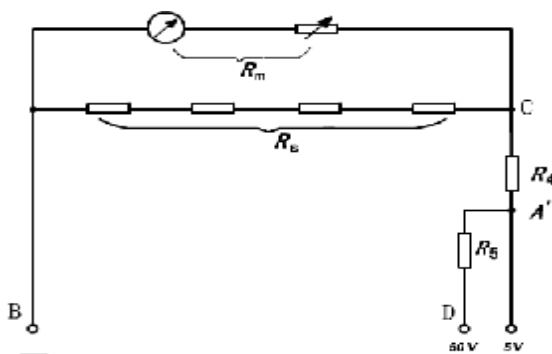


图5 直流电压档串阻的设计

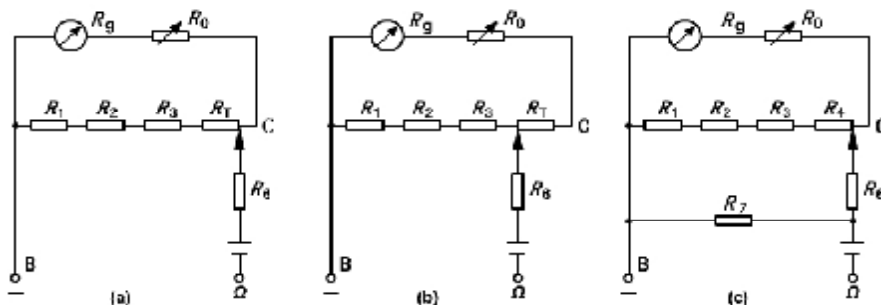


图6 电阻档的设计

$$R_K = \frac{1.2}{2I_g} = 12K\Omega$$

$$R_b = R_k - R_s // R_m = 9.5K\Omega$$

电池电压取最高值 1.65V 时， $R_T$  的滑动端移到最左侧有

$$I = \frac{1.65}{R_k}$$

$$R_7 = \frac{1.65R_s - I_g(R_s + R_n)R_k}{1.65} = 1364\Omega$$

$$R_3 = 3536\Omega$$

x10 档

$$R'_k = \frac{R_k}{100} = 120\Omega$$

$$R'_k = \left(\frac{R_m}{2} + R_6\right) // R_7 + 1$$

$$R_7 = 120\Omega$$

实验数据

5mA 档

标准表 (mA)	2.0	3.0	4.0
设计表 (mA)	2.0	3.2	4.2

50mA 档

标准表 (mA) (mA)	20	30	40
设计表 (mA)	18	27	37

5V 档

标准表 (V)	0.88	1.75	2.64
设计表 (V)	1	2	3

50V 档

标准表 (V)	8	17	27.5
设计表 (V)	10	20	30

欧姆档.X1K

$R_x (K\Omega)$	$\infty$	84	43	25	17.5	11.8	7.9	4.8	3.2	1.3	0
$I(\mu A)$	0	6	10	16	20	25	30	36	40	46	50

X10 $\Omega$ 

$R_x (\Omega)$	$\infty$	910	480	260	180	121	81	50	32	13	0
$I(\mu A)$	0	6	10	16	20	25	30	36	40	46	50

## 实验 49 模拟电子秤

——主讲教师：戚 非

### 教学目标

1. 初步了解金属箔式应变片传感器的工作原理并掌握其使用方法。
2. 了解金属箔式应变片传感器在电子秤中所起的作用。

### 教学方法

采用研究式，答辩式教学方法

### 实验内容

1. 分别将应变片接成直流全桥、交流全桥，并对其定标及对比测量。
2. 完成课程论文并进行答辩。

### 重点及难点

重点：应变电桥测量电路原理，金属箔式应变片原理。

难点：差动放大器，相敏检波器，移相器，低通滤波器的工作原理。

### 操作提示

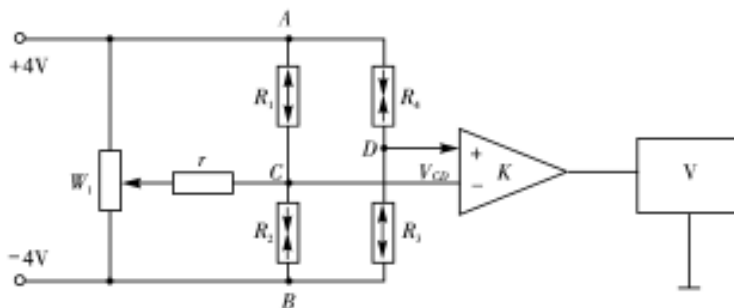


图 1 直流应变电桥电路图

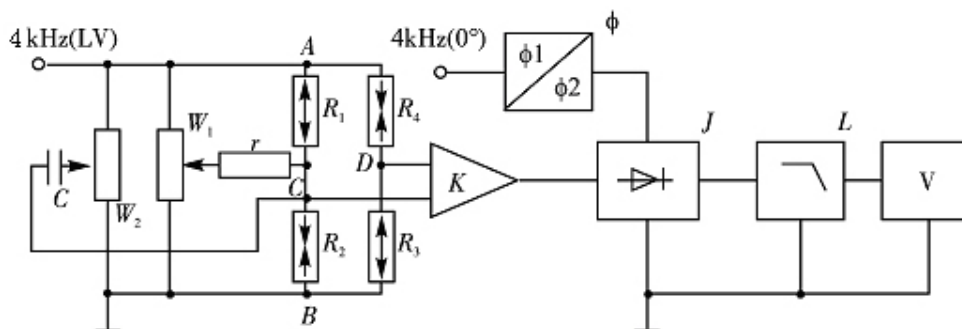


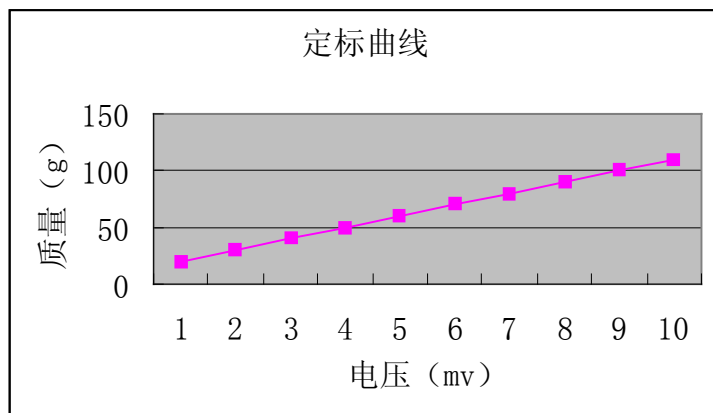
图 2 交流应变电桥电路图

1. 先将差动放大器调零（即当差动放大器输入电压为零，且增益最大时，输出电压为零）。首先用导线将差动放大器正负输入端与地端连接起来，然后将输出端接到电压表（实验仪中的 V / F 表是电压和频率两用表，拨到“V”为电压表，拨到“F”为频率表，需预热几分钟才能稳定下来）的输入插口，接通总电源及差动放大器电源。差动放大器增益旋钮调到最大，调整差动放大器的调零旋钮使电压表指示为零。
2. 按图 1 接线，将直流电桥调平衡（即当应变梁不受力时  $VCD = 0$ ）。
3. 首先将直流稳压电源打到  $\pm 4V$  档，然后旋转差动放大器增益旋钮，选择适当的放大增益，再调整电桥平衡电位器 W1，使电压表指零（电压表逐取 20V, 2V, 200mV 各量程调零）。
5. 在应变梁上加不同重量的砝码，读取对应的电压值，并根据测
6. 测量数据画出定标曲线。
7. 在应变梁上放置一个重量未知的重物，记录电压的读数，对照定标曲线确定重物的重量。
8. 按图 2 接线（R1, R2, R3 和 R4 的接法与图 2 相同），电桥激励必须从音频振荡器 LV 插口输出，频率调至 4kHz（调节方法是用导线将音频振荡器 LV 插口与 V / F 表相连，V / F 表打到“F”，调节音频振荡器频率，使频率表的示数为 4kHz）。
9. 调移相器，使电压输出最大。
10. 调电位器 W1, W2，使电压表指零。
11. 交流电桥定标及称重与直流电桥 3、4 方法相同。

## 实验数据

以直流电桥为例

质量 (克)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
电压 (伏)	0. 002	0. 004	0. 006	0. 008	0. 010	0. 012	0. 014	0. 016	0. 018	0. 020



对比测量:

标准电子秤所测质量: 33.7g

装配电子秤所测电压: 0.005v, 对应的质量为 35.0g

$$\text{百分误差 } E = \frac{|33.7 - 35.0|}{33.7} \times 100\% = 3.9\%$$

### 思考题

做完这个实验时你想想: 若将本实验设计的“电子秤”投入实际应用, 存在哪些问题? 怎样解决?

建议你在实验中仔细观察加减砝码过程中电压表的示数是否稳定? 把砝码全拿下来后电压表的示数是否为零? 查阅仪器说明书, 结合实际应用的电子秤, 提出改进方案, 看看效果如何?

## 实验 51 热敏电阻温度计的设计安装和使用

——主讲教师：王晓秋

### 实验目的

- 1 了解当前测温的方法
- 2 了解负温度系数热敏电阻的温度特性
- 3 掌握非平衡电桥电路及应用
- 4 设计和安装一台热敏电阻温度计，并对这台温度计的测量误差进行简要地测试和评价。

### 教学方法

采用研究式，答辩式教学方法

### 实验原理

热敏电阻能把温度信号变成电信号，从而实现了非电量的（电测法）测量。

负温度系数热敏电阻的温度特性

热敏电阻按其温度特性可分为正温度系数型、负温度系数型及开关型三大类。它们都具有半导体性质，温度低时，阻值高；温度高时，阻值下降，如图 1 所示，其方程可表示为：

$$R_T = Ae^{\frac{B}{T}} \quad (1)$$

式中 A、B 是与材料有关的常数。

#### 2. 非平衡电桥

非平衡电桥电路如图 2 所示，当  $R_1=R_2$ （对称电桥）及  $R_1=R_3$  时，电桥平衡，G 指零。如果  $R_1$  的阻值发生变化，则电桥的平衡条件被破坏，G 中就有电流通过，指针发生偏转，偏转越大，说明  $R_1$  变化也越大。

根据桥路的基尔霍夫方程：

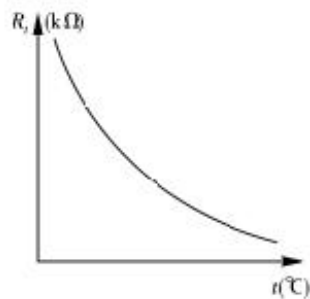
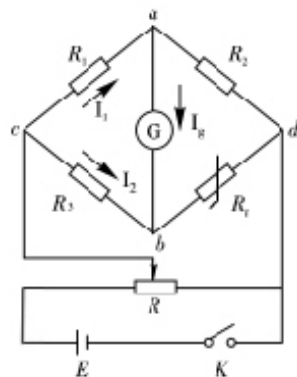


图 1 负温度系数热敏电阻的温度特性





$$\begin{cases} I_1 R_1 + I_g R_g - I_2 R_3 = 0 \\ (I_1 - I_g) R_2 - (I_2 + I_g) R_t - I_g R_g = 0 \\ I_2 R_3 + (I_2 + I_g) R_t = U_{cd} \\ R_1 = R_2 \end{cases}$$

图 2 非平衡电桥

解出  $I_g = \frac{(R_3 - R_t)U_{cd}}{2(R_g R_3 + R_3 R_t + R_t R_g) + R_1(R_3 + R_t)}$  (2)

由式 (2) 看出, 在  $R_1$  ( $R_2$ ),  $R_3$ ,  $R_g$  及  $U_{cd}$  恒定条件下,  $I_g$  的大小唯一地由  $R_t$  值来决定, 因而有可能根据 G 偏转的大小来直接指示温度的高低。

3. 热敏电阻温度计的实验电路如图 3 所示,

4. 电路参数的设计与计算

图 3 电路中需要设计计算的参数有四个, 下面分别介绍:

(1)  $U_{cd}$  是桥路的工作电压, 一般取 1.3V。

(2)  $R_3$  值的确定

$R_3$  放在下限温度  $t_1^\circ\text{C}$  的温度场中, 它的阻值为  $R_{t1}$ , 放在上限温度  $t_2^\circ\text{C}$  的温度场中, 它的阻值为  $R_{t2}$ ,  $R_{t1}$  和  $R_{t2}$  都可以在热敏电阻的温度特性曲线上查到。

确定  $R_3$  大小的原则是, 当热敏电阻处于  $t_1^\circ\text{C}$  温度时, 微安表应指零。这样, 在  $R_1=R_2$  的条件下,  $R_3$  必须等于  $R_{t1}$

(3)  $R_1$  ( $R_2$ ) 的确定

若温度计的测温上限  $R_{t2}$ , 微安表应满偏

即 
$$\begin{cases} R_t = R_{t2} \\ I_g = I_{gm} \end{cases} \quad (4)$$

将 (3)、(4) 式代入 (2) 式中

得 
$$I_{gm} = \frac{(R_{t1} - R_{t2})U_{cd}}{2(R_g R_{t1} + R_{t1} R_{t2} + R_{t2} R_g) + R_1(R_{t1} + R_{t2})}$$
 (5)

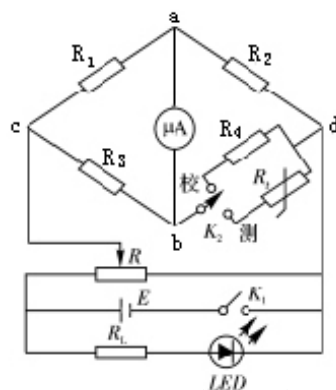


图 3 热敏电阻温度计的实验电路图

$$\text{由(5)式得 } R_1 = \frac{(R_{t1} - R_{t2})U_{cd}}{(R_{t1} + R_{t2})I_{gm}} - \frac{2(R_g R_{t1} + R_{t1} R_{t2} + R_{t2} R_g)}{R_{t1} + R_{t2}} \quad (6)$$

上式中的  $R_g$  和  $I_{gm}$  由实验室给出。

#### (4) $R_1$ 的确定

测量前, 必须将  $K_2$  扳至“校”, 目的是校准工作电压  $U_{cd}$ , 使其刚好等于设计值。“校”的目的也是为了校准刻度值, 使  $R_t=R_{t2}$  时,  $I_g=I_{gm}$ , 与(4)式相符。一般作法是将  $R_t$  的值固定为  $R_{t2}$ , 这样, 当  $K_2$  扳至“校”时, 就相当于把感温元件置于温度为  $t_2^\circ\text{C}$  的温度场中, 此时微安表应满偏。如果未能指向满偏, 则说明  $U_{cd}$  未能达到设计值, 需仔细旋转电位器  $R$  的旋钮, 直至微安表满偏。再将  $K_2$  扳至“测”, 进入测量状态。

#### (5) 制作定标曲线

描绘出一条定标曲线, 如图所示。既能显示电流值, 又能显示温度值。

#### 实验任务:

- 1、设计电路参数  $U_{cd}$ ,  $R_1$  ( $R_2$ ),  $R_3$  和  $R_4$ 。
- 2、把  $R_1$  ( $R_2$ ),  $R_3$  和  $R_4$  调到设计值, 并且安装成一台热敏电阻温度计。
- 3、用一只酒精温度计 (作为标准) 对这台热敏电阻温度计进行校验 (与后边互应), 对其测量误差做出判断。

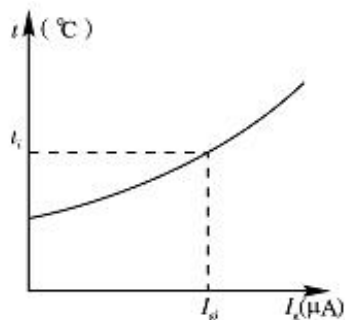


图 4 定标曲线

#### 操作及测量

1、按(6)式计算出  $R_1$  ( $R_2$ ) 并把它们分别调到设计值。利用两只等值电阻和一台标准电阻箱组成电桥的三个桥臂, 第四个桥臂由  $R_1$  ( $R_2$ ) 来担任。

2、调节  $R_3$ , 使  $R_3=R_{t1}$  (方法同上)

3、调节  $R_4$ , 使  $R_4=R_{t2}$

图 3 中, 用标准电阻箱  $R_0$  代替  $R_t$ , 先将  $K_2$  扳向“测”, 调节  $R_0=R_{t2}$ , 调节  $R$  使微安表满偏。然后,  $K_2$  扳向“校”, 将  $R_4$  调到与  $R_0$  值相等。

4、定标实验。按表 1 数据描绘定标曲线。

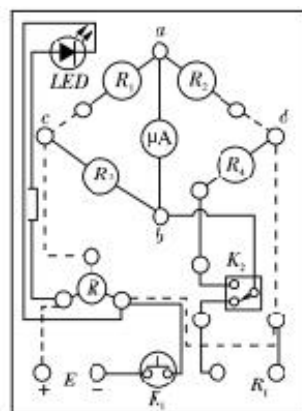


表 1 定标实验数据表

$t$ ( $^\circ\text{C}$ )	20.0	.025	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0
--------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

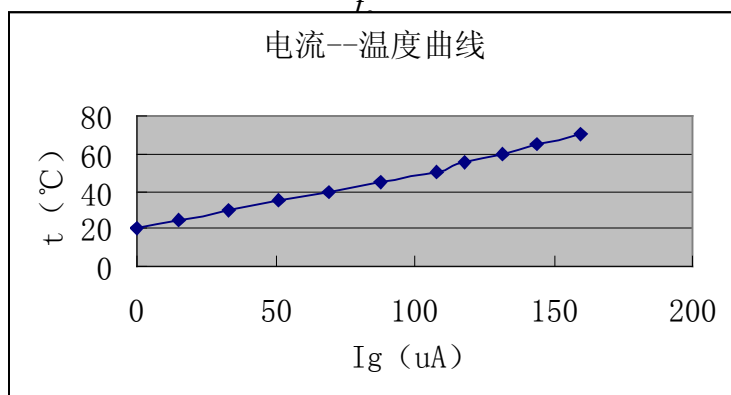
$R_t (\Omega)$	3980	335	280	235	203	174	144	132	116	102	90
$I_g (\mu A)$	0	15	33	51	69	88	108	118	132	144	160

### 5、误差校验

(1) 用电阻温度计和酒精温度计测同一温度场中的水温

酒精温度计指示为  $t_0 = 68.0$  °C，热敏电阻温度计指示为  $I_g = 141 \mu A$

查定标曲线  $t_0 = 62.0$  °C，相对误差  $E = \frac{t - t_0}{t} \times 100\% = 8.8\%$



## 实验 52 磁性液体表观密度的实验研究

——主讲教师：李学慧

### 研究内容

#### 1. 教学目标

- (1) 了解纳米磁性液体 (Magnetic fluid) 的结构和组成
- (2) 回顾流体静力称衡法 (固体密度实验)
- (3) 启迪学生创新思维
- (4) 培植学生课程论文 (以第一作者发表科技论文)
- (5) 发现有兴趣同学, 以不同形式 (实验能手、科研助手、仪器制作、工作室、创新基金等) 将学生组织起来参与科研工作

#### 2. 测量内容

- (1) 测量磁流体在不同深度  $h$  处的  $\rho_s$ , 至少测 6 个点, 并作出  $\rho_s - h$  曲线, 根据曲线形状说明变化规律, 解释产生这种变化的原因。
- (2) 在同一深度测  $\rho_s$ 。改变励磁电流, 至少取 6 个  $I$  值, 并作出  $\rho_s - I$  曲线。根据曲线形状说明变化规律, 解释产生这种变化的原因。
- (3) 允许学生在上述两项任务之外, 另寻其它实验课题, 实验室将提供帮助。

### 实验原理

#### 1. 磁流体的表观密度

用透明玻璃细管盛满磁流体并置于恒定非均匀磁场中, 则管内单位体积磁流体受到重力  $F_g$  和磁力  $F_m$  的作用, 若重力方向为  $Z$ , 则其所受合力为:

$$F = F_g + F_{mz} \quad (1)$$

若用  $H$  表示磁场强度, 用  $\chi_m$  表示磁流体的磁化强度,  $\frac{\partial H}{\partial Z}$  表示  $Z$  方向的磁场梯度,  $\rho_m$  表示磁流体固有密度, 则 (1) 式为

$$F_z = \rho_m g + \chi_m H \frac{\partial H}{\partial Z} \quad (2)$$

若磁场梯度  $\frac{\partial H}{\partial Z} > 0$ , 则  $F_z > \rho_m g$ 。相当于磁流体得到加重, 或者说, 磁流体的

固有密度在非均匀磁场中发生了变化, 在这种情况下的磁流体密度就称为表观密度或视

密度，用  $\rho_s$  表示：

$$\frac{F_z}{g} = \rho_m + \chi_m H \frac{\partial H}{\partial Z} / g$$

$$\text{即：} \quad \rho_s = \rho_m + \chi_m H \frac{\partial H}{\partial Z} / g \quad (3)$$

$\rho_s$  即为磁场中磁流体的表观密度。

## 2. 测量原理

磁流体做为一种固液两相胶体溶液，它的表观密度可以用流体静力称衡法来测量。

测量程序提示如下：

1) 在天平横梁的左端，用细线悬吊一个由非铁磁质制成的平衡锤，在天平的砝码盘上加砝码，测出平衡锤在空气中的质量  $m$ 。

2) 将平衡锤吊入密度为  $\rho_w$  蒸馏水中，测出平衡锤在蒸馏水中的表观质量  $m_w$ ，得到

$$mg - m_w g = \rho_w Vg \quad (4)$$

式中  $V$  是平衡锤的体积， $\rho_w$  是蒸馏水的密度。

3) 将平衡锤吊入盛有磁流体的玻璃量筒内，测出它在磁流体中的表观质量  $m_s$ ，得到

$$mg - m_s g = \rho_s Vg \quad (5)$$

由 (4)、(5) 式得

$$\rho_s = \frac{m - m_s}{m - m_w} \rho_w \quad (6)$$

可见，只要测出平衡锤的固有质量  $m$ ，以及它在蒸馏水中表观质量  $m_w$  和在磁流体中的表观质量  $m_s$ ，则可求出磁流体的表观密度  $\rho_s$ 。

## 测试数据

非铁磁测锤在空气中的质量  $m_{\text{空}}=6.81\text{g}$

非铁磁测锤在水中的质量  $m_{\text{水}}=6.05\text{g}$

电流的变化范围 0.2A~1.8A

测锤由 8.00cm~14.00cm

具体测试数据如下：

电 流 密 度 ( $\text{A}/\text{cm}^2$ )	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
14.00	5.99	5.97	5.93	5.89	5.84	5.80	5.76	5.72	
13.00	5.97	5.94	5.89	5.83	5.75	5.68	5.62	5.58	5.54
12.00	5.96	5.89	5.81	5.71	5.57	5.49	5.39	5.33	5.28
11.00	5.93	5.83	5.70	5.52	5.33	5.21	5.09	5.00	
10.00	5.90	5.71	5.44	5.16	4.87	4.68	4.48	4.33	4.18
9.00	5.82	5.42	5.05	4.48	4.07	3.75	3.45	3.20	3.00
8.00	5.65	5.00	4.40	3.50	2.75	2.35	1.95	1.55	1.20

电 流 密 度 ( $\text{A}/\text{cm}^2$ )	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
14.00	1.079	1.105	1.158	1.211	1.276	1.329	1.382	1.434	
13.00	1.105	1.145	1.211	1.289	1.395	1.487	1.566	1.618	1.671
12.00	1.118	1.211	1.316	1.447	1.632	1.737	1.868	1.947	2.013
11.00	1.158	1.289	1.461	1.697	1.947	2.105	2.263	2.382	
10.00	1.197	1.447	1.803	2.171	2.553	2.803	3.066	3.263	3.461
9.00	1.303	1.829	2.316	3.066	3.605	4.026	4.421	4.750	5.013
8.00	1.526	2.382	3.171	4.355	5.342	5.868	6.395	6.921	7.382

## 实验 53 磁性液体密封容器泄放压的实验研究

——主讲教师：李学慧

### 研究内容

### 教学目标

- (1) 了解纳米磁性液体 (Magnetic fluid) 的结构和组成
- (2) 拓展知识：磁滞回线、压力、密封、材料等
- (3) 启迪学生创新思维，触摸科学前沿
- (4) 培植学生课程论文 (以第一作者发表科技论文)
- (5) 发现有兴趣同学，以不同形式 (实验能手、科研助手、仪器制作、工作室、创新基金等) 将学生组织起来参与科研工作

### 测量内容

- (1) 检查是否漏气 (启发学生提出不同捡漏措施)
- (2) 测量不同励磁电流时的泄放压 (不添加磁流体)
- (3) 测量不同励磁电流时的泄放压 (添加磁流体)
- (4) 根据数据做出曲线并进行比较、分析和总结
- (5) 根据规律创想“永磁密封装置”的设计

### 实验原理

在静止部件与运动部件之间的间隙中建立起足够强磁场，将磁性液体吸聚在其间，形成类似 O 形环一样的液体环，依靠磁性液体本身的表面张力和磁场力，阻止压力介质通过而起到密封作用。磁性液体密封一般分为动态密封和静态密封两种，本实验属于静态密封。

### 方法提示

1. 实验前的准备工作
  - (1) 开关 K 搬向退磁端，退磁电流初始值应大于充磁电流。
  - (2) 注入少许磁性液体。
  - (3) 找准位置，合上密封盖。
  - (4) 调整望远镜，使压力表指针清晰。
  - (5) 开关 K 搬向充磁端，按照拟定的数据表，调整到第一个数据点的电流值。
2. 缓慢开启压力源，此时压力表指针缓慢上升，用望远镜密切注视泄放压对应的压力表读数值。高压气体一旦泄放，立即关闭气源阀门。

3. 重复 1 中的步骤，改变充磁电流，重复 2 中的步骤，测出泄放压。

充磁电流可取 8-10 个点，从 20mA 到 80mA.此时最高压力不会超过 1MPa.

### 实验数据

I(mA)	P(Mpa)	I(mA)	P(Mpa)	I(mA)	P(Mpa)
40	0.32	50	0.40	60	0.46
60	0.48	70	0.44	80	0.50
80	0.62	90	0.54	100	0.64
100	0.66	110	0.66	120	0.76
120	0.72	130	0.78	140	0.84
140	0.82	150	0.88	160	0.96
160	0.90	170	0.98	180	1.02
180	1.02	190	1.06	200	1.08
200	1.07	210	1.12	220	1.14
220	1.15	230	1.68	240	1.20

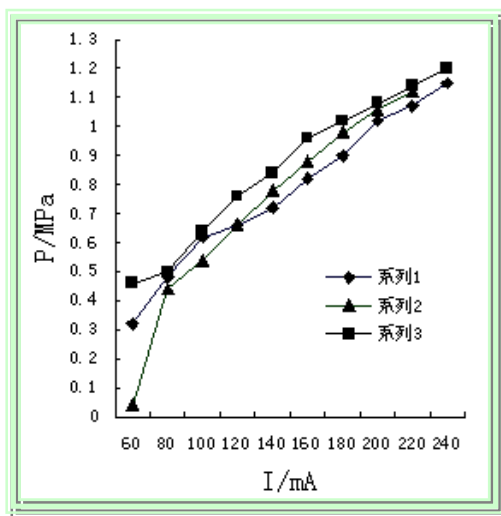


图 1 开启压力与励磁电流关系曲线



## 实验 58 黑箱实验

——主讲教师：刘 军

### [实验目的]

1. 掌握各种电子元件的基本特性
2. 掌握万用表等基本仪器的使用方法及技巧
3. 掌握分析、综合、类比等逻辑推理方法和必要的数学运算
4. 学习不开启研究法

### [教学方法]

采用研究式，答辩式教学方法

### [实验原理] 略

### [仪器介绍]

有一个黑箱，箱子正面有八对接线柱，编号标明在箱面上，如图8所示。箱内每对接线柱之间只连有一个元件(如  $B_1$ 、 $B_2$  间连接某一元件，而  $G_1$ 、 $G_2$  间连接另一元件)，也可能没有，也可能短路。元件可能是电池、电阻、正温度系数热敏电阻、负温度系数热敏电阻、电容、电感、半导体二极管、交流电源(电压值在安全电压以内)。除黑箱外，实验室提供的其他仪器有：信号发生器、万用表、电流表、电压表、电阻箱、开关、导线等。

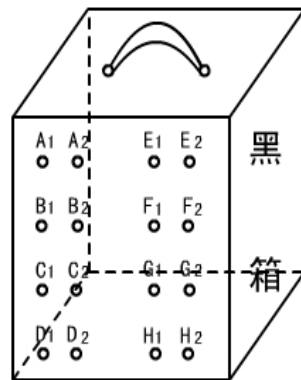


图 8 黑箱装置

### [实验任务]

1. 确定黑箱内每对接线柱之间所连接元件的名称，说明确定的依据。
2. 确定各元件数值，写出计算公式，说明测量方法和实验条件

### [操作提示]

1. 首先确定有无电池、交流电源及其具体位置。
2. 判断有无二极管
3. 确定有无电容
4. 说明每对接线柱间的测量结果(可列表说明)，分析、确定判别方法，得出元件名称。
5. 确定元件数值。

**[实验结论]**

## 黑箱 (1)

AB	负热敏电阻
CD	二极管
EF	电容
GH	交流电源
IJ	电池
KL	电感
MN	电阻
OP	正热敏电阻

## 黑箱 (3)

AB	电容
CD	电池
EF	交流电源
GH	正热敏电阻
IJ	电感
KL	电阻
MN	负热敏电阻
OP	二极管

## 黑箱 (2)

AB	电池
CD	二极管
EF	交流电源
GH	负热敏电阻
IJ	正热敏电阻
KL	电容
MN	电感
OP	电阻

## 黑箱 (4)

AB	电阻
CD	负热敏电阻
EF	电容
GH	交流电源
IJ	二极管
KL	正热敏电阻
MN	电池
OP	电感

**[课堂讨论题]**

1. 黑箱是广泛而普遍存在的，一个系统（或对象），当人们对它还不认识或认识不足的时候，可能称为黑箱，而当人们经过研究对其认识清楚后便不是黑箱了，请说出几个对你仍是黑箱的家用电器名称。
2. 如果黑箱中有电池，而没有找到确切的位置，能否用万用表的欧姆档去测每对接线柱间的电阻，为什么？
3. 不开启黑箱法就是有目的地对黑箱输入信息，观察黑箱对应输出信息，并利用某种逻辑方法和必要的数学计算得出正确结果。请说明你在确定黑箱中有无电池，有无二极管过程中输入、输出的信息分别是什么？
4. 在本实验的研究过程中，你遇到了哪些困难，是怎样克服的，操作中应注意哪些事项？

**[创新园地]**

1. 在黑箱内  $A_1$ 、 $A_2$  接线柱间连有电阻， $B_1$ 、 $B_2$  间连有电感，有一电容可连接在  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $B_1$ 、 $B_2$  四个接线柱的任何两个接线柱之间，共有如下 4 种可能，如图 9 所示。如何

确定电容器的具体位置？

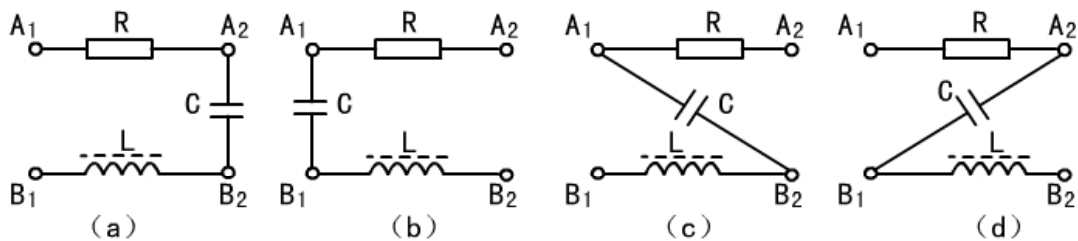


图9 电阻、电感、电容的四种连接

2. 若将黑箱内某两对接线柱间的电阻、电容、电感如图 10 所示连接，如何用万用表和信号发生器两种仪器测出电容、电感的数值  $C$ 、 $L$ 。

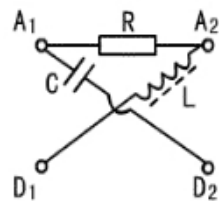


图10 三元件的某种连接