



# **北京航空航天大学 基础物理实验考试资料 2012 年最新修订版**

材料科学与工程学院 & 化学与环境学院 共同制作

2012 年 1001 大班最新修订版

## 卷首语

本次修订是在 1 系、27 系共同制作的物理实验第二版的基础上，根据 1001 大班同学完成实验的心得体会进行编排修订。本次修订对插图进行了重新绘制与修改，对其中的错误进行改正，对语意不清的地方进行完善，重点难点之处进行重新编写。

物理实验考试还是比较难的，但是充分预习之后，就显得非常简单。作为闭卷考试，只有在之前弄清原理，记熟步骤，考试时才能游刃有余。考试时会提供实验原理、实验目标，没有实验步骤。书写实验报告时，一定要听清楚监考老师的要求，要做到既不失分，也不浪费时间。对于平时数据处理不熟练的同学，考试之前一定要学会练熟科学计算器的使用方法。

考试前 10 分钟会公布考试名单，抽到相对简单的实验的同学，不要过于轻敌，不幸中枪的同学也不要自乱阵脚。大家都应该保持头脑清醒，可以抓紧时间再看一遍实验步骤，也可以在脑海中过一遍。考试时，遇见简单的迅速拿下，遇到困难不要自暴自弃，实在不行可以进行求助，最坏的情况下举手问老师，但是千万不要直接走人。只要有所预习，只要不作弊，通过这门考试问题不大。但是想拿高分的同学还是要又快又好的完成。

物理实验的成绩怎么计算，恐怕老师们也不清楚。做得快、独立完成，考试得分相对较高一些，但是考试上 90 与期末优秀似乎没有绝对的关系。总之，考试时不要一味求快求多，一定要保证质量，再求速度。

最后感谢 1 系、27 系的学长学姐编写实验指导材料，并感谢王艳洁学姐提供的电子版原稿，感谢材料学院 2010 级全体同学的大力支持，祝愿大家在物理实验考试中获得好成绩。

本次修订由 1001 大班李圳同学负责完成电学部分，张萌思同学完成光学部分。由于我们水平有限，欢迎大家提出建议，批评指正，以供下次修订之用。

## 第三版前言

本资料最初由 360107 班康建新学长、洪延学长以及李娴学姐于 2009 年夏整理。之后由 370107 班宋诚同学提供 360107 班电子版原稿，370102 班王艳洁、李烨和单亦姣三位学姐补编，补充了 D02、G02、G03 三个实验，并对其余实验中的问题进行了改正。

D01: 康建新; D02: 王艳洁; D03: 洪延; D04: 李娴;

G01: 洪延; G02: 李烨、王艳洁; G03: 单亦姣、王艳洁; G04: 康建新

(由于实验内容较之前有调整与更新, 故 2012 年由 10 级材料科学与工程学院 100113 班李圳修订电学部分, 100114 班张萌思修订光学部分, 更新了实验内容并对以前版本中出现的问题进行了修改。在此感谢 370102 班王艳洁学姐提供上一版电子版原稿。)

由于水平有限, 难免会有错误。有错之处, 还望大家谅解。

本资料只供大家复习参考, 物理实验为闭卷考试, 不允许携带任何资料, 所以希望大家能把原理弄清, 步骤记熟, 这样才能在考场上操作自如。实验报告分值最重的是数据处理部分, 希望大家能够掌握好数据处理的方法。

最后, 再次感谢一系材料科学与工程学院和二十七系化学与环境学院的同学的大力支持, 并祝愿大家在物理实验考试中取得理想的成绩!

# 电学部分

## D01 单量程三用表的设计和校准

如果说你电学抽到了这个实验，说明你是幸运的，因为这是比较简单的电学实验了，原理高中都学过，就是操作比较繁琐。但是原理很简单，做完的速度相当快，加油！

该实验有四个部分：给你一个  $500\ \Omega$ ， $200\ \mu\text{A}$  的表头，完成毫安表的改装，伏特表的改装，欧姆表的改装和三用表的设计，最后一个为选作，10 分，建议必做。进去之后会先让你画出前三个实验的电路图，并计算出各个电学原件的初值，等老师检查无误后，再连接电路，每改装完一个要让老师检查，然后拆掉作下一个。

### 一、任务要求

1、用一个内阻  $500\ \Omega$ ，量程  $200\ \mu\text{A}$  的表头，配以给定的其它器件或仪器，组成一个单量程的三用表( $10\text{mA}$  量程的电流表， $5\text{V}$  量程的电压表和中值电阻  $R$  中= $120\ \Omega$  的欧姆表)。

2、实验前给出相应的电路图以及各元件或仪器的设计值，校准电路的原理图和设计参数。

3、实验校准应按满偏电流 ( $10\text{mA}$  电流表)，满偏电压 ( $5\text{V}$  电压表)，以及欧姆表的满偏 ( $0\ \Omega$ ) 和半偏电阻 ( $120\ \Omega$ ) 的设计要求来调整参数。

4、自带坐标纸和计算器！

### 二、实验原理

毫安表改装（改装为  $10\text{mA}$  的）

$R_s$  的作用是分流

$$R_s = \frac{500 \times 200 \times 10^{-3}}{10 - 200 \times 10^{-3}} = 10.2\ \Omega$$

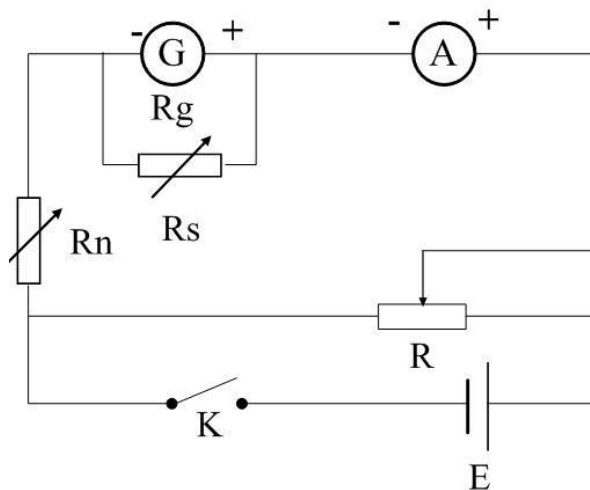
电流表选  $15\text{mA}$  量程的

$E$  取  $4.5\text{V}$

为保护电路， $R_n$  选  $400\ \Omega$  左右

$R$  位于最左端，开关断开

伏特表改装（改装成  $5\text{V}$  的）



RH 的作用是分压

$$R_H = \frac{5V}{200 \times 10^{-6} A} - 500 \Omega = 24500 \Omega$$

电压表选 7.5V 量程的, E 取 6V

R 位于最左端, 开关断开

欧姆表的改装 (改装成 120  $\Omega$  的)

E 取 1.5V

通过  $R_g$  的电流为

$$\frac{1.5V}{120 \Omega} \cdot \frac{R_o}{R_o + 500} = I_g$$

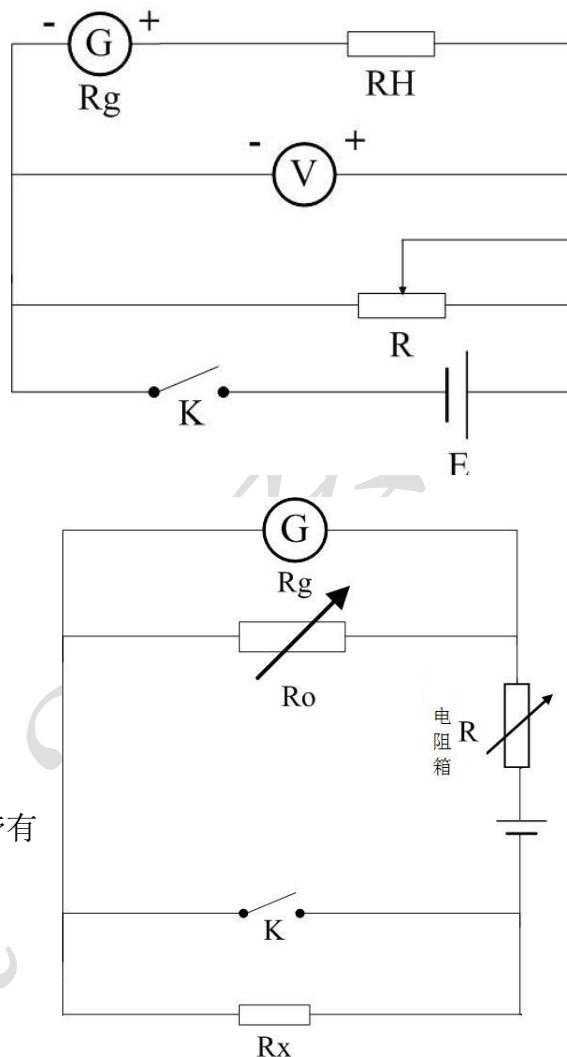
所以  $R_o = 8.13 \Omega$

$$R = 120 \Omega - \frac{500 \Omega \times 8.13 \Omega}{500 \Omega + 8.13 \Omega} = 112 \Omega$$

$R_x$  为 120  $\Omega$  标准电阻

开关断开。

(这里 R 选用提供的滑动变阻器, 用带有刻度的大的那个, 量程为 200  $\Omega$ )



### 三、实验步骤

毫安表的改装及校准

- ①按图连接电路,  $R_s$ ,  $R_n$  为电阻箱
- ②连通电路, 将 R 调至中段, 调节  $R_n$ , 使电流表示数为 10mA
- ③略微调节  $R_s$ , 使表头满偏 (此时电流表指针可能有微小改变, 反复调节  $R_n$  和  $R_s$ , 直到同时满足 2, 3), 记录  $R_s$  的值
- ④调节 R, 测出 11 组 I 标和  $I_X$ , 记录数据, 同时记录每格代表的电流  $I_{div}$  (可以直接取 0, 1 mA, 2 mA.....10 mA)

i	1	2	.....	11
I 标/ mA	0			10
$I_X$ / mA	0			10
$\Delta I = I_X - I \text{ 标/ mA}$	0			0

伏特表的改装及校准

- ①按图连接电路, R,  $R_H$  为电阻箱

②连通电路，调节 R 使电压表示数为 5V。

③略微调 RH 节，使表头满偏（此时电压表指针可能有微小改变，反复调节 R 和 RH，直到同时满足 2，3），记录 RH 的值

④调节 R，测出 11 组 U 标和 UX，记录数据，同时记录每格代表的电压 Udiv（可以直接取 0，0.5V,1V.....5V）

i	1	2	.....	11
U 标/ V	0			5
UX/ V	0			5
$\Delta U = U_x - U_{\text{标}} / V$	0			0

#### 欧姆表的改装及校准

①按图连接电路，Ro，RX 为电阻箱，R 是一个有刻度的滑动变阻器，根据刻度，找到 112  $\Omega$ ，联入电路，这时电源是一个方形的稳压电源，你要把旋钮调到 1.5V

②断开开关，调节 Ro 使表头半偏

③闭合开关，调节 R,使表头满偏（这时再断开，可能不再半偏，反复调节 Ro 和 R,直到同时满足 2，3），记录 Ro 的值

④材料上会给你 13 个阻值让你验证，记录每个阻值便过多少格

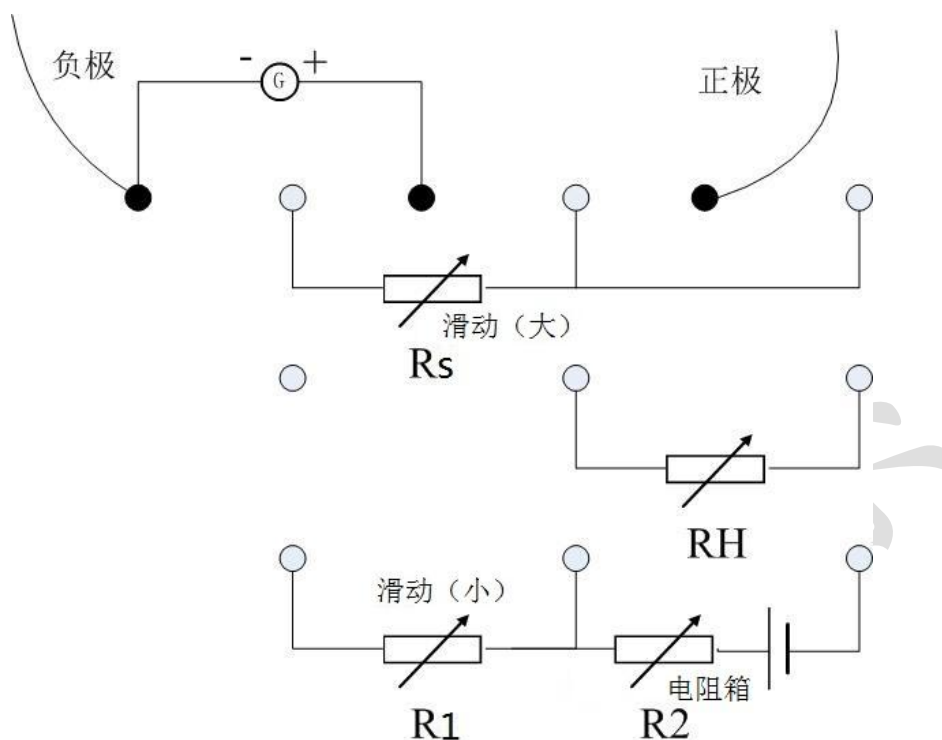
⑤将电源电压调成 1.4V，重新调节 R0，任取一个阻值进行测试。

i	1	2	.....	11
R/ $\Omega$				
RX/ div				

## 四、 数据处理

在坐标纸上，以标准电流或者电压为横坐标，差值为纵坐标作折线图，两个，这样就完了。

## 五、 选作实验



会给你一个三刀三掷开关，就是一个盒子，上面有 12 个接线柱，黑色的接刀，白色的接柱。它的具体内部构造和双刀双掷一样。

三刀三掷开关上有一个旋钮，三个档，1 是第一排白色接线柱在内部分别和三个相连（最上面），2 是第二排（中间），3 是第三排（最下面），这样，接线柱之间的部分连入电路就可以组成回路了。

第三排就是欧姆表，直接把上面那一步拆下来的拿过来就可以了。第一排是毫安表， $R_s$  用的是  $200\ \Omega$  的滑动变阻器，用组装的欧姆表把它调到校正的  $R_s$  值。第二排是伏特表， $R_H$  是电阻箱，阻值就是第二步的  $R_H$  的值。

老师过来看的时候会拿过来一个黑盒子，上面三个接线柱，会让你测量一次电压，一次电流，一次电阻，你只要连上接线柱，旋转一下旋钮就可以了

注：选做实验一定要做，选做实验时占有一定的操作分与报告分的，所以选做实验一定要尽量完成，完不成的话在保证实验报告写完的前提下，选做能做多少算多少。

## D02 伏安法的应用 (Boltzmann 常数的测定)

作为电学实验中最简单的实验，如果你抽到了 D02，我必须恭喜你。不过，各个接线的位置还是要牢牢记住的。计算不繁琐，操作不复杂，也许当你收拾仪器的时候，你会意味深长的说，“竟然 比我 还快”。

### 一、任务与要求

- 1、用伏安法测 PN 结正向电流——电压关系，并由此测定波尔兹曼 (Boltzmann) 常数。
- 2、实验进行前，必须在报告纸上给出：
  - ①线路图（包括元件的极性，管脚及大小量级）。
  - ②测量方案和操作步骤的简要说明。
- 3、数据处理时请带计算器。

### 二、实验原理（略）

### 三、仪器设备（略）

### 四、操作步骤：

- 1、根据图 a 电路图连线，图中  $R_f$  为  $100\ \Omega$  金属膜电阻， $R$  为电位器，大小可调。
- 2、初始时将  $R$  的初值调到最大，测量 m、n 两结点间的电压，记为  $U_2$ ；再测量 b、e 间的电压，记为  $U_1$ ，此为一组数据。
- 3、调节  $R$  的大小，重复 2 的步骤，记录第二组数据，记录十组。
- 4、实验后整理仪器。

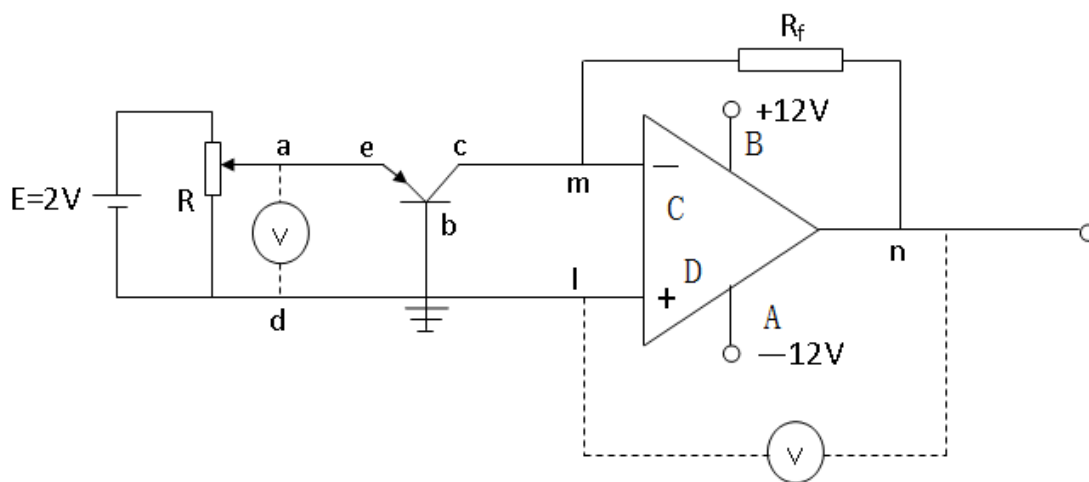


图 a 实验电路

（这个图要记住，特别是 a、b、c、d、e 与 A、B、C、D）



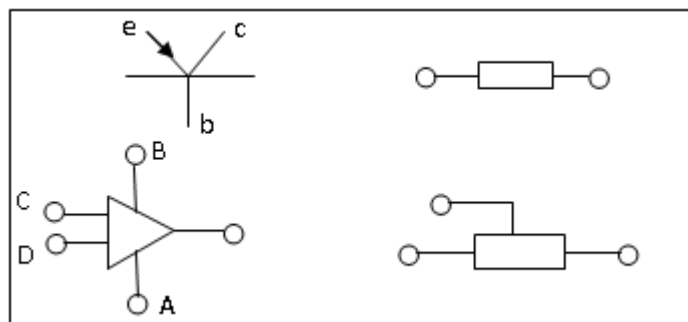


图 b 实验盒

### 五、提示及注意事项：

- 1、波尔兹曼常数  $k$  的理论值为  $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ 。
- 2、因当  $U_{ad}(U_1)$  在  $(0.45\text{V}, 0.62\text{V})$  范围内变化时，实验的线性较好，故应调节  $R$  使  $U_{ad}(U_1)$  在  $0.5\text{V}—0.6\text{V}$  间变化，如取  $0.51\text{V}, 0.52\text{V}, 0.53\text{V}……0.59\text{V}, 0.60\text{V}$ 。
- 3、运算放大器正相输入端接地，但下方接  $-12\text{V}$ ，不要接反。
- 4、在测量  $m、n$  点电压时，因  $m$  点与  $l$  点虚短路，故  $U_{ln}=U_{mn}$ ，可测  $U_{ln}$  代替  $U_{mn}(U_2)$ ，简化测量步骤。
- 5、实验时不用实验盒上的三极管，而采用独立的硅三极管（装置类似于上学期实验测冰的溶解热的那个装置），因在实验过程中温度升高，冰会融化，使电压表读数不稳，故应在装置中多加冰。
- 6、运算放大器排线不会像图示那么简洁，会把接口  $ABCD$  都放在一条线上，所以要搞清接口（ $A$  接  $-12\text{V}$ ， $B$  接  $+12\text{V}$ ， $C$  接“—”， $D$  接“+”）。
- 7、 $U_{ad}$  的变化范围在  $2\text{V}$  以内，故选  $2\text{V}$  量程， $U_{ln}(U_2)$  的变化范围在  $0—20\text{V}$  之间，但开始在  $0—2\text{V}$  变化，故先用  $2\text{V}$  量程，再用  $20\text{V}$  量程。
- 8、老师检查时会检查你记录数据中的一组或几组是否与仪器上显示的相符，如将电压  $U_1$  调到  $0.57\text{V}$ ，看一下  $U_2$  是否与你记的数一致。
- 9、请等到示数稳定后再读数。

### 六、数据处理

$$I = I_0 e^{\frac{eu}{kT}} \xrightarrow{\text{同乘以 } R_f} IR_f = U_2 = I_0 R_f e^{\frac{eu}{kT}}$$

$$\xrightarrow{\text{两边取对数}} \ln U_2 = \ln(I_0 R_f) + \frac{eu}{kT}$$

设  $y = \ln U_2$ ， $x = U_1$ ，则  $a = \ln(I_0 R_f)$ ， $b = \frac{e}{kT}$ （其中  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ， $T = 273.15 \text{ K}$ ）

用计算器算出  $b$ ， $r$ ，则  $k = \frac{e}{bT}$ ，

$$U_a(b) = b \sqrt{\frac{1}{k-2} \left( \frac{1}{r^2} - 1 \right)}$$

$U_b(b)$  一般可以忽略不算，但是有的老师可能要求计算（计算方法见基础物理实

验课本)。

$$U(b) = \sqrt{U_a^2(b) + U_b^2(b)}$$

$$\therefore \frac{U(b)}{b} = \frac{U(k)}{k}$$

$$\therefore U(k) = \frac{k U(b)}{b}$$

结果表述为:  $k \pm U(k)$

## D03 补偿法的应用

作为电学实验的究极 Boss，这个实验一定要好好准备，好好祝愿自己不要抽到。但是就算抽到也不要心慌，一定要气定神闲的利用好开考前的几分钟，好好巩固一下。选作就是必做的一个范本，必作会做选作一定超级简单。所以考试时一定要抓紧时间，争取做完必作，乃至做完选作。

### 一、实验原理 略

### 二、任务

1、把 uA 表改装成多量程的（2~3 档）的电流表，以适应不同光电流（短路）的测量，电流表需经过校准。

2、利用电流补偿原理测量不同照度下光电流输出的短路电流。

3、验证点光源发光在垂直面上产生的照度符合平方反比率。

要求：

实验前画出实验的电路图，给出测量方案和操作步骤的简要说明（300 字内），进行测量的可行性、安全性和准确度分析，包括仪器的参数和元件的量级设计。

（这个实验老师并没有要求进行可行性、安全性、准确的分析，其他的都要，一定熟练掌握要求写的东西，写完了才能做实验）

### 三、实验步骤

#### 1. 粗测光电池电流范围

我个人认为，所谓粗测，就是按照正常的电路先行接好，体现粗测的地方就是电流表。利用微安表的内阻值，并联电阻，从而组成并不准确的电流表。通过改变并联电阻值，从而改变电流表的量程，这样就得到光电池的电流范围了。

#### 2. 微安表改装安培表

a) 要求为改装出粗测量程以内的 3 到 4 个量程的安培表，请自行按照自己所测量程进行设计。

b) 微安表的内阻一般会给出，设为  $R_s$  ( $\approx 3.3k\Omega$ )，满偏电流为  $I_{\max}=50\mu A$ ，

根据改装电流表的计算方法 ( $R = \frac{R_s}{I_x / I_{\max} - 1}$ ，其中  $I_x$  为所取量程) 算出  $R_1$

对应量程的 4 个理论值，设为  $R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14}$ 。

#### 3. 校正安培表

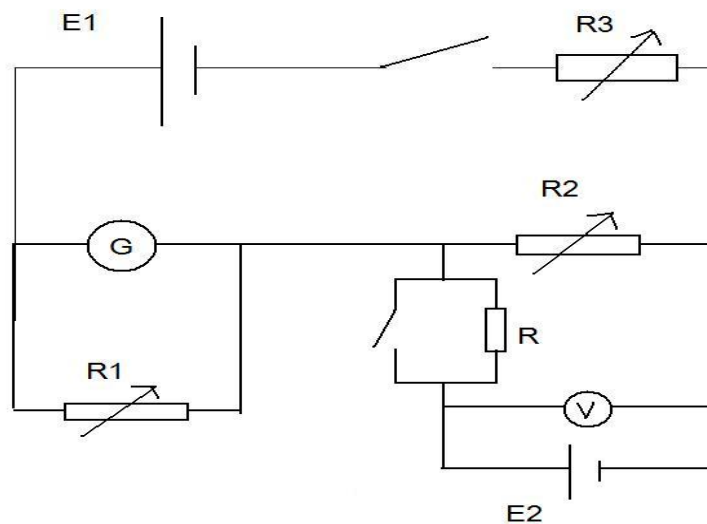
a) 按图组装好校正电路。

b) 调整好  $R_1, R_2, R_3$  的电阻， $R_1$  为之前的理论值， $R_2 = E_2 / I_x$ ，

$R_3 = [(E_1 - E_2) / I_x] - R_{\text{表}}$ 。其中  $E_2$  为伏特表示数，一般很标准， $R_{\text{表}}$  为所校正电流表的总阻值，需要计算。参考公式：

$$R_{\text{表}} = \frac{I_{\text{max}} * R_g}{I_x} = \frac{R_1 * R_g}{R_1 + R_g}$$

- c) 接通电源，一开始只调整  $R_3$ ，使得大电阻  $R$  的开关接通时， $G$  表上指针不偏转。
- d) 调整  $R_0$ ，使得  $G$  表满偏，记下此时的  $R_1$  阻值  $r_{01}$ 。
- e) 重复之前步骤校正另外三个量程的的安培表，记录对应的  $R_1$  阻值  $r_{12}, r_{13}, r_{14}$ 。



此步注意的问题：

- A. 之前老师可能要求在纸上给出  $R_1, R_2, R_3$  的理论值计算过程，并且要求写出实验简要过程。所以之前要做好准备， $E_1$  为 4.5V， $E_2$  为 3V，但也要仔细读书理解算法和原理。
- B. 注意指针偏转的方向可以帮助判断阻值的偏大偏小。若无法达到要求，则检查电路连接和其它阻值的调整是否到位。
- C. 小技巧：计算  $R_1, R_2, R_3$  以后，调节  $R_3$ ，目标是按下  $S$  而表头不动，完成

后调节  $R_1$ ，使表头满偏，记下数值。

D. 另外，考试时各电阻标号可能有所变动，望注意。

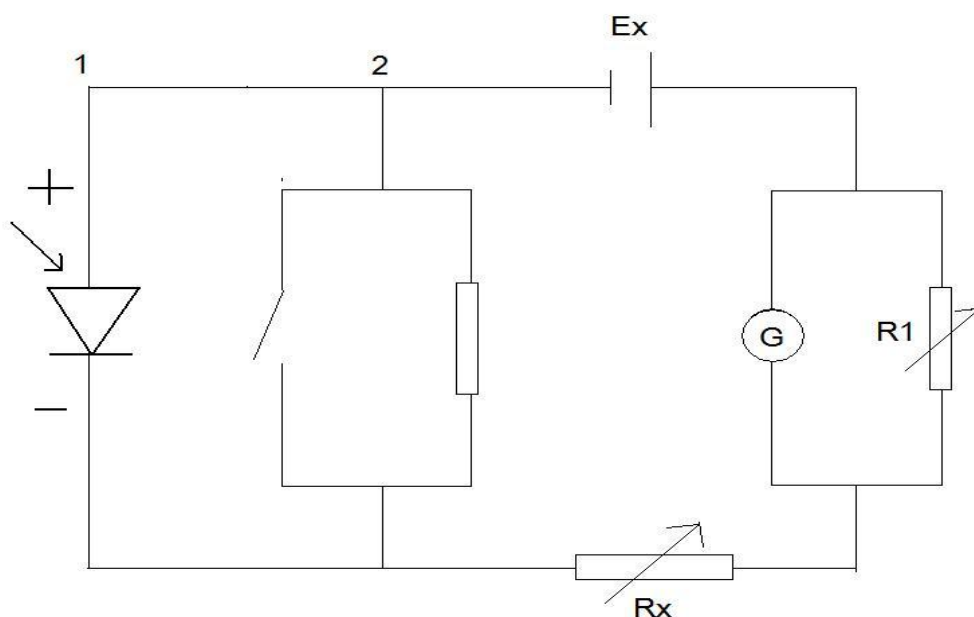
#### 4. 补偿法判定光电池电流与光强的关系

- 按图连接好电路。 $E_x$  的选择一般是 1.5V，但注意听老师要求。
- 最好从近到远，每隔一段距离测量，电流表量程由大到小（ $R_1$  使用校正阻值）。10-70cm 最好，太远由于光弱会受到实验室光影响从而线性关系不明显。可以在之近距离稍微多侧一些。
- 读出光电池到光源距离  $R$  后，调整  $R_x$  的大小，使得当开关闭合时电流表指针保持不动，记录此时的量程和偏转格数。（注意，此时调节要注意观察偏转的方向）
- 改变  $R$ ，重复步骤 c，一共测大约 10 组数据，注意量程切换。（读数小于  $\frac{1}{2}$  量程时，切换量程）

R(cm)					
$1/R^2$					
A 表量程					
偏转格数					
电流值 (mA)					

注意的问题

- $R$  的选取是光电池到光源的距离，选择其底座左或右边缘对应的刻度值



皆可，但注意统一。

B. 测量尽量大于 10 组，可以舍去由于距离远而线性关系差的数值。

## 5. 数据计算

- 用一元线性回归计算电流值  $I$  与  $1/R^2$  的线性关系，重点在于  $r$ ，其越接近于 1（不大于），说明测量结果越好。（若  $r$  大于 1，则可能是有效数字的位数太多或太少）
- 若要求用回归方法计算出  $R$  与实际光源中心的差值，则要在报告上给出回归方法，这里给出一个计算方法，不是标准答案，仅提供一种思路。
- 注意：拟合时要考虑  $R+X$  中的  $X$ 。

求  $R$  值与实际距离的偏差

解：设测量值  $R$  与实际值偏差为  $X$

$$\text{则有 } I \propto 1/(R+X)^2$$

$$\text{所以可推出 } (R+X) \propto 1/\sqrt{I}$$

$$\text{设 } (R+X) \times k = 1/\sqrt{I} \text{ 从而有 } Rk + Xk = 1/\sqrt{I}$$

因为理论上  $k$  和  $X$  为常数，所以  $Xk$  也应为常数，则我们得到了一个线性式子，可以进行一元线性回归。

设  $Xk$  为  $a$ ， $k$  为  $b$ ， $R$  为回归中的  $x$ ， $1/\sqrt{I}$  为  $y$ ，进行回归，最后  $X=a/b$ 。 $X$  应该为厘米数量级。 $X$  注意可正可负。

此步注意的问题

- 注意熟练使用一元线性回归
- 重点在于  $r$  的计算，注意尽量求得较好的线性关系。

## 6. 选做实验

给光电池串联一个电阻（可能是  $800\Omega$  与  $2000\Omega$  选一个）（加在图 1 和 2 间），然后绘出电流与距离的关系图，要使用坐标纸，若前面很顺利，此步应该很简单，所以前面注意抓紧时间，祝好运。（依照前面的方法调）

## D04 非平衡电桥的应用 (自组热敏电阻温度计)

做这个实验，应该会很热，而且估计你还不会让老师开空调。但是能做这个试验还是很幸运的。实验难度不大，但是原理不是很简单，一定要弄清楚。

一、实验原理（略）

二、任务：

1、设计一个用热敏电阻（电阻随温度升高而下降）作传感元件，用非平衡电桥作指示（电桥不平衡时桥路上的电流是温度的函数）的温度计

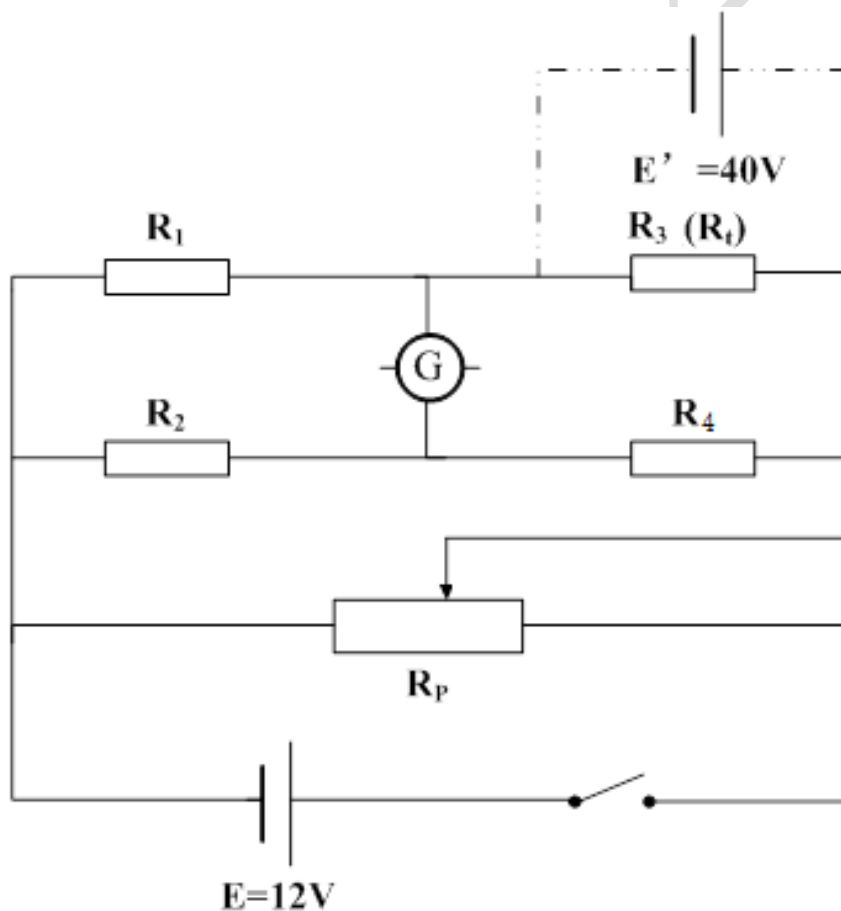
2、先利用平衡电桥原理，测定不同温度下，热敏电阻的阻值随温度变化的实验曲线。

3、由上述实验点进行曲线拟合，获得热敏电阻值随温度（0—100℃）的变化曲线  $R(t)$ 。

4、利用  $R(t)$  对热敏电阻温度计定标。

三、实验步骤

1、测  $R_1$  与  $R_2$  的比值



a、将实验仪器按上述电路图连接(此步不连接 E'),  $R_p$  滑动触头打在最左端;  
(此步完成后老师检查, 注意 E 正负极和量程选择 12V)

b、将  $R_p$  滑动触头打在变阻器中部, 调节  $R_3$ ,  $R_4$ , 使  $\odot$  零偏, 记下  $R_3$ ,  $R_4$  读数, 则  $R_1/R_2=R_3/R_4$ , 从而求得  $R_1/R_2$  的值, 留作待用。

## 2、测热敏电阻阻值

a、将  $R_3$  换成热敏电阻  $R_x$ , 连接上 E' (注意量程选择 40V),  $R_x$  还要和数字三用表连接 (图中未画出, 选标示为  $\Omega$  的电阻接线孔, 量程选 2k $\Omega$ );

b、将两个电源开关打开则热敏电阻开始加热, 调节  $R_4$  使  $\odot$  的指针稍微偏过 0 读数, 随着电阻温度升高, 读数增大, 当指针刚好指零时读三用表读数, 同时记录  $R_4$ 、 $R_{表}$  值, 此两读数为的一组数据;

c、之后重复上述读数方法: 调节  $R_4$ , 使  $\odot$  指针稍微偏过 0 读数, 当指针指 0 时读三用表上读数并记录  $R_4$  值。读 8~10 组数;

注意: 开始时升温较快, 后来越来越慢, 因此阻值设置应该由稀疏到紧密。

(因老师一般要求第一组实验数据为室温, 最后一组要超过 90 $^{\circ}\text{C}$ , 则第一组数需在热敏电阻开始加热后尽快读取, 也可先读完第一组数后再加热电阻; 而最后一组数可先根据资料所给附表查出 90 $^{\circ}\text{C}$  对应阻值, 使最后一组三用表读数超过此数值即可)

参考表格

$R_{表}/\Omega$	$t/^{\circ}\text{C}$	$R_4/\Omega$	$R_x/\Omega$

数据处理 (因之后的步骤中要用到此处数据处理值, 则先介绍)

a、根据  $R_1/R_2=R_x/R_4$ , 由  $R_4$  数值求出  $R_x$  阻值; 再根据资料上所给公式及附表, 由三用表各读数求出相应温度值, 此即为热敏电阻温度值  $t$ ;

b、做  $R_x-t$  曲线

b、根据公式  $R_x=ae^{b/T}$ , 则  $\ln R_x=\ln a+b/T$  (注意此处温度单位为 K, 上面所求为  $^{\circ}\text{C}$ , 应根据  $T=t+273.15$  转化), 令  $y=\ln R_x$ ,  $x=1/T$ , 则  $A=\ln a$ ,  $B=b$ , 用一元线性回归方法计算出  $A$ ,  $B$ , 则可求出公式  $R_x=ae^{b/T}$  的表达式。

(可直接在计算器上输入  $1/T$  和  $\ln R_x$ , 直接算出  $A$ ,  $B$ ; 实验室提供计算器及其使用说明, 但为节约时间最好自带能计算一元线性回归的计算器, 并在实验前学会使用)



### 3、温度计定标

a、根据前一步骤求得公式，计算出  $R_x(0^\circ\text{C})$ ,  $R_x(10^\circ\text{C})$ …… $R_x(100^\circ\text{C})$  的值；

( $R_x(0^\circ\text{C})$  与  $R_x(100^\circ\text{C})$  的值一定算出,但中间间隔可根据老师要求的组数调节,

如可为  $R_x(0^\circ\text{C}), R_x(15^\circ\text{C})$ …… $R_x(100^\circ\text{C})$ )

b、将电源  $E'$  撤掉，热敏电阻  $R_x$  换回电阻箱  $R_3$ ，根据所算的  $R_x(0^\circ\text{C})$ ，由  $R_4 = R_x(0^\circ\text{C}) / (R_1/R_2)$ ，求出  $R_4$  的值，将电阻箱  $R_4$  调为此值；

c、调节  $R_3$ ，使  $R_3 = R_x(100^\circ\text{C})$ ；调节  $R_p$ ，使  $\odot$  满偏；

d、调节  $R_3$ ，分别使  $R_3 = R_x(90^\circ\text{C})$ ， $R_x(80^\circ\text{C})$ …… $R_x(0^\circ\text{C})$ ，读出相应的  $\odot$  显示的格数；

(读数完，此处老师会检查  $R_3 = R_x(100^\circ\text{C})$  时， $\odot$  是否满偏及  $R_3 = R_x(0^\circ\text{C})$

时， $\odot$  是否零偏，但主要检查前者，所以前面调节时一定要使  $\odot$  满偏；而表格

中  $R_3 = R_x(100^\circ\text{C})$  那栏格数一定写  $\odot$  满偏格数， $R_3 = R_x(0^\circ\text{C})$  那栏不管是否零

偏，一定写 0，其余按真实读数写，并在所列表格中写出与格数对应的电流值  $I$ )

e、根据各  $I$  值作出  $I-T$  (或者  $I-t$ ，只是温度单位不同) 曲线。

参考表格

$R_3 / \Omega$	$R_x(0^\circ\text{C})$	……	$R_x(100^\circ\text{C})$
格数/div	0	……	(满偏格数)
$I/A$	0	……	(满偏电流)

附：1、进入实验室后会发资料 (即为上面多次提及资料)，资料上有电阻与温度转化公式及附表，计算时应看清公式中各位置代表的量，不要带错数据。

2、不同老师对实验报告有不同要求，此实验一般要求报告中有实验目的、实验原理、实验步骤等所有项目，但只需有此项目就行，所以每项简述几句话就行，但还是应认真听老师要求后再写。

3、在老师第一次检查时 (即测  $R_1$  与  $R_2$  的比值时)，有些老师是根据此步所做快慢打操作分，所以应尽量做快点，且最好在自己先检查一遍正负极和量程等无误后再叫老师，以免有错反而扣分。

4、在测热敏电阻阻值用一元线性回归处理数据时，有些老师会要求画出所设  $x$ ,  $y$  的坐标图以验证一元线性回归，因此虽然计算机可直接输入  $1/T$  和  $\ln R_x$  的值，但仍然要算出每个对应值画图，所以实验前可先向老师问清楚，以免漏做或多做实验要求。

5、老师要求实验完成后收拾实验仪器，则需将电源  $E$  所调的 12V 调回 0，若未调回 0，有些老师在学生离开后检查时会扣 5 分，以免不必要的失分，此步一定不能忘。

# 光学部分

## G01 分光仪的应用 (棱镜光谱仪)

这一实验在原理和操作上都是光学实验中最简单的，只要做之前看懂第一学期的 4.10 节《分光仪的调整及其应用》与第二学期的 5.13 节《氢原子光谱和里德伯常数的测量》，就一定没问题的。

### 一、任务与要求

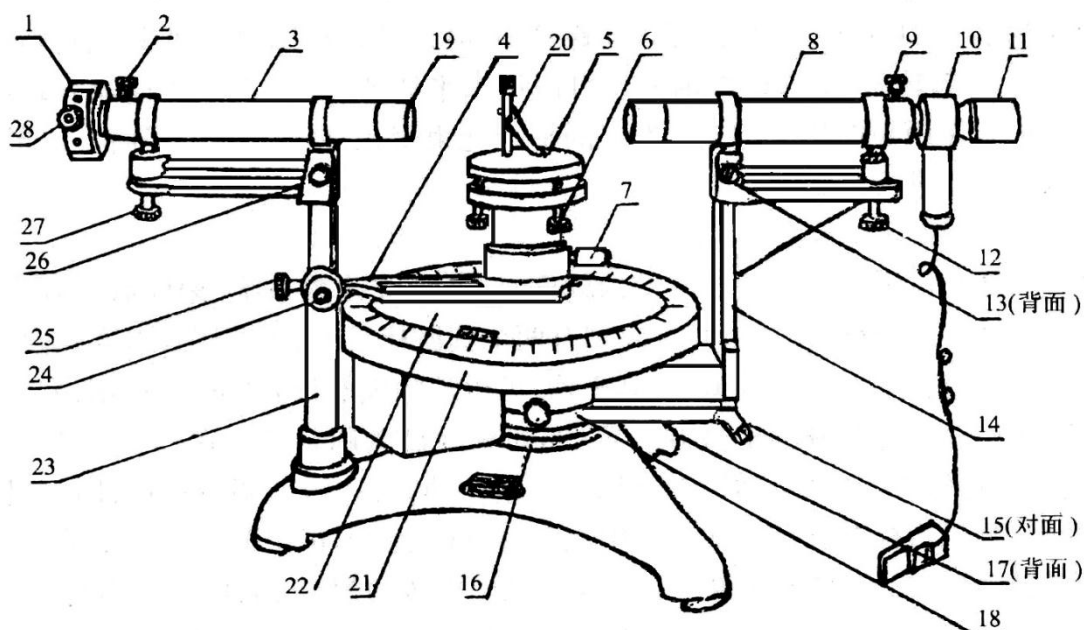
1. 正确调整好分光仪及三棱镜。
2. 观察汞灯三棱镜色散后的谱线。测量不同谱线的最小偏向角，计算三棱镜玻璃对不同波长  $\lambda$  的折射率，并用一元线性回归法验证科希公式。
3. 通过测量未知光源对应的折射率，求出待测光源的光谱（波长）。
4. 数据处理时请自带计算器。

### 二、实验提示。

#### ※分光仪的调整※

##### 一、分光计的结构

利用分光计测量光线的偏折角，实际上是确定光线的传播方向。只有平行光才具有确定的方向，调焦于无穷远的望远镜可以判定平行光的传播方向。因此，分光计由平行光管、望远镜、载物台、角度刻度盘和三脚底座五个主要部分构成。图 2 是它的全貌。



图

1 - 狭缝装置; 2 - 狭缝装置锁紧螺钉; 3 - 平行光管部件; 4 - 制动架 (二); 5 - 载物台; 6 - 载物台条平螺钉; 7 - 载物台锁紧螺钉; 8 - 望远镜部件; 9 - 目镜锁紧螺钉; 10 - 阿贝式自准值目镜; 11 - 目镜视度调节手轮; 12 - 望远镜光轴高低调节螺钉; 13 - 望远镜光轴水平调节锁钉; 14 - 支臂; 15 - 望远镜微调螺钉; 16 - 刻度盘与望远镜连结螺钉 (实际在图上位置的背面); 17 - 底座; 18 - 望远镜止动螺钉; 19 - 平行光管准直镜; 20 - 压片; 21 - 度盘; 22 - 游标盘; 23 - 立柱; 24 - 游标盘微调螺钉; 25 - 游标盘止动螺钉; 26 - 平行光管光轴水平调节螺钉; 27 - 平行光管高低调节螺钉; 28 - 狭缝宽度调节手轮.

## 二、具体调节

调节使分光计达到下述状态: 1. 使平行光管发出平行光, 望远镜接受平行光 (即聚焦无穷远); 2. 平行光管和望远镜的光轴 (望远镜光轴此处是指分划板中心十字交点与物镜光心的连线) 与分光计的转轴垂直.

### 1、目测粗调:

调节前应先进行粗调, 即用眼睛估测, 把望远镜光轴 (调节 12)、平行光管光轴 (调节 27) 和载物台 (三个底部螺丝半紧半松切载物台为尽量水平!) 面尽量调成水平, 且大致垂直于分光计中心轴, 然后再对各部分细调.

### 2、用自准法调整望远镜聚焦于无穷远处

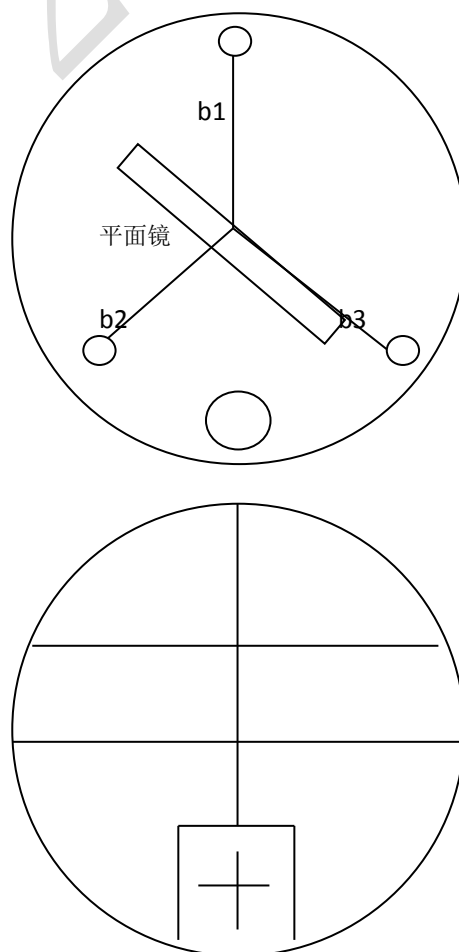
① 点亮小灯, 调节目镜与叉丝间的距离 (慢转目镜镜头 11), 看清叉丝.

② 将一平面反射镜垂直放在载物台上, 并且使平面镜的镜面与载物台下三个调平螺丝  $b_1$ ,  $b_2$  和  $b_3$  中的任意两个 (如  $b_1$ ,  $b_2$ ) 的连线垂直 (通过调节这两个螺丝可以改变平面镜对望远镜的倾度). 缓慢转动载物台 (大多可通过转动 22 游标盘来实现), 实验者从镜头侧面观察, 大概使得从望远镜射出的光能被镜面反射回望远镜中.

③ 从望远镜中观察, 并缓慢转动载物台 (转动 22 不要转 5), 找到从平面镜中反射回来的绿色十字后, 调节叉丝与物镜间距 (须松开上方小螺丝 9), 使从目镜中能看清叉丝的反射像, 且消除视差. 此时, 小十字 (即分划板) 已处于物镜焦平面上. 即望远镜已聚焦于无穷远, 用目镜锁紧螺钉 9 固定好套筒.

### 3、用半调法调整望远镜光轴与分光仪主轴垂直

在上一步已看见反射的小十字像的基础上, 转动载物台 (通过转 22, 以后不说了), 使



平面镜绕分光计中心轴转  $180^\circ$ ，如果仍能看到反射回来的小十字像，则可细调使小十字像与分划板上方黑十字重合。否则，应重新进行粗调，直至载物台绕仪器转轴转  $180^\circ$  前后均能看见平面镜反射回来的像，再进行细调。

细调采用半调法，即先调望远镜下的光轴高低调节螺钉，使小十字像与分划板上方黑十字的上下距离移近一半，再调小平台下的两个螺丝（调该螺丝能够改变平面镜倾度） $b_1$ ， $b_2$ （ $b_3$  不动），使它们重合，转动载物台  $180^\circ$ ，再照以上方法调节，反复多次，必可使载物台转过  $180^\circ$  前后，平面镜的两个面反射回来的小十字像均与分划板上方黑十字重合。此时望远镜光轴与仪器转轴垂直。

#### 4、调整叉丝分化板的纵丝与主轴平行

微微转动望远镜镜筒，使得小绿十字移动时的轨迹与上叉丝重合。

#### 5、调节平行光管与望远镜光轴平行

①取走平面镜，将一调好的望远镜正对着平行光管，打开钠光源，照亮狭缝。

②打开狭缝，调节合适的狭缝宽度。从望远镜中观察，同时调节狭缝与平行光管间的距离（松开狭缝套筒紧锁螺钉 2），直到从望远镜中能看到清晰的狭缝像，且狭缝像与分划板之间无视差，这时平行光管产生的就是平行光。

③调节方法是：先使狭缝像与纵丝重合；调节平行光管的倾斜度 27，使（竖直）狭缝中点与中心叉丝叉相重合。

至此，望远镜、平行光管均已调好，在以后的测量中，不得破坏此状态，否则前功尽弃，需要重新调节。

#### 注意的问题：

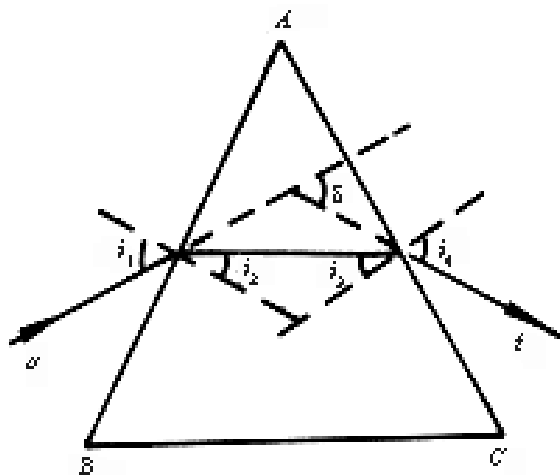
- 1、实验前最好先熟悉一下各个螺钉的作用，书上没有提到要动的螺钉就不要动，注意 25 和 16 一开始应该是松开的。
- 2、粗调一定要做好，直接影响整个实验的速度。
- 3、老师关灯后可用开关上的小灯辅助照明。
- 4、如果转 22（黑盘）载物台不动，检查 25 和 7。
- 5、压杆不可伸下太多，否则影响载物台转动。
- 6、图中分光仪与实验室略有差别，16 位置在其图上的背面。

#### ※最小偏向角法※

三棱镜的放置调整参见《基础物理实验》，这里不再赘述。

##### 一、实验原理：

光线  $\alpha$  代表一束单色平行光，以入射角  $i_1$  投射到棱镜的 AB 面上，经棱镜两次折射后以



$i_4$  角从另一面  $AC$  射出来, 成为光线  $t$ . 经棱镜两次折射, 光线传播方向总的变化可用入射光线  $a$  和出射光线  $t$  延长线的夹角  $\delta$  来表示,  $\delta$  称为**偏向角**. 由图可知  $\delta = (i_1 - i_2) + (i_4 - i_3) = i_1 + i_4 - A$ . 此式表明, 对于给定棱镜, 其顶角  $A$  和折射率  $n$  已定, 则偏向角  $\delta$  随入射角  $i_1$  而变,  $\delta$  是  $i_1$  的函数.

用微商计算可以证明, 当  $i_1 = i_4$  或  $i_2 = i_3$  时, 即入射光线  $a$  和出射光线  $t$  对称地“站在”棱镜两旁时, 偏向角有最小值, 称为**最小偏向角**, 用  $\delta_m$  表示.

此时, 有  $i_2 = A/2$ ,  $i_1 = (A + \delta_m)/2$ ,

故

$$n = \frac{\sin \frac{A + \delta_m}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

## 二、实验提示

### (1) 调整分光仪和三棱镜。

### (2) 观察光谱线

放置好三棱镜用汞灯照亮平行光管狭缝, 在平行光管与狭缝间放凸透镜聚焦 (同氢原子光谱实验一样), 松开游标盘止动螺钉, 转动载物台使棱镜处在图所示位置. 松开望远镜与主轴锁紧螺钉, 转动望远镜支臂沿棱镜出射光方向寻找棱镜折射后的狭缝像, 只要之前分光仪和三棱镜调节好, 此时应该能够在望远镜中就能看到谱线。

注意:

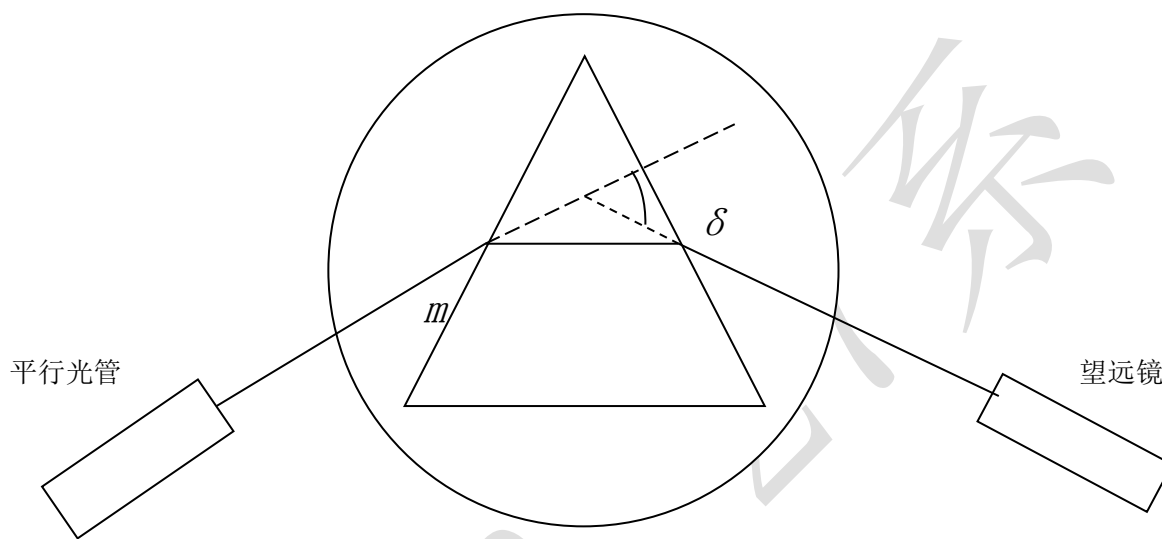
- 1、若看不到谱线或谱线不亮, 可能是因为狭缝光源亮度不够, 可将狭缝调宽一些再观察。
- 2、观察到的谱线应该是非常清晰的, 如果看到一些条形光斑可能是三棱镜内部缺陷和其他光源造成的, 可通过遮挡其它光源观察像是否消失来验证。
- 3、一时找不到不要慌张, 耐心确认前一步的调节没有受到干扰, 角度合适后可固定望远镜或载物台转动另一个寻找, 还是没有的话, 再改变固定方的位置再找。
- 4、一般来说, 课本上表 6.5.1 列出的汞灯的 12 条谱线不会都观察到, 只能观察到强度大的一些, 2012 年老师要求测 5~8 条谱线, 考试时给的资料上也只给出 8 条较强谱线的波长, 测量时要注意分辨到底是哪条谱线。

### (3) 观察偏向角的变化

稍稍向某方向转动载物台, 以改变入射角, 可看到谱线随平台转动向一个方向移动, 转动望远镜跟踪谱线, 直到载物台沿着同方向转动时, 谱线移到某个位置突然向反方向折回, 这一转折位置即该谱线的最小偏向位置。

**注意：**理论上各条谱线不会同时达到最小偏向角，即一条谱线出现最小偏向角时，其他谱线的偏向角并不是最小的，应该逐一测量。但是由于各谱线达到最小偏向角的位置相差不大，在 2012 年考试中，有些老师允许认为只要一条谱线达到最小偏向角时，其他谱线也达到最小偏向角，即当一条谱线达到最小偏向角时测出所有谱线位置，认为在这一位置所有谱线的偏向角均为最小，忽略其间差别。

**考试时一定要明确老师要求。**



#### (4) 测量出射光的方位 $\theta_1$ , $\theta_1'$ (出射光的角坐标)

将望远镜中分划板竖直叉丝固定在这一最小偏向角位置上(对准谱线)，用游标盘止动螺钉固定游标盘，并微调载物台，使棱镜作微小转动，准确找出钠谱线反向移动的确切位置，固定载物台，转动望远镜，使分划板竖直叉丝对准谱线，无法准确对准时，可先将竖直叉丝对准谱线附近，再用望远镜微调螺钉微调望远镜位置，记下游标 1 和游标 2 的读数  $\theta_1, \theta_1'$  (出射光方位)。

此步要注意的：

确认好位置后，要锁紧 16 和 25 使得望远镜与刻度盘连结且 22 盘不动，才能做入射光的测量。

#### (5) 测量入射光的方位 $\Phi_1$ , $\Phi_1'$ (入射光的角坐标)

移去三棱镜，转动望远镜对着入射平行光，使分划板中心十字交点对准平行光管的狭缝像，记下游标 1 和游标 2 的读数  $\Phi_1, \Phi_1'$  (入射光方位)。

(6) 测量所有谱线的最小偏向角，数据记录表格见下表，求  $\delta_m$  的平均值  $\overline{\delta_m}$ ，带入平均

值由公式  $n = \frac{\sin \frac{A + \delta_m}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$  计算  $n$ .

表：最小偏向角测定的实验数据

$$\delta_{mi} = \frac{1}{2} [(\theta_i - \phi_i) + (\theta_i' - \phi_i')] ]$$

$$n = \frac{\sin \frac{A + \delta_m}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

项目	游标 1 读数		游标 2 读数		$\delta_{mi}$	折射率 $n$	波长 $\lambda$ (查表)
	$\theta_i$ (出射光 坐标)	$\phi_i$ (入射光 坐标)	$\theta_i'$ (出射光 坐标)	$\phi_i'$ (入射光 坐标)			
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

上表仅为参考， $\delta_m$ 、 $\delta_m'$ 的计算注意取绝对值。

(7) 将光源换成待测光源，同理测出各待测谱线对应的最小偏向角（2012 年要求测 3 条谱线，要明确老师要求）。

### 三、数据处理

此计算以顶角  $A$  已经给出即  $A = 60 \pm 0.05^\circ$  为准，仅为参考。

通过一元线性回归求出科希公式中的  $A$ 、 $B$  值，进而得到标定的科希公式。

$$n(\lambda) = A + B/\lambda^2$$

根据上表将各谱线波长  $\lambda$  与对应计算出的折射率  $n(\lambda)$  代入，用计算器进行一元线性回归，求出  $A$ 、 $B$  的值，将  $A$ 、 $B$  代入上式得到标定好的科希公式。

根据待测光源各谱线的最小偏向角计算出对应的折射率  $n$ ，

$$n = \frac{\sin \frac{A + \delta_m}{2}}{\sin \frac{A}{2}}, \text{ 再将各个折射率 } n \text{ 代入求出的科希公式 } n(\lambda) = A + B/\lambda^2 \text{ (此}$$

时 A、B 已知，由 n 求出对应  $\lambda$ )，求出各谱线对应的波长  $\lambda$ 。

数据处理到此就结束了，之后收拾好仪器就可以离开考场了。



# G02 分光仪的使用

## (测定闪耀光栅的空间频率)

这个实验是除 G01 之外最简单的光学实验，一定弄懂 5.13 氢原子光谱和里德伯常数的测量实验中如何调节光栅的操作。

### 一、任务与要求

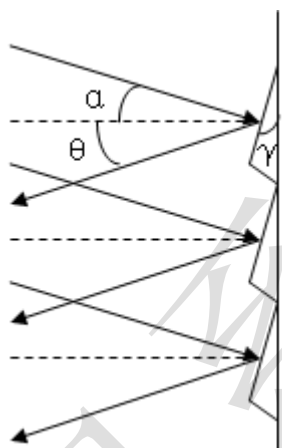
1、从低压汞灯常用的四条光谱线 ( $\lambda=435.83, 546.07, 576.96, 579.07\text{nm}$ ) 为标准，利用分光仪测定光栅的光栅常数  $d$  并估算不确定度(参考数据:  $d=0.8\mu\text{m}$  或  $1.6\mu\text{m}$ ，根据实验仪器不同而异，2012 年考试时为根据实验仪器编号奇偶不同而异)。

2、取  $k=\pm 1$ ， $\lambda=546.07\text{nm}$  时，测定光栅的角色散率  $D_\theta$  和光栅能分辨的最小波长  $d\lambda$ 。已知平行光管通光口径  $2.20\text{cm}$ 。

3、选做实验: 若测得光栅常数  $d=0.8\mu\text{m}$ ，则取  $k=\pm 2$ ， $\lambda=546.07\text{nm}$  时测  $D_\theta$  和  $d\lambda$ ;

若测得光栅常数  $d=1.6\mu\text{m}$ ，则取  $k=\pm 3$ ， $\lambda=546.07\text{nm}$  时测  $D_\theta$  和  $d\lambda$ 。

### 二、实验原理



1、斜入射时，若入射角为  $\alpha$ ，则来自相邻缝上对应两点的衍射光线的光程差是  $d \cdot \sin \theta - d \cdot \sin \alpha$ 。出现主极大的条件是  $d(\sin \theta - \sin \alpha) = k\lambda$ ， $k=0, \pm 1, \dots$  对上式求微分得

得

$$d \cdot \cos \theta \cdot d\theta = k \cdot d\lambda \quad (d \text{ 为光栅常数})$$

$$2、\text{角色散率 } D_\theta = \frac{\Delta \theta}{\Delta \lambda} = \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{k}{d \cdot \cos \theta}$$

3、最小波长  $d\lambda = \frac{\lambda}{kN}$  ( $k$  为级数， $\lambda$  为波长， $N$  为有效狭缝总数，即衍射单元总数)。

$\therefore N = \frac{D}{d}$  ( $D$  为平行光管通光口径， $d$  为光栅常数)

$$\therefore d\lambda = \frac{\lambda d}{kD} \quad (k=0, \pm 1, \dots)$$

三、实验仪器：分光仪、平面反射镜、平面反射光栅、汞灯光源

### 四、实验步骤

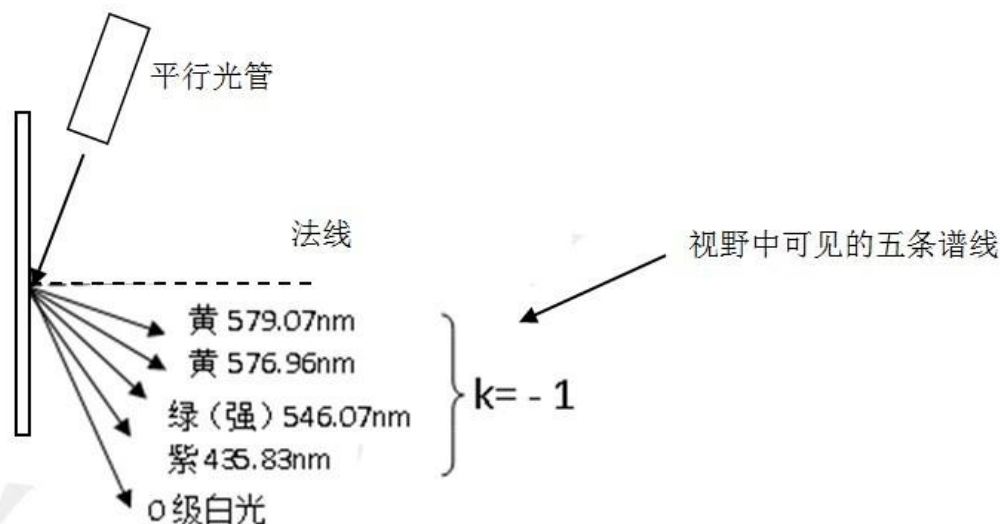
#### 1、调节分光仪 (步骤参照 G01)

目标：使望远镜聚焦于无穷远，其光轴垂直仪器主轴；平行光管出射平行光，其光轴垂直仪器主轴。



$$\alpha = \frac{1}{2} [ (\theta_0 - \theta) + (\theta'_0 - \theta') ] \quad \theta_i = \frac{1}{2} [ (\theta_i - \theta) + (\theta'_i - \theta') ]$$

$$d_i = \left| \frac{k\lambda_i}{\sin\theta_i - \sin\alpha} \right| = \left| \frac{\lambda_i}{\sin\theta_i - \sin\alpha} \right|$$



#### 4、测定光栅角色散率 $D_\theta$ 和最小波长 $d\lambda$

当  $\lambda = 546.07\text{nm}$  时,  $k = \pm 1$  时 (绿光) 将  $\theta_2$  代入,  $d$  代入, 得到

$$D_\theta = \frac{1}{d \cos \theta} \quad d\lambda = \frac{\lambda_{\text{绿}} d}{D} \quad (D = 2.20\text{cm})$$

为减少由于主刻度盘刻度不均匀引入的误差, 应多测几次取平均值, 每次单独转动主刻度盘 50-60 度, 转动前先松开主刻度盘与望远镜固紧螺钉。(2012 年考试时只要求测一组数据, 注意老师的要求)

#### 五、数据记录

(2012 年考试时只要求测一组数据, 注意老师的要求)

n	法线		0 级白光		1 级紫光		1 级绿光		1 级黄光		1 级黄光	
	$\theta$	$\theta'$	$\theta_0$	$\theta'_0$	$\theta_1$	$\theta'_1$	$\theta_2$	$\theta'_2$	$\theta_3$	$\theta'_3$	$\theta_4$	$\theta'_4$
1												

#### 六、不确定度的计算

$$\mu(\theta) = \mu(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{60} \times \frac{\pi}{180^\circ}$$

$$\mu(d_i) = \sqrt{\left( \frac{\partial d_i}{\partial \theta} \right)^2 \mu^2(\theta) + \left( \frac{\partial d_i}{\partial \alpha} \right)^2 \mu^2(\alpha)}$$

$$= \sqrt{\left( \frac{\lambda_i \cos \theta}{(\sin \theta_i - \sin \alpha)^2} \right)^2 \mu^2(\theta) + \left( \frac{\lambda_i \cos \alpha}{(\sin \theta_i - \sin \alpha)^2} \right)^2 \mu^2(\alpha)}$$

## G03 偏振光的研究

这个实验原理复杂但操作简单，所以一定注重理解原理和解释现象，强烈建议预习 G03 时仔细看看偏振光实验的视频，有助于理解及操作。

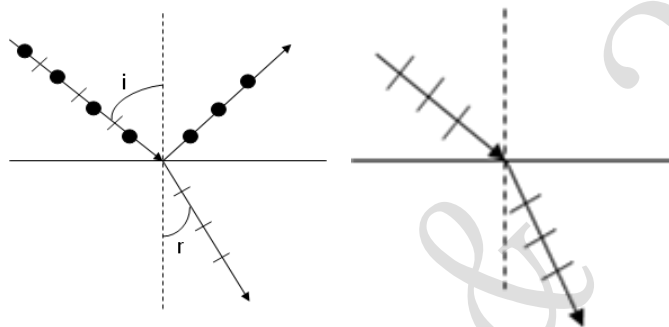
### 一、任务与要求

1. 用布儒斯特定律测定平板玻璃的折射率，并判断偏振片的偏振化方向，估算折射率的不准确度并写出结果表达式。
2. 识别给定光源的  $1/2$  和  $1/4$  波片，并判定  $1/4$  波片的光轴（或垂直于光轴）的方向，给出判别结果并说明原理。
3. 设计并实现产生圆偏振光和椭圆偏振光，并作出实验验证。
4. 数据处理时请自带坐标纸、量角器和计算器。

### 二、仪器设备

色光源，导轨（带多种滑座及垂直可调圆刻度盘），平板玻璃及水平可调圆刻度盘，可调狭缝，凸透镜（带透镜夹），白屏，光电池及数字三用表（用于测光电流）各 1 个，偏振片 2 个，相应的单色光的  $1/2$  和  $1/4$  波片各 1 个

### 三、实验原理

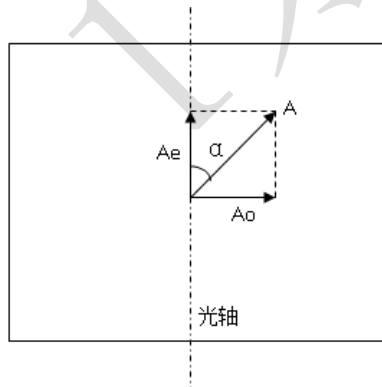


#### 1、测平板玻璃的折射率

入射光线为自然光时，反射光线为振动方向垂直于入射面的线偏振光，折射光线为振动方向平行于入射面的线偏振光，且三线共面，而当反射光线垂直于折射光线时，即  $i + \gamma = 90^\circ$  时，

折射率  $n$  满足  $n = \tan i$ ，这就是布儒斯特定律，此时的入射角  $i$  称为布儒斯特角。因此，若入射光线为平行于入射面的线偏振光，则反射光消失，如图所示。（详细原理见大学物理光学部分）

#### 2、判别 $1/2$ 和 $1/4$ 波片光轴方向



1) 光沿光轴方向传播时不发生双折射现象

2) 波片的光轴与晶体表面平行，当一束光入射后可分解为振动方向垂直于光轴的 o 光和振动方向平行于光轴的 e 光，两光在波片内以不同的速度传播，出射固定的相位差。  $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d(n_e - n_o)$  ;

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d(n_e - n_o) ;$$

$1/2$  波片使  $\Delta\varphi = (2k + 1)\pi$  即  $d(n_e - n_o) = \frac{1}{2} (2k + 1) \lambda$  ,

$1/4$  波片使  $\Delta\varphi = \frac{(2k+1)\pi}{2}$  , 即  $d(n_e - n_o) = \frac{1}{4} (2k + 1) \lambda$

3) 经起偏器（第一块偏振片）起偏后的光为线偏振光：

当其通过  $1/2$  波片后, 仍为线偏振光 (第二片偏振片——检偏器转动一周, 消光两次);  
当其通过  $1/4$  波片后, 设起偏器偏振化方向与其光轴夹角为  $c$ , 则:

$c=0^\circ$  或  $90^\circ$  时, 其成为线偏振光 (检偏器转动一周, 消光两次);

$c=45^\circ$  时, 其成为圆偏振光 (检偏器转动一周, 无光强变化);

$c \neq 0^\circ \neq 45^\circ$  时, 其成为椭圆偏振光 (检偏器转动一周, 光强变化, 但无消光现象)

注: 若起偏器偏振化方向与其检偏器偏振化方向垂直 ( $A_1$  偏振化方向  $\perp A_2$  偏振化方向),

插入  $1/2$  波片 ( $B$ ), 转  $B$  使消光 (此时  $B$  的光轴方向  $\perp A_1$  或  $A_2$  的偏振化方向), 若将  $B$  转动  $\delta$  角, 则需将  $A_2$  转动  $2\delta$  角才会再消光。

3、

1) 偏振片所透过的线偏振光的偏振方向, 即为偏振片的偏振化方向;

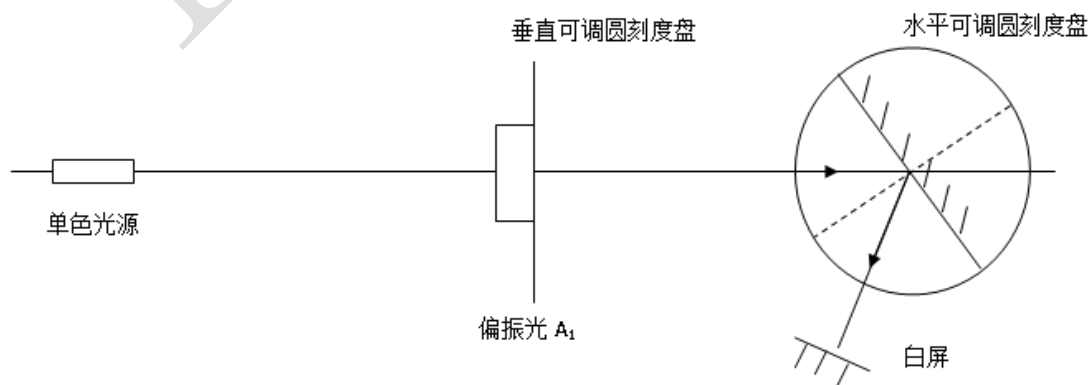
2) 椭圆偏振光与圆偏振光都可以看成是两个相互垂直的线偏振光的合成, 当他们振幅相等, 相位差为  $\pm\frac{\pi}{2}$  时形成圆偏振光, 否则为椭圆偏振光

#### 四、实验步骤

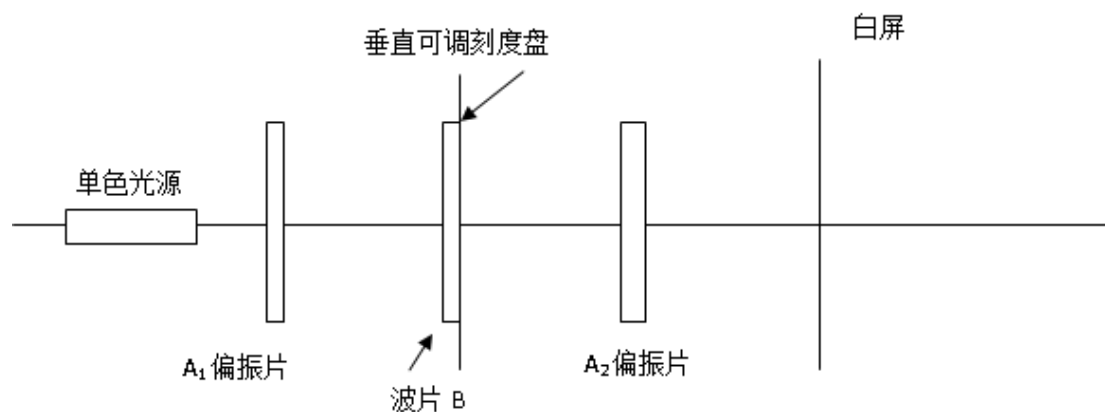
##### (一) 准备

1. 光路调整: 放上白屏, 调节偏振片与单色光源光路垂直
2. 将平板玻璃固定在圆盘上, 先调节圆盘使入射光沿原路径返回, 即  $i = 0^\circ$ , 记录圆盘上刻度  $\alpha_1$ , 即为入射光线方向。
3. 转动圆盘大概  $53^\circ$ , 观察光屏, 调节偏振片  $A_1$ , 当光强最暗时, 此时偏振片  $A_1$  的偏振化方向一定为水平方向; 再调节圆盘, 消光, 此时记下圆盘刻度  $\alpha_2$ , 此时  $i_1 = |\alpha_1 - \alpha_2|$ ,  $i_1$  为布儒斯特角。
4. 为减小误差, 把玻璃片相对于圆盘旋转一定角度 (如  $60^\circ$  左右) 后固定, 重复以上步骤, 一共测量 5 次。

原理解释: 根据布儒斯特定律, 当入射角为布儒斯特角时, 若入射光为自然光, 则反射光为振动方向垂直于入射面的线偏振光。因此, 若入射光线为振动方向平行于入射面的线偏振光时, 反射光会完全消失。



##### (二) 判别 $1/2$ 波片与 $1/4$ 波片及 $1/4$ 波片光轴



1. 维持 $A_1$ 不动，放上 $A_2$ ，旋转 $A_2$ 至消光（白屏），此时 $A_1$ 、 $A_2$ 偏振化方向垂直（标记 $A_1$ 、 $A_2$ 方向）
2. 放上波片 B，转动 B 至消光（白屏）（标记一下）
3. 再将 B 转动 $\delta$ （如 $15^\circ$ ， $30^\circ$ ），同时转动 $A_2$ （约为 $2\delta$ 左右），若消光，且 $A_2$ 转动一周可消光两次，则 B 为  $1/2$  波片，若一圈不消光，且光强有所改变，则 B 为  $1/4$  波片。
4. 维持 $A_1$ 不变，放上 $A_2$ ，并使 $A_1$ 与 $A_2$ 偏振化方向垂直，调节 B，使消光，此时 B 的光轴方向为垂直或平行于 $A_1$ 偏振化方向。

原理解释：

对于  $1/2$  波片，若入射光为线偏振光，则出射光也为线偏振光；若入射的线偏振光振动方向与  $1/2$  波片光轴方向夹角为  $\delta$ ，则出射的线偏振光振动方向与入射光夹角为  $2\delta$ ，一周可产生两次消光；

对于  $1/4$  波片，只有其光轴与入射的线偏振光振动方向平行或垂直时，出射光才为线偏振光，才可产生消光，否则出射光为圆偏振光或椭圆偏振光。

（三）设计并实现产生圆偏振光及椭圆偏振光的方法，并作出实验验证

1. 在（二） $c=0^\circ$  基础上，转动  $1/4$  波片，使其光轴与 $A_1$ 偏振化方向成角 $45^\circ$ ，得圆偏振光，转动 $A_2$ ，记录几组转角 $\theta$ 与光电流表读数 $I$ 。
2. 转动 B，使  $c$  取  $\neq 0^\circ \neq 45^\circ$  的一组数，如 $60^\circ$  等，再旋转 $A_2$ ，记录  $n$  组转角 $\theta$ 与光电流表读数 $I$ （每  $10^\circ$  或  $20^\circ$  测一次，共测 18~20 个，根据老师要求而定）。
3. 分别以 $\theta$ 为极角， $\sqrt{I}$  为极半径，作图验证。

（四）解释为何  $I_{\max} : I_{\min} = 7.5 : 1$  时， $\theta = 70^\circ$

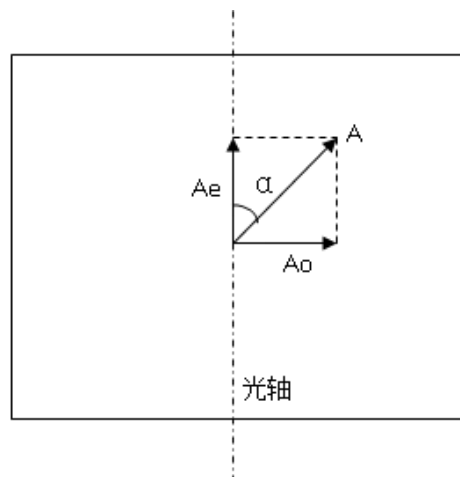
（图中 A 为光的振幅）

$$A_e = A \cos \alpha, \quad A_o = A \sin \alpha$$

出射光线的参数方程为

$$\begin{cases} x = A_e \sin \omega t \\ y = A_o \cos \omega t \end{cases}, \quad \text{即} \begin{cases} x = A \cos \alpha \sin \omega t \\ y = A \sin \alpha \cos \omega t \end{cases}$$

则出射光线的标准方程为



$$\frac{x^2}{A^2 \cos^2 \alpha} + \frac{y^2}{A^2 \sin^2 \alpha} = 1$$

即

$$\frac{x^2}{A_e^2} + \frac{y^2}{A_o^2} = 1$$

因为光电流大小正比于光强大小，光强大小正比于光振幅大小的平方成，所以当光电流大小的比为  $I_{\max} : I_{\min} = 7.5 : 1$  时，则光振幅比为  $A_{\max} : A_{\min} = \sqrt{7.5} : 1$ ，而出射光的最大振幅与最小振幅分别为  $A_o$  或  $A_e$ ，所以得  $\frac{A_e}{A_o} = \sqrt{7.5}$ ，即  $\frac{A \sin \alpha}{A \cos \alpha} = \tan \alpha = \sqrt{7.5}$ ，解得  $\alpha = 69.94^\circ$ ，约为  $70^\circ$ 。也正因此，以  $\theta$  为极角， $\sqrt{I}$  为极半径作图，可得到标准椭圆。

注：强烈建议预习 G03 时仔细看看偏振光实验的视频，有助于理解及操作。

##### 五、数据记录

n	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
1			
2			
3			
4			
5			
平均			

$$n = \tan i$$

$$\frac{\partial n}{\partial i} = \frac{\sin^2 i + \cos^2 i}{\cos^2 i} = \frac{1}{\cos^2 i}$$

$$\therefore \mu(n) = \sqrt{\frac{\mu^2(i)}{\cos^4 i}} = \frac{\mu(i)}{\cos^2 i}$$

$$i = |\alpha_1 - \alpha_2|, \therefore u_b(i) = \sqrt{2} u_b(\alpha)$$

$$\therefore \mu_b(i) = \sqrt{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{\pi}{180^\circ}$$

$$\mu_a(i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (i_1 - \bar{i})^2}{5 \times 4}}$$

$$\mu(i) = \sqrt{\mu_b^2(i) + \mu_a^2(i)}$$

注：根据以往经验，白色波片为  $\frac{1}{2}$  波片，橙色波片为  $\frac{1}{4}$  波片。

## G04 迈克尔逊干涉仪的应用

此实验原理简单但操作复杂，一定要按部就班，按照规定步骤来做，否则只能永远停留在粗调一步，无法观察到现象，一旦调好一定不能再碰任何镜子，务必细心、耐心！强烈建议结合迈克尔逊干涉实验的视频，按照视频步骤做，务必理解等倾干涉与等厚干涉原理！

### 一、实验任务

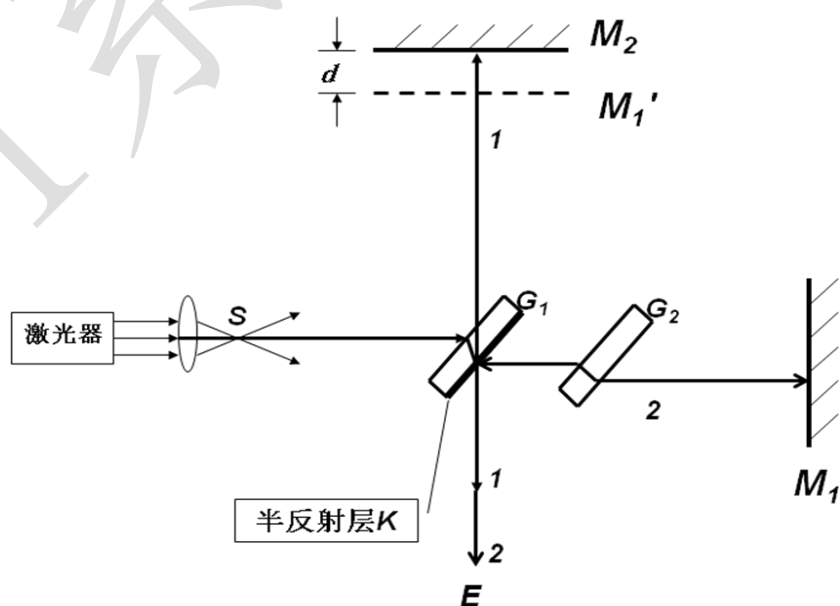
- 1、光学法测压电常数
- 2、测钠光双黄线的波长差
- 3、测钠光的相干长度和谱线宽度
- 4、测白光灯的相干长度和谱线宽度（选做）

其实选做实验是 10 分，如果不做的话你的满分也就是 90。

进去之后老师会给你一张资料，看清实验要求，老师会按要求给分，**注意明确老师何时检查操作和现象。**

实验要用到两次一元线性回归法处理数据，一定不能自己算，否则时间绝对不够。老师会提供给你科学计算器，但是建议大家自己带，并之前先把科学计算器进行一元线性回归法操作熟练，以节省时间。

### 二、实验操作





## 1、迈克尔逊干涉仪的调整（建议 30 分钟内完成）

- ①调节之前一定要保证 6 个螺钉，2 个拉簧都在半松半紧状态下。
- ②激光的强度有 5 个等级，建议在 2 或者 3 上，太暗了不容易观察，太亮了眼睛会疲劳。
- ③实验前调节 M1 镜和 M2 镜到 G1 镜的距离大致相当，因为这里是 M2 和 M1' 近似重合的位置，环比较粗，特别容易观察。（2012 年 M2 镜位置刻度大致在 90~95mm 之间）
- ④无论是哪一步实验，一定是透过一个毛玻璃观察，不能没有，也不能两个，大家只要好好理解一下这句话就知道毛玻璃和屏幕的取舍问题了。

### a.粗调（只调节激光器）

调节激光器的摆放位置，俯仰，左右，使激光的点大致恰好在 M1、M2、G1、G2 镜的中间并且反射回来的光点大约在激光器的光源发射口处。一定等这一步满足后再调下一步，否则下一步很可能做不出来。

### b.微调（只动 6 个螺钉）

在激光器前摆放小孔，要求使激光完全透过小孔打在 G1 上，这时遮住 M1，调节 M2 背后的 3 个螺钉，使 M2 反射的光中最亮的光斑恰好完全透过小孔；同理，调节 M1。尽量不要把 6 个螺钉拧死，如果拧死还没满足要求，肯定是第一步的问题，重新粗调。

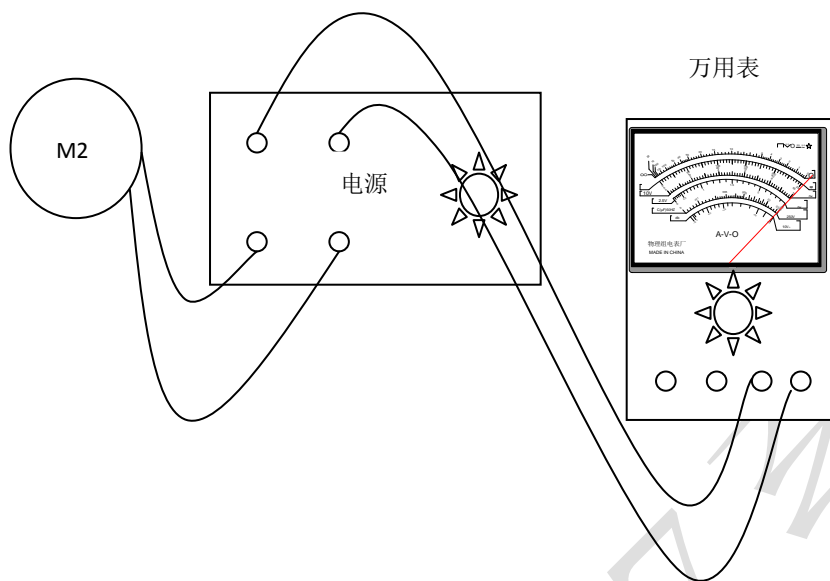
**只要满足了上面两个条件，M1、M2 就已经垂直了，直到实验结束绝对不能再动 6 个螺钉。**

注意：2012 年 M2 镜后有 3 个螺钉，调节方向互有影响，而 M1 镜后只有 2 个螺钉，分别控制上下和左右。

### c.精调（只动 2 个拉簧）

拿下小孔，放上扩束镜，要求激光完全透过扩束镜并且出射光把 G1 镜完全覆盖，可以拿一张白纸在 G1 镜前观察，调节扩束镜的俯仰，左右，使 G1 镜完全浸入到扩束镜的光中。这时在毛玻璃观察屏上肯定会有干涉条纹。调节 2 个拉簧，使干涉条纹的圆心移到屏幕中间（2 个拉簧一个控制上下，一个控制左右）。这时放下毛玻璃观察屏，在扩束镜和干涉仪之间放上毛玻璃，直接用眼睛观察 G1，这时只是把毛玻璃从眼睛的位置移到了光源的位置，理论上肯定有干涉条纹，但比较难观察到，调节 2 个拉簧，使干涉条纹的圆心移到 G1 中间。一定摇晃着眼睛观察，如果实在找不到就调节 2 个拉簧，先把一个调在半松半紧，另一个从最紧调到最松；同理，再调另外一个。注意不要拧脱扣。这样就一定能看到了。仍然调节 2 个拉簧，把圆心移到屏幕中间，并消掉吞吐。拿开毛玻璃，放上屏幕就可以进行实验了。

## 2、测量压电常数（建议 15 分钟内完成）



压电陶瓷管的长度随所加电压而改变，M2 的位置随之改变，所以会出现条纹吞吐。

做此实验时先打开钠灯，为下一个实验节约时间，因为钠灯需要预热 10 分钟才可使用。

### a. 连接实验仪器

压电陶瓷管已经安装在 M2 镜后面了，而且从上面分下一红一黑两根线，所以这个问题不用你担心。电源是一个方形的盒子——电位器，开关在右侧，记得一定要打开开关，不要傻乎乎地问老师怎么没有示数……电源档次调成 1000V，连接就按红线接红，黑线接黑就行。万用表使用 0~2000V 的直流档，连接右下角的两个插孔。实验时如果发现万用表示数是负的只要把连接线调换一下就可以。电源盒的电压高达千伏，而四个接线孔都是裸露的，所以大家一定小心，建议先插好线再打开开关。

### b. 实验测量

2012 年要求在 180V~550V 之间测 6~8 组数据，且要求写明如何确定测量方案。从 0V 调至 180V 的过程中注意观察，每吞或吐 1 个圈约为多少 V，根据经验为每吞或吐 1 个圈约为 20V，所以可计算出应为每 2 圈记一个电压，这样就确定了测量方案。具体多少圈记一次数需根据具体要求而定。

先旋动电位器上的旋钮，使万用表示数为 0，然后慢慢旋动，眼睛观察干涉仪，每吞吐 2 圈记一个电压值，记录 6~8 组数据。这一步千万不要动干涉仪。最后一组数据测完后不要动，老师检查圆环条纹是否在中央以及数据的线性，他说可以了再进行下一步。

k	1	2	3	4	.....
电压/V					

### c. 数据处理

绝对不能现在进行数据处理，因为下一步要使用这一步的装置，数据处理最后进行。

### 3、测纳黄线波长差（建议 45 分钟内做完）

普通的钠黄光是由波长为 589.0nm 和 589.6nm 的两种光组成的，波长差理论值就是 0.6nm。

至于视见度是告诉你条纹有时候清楚有时候模糊，与法布里-珀罗干涉的原理相同。

#### a、连接实验仪器

①放下观察屏，关掉并移走激光器，换上纳黄光灯，并在前面放上毛玻璃，**注意不要碰到干涉仪**，由于黄光灯亮度低，尽可能靠近一点 G1 镜。钠光灯要 10 分钟预热，所以在上一步开始测量时就要打开了。

#### ②找黄色条纹

一定保证 M2 镜的位置是在 90~95mm 左右，因为这里是 M2 和 M1' 近似重合的位置，环比较粗，特别容易观察。这时通过 G1 镜应该能看到明暗相间的黄色条纹，如果没有，可能是正好处在视见度为 0 也就是模糊的状态，旋转粗动轮，移动几毫米，应该就会出现。如果还没有就按照精调的方法调节两个拉簧，千万不要动 6 个螺钉。如果你观察到的不是圆圈状的，弧形或者直线行，那向前或向后移动 M2 镜，直到出现圆圈为止。仍然调节 2 个拉簧，把圆心移到屏幕中间，并消掉吞吐。举手示意，让老师检查钠光条纹。*这里环确实比较难观察，一定要手动仪器，眼观镜子，头上下左右晃，这样才比较好找。*

#### b、测量

将 M2 镜向前或向后调，但保证只往一个方向转动微动手轮，观察出最模糊的状态，每次最模糊的状态记录一次数据，根据老师要求记录 8~10 组数据。M2 与 M1' 距离越大，线条越细，观察误差越大，尽量 M2 与 M1' 重合的位置开始测量。

#### c、读数

①消空程，就是只能往一个方向转，如果非要换向就多转一点在移回去。

②**粗动轮和细动轮调零**。因为细动轮可以带动粗动轮，而粗的不会带动细的，所以先把细动轮指向 0，再把粗动轮指向某一整数刻度，即粗动轮刻度上最长的刻度，这样两个轮的零点就重合了。

③示数是小数点后五位，即  $aa.bbccd$  mm。 $aa$  是主尺刻度， $bb$  是粗动轮刻度， $cc$  是细动轮刻度， $d$  是估读一位，mm 是单位，少任何一个的话你直接出去吧.....

最后一组测完了让老师检查，记住一定是模糊的，你别特显摆弄个特清楚的.....

k	1	2	3	4	.....
l/mm					

#### d、数据处理

最后进行。

#### 4、测钠光源的相干长度和谱线宽度（建议 30 分钟内做完）

注意：测相干长度的原理是等厚干涉，而前两个实验的原理是等倾干涉，详细原理见大学物理迈克尔逊干涉部分。务必弄清  $M2$  和  $M1'$  之间空气隙形状与干涉条纹之间的关系，明白何时会出现平行直条纹、弧形条纹、圆环条纹以及何时无条纹。

相干长度由测量得到，谱线宽度由计算得到。相干长度的定义物理课本上有，简单点说就是  $M1'$  和  $M2$  的距离在一定范围内时，才能发生干涉，对于每种光，这个距离不一样，就是相干长度了，所以你只要找到它恰好不干涉的位置就可以了。

##### a、寻找中间位置

$M2$  与  $M1'$  近似重合时， $M2$  镜的位置经验值 90~95mm 左右，也可能因仪器不同而不同。在测钠光波长差实验的基础上，小心转动粗动轮向前或者向后移动  $M2$ ，使条纹逐渐变粗，直到  $G1$  视野内只剩下一个或两个圆环条纹。由于之前实验原理为等倾干涉， $M2$  与  $M1'$  完全平行，而测相干长度是利用等厚干涉，要求  $M2$  与  $M1'$  之间空气隙为楔形，所以稍微拧动水平拉簧，使  $M2$  与  $M1'$  不再平行，出现等厚干涉。此时继续按照刚才方向慢慢转动粗动轮，直到  $G1$  视野内条纹变为弧形，且弧度慢慢变小。接近平行时，转动微动手轮，直到出现平行的明暗相间的条纹，此时  $M2$  与  $M1'$  相交，条纹相互平行且平行于  $M2$  与  $M1'$  的交线。注意由于  $M2$  与  $M1'$  的交线并不一定完全竖直，所以看到的平行条纹也并不一定是竖直的，只要保证找到条纹最平行的位置即可。如果错过平行位置继续转动微动轮，则条纹又逐渐变为弧形，但是弯曲方向与之前相反。此时应反转超过平行位置一定圈数后再找平衡位置，以免由于空程误差导致不准确。记下条纹最平行时  $M2$  的位置  $d$ ，即  $M2$  与  $M1'$  相交的位置。

【实验原理：这个过程相当于  $M1'$  位置不变， $M2$  在移动中逐渐接近  $M1'$ ，与  $M1'$  相交，又逐渐在另一侧远离  $M1'$ ；条纹就相应地从无到有，从弧形条纹变为平行直条纹，再变为反向弧形条纹，再从有到无；出现条纹的这一部分长度就是相干长度。我们测量的是从平行到

消失的长度，即相干长度的一半。】

#### b、寻找消失的位置

为避免出现空程误差，继续沿上一步的同一方向移动 M2 镜，转动粗动轮，知道条纹消失、视野中为一片光亮为止，此位置记为 d'，即不再能干涉的位置。

注意：这一实验中尽量不要出现反转粗动或微动轮，以免出现空程误差影响结果。

#### c、计算相干长度和谱线宽度

$$\text{相干长度} = 2 |d - d'|, \text{谱线宽度 } \delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2 |d - d'|}$$

### 5、测白光源的相干长度和谱线宽度（数据处理完再作）

这个选做有点难度，但是只要明白原理，仔细一点是一定可以做出来的。

与测钠光源的步骤一样，只是钠光源的相干长度是厘米级，而白光的相干长度是微米级，很难观察，要求你把 M2 与 M1' 相交的位置确定得很准确。因为虽然光源改变，但是 M2 与 M1' 相交的位置是确定的，不会改变，所以有个小技巧就是先用钠光源按照上个实验中的步骤找到弧形条纹接近平行的位置，然后按同一方向慢慢转动微动手轮寻找相干条纹，小轮一圈是 10 微米了，所以一定要仔细。而且白光的相干长度极短，出现彩色平行直条纹的范围非常非常小，几乎一闪而过，所以接近平行时一定要慢，耐心细心就能做出来。老师会检查彩色平行直条纹。

然后计算相干长度和谱线宽度。

### 三、写实验报告

实验报告只要求写数据处理。

前两个实验要求用一元线性回归法处理数据，之后的只要计算出来就可以了。

#### 1、压电常数（此实验还要求写实验方案）

由迈克尔逊干涉仪的知识知道  $\Delta l = 2 \times \frac{\lambda}{2}$ , k 是条纹数目,  $\lambda$  是波长

$$\therefore D_{31} = \frac{\Delta l}{lV} = \frac{k\lambda t}{lV}$$

$$\therefore V = \frac{\lambda t}{lD_{31}} k$$

令 V 为 y, k 为 x, 设  $y = a + bx$ ;

则  $b = \frac{\lambda t}{lD_{31}}$ , a 即为吞吐第一个环时理论与实际的误差。

直接用计算器算得 a、b 和 r, 并说明 r 很接近于 1.

计算完  $D_{31}$  的值再计算不确定度。

$$U_{a(b)} = b \sqrt{\frac{1}{k-2} \left( \frac{1}{r^2} - 1 \right)}, \text{ b 类不确定度可以忽略}$$

$$\therefore U_b = U_{a(b)}$$

$$U_{D_{31}} = \frac{U_b}{b^2} \quad (\text{公式课本上都有, 可以自己推})$$

## 2、钠黄线波长差

令  $d_k = d_0 + \Delta dk$ ,  $d_k$  是第  $k$  次模糊的位置,  $d_0$  是第一次模糊时理论与实际的误差。因为

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2\Delta d}, \text{ 只要算出 } \Delta d, \text{ 就可以求出波长差了。}$$

【因为  $\Delta\lambda$  理论值为 0.6nm, 可计算出  $\Delta d$  的理论值为 0.289mm, 进行实验时可据此检查测得数据是否正确】

使  $d_k$  为  $y$ ,  $d_0$  为  $a$ ,  $k$  为  $x$ , 则  $y=a+bx$ , 求出  $b$ , 就是  $\Delta d$  了算出波长差再计算不确定度就可以了, 和第一个实验一样。

## 3、计算钠光相干长度和谱线宽度

## 4、计算白光相干长度和谱线宽度

## 四、收拾实验仪器