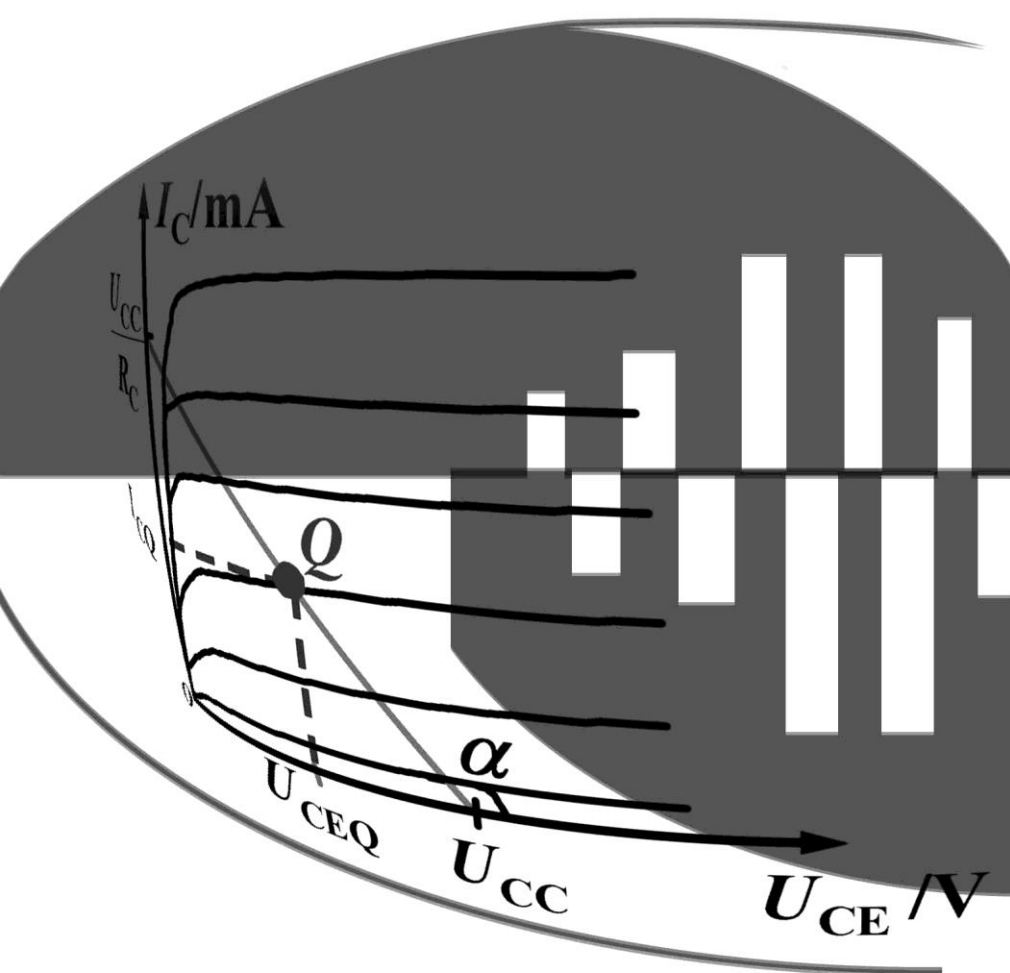


SIMEA

X007 系列学习丛书

# 基础物理实验

## 学习指导 <下册>



$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{2N}}$$



机械学院学习部

机械工程及自动化学院

第八届分团委学生会学习部编著



## CONTENTS

编 辑:机械工程及自动化

学院分团委学生会

学习部

策划编辑:陈 帅

责任编辑:李 峰

封面设计:刘秀成

责任绘图:李 峰、陈 帅

责任校对:李 峰

排 版:陈 帅

SEMA 学生会执委会邮箱:

[buaa007\\_zw@126.com](mailto:buaa007_zw@126.com)

SEMA 学生会常代会邮箱:

[buaa007\\_cd@126.com](mailto:buaa007_cd@126.com)

一 单量程三用表的设计与校准 .....	- 1 -
二 伏安法的应用-波尔兹曼常数的测定 ..	- 3 -
三 补偿法的应用 .....	- 4 -
四 非平衡电桥的应用 (自组热敏电阻温度 计) .....	- 7 -
五 分光仪的使用 (角度法测折射率) ....	- 8 -
六 分光仪的使用(测定闪耀光栅的空间频 率).....	- 10 -
七 光的偏振 .....	- 11 -
八 迈克尔逊干涉仪的应用 .....	- 13 -



## 专题：综合实验汇编

### 一 单量程三用表的设计与校准

一、实验目的：参照课本 P107

二、实验设备：

三、实验原理：

1、毫安表改装：

$R_s$  分流作用

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

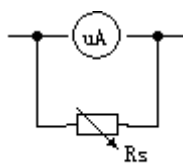


图1

内阻  $r_A = R_s \cup 500 \approx 10 \Omega$

2、伏特表改装：

$R_H$  分压作用

$$10 \times 10^{-3} \times (r_A + R_H) = 5V \Rightarrow R_H \approx 490 \Omega$$

$$r_r = R_H + r_A \approx 500 \Omega$$

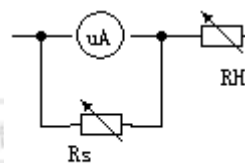


图2

3、欧姆表改装：

$$\left. \begin{aligned} 500 \cup R_0 + R &= R_x \\ \frac{E}{120} \cdot \frac{R_0}{R_0 + 500} &= I_g \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} R_0 = 8.13 \Omega \\ R \approx 112 \Omega \end{cases}$$

四、实验步骤：

(一) 毫安表校准：

1、按图 4 连接电路， $R_s$ 、 $R_n$  为电阻箱

$$E \approx 3.5V \quad R_s \approx 10.2 \Omega$$

$$R_n = 400 \Omega \quad R_p \text{ 置于最左端}$$

电流表选  $0 \sim 15mA$  档

2、接通电路，将  $R_p$  调至中段，然后调节  $R_n$  使 电流表示数为  $10mA$

3、微调  $R_s$  使表头满偏(此过程中电流表可能有微小变化，反复调节  $R_n$  与  $R_s$ ，直至同时满

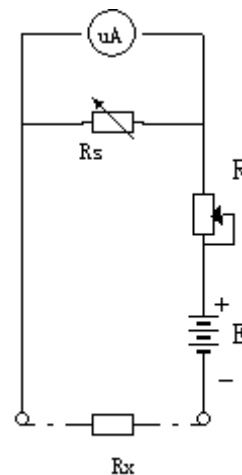


图3

足 2、3 条件), 记下  $R_s$  值。

- 4、增大  $R_n$ , 测出 11 组  $I_x$ 、 $I_{\text{标}}$ , 并记录数据。(为方便作图, 调  $R_n$  分别使  $I_x$  为  $0mA$ ,  $1mA \cdots 10mA$ )

(二) 伏特表校准:

- 1、在图 1 的基础上, 按图 5 连接线路

$R_s$ 、 $R_H$  为变阻箱,  $R_p$  为滑线变阻器。

$$E \approx 6V, R_H \approx 490\Omega$$

电压表接  $0 \sim 7.5V$  档,  $R_p$  位于左端。

- 2、合上 K, 调节  $R_p$  使电压表示数为  $5V$ 。
- 3、微调  $R_H$  使  $V_x$  满偏, (若电压表有改变, 需重调  $R_p$ , 直至条件 2、3 同时满足), 记录

$R_H$  值。

- 4、调节  $R_p$  测出 11 组  $V_x$ 、 $V_{\text{标}}$ , 记录数据。(可取  $V_x$  为  $0, 0.5V, 1V \cdots 5V$ )

(三) 欧姆表校准

- 1、按图 6 连接线路,  $R_s$ 、 $R_p$  为电阻箱,  $E = 1.5V, R_0 = 8.13\Omega, R_p = 112\Omega$

- 2、合上 K, 调  $R_0$  使表头半偏; 短接 1、2, 调节 R 使表头满偏。

- 3、反复以上两步, 逐次逼近, 直至两个条件同时满足。

五、数据处理:

- 1、毫安表校准:

$i$	1	2	.....	11
$I_x / mA$			.....	
$I_{\text{标}} / mA$			.....	
$\Delta I / mA$			.....	

在坐标纸上以  $\Delta I$  为纵坐标,  $I_x$  为横坐标描点, 用折线连接。

- 2、伏安表校准:

$i$	1	2	.....	11
$U_x / V$				

$U_{\text{标}} / \text{V}$				
$\Delta U / \text{V}$				

在坐标上以  $\Delta U$  为纵坐标,  $U_x$  为横坐标描点, 用折线连接。

## 二 伏安法的应用-波尔兹曼常数的测定

### 一、实验目的

用伏安法测 pn 正向电流电压关系, 并由此测出波尔兹曼常数。

### 二、实验设备 (p109)

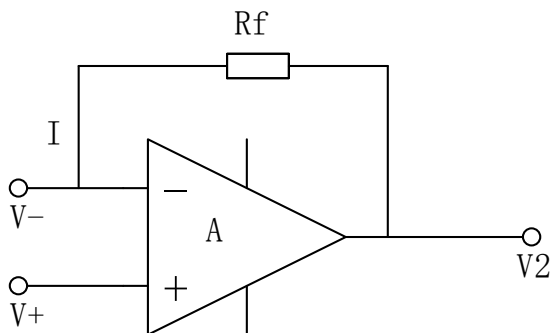
### 三、实验原理

#### 1、半导体 pn 结理论指出: pn 结正向电流电压关系满足 $I = I_0(\exp(eU/kT) - 1)$ 。

$U$  为 pn 结正向电压降,  $I$  是正向电流,  $T$  为热力学温度,  $e$  是电子电荷,  $k$  是波尔兹曼常数。  $T$ ,  $e$  已知, 所以只须测得  $I$ - $U$  关系, 即得  $k$ 。实际测量中, 上述关系简化成  $I = I_0 \exp(eU/kT)$ , 即  $I$ - $U$  满足指数关系。

#### 2、实验中采用结成共基极方式的三极管是为了减小和避免普通极管存在复合电流和表面电流的影响。

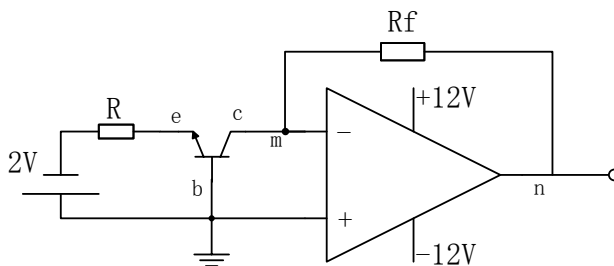
#### 3、实验测量中, 电压由 4 1/2 位数字电压表测出, 而集电极电流需通过运算放大器组成的电流电压交换器来充当 (如下图)。



当闭环时  $V = V_+$ ; 运放输出端不取电流。于是  $IR_f = -V_2$ , 自需测出  $V_2$ , 即得  $I$ 。

### 四、实验步骤

#### 1. 如下图连线, 图中 $R_f$ 为 $100 \Omega$ 变位器, $R$ 为金属膜电阻, 大小可调。



2. 初始时将  $R_f$  和  $R$  初值均调到最大，测量  $m, n$  两结点间的电压，记为  $U_1$ ，同时测出  $b, e$  间电压，记为  $U_2$ ，作为一组数据。
3. 调节  $R$  的大小，重复 2 的步骤，在记录第二组数据，共测十组。
4. 实验后整理仪器。

#### 五、数据处理

本实验采用一元线性回归法来处理数据 ( $U_1, U_2$  均取绝对值)。

由  $I = I_0 \exp(eU/kT)$ ,  $I = V_2/R_f$  得

$U_1/R_f = I_0 \exp(eU_2/kT)$ , 两边取对数得

$$\ln U_1 = \ln R_f * I_0 + eU_2/kT$$

取  $\ln U_1 = y$ ,  $U_2 = x$ 。

则  $b = e/kT$  利用线性公式求的  $b$ 。  $T = 273.15K$ ,  $e = 1.6E-19C$ 。

$k = bT/e$ ,  $k$  可得。

## 三 补偿法的应用

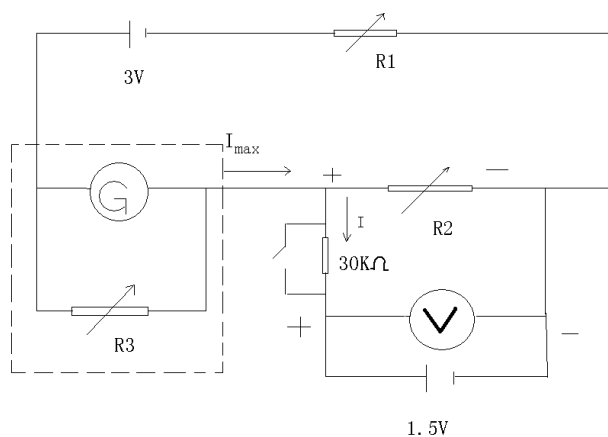
### 一、实验原理

$E \propto 1/r^2$ , 而  $I \propto E$ , 则  $I \propto$

$1/r^2$ . (详细见书)

### 二、实验步骤

你在实验室中会见到三个电阻箱，一个电压表，一个表头，一



个电位计还有开关和电源。

进入实验室后，老师就不允许看书了，此时会发给你一张试验报告纸，要求你把各个参数先设计出来，以及所要用到的电路图（就是本书中的两个），关于参数求得的公式也要提供给老师，写完后感觉没问题就给老师检查，老师看后才会让你做实验。

实验前要检查的参数设计：三个量程电流表所对应的各个变阻箱的值。变阻箱  $R_3$  的设计见 2 步。而  $R_2$  和  $R_1$  的设计见 3（1）步。

关于可行性安全性和准确度分析：

安全性：实验点压均很小，不会造成伤害。滑线变阻器由大到小调节，电流表量程也应由大到小量程试测。一包仪表安全。并且加在光电二极管的电压不可太大。否则击穿二极管。

可行性：断开和关闭开关  $K$ ，又电流补偿原理可知，此时改装后的电流表读数即为光电流。

准确度分析：电表的误差限  $\Delta_b = N_m \times a\%$ ， $N_m$  为量程， $a\%$  为电表等级。 $u_b = \frac{\Delta_b}{\sqrt{3}}$

从而算出  $I$ ， $r$ ， $\frac{1}{r^2}$  的 B 类不确定度。

对于此步骤，我问过我所知道的做过这个实验的同学，都没有要求此步。所以大家不必花时间在这儿，仔细看看实验步骤就好！

### 1、微安表内阻的测量

老师一般给出值，约  $3.3K\Omega$ ，量程  $50\mu A$ 。万一没给可用伏安法测一下。

### 2、把微安表改装成多量程安培表（用电阻箱并联）

一般用到三个量程： $0.75MA, 1.5MA, 3MA$ 。根据安培表内阻设计变阻箱阻值（按上述量程，对应理论阻值为  $235.7\Omega$ ， $120\Omega$ ， $55\Omega$ ）， $R = 1 / [(x \div 50\mu A) - 1] \times 3.3k\Omega$ （ $x$  为最大量程）。

### 3、校正安培表：

这是最花时间的一步。必须把三个量程都校正好才能开始下一步。电源的 1.5 伏会有偏差，因此以伏特表读数为准。 $I_{max}$  为最大量程的值。补偿法的要求是令  $I$  为 0。

（1）调整  $R_1, R_2$ ， $R_2 = 1.5V \div I_{max}$ ， $R_1$  与改装的电流表两者的电压之和是 1.5V，所以  $R_1 = 1.5 \div I - R$ （其中  $R$  为电流表的电阻）

（2）伏特表读数不会变，应此  $R_2$  不要动， $I_{max}$  不变。再调整  $R_1$ ，使得开关合上时，安培表的值不变。此时达到补偿。（即  $I$  为 0）

（3）调整  $R_3$ ，令安培表满偏，完毕。

（4）把三个量程都校正好，记下三个量程下  $R_3$  的值，以便测量时换量程用。此时将校准好的电流表给老师检查，老师会要求你跳到某个量程下进行检查。

## (5) 测量过程

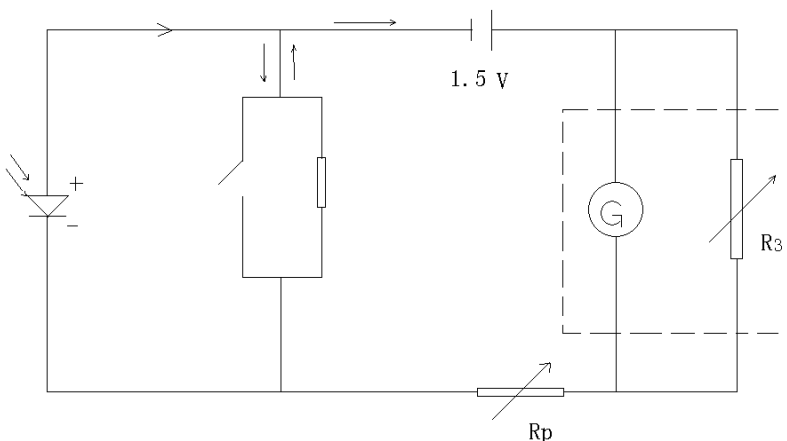
(注意电池极性，不能接反)

1) 光电池放在一米长导轨上，每隔一段距离  $R$  测一次。从靠近到远离，前面一段比后面要隔的密些。测量距离大概在 20 到 100 厘米。

2) 调整  $R_p$ ，使得开关闭合时安培表读数不变。此时读数即为光电流。

3) 测十组左右，量程不够时及时换  $R_3$  (电流值若低于  $1/2$  量程，也得换小一级的量程)。

4) 记录表 (老师要求  $I$  记为格数，计算时再换成安培)



$R$ (CM)				
$I$ (格数)				
$1/R^2$				

## 6、数据处理

一元线性回归算  $r \sim 1$  验证  $I \propto 1/R^2$ 。公式要记住！若  $r$  大于 1，可能是有效数字太多 (或太少)

若没时间，据说可以用画图法，直线过原点来验证。(佛祖保佑你!!)

实验室提供专门的计算器，能直接算出  $a, b, r$ ，附说明书 (讲的很清楚)，只要前面作的比较顺的话就没问题，时间上还是差不多能做完的。只不过还是建议预先找一台型号相似的学习一下，以备时间不够之需。市面上有许多类似的二维计算器，实验室是卡西欧的二维计算器。

注意事项：大家连电路图时一定要保持清醒的头脑，线路要清晰。

## 三、选做实验

在光电池上串联一个大电阻，重新测量。选做实验就直接在上串接一个好像是 1.3 千欧的电阻，此步要用到坐标纸 (大家千万别忘了带) 此时画出的曲线不是直线 (大家要相信自己的实验结果)。时间可能有点紧，大家还是尽可能节省前面的实验时间。

顺便提一下老师的打分。你会有操作分和报告分，各 100。你做得越快越对，操作分越高 (老师会设几个检查的步骤，你每次都第一个完成而且作对的话肯定有 95 分以上) 尽量不要问老师问题，除非真的不懂。报告分包括 15 分的选作实验报告。本实验还要求写实验前报告，要求把实验步骤和参数设计写下来，然后才开始做实验



## 四 非平衡电桥的应用（自组热敏电阻温度计）

一、利用平衡电桥原理，测量  $R_t$  与温度的关系：

- 1、如图连接电路。 $R_3 = R_4 = 1.2k\Omega$ 。 $R_1$  为电阻箱， $R_t$  为热敏电阻。
- 2、加热  $R_t$ ，不断调节  $R_1$  使充当检流计的微安表示数为 0。温度每上升  $10^\circ\text{C}$ ，测一次相

应的  $R_1$  值（事先要查出欲

测热敏电阻温度所对应的

铂电阻阻值），则

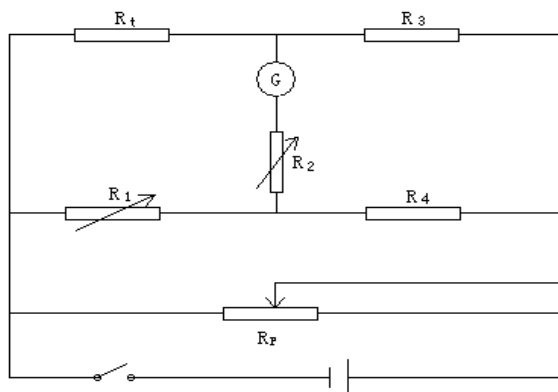
$R_t = R_1$ ，共测 6—10 组

数据（最后一组数据温度

最好达到或超过

100 $^\circ\text{C}$ ），从而得出  $R_t$  与

温度  $t$  的关系。



二、数据处理：

用一元线性回归法求出  $R_t = R_1(t)$  的表达式：

$$R_t = ae^{b/t}, \therefore \ln R_t = \ln a + b/t. \text{ 令 } y = \ln R_t, x = 1/t, \text{ 则可化为 } y = c + kx \text{ 的形式, 其中}$$

$c = \ln a, k = b$ 。用一元线性回归法求出  $k, c$  和相关系数  $r$ 。于是  $a = e^c, b = k$ ，进而求得  $R_t = R_1$

( $t$ ) 的表达式。

三、利用非平衡电桥给自组温度计定标：

- 1、利用  $R_t = R_1(t)$  的表达式求出  $R_t(0^\circ\text{C})$ 、 $R_t(10^\circ\text{C})$  ……  $R_t(100^\circ\text{C})$ 。

- 2、将电路中的热敏电阻  $R_t$  换为电阻箱  $R_5$ ，调节  $R_1$ ，使  $R_1 = R_t(0^\circ\text{C})$ ，调节  $R_5$ ，使

$R_5 = R_t(100^\circ\text{C})$ 。调节  $R_p$  使微安表满偏。

- 3、调节  $R_5$ ，使  $R_5 = R_t(90^\circ\text{C})$ 、 $R_t(80^\circ\text{C})$  ……  $R_t(10^\circ\text{C})$ ，读出相应的微安表读数  $I$  值。

- 4、若实验室有要求，可根据各个  $I$  值作出  $I-t$  曲线。

## 五 分光仪的使用（角度法测折射率）

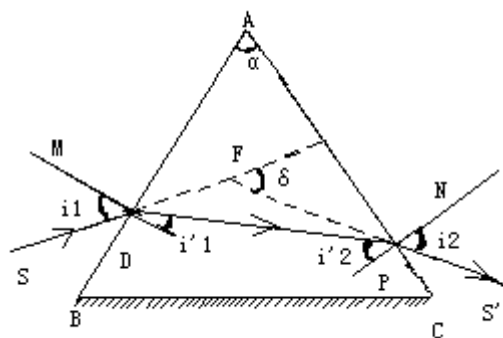
一、实验目的（p112）

二、实验设备（p113）

三、实验原理

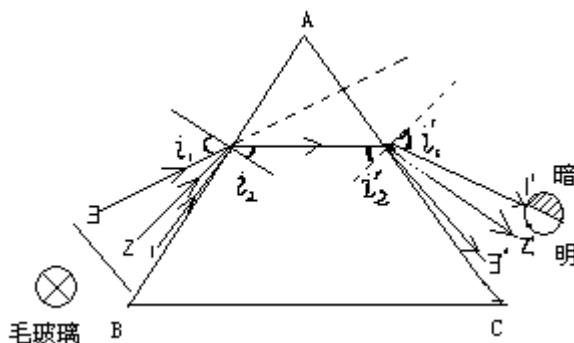
1、如图 28—1 所示，三角形 ABC 为一三棱镜的横截面，其中 AB，AC 是两个光学面，BC 为毛玻璃面，又称为三棱镜的底面。假设有一束单色光 SD 射到棱镜上，经三棱镜两次折射后沿 PS' 射出，其中入射光线 SD 与出射光线 PS' 的夹角  $\delta$  称为偏向角。偏向角  $\delta$  的大小随入射角  $i_1$  的改变而改变，当  $i_1$  为某值时，偏向角  $\delta$  达到最小值  $\delta_{\min}$ ， $\delta_{\min}$  称为最小偏向角。对于给定的棱镜，如果保持光线的入射角  $i_1$  不变，则偏向角  $\delta$  与入射光波的波长之间有确定的对应关系，不同的波长会有不同的偏向角，这就是三棱镜的色散现象，所以利用分光计和三棱镜可以进行光谱定性分析。我们可以证明：当单色光对称地通过三棱镜时，也就是当  $i_1=i_2$  时， $\delta = \delta_{\min}$ ，并且三棱镜玻璃的折射率  $n$  与三棱镜顶角  $\alpha$  和最小偏向角之间有如下关系

$$n = \sin((\delta_{\min} + \alpha) / 2) \div \sin \alpha$$



/2

2、用单色扩展光源照射到三棱镜 AB 面上，使扩展光源以约  $90^\circ$  掠入棱镜。当扩展光源从各个方向射入 AB 面时，以  $90^\circ$  入射的光线的内折射角  $i_2$  最大，为  $i_{2\max}$ 。凡入射



角小于  $90^\circ$  的入射光不能进入棱镜，这样在 AC 侧面观察时，将出现半明半暗的视场。明暗视场的交线就是入射角  $i_1=90^\circ$  和光线的出射方向。可以证明：

$$n = \sqrt{\left[ \frac{\cos A + \sin i_{1\min}}{\sin A} \right]^2 - 1}$$

#### 四、实验步骤

##### 1、调整分光计

一台调整好的分光计应具备以下条件：

- 1)、望远镜和平行光管和光轴与分光计中心轴相交且垂直于中心轴线。
- 2)、平行光管射出的是平行光。

具体调整步骤：（具体见上册实验书）

- (1) 熟悉结构
- (2) 目测粗调
- (3) 调节望远镜
- (4) 调节平行光管

##### 2、用反射法测三棱镜的顶角

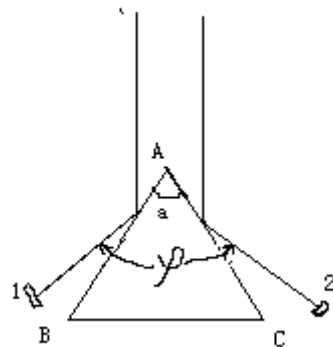
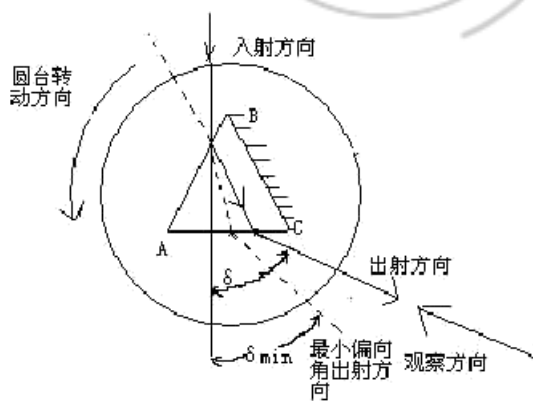
如图所示，平行光管的狭缝被钠光或汞灯照亮，将三棱镜放在载物台上，按方法（1）

中的步骤调好，使三棱镜顶角对准平行光管，则平行光管射出的光束照在棱镜的两个折射面上，当望远镜在位置 I 处时，使望远镜的叉丝对准狭缝，两个游标读数为  $\phi_1$  和  $\phi'_1$ 。再将望远镜在位置转至 II 处时，使望远镜的叉丝对准狭缝，两个游标的读数为  $\phi_2$  和  $\phi'_2$ 。于是，顶角  $\alpha$  的大小为

$$\alpha = \phi / 2 = 1/4[(\phi_2 - \phi_1) + (\phi'_2 - \phi'_1)]$$

稍微变动棱镜的位置，重复测量多次，求其平均值。

##### 3、测量最小偏向角



将平行光管正对汞灯的射出窗口，使从平行光管射出和平行光最强而均匀。仍使游标盘与载

物台固连，使入射光束与三棱镜和顶角  $\alpha$  的一个侧面的法线成适当的角，保持这个入射角不变，判断折射光线出射方向，在此方向观察，可看到几条平行的彩色谱线，然后轻轻转动载物台，判断出哪个方向为偏向角减小和方向，也就是出射光束向入射光束靠近的方向，继续沿这个方向转动载物台，可看到谱线移至某一位置后将反方向移动，这一位置就是光线以最小偏向角出射光束所在位置。

用望远镜跟踪汞灯光谱中黄，绿，蓝，紫几条谱线，记录几条最小偏向角处的游标刻度  $\theta$  和  $\theta'$ 。移去三棱镜，将望远镜对准平行光管，微调望远镜，使叉丝的竖线对准狭缝

的像，在游标上读出两个读数  $\theta_0$  和  $\theta'_0$ 。代入公式  $\delta_{\min} = 1/2[|\theta - \theta_0| + |\theta' - \theta'_0|]$

算出最小偏向角，重复测量多次，算出  $\delta_{\min}$  的平均值。

将上面测出的顶角  $\alpha$  和最小偏向角  $\delta_{\min}$  代入公式中，求出不同颜色光的折射率，并分析其规律。

4、用单色扩展光源照射到三棱镜 AB 面上，使扩展光源以约  $90^\circ$  掠入棱镜。当扩展光源从各个方向射入 AB 面时，以  $90^\circ$  入射的光线的内折射角  $i_2$  最大，为  $i_{2\max}$ 。凡入射角小于  $90^\circ$  的入射光不能进入棱镜，这样在 AC 侧面观察时，将出现半明半暗的视场。明暗视场的交线就是入射角  $i_1=90^\circ$  和光线的出射方向。

## 六 分光仪的使用(测定闪耀光栅的空间频率)

### 一、实验目的

- 1、观察光栅的衍射现象,测定光栅常数和角散色率,光栅能分辨的最小波长.
- 2、巩固掌握分光仪的调节和使用.

### 二、实验设备

分光仪 平面反射镜 平面反射光栅 汞灯光源

### 三、实验原理

正确选择夹角的正负 当一束平行单色光以  $\alpha$  角入射到光栅时,衍射光的主极大位置(衍射角  $\beta$ )由光栅方程决定

$$d(\sin\beta \pm \sin\alpha) = k\lambda \quad k = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

式中+表示入射光与衍射光同侧,-表异侧  $\lambda$  指波长。(可以查看实验书第 336 页的内容来确定正负)

由(1)知,衍射角  $\beta$  是波长的函数,这说明光栅有色散作用.求(1)中的  $\lambda$  求微分得

$$k d\lambda = (d \cos\beta) d\beta$$

$$\text{令 } D = d\beta/d\lambda = k/(d \cos\beta) \quad (\text{rad/nm}) \quad (2)$$

式中  $D$  称为光栅的角色散率

当一条谱线的极大植与另一条谱线的极小值重合时，则俩条谱线刚可分辨，通常把波长  $\lambda$  与该波长附近刚可分辨的最小波长差  $d\lambda$  之比作为光栅的分辨率  $A$

$$A = \lambda/d\lambda = kN = kN/d \quad (3)$$

式中  $N$  是光栅衍射的有效狭缝总数  $L$  是光栅的有效宽度 (图见实验书)

### 四、实验步骤 (内容)

#### 1、实验装置调节

- 1)、分光仪的调节 (见 4.14)
- 2)、光栅的调节

(1) 调节光栅平面垂直于平行光管轴,并与载物台轴平行

将望远镜转到大约与光栅平面垂直的位置,在视野中找到绿色小十字叉丝像(可能比较不清楚,这时最好把实验室的灯关掉),调节水平调节螺钉  $b$  或  $c$ ,使小十字叉丝像与上叉丝重合,此时就可以认为已经垂直。

(2) 调节光栅刻线与载物台转轴平行

光栅刻线的调节要仔细,因为光谱比较难发现。找到零级条纹(白色的)其位置与入射光对称,即应在反射光的位置。如果零级条纹两侧的光谱不是在同一高度上,此时调节调平螺钉  $a$  使光谱线在同一高度上。至此,可以认为光栅已经调节好!

(3) 调节平行光管狭缝的宽度,使得汞灯中的黄双线分开。即用眼睛观看条纹时能看见两条黄线分开就行,宽或窄大家随机应变吧!

## 2、测定光栅常数

调节好后,以低压汞灯常用的四条谱线( $\lambda=435.83, 546.07, 576.96$ , 和  $579.07\text{nm}$ )为标准,测出  $k=-1, +1$  级的各谱线衍射角入射角,求出  $d$  的平均值

测量方法:将望远镜转置零级条纹处,记下刻度盘上的两个读数,同样的方法测出紫,蓝,黄 1, 黄 2 的两个读数,将望远镜转置垂直于光栅平面的位置(此时小十字刻线与上叉丝和中心叉丝重合)在读出两个读数。总共要读出十二个读数。分别用白条纹,紫条纹,蓝条纹,黄 1 条纹,黄 2 条纹对应的读数减去垂直位置的读数,具体的计算公式看参见分光计测角度那章。从而可以得出五个角度,分别为入射角以及紫,蓝,黄 1, 黄 2 对应的衍射角。带入公式即可算出  $d$ 。

在这里说一下加权平均值,加权的公式可以在物理实验书第 343 页找到。只有算出各个  $d$  的值和相对应的不确定度才能最后使用加权平均值公式进行计算。本实验主要是数据处理比较麻烦,希望大家做好思想准备。实验室光栅有两种,分别对应的光栅常数是 1600 左右和 800 左右,单位是纳米,大家见机行事。在 3, 4 步骤中均需用到  $d$ ,所以大家  $d$  一定要算出来。

## 3、定光栅色散率

测出  $k=-1, +1; \lambda=546.07$  时的衍射角 利用式(2)求出  $D$

## 4、测光栅能分辨的最小波长 $\Delta\lambda$

$k=-1, +1, \lambda=546.07\text{nm}$  测光栅的有效长度  $L$  (或本实验直接取  $L=2.20\text{cm}$ )

利用已知的  $d$ , 代入式 (3) 即可求出  $\Delta\lambda$

5, 将仪器整理好, 离开实验室。

# 七 光的偏振

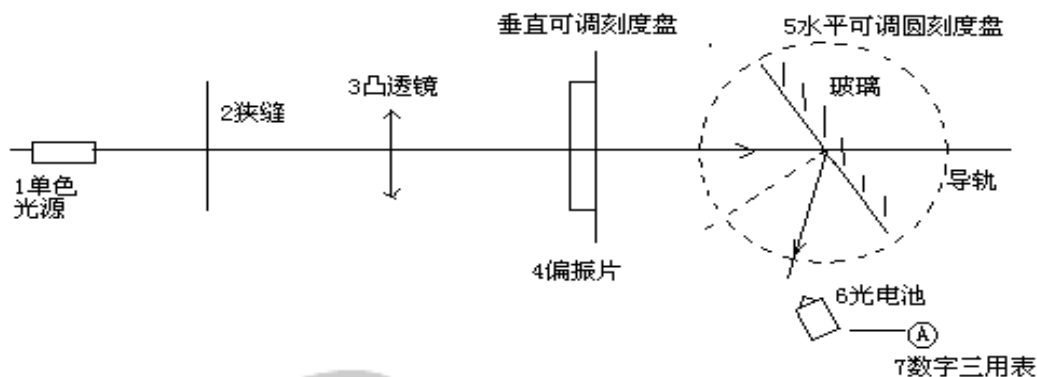
关于实验原理, 设备及相关背景知识, 本处不再赘述。请阅读《基础物理实验》及《大学物理下册》相关章节, 现仅给出实验设计以供参考。

任务一, 用不儒斯特定律测定平板玻璃的折射率, 并判定偏振片的偏振化方向。估算

折射率不确定并写出表达式。

一、

1、 组装仪器，调节等高共轴。实验装置如下图：



2、 打开光源，调节狭缝位置 2 及凸透镜 3 的位置，使狭缝处在凸透镜的焦距上（因  $f$  约为 20CM，故在 20cm 附近调节），此时由凸透镜出射的光为平行光（仍为非偏振光）

3、 将平板玻璃固定在圆盘上，每次测量及录入射光方向在圆盘刻度盘上的读数。首先，调节圆盘使射向圆盘的入射光沿原路径返回，即图示  $I=0$ ，记录圆盘上刻度盘读数  $a_1$ 。然后，转动圆盘使  $I$  大约为 50 度（布儒斯特角的估计值）。观察数字三用表中的电流值，调节偏振片 4，当电流为最小值时，此时偏振片 4 的偏振化方向一定为水平方向（因为入射面平行，出射光为零），在调节圆盘，使电流读数最小，此时记下圆盘刻度值  $a_2$ ，则  $i_d = |a_1 - a_2|$  即为布儒斯特角。

4、 为减小误差，把玻璃片向对于圆盘旋转一定角度（如 60 度左右）后固定，重复 3 的步骤，共做 4 次。得 4 组  $a_1, a_2$  的值。

5、 列表计算  $i_d$ , 折射率  $n$ ，及不确定度。

二、 识别给定

光源的  $1/2$  和  $1/4$

波片，并判定  $1/4$

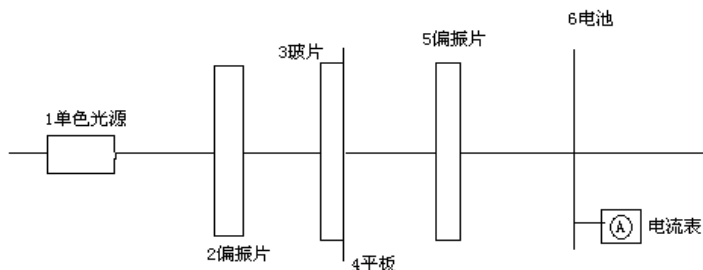
波片的光轴（或垂

直于光轴）的方向。

给出判别结果并说

明原理。

如图所示连接光



路，

由于经过  $1/2$  波片的光线仍然为线偏振光，所以旋转  $B$  可以看到消光现象，而且无论如何改变  $1/2$  波片的方向仍然如此。如转动  $B$  观察  $B$  的表的读数，旋转波片  $30$  度后重复上述步骤，如果两次过程中电流表的读数最小值为  $0$ ，则该波片为  $1/2$  波片，否则为  $1/4$  波片。此时，旋转波片，每次旋转后仍旋转  $B$ ，读出电流表读数的最大值  $\max$  和最小值  $\min$ ，当  $x=\max-\min$  为最大的时候，必有：该方向为光轴方向。

原理：线偏振光垂直通过  $1/4$  波片后一般成为椭圆偏振光，当入射线偏振光振动方向与  $1/4$  波片光轴间夹角  $a$  为  $1/4\pi$  时，这成为圆偏振光。反之，若将一束圆偏振光垂直入射到  $1/4$  波片，则出射光为线偏振光。至于椭圆偏振光垂直入射到  $1/4$  波片，出射光可以是线偏振光也可以是椭圆偏振光，这就要看  $1/4$  波片的光轴与入社椭圆偏振光的椭圆主轴相对位置而定了。

线偏振光垂直通过  $1/2$  波片后仍为线偏振光，不过，出射线偏振光的振动面与入射线偏振光的振动面相对转过了  $2a$  角， $a$  为入射线偏振光光矢量振动方向与光轴间夹角。

三、设计并实现产生圆偏振光和椭圆偏振光的方法，并作出实验验证。

实验装置图仍为上图，使  $A$  的轴线方向垂直于  $A, B$  方向。在其间插入  $1/4$  波片，旋转它达到消光，固定在消光位置。记录  $A$  的读数  $aA$ 。然后将  $A$  转动  $da=Aa-Aa_0=15$  度，这时破坏消光，此事委椭圆光（ $30, 60, 75$  度也可以）如果  $dA=45$  度时则为圆光。此时要看读数。方法如下：在坐标纸上选取极径和极角。其中  $B$  旋转的角度为极角，电流表读数为极径的长度。在  $0$  到  $36$  度中其中，第一次为椭圆，第二次为圆。

## 八 迈克尔逊干涉仪的应用

### （一）光电法测压电常数 $D_{31}$

一、仪器的调节：

有关仪器调节的内容，在物理实验上册课本上已有较为详细的说明，这里只说明几点需要注意的内容：

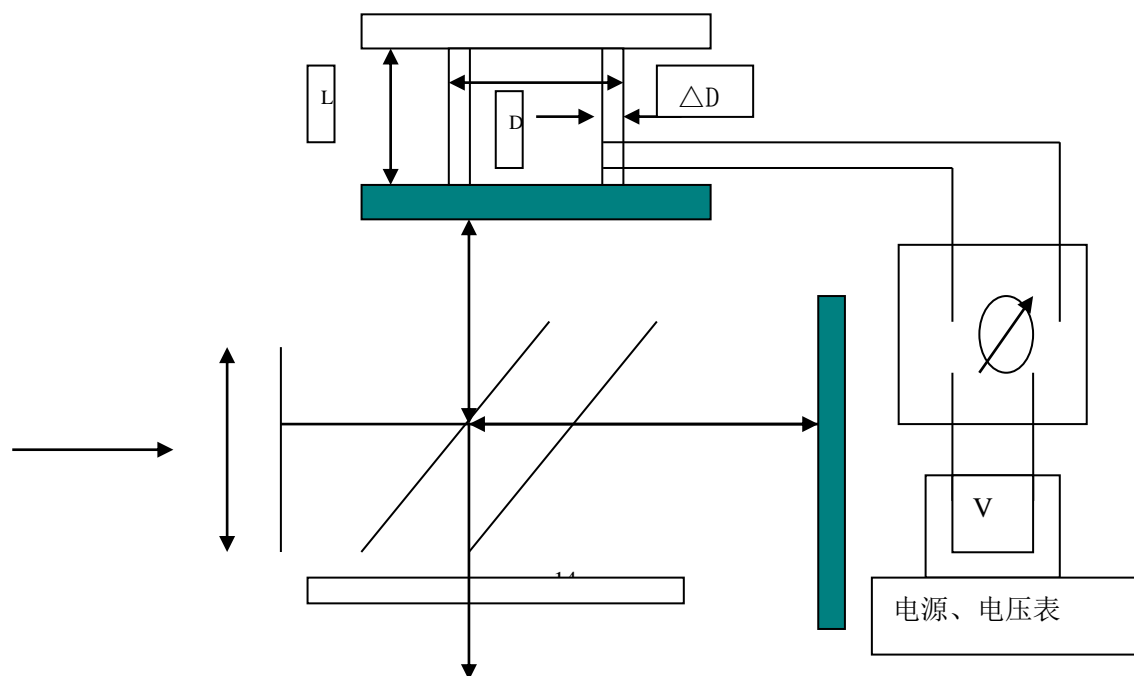
1、粗调比较重要，如果粗调不好，可能导致后面的实验无法进行。课本 P157 页迈克尔逊干涉仪的调整的第一步（1）中“使激光束入射到  $M1$ 、 $M2$  反射镜的中心，并使由  $M1$ 、 $M2$  反射回来的光点回到激光器光束输出镜面的中点附近”，由于  $M1$ 、 $M2$  各有一套光点（每套好像是有三个，中间一个最亮），所以在调节时两套反射光点会有干扰，可用实验老师提供的抄稿纸先挡住一个平面镜去调节另一个平面镜反射的光点，再挡住另外一个平面镜来调节这一个。

- 2、点光源非定域干涉：有很多仪器在扩束镜与半反射片之间放上毛玻璃后，由于毛玻璃离反射片太远，离扩束镜太近，导致面光源的漫射光在中间部位太亮，影响条纹的观察与调节。为避免这种情况：一是可以用手拿着毛玻璃，将其移近半反射膜一些；二是可以用薄纸来代替毛玻璃形成面光源，当然，纸也得由实验者你来拿着了。有一点要注意的是：可能实验室有的仪器是坏的，所以大家要以实际情况为准，随机应变。
- 3、提供另外一种调节方法。这种方法可能不一定用的上，因为实验室不一定会提供相关器材。这种方法类似于法布里——珀罗干涉仪的调节，采用画有十字叉丝的毛玻璃来调节，就是用画有十字叉丝的毛玻璃形成面光源后，调节垂直，使在观察屏一侧看到所有的十字叉丝象都重合，这时 M1、M2 严格垂直。
- 4、有关数字电压表的说明：我们实验的同学遇到的情况似乎不是很一样，所以目前还不是很清楚那个电位器与电压表之间究竟是什么情况。我遇到的情况是：将电位计旋至最左时，电压表示零（好像是 0.2），开始右旋，条纹无变化，直至一定电压值，条纹突然有较多吞吐，并且电压表示零。继续右旋，出现类似情况，但每次最大电压值基本呈等差递增（大约相隔 25-30V 吧，请大家不要以此数为基准，因为不知是否准确）。另外压电陶瓷那块儿的东西老师均已安好，所以大家不用去关心那个，实验时只需将数字电压表、电位计的几个“窟窿”插上就行了。

## 二、实验原理：

$D_{31}$  是指在应力不变的条件下，“3”方向（极化方向）施加单位电场时，在“1”方向产生的应变，本实验中使用的压电陶瓷样品为薄圆管，沿径向（“3”方向）极化并涂有电极，在内外壁（厚度为  $t$ ）施加电压  $V$  时，只要测出长度方向（“1”方向）的形变  $\Delta L/L$ ，就可以确定  $D_{31} = \frac{\Delta L/L}{E} = \frac{\Delta L}{L} \cdot \frac{t}{V}$ ， $t$ 、 $L$  可测量， $V$  可由电压表读出， $\Delta L$  的测量要用到迈克尔逊干涉仪。

## 三、 $\Delta L$ 的测量方法：（装置如图）





调节好后,可在观察屏一侧看到同心圆干涉条纹(至于微调拉簧分别控制哪个方向的变化,大家自己去想吧)。改变加在电压陶瓷上的电压并调节动镜的平动手轮,使所加电压由零伏逐渐上升,干涉条纹有吞吐变化,若电压上升到  $U$  时,条纹中心刚好吐(或吞)  $K$  个条纹,那么压电陶瓷的伸长为:  $\Delta L = K \cdot \lambda / 2$ , 代入  $D_{31}$  的计算式中, 得到  $D_{31} = \frac{k\lambda t}{2LV}$ , 有

$$V = \frac{\lambda t}{2LD_{31}} k, \text{ 设 } y=V, x=k, y=a+bx, \text{ 求出一系列 } x、y \text{ 值, 拟合出系数 } b, \text{ 则 } D_{31} = \frac{\lambda t}{2Lb},$$

可求出压电常数  $D_{31}$ 。

#### 四、步骤:

1、接线路。电源输出选 1000V 档, 数字电压表的测量范围选 0~2000V 档。

2、调节电位器, 使电压为 0。

3、调干涉仪, 使产生定域干涉。

4、改变电压, 冒一个条纹记一个数(也可隔几个条纹记一个  $V$ , 但一定要保证能够有足够的数, 达到老师的要求)。

5、利用回归法处理数据, 计算压电常数, 相关系数等(有的老师要求计算不确定度, 所以大家最好把公式记一下)。实验室提供有专门用来记算相关系数  $r$  及  $a, b$  的计算器, 但似乎不能直接计算不确定度。到时大家学着例子输数就行了。

**参考:** 可行性分析:  $D_{31} \sim 10^{-10} \text{ C/N}, \lambda = 632.8 \times 10^{-9} \text{ m}, L \sim 10^{-2} \text{ m}, t \sim 10^{-4} \text{ m},$

$V \sim 10^2 \text{ V}$ , 所以  $N \sim 3$ , 即加电压后, 中央条纹至少内缩或外扩 3 个条纹左右, 在正常情况下, 计数误差为零, 故本方案可行。

## (二) 测钠双线的波长差:

### 一、实验步骤:

1、关掉激光器, 在扩束镜位置换上 Na 灯和毛玻璃, 产生面光源。

2、调整粗调手轮, 使动镜位于合适位置, 眼睛直接观察干涉仪的半反射玻璃, 可看到等倾干涉条纹。

3、微调  $M1$ 、 $M2$  使它们的垂直度进一步改善(如果第一个实验的垂直调得好的话, 这一步基本不需要再调节)。得到非定域干涉条纹(即条纹不随观察点位置的改变而出现吞吐, 只做整体移动)。

4、进行测量:

(1) 将动镜调到离自己最近的位置(为选做实验做准备), 旋动粗调手轮, 观察干涉条纹间歇出现与消失。

(2) 继续调节动镜, 记录条纹消失时对应的动镜位置的读数  $d_1$ , 继续调节并记录 8 组数据。(本资料以记录每次条纹消失时的  $d$  来处理)

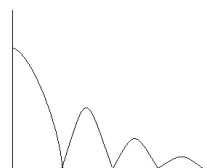
(3) 数据处理:

$$\text{光程差 } \Delta Lp = 2\Delta d, \text{ 有 } \Delta Lp = \frac{\lambda_0^2}{\Delta \lambda}, \text{ 故 } \Delta \lambda = \frac{\lambda_0^2}{2\Delta d} \quad (*)$$

其中  $\lambda_0 = 589.3\text{nm}$ ,  $\Delta d$  有一元线性回归法求得.

$d_i = d_0 + i\Delta d$ ,  $d_0$  为初值, 设  $y = d_i$ ,  $x = i$ ,  $y = a + bx$ , 则有

$b = \Delta d$ , 算出回归系数  $b$ , 求得  $\Delta d$  的值, 并计算相关系数  $r$ , 把  $\Delta d$  代入(\*)便可求得  $\Delta \lambda$  的值, 约为  $0.6\text{nm}$ ,  $\Delta d$  的参考值  $0.2894\text{mm}$



## 选做：测钠光的相干长度

1、 旋动粗调手轮, 注意观察条纹变化, 向同方向调动镜时会发现条纹产生由吞到吐 (或由吐到吞) 的变化, 找到中间的过渡点, 即  $M1'$  与  $M2$  (动镜) 重合的点 (此点应有的特点为视场一片均匀, 但由于垂直度的问题, 似乎有时不能实现这个, 但可根据条纹的弯曲与平直来判断是否到了临界位置, 当条纹平直时, 说明到了临界位置。这个判断方法不一定正确, 仅供大家参考), 记下此时  $M2$  的位置  $d$ 。

2、 继续向前调节  $M2$ , 至不能观察到条纹为止, 记下  $M2$  的位置  $d'$ , 则光程差为  $2|d-d'|$ ,

由  $2|d-d'| = \frac{\lambda_0^2}{\delta \lambda}$ , 得  $\delta \lambda = \frac{\lambda_0^2}{2|d-d'|}$ 。参考结果:  $|d-d'| = 27\text{mm}$ , 不同仪器之间相差可

能比较大。