

# 分光计的调节和色散曲线的测定 实验报告

双 33A 组 2 号

水工 71 班 石健

2007010241

2008 年 12 月 3 日

## 一. 实验目的

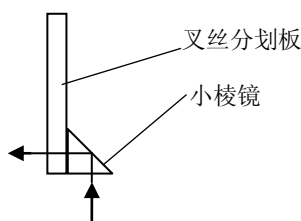
1. 了解分光计的原理与构造，学会调节分光计；
2. 用最小偏向角法测定玻璃折射率；
3. 掌握三棱镜顶角的两种测量方法。

## 二. 实验原理

### 1. 分光计的结构及调节原理

#### (1) 望远镜

分光计中采用的是自准望远镜。它由物镜、叉丝分划板和目镜组成，分别装在三个套臂上，彼此可以相对滑动以便调节。中间的一个套筒里装有一块分划板其上刻有“**十**”形叉丝，分划板下方紧贴着一个侧面是等腰直角三角形的小棱镜，小棱镜与分划板贴合的面上刻了一个**空心十字形**，绿色小灯从小棱镜另一个直角面射入，从空心十字形中射出（**透出的就是一个绿色十字形**）。如果叉丝平面刚好在物镜的焦平面上，则从小灯射出的绿光经过棱镜的全反射后，从物镜（凸透镜）中会射出平行光。在物镜前方放一面反射镜，将绿光反射回来，则反射光（仍为平行光）进入物镜后还将汇聚在焦平面——即**叉丝平面**上。此时通过目镜就能观察到叉丝平面上清晰的“**十**”形和绿色十字，且不会有视差。这就是用自准法调节望远镜适合于观察平行光的原理。如果望远镜光轴与平面镜的法线平行，在目镜里看到的绿色十字形应该与“**十**”形叉丝的上交点重合。



#### (2) 平行光管

平行光管由狭缝和透镜组成。狭缝和透镜之间距离可以通过伸缩狭缝套筒来调节。只要将狭缝调到透镜的焦平面上，则从狭缝发出的光经透镜后就成为平行光。狭缝的刀口是经过精密研磨支撑的，为避免损伤狭缝，只有在望远镜中看到狭缝像的情况下才能调节狭缝的宽度。

#### (3) 刻度盘

分光计的刻度盘垂直于分光计主轴并且可绕主轴转动。为消除刻度盘的偏心差，采用两个相差 $180^\circ$ 的窗口读数。刻度盘的分度值为 $0.5^\circ$ ， $0.5^\circ$ 以下则需用游标来读数。游标上的30格与刻度盘上的29格相等，故游标的最小分度值为 $1'$ 。

### 2. 用最小偏向角法测玻璃的折射率

一束平行单色光入射到三棱镜的AB面，经折射后由另一面AC射出，如图所示。入射光和出射光的夹角 $\Delta$ 成为偏向角。可以证明，当入射角 $i$ 等于出射角 $i'$ 时，入射光和出射光之间的夹角最小，称为最小偏向角 $\delta$ 。

从图可以看出， $\Delta = (i - r) + (i' - r')$ 。当 $i = i'$ 时，由折射定律有 $r = r'$ 。这时用 $\delta$ 替代 $\Delta$ 得： $\delta = 2(i - r)$ 。又因为 $r + r' = 2r = \pi - G = \pi - (\pi - A) = A$ ，所以 $r = A/2$ 。联立两式得：

$$i = \frac{A + \delta}{2}$$

由折射定律有：

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \frac{A + \delta}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

由上式可知，只要测出三棱镜顶角 $A$ 和最小偏向角 $\delta$ ，就可以计算出棱镜玻璃对该波长的单色光的折射率 $n$ 。

### 3. 色散及色散曲线的拟合

当入射光不是单色光时，虽然入射角对各种波长的光都相同，但出射角并不相同，表明折射率也不相同。对于一般的透明材料来说，折射率随波长的减小而增大。如 $\lambda_{\text{紫}} < \lambda_{\text{红}}$ ，故 $n_{\text{红}} < n_{\text{紫}}$ 。折射率 $n$ 随波长 $\lambda$ 而变的现象称为色散。对一种玻璃材料所作出的折射率和波长的关系曲线称为它的色散曲线。不同材料的色散曲线是不同的，一般可采用平均色散 $n_F - n_C$ 或色散本领

$$V = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1}$$

来表示某种玻璃色散的程度。其中 $n_C$ 、 $n_D$ 和 $n_F$ 分别表示玻璃对夫琅和费谱线中 $C$ 线、 $D$ 线和 $F$ 线的折射率。这三条线的波长分别是 $\lambda_C = 656.3\text{nm}$ 、 $\lambda_D = 589.3\text{nm}$ 、 $\lambda_F = 486.1\text{nm}$ 。

用经验公式来表示可见光范围内玻璃材料的折射率与波长之间的关系时，较方便适用的公式是：

$$n^2 = A_0 + A_1\lambda^2 + A_2\lambda^{-2} + A_3\lambda^{-4} + A_4\lambda^{-6} + A_5\lambda^{-8}$$

各种牌号玻璃经验公式系数 $A_0 \sim A_5$ 有专门的光学玻璃手册给出。实验研究时可以通过对 $(n, \lambda)$ 的七组以上实验结果进行处理，设 $y = n^2$ ， $x_1 = \lambda^2$ ， $x_2 = \lambda^{-2}$ ， $x_3 = \lambda^{-4}$ ， $x_4 = \lambda^{-6}$ ， $x_5 = \lambda^{-8}$ ，把一元高次方程拟合转化为 $y \sim x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ 的多元线性回归问题，并利用计算机来处理数据，拟合色散曲线，得到经验公式。

需要说明的一点是，各种不同的光学仪器对色散的要求也是不同的。例如照相机、显微镜的镜头要求色散小，则色差小。而摄谱仪和单色仪中棱镜则要求色散大，使各种波长的光能够分得开，以提高仪器分辨本领。

### 4. 三棱镜顶角的测量原理

- (1) 用自准法测定三棱镜顶角。只要测出三棱镜两个光学面的法线之间的夹角 $\phi$ ，即可求得顶角 $A = 180^\circ - \phi$ 。
- (2) 用平行光法测定三棱镜顶角。一束平行光被三棱镜的两个光学面反射后，只要测出两束反射光之间的夹角 $\phi$ 即可求得顶角 $A = \frac{1}{2}\phi$ 。放置三棱镜时，应使三棱镜顶点靠近小平台中心。否则反射光将不能进入望远镜中。

### 三. 实验仪器

实验仪器有分光计、平面反射镜、玻璃三棱镜、氦光谱管及其电源。

氦光谱管是将稀薄的氦气(He, 气压为600Pa~700P)封闭在玻璃管内制成。管的两端各装一个电极, 两电极间加高电压后产生放电并发光, 通过三棱镜分光可得氦的线光谱。

波长/nm	447.1	471.3	492.2	501.6	587.6	667.8	706.6
颜色	蓝紫	蓝	蓝绿	浅绿	黄	大红	暗红

### 四. 实验任务及操作要点

#### 1. 分光计的调节

- (1) 调节望远镜
  - a) 调节望远镜适合于观察平行光
  - b) 调节望远镜光轴垂直于分光镜主轴
- (2) 调节平行光管
  - a) 调节平行光管使产生平行光
  - b) 调节平行光管主轴垂直于分光镜主轴
- (3) 调节三棱镜的两个光学面的法线垂直于分光计主轴

#### 2. 测量氦光谱管谱线的最小偏向角 $\delta$

- (1) 观察谱线并对照氦光谱图认谱  
先用眼睛观察三棱镜, 大概确定氦的光束朝哪个方向折射出, 然后把望远镜调到那个方向上。再进一步调节到最佳状态使望远镜视场里的谱线清晰明亮、线宽合适。
- (2) 确定最小偏向角  
先将小平台连同所载冷静稍稍转动, 同时观察谱线移动的方向, 注意此时偏向角是增大还是减小, 然后, 再转动平台使谱线向偏向角减小的方向移动, 同时让望远镜跟踪谱线移动。当棱镜转到某个位置时, 谱线不再移动, 继续使冷静沿原方向转动时, 谱线反而向相反方向移动。这个角度就是最小偏向角。

#### 3. 测量三棱镜顶角(略)

#### 4. 操作注意事项

- (1) 光学元件(平面镜、三棱镜等)要轻拿轻放, 以免损坏, 切忌用手触摸光学面。
- (2) 分光计是较精密的光学仪器, 要倍加爱护, 不应在止动螺钉锁紧时强行转动望远镜, 也不要随意拧动狭缝。
- (3) 在测量数据前务必检查分光计的几个止动螺钉是否锁紧, 若未锁紧取得的数据会不可靠。
- (4) 测量中应正确使用望远镜的微动螺旋, 以提高工作效率和测量准确度。
- (5) 不要用手触摸氦气管连接高压电源的两个电极, 以免触电。

## 五. 数据记录与处理

### 1. 折射率 $n$ 的不确定度 $\Delta n$ 的表达式

$$\begin{aligned} \therefore n &= \frac{\sin \frac{A+\delta}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \\ \therefore \frac{\partial n}{\partial A} &= \frac{\frac{1}{2} \cos \frac{A+\delta}{2} \sin \frac{A}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{A+\delta}{2} \cos \frac{A}{2}}{\sin^2 \frac{A}{2}} = \frac{\frac{1}{2} \sin \left( \frac{A}{2} - \frac{A+\delta}{2} \right)}{\sin^2 \frac{A}{2}} = -\frac{\sin \frac{\delta}{2}}{\sin^2 \frac{A}{2}} \\ \frac{\partial n}{\partial \delta} &= \frac{\cos \frac{A+\delta}{2}}{2 \sin \frac{A}{2}} \\ \therefore \Delta_n &= \sqrt{\left( \frac{\partial n}{\partial A} \right)^2 (\Delta_A)^2 + \left( \frac{\partial n}{\partial \delta} \right)^2 (\Delta_\delta)^2} = \sqrt{\left( -\frac{\sin \frac{\delta}{2}}{\sin^2 \frac{A}{2}} \right)^2 (\Delta_A)^2 + \left( \frac{\cos \frac{A+\delta}{2}}{2 \sin \frac{A}{2}} \right)^2 (\Delta_\delta)^2} \end{aligned}$$

$$\text{又} \because \Delta_{\text{仪}} = 1', \therefore \Delta_A = \Delta_\delta = \sqrt{2} \Delta_{\text{仪}} = \sqrt{2}' = 4.11 \times 10^{-4} \text{rad}$$

在估计 $\Delta_n$ 时, 取 $A = 60^\circ$ ,  $\delta = 50^\circ$ , 则:

$$\Delta_n = \Delta_\delta \cdot \sqrt{\left( -\frac{\sin \frac{\delta}{2}}{\sin^2 \frac{A}{2}} \right)^2 + \left( \frac{\cos \frac{A+\delta}{2}}{2 \sin \frac{A}{2}} \right)^2} = 4.11 \times 10^{-4} \times \sqrt{\left( \frac{\sin 25^\circ}{\sin^2 30^\circ} \right)^2 + \left( \frac{\cos 55^\circ}{2 \sin 30^\circ} \right)^2} = 7 \times 10^{-4}$$

所以 $n$ 应取五位有效数字。

### 2. 最小偏向角测三棱镜折射率数据表格

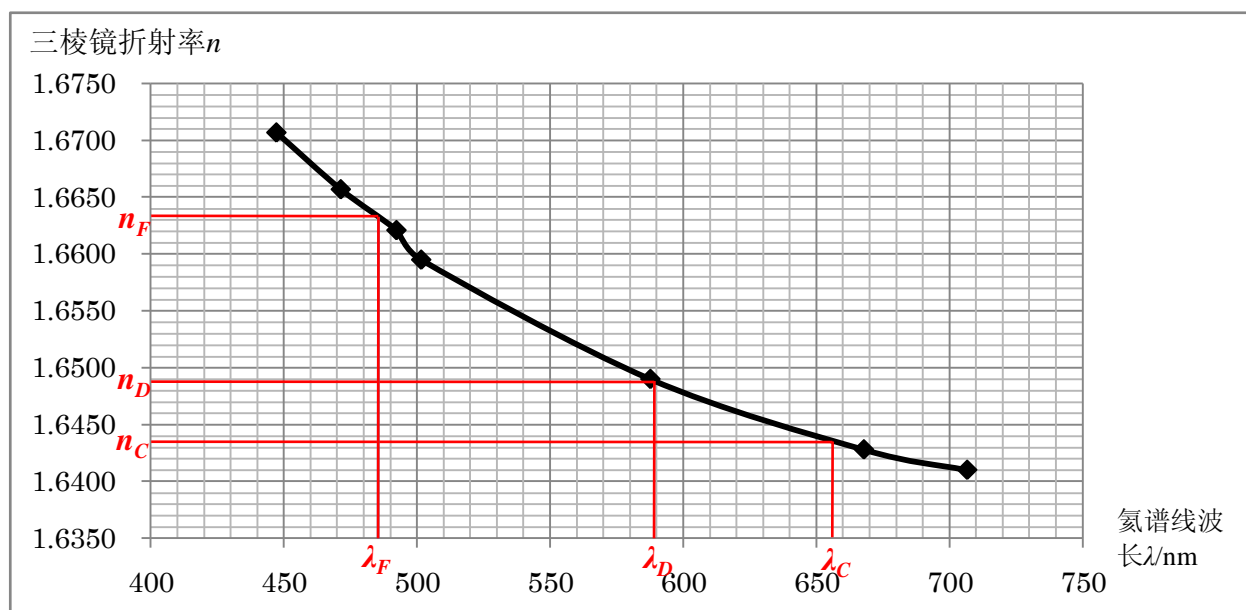
分光计编号: 2; 三棱镜编号: 2。

$A = \underline{59^\circ 59' 20''}$  (计算过程见表 2);  $\Delta_{\text{仪}} = \underline{1'}$ ; 入射光方位 $\phi_{10} = \underline{6^\circ 34'}$ ;  $\phi_{20} = \underline{186^\circ 30'}$ 。

氢谱线波长/nm	$\phi_1$	$\phi_2$	$\delta_1$ $= \phi_1 - \phi_{10}$	$\delta_2$ $= \phi_2 - \phi_{20}$	$\delta =$ $180^\circ - \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$	$\frac{A + \delta}{2}$	$n =$ $\sin \frac{A + \delta}{2} / \sin \frac{A}{2}$
447.1	313 16'	133 14'	306 42'	-53 16'	53 17'00"	56 38'10"	1.6707
471.3	313 47'	133 45'	307 13'	-52 45'	52 46'00"	56 22'40"	1.6657
492.2	314 09'	134 08'	307 35'	-52 22'	52 24'00"	56 11'40"	1.6621
501.5	314 25'	134 22'	307 51'	-52 08'	52 08'30"	56 03'25"	1.6595
587.6	315 30'	135 27'	308 56'	-51 03'	51 03'30"	55 31'25"	1.6490
667.8	316 08'	136 04'	309 34'	-50 26'	50 26'00"	55 12'40"	1.6428
706.6	316 18'	136 16'	309 44'	-50 14'	50 15'00"	55 07'10"	1.6410

(表中脚标 1、2 分别表示左右游标读数)

根据波长和折射率的数据画出的色散曲线如下：



从上图可以查出， $n_C = 1.6435$ ， $n_D = 1.6488$ ， $n_F = 1.6634$

$\therefore$  平均色散为： $n_F - n_C = 1.9959 - 1.9935 = 0.0199$

$$\text{色散本领: } V = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1} = \frac{0.0199}{1.6488 - 1} = 0.0307$$

### 3. 测量三棱镜顶角数据记录表格

测量序号	1		2		3	
	游标 I	游标 II	游标 I	游标 II	游标 I	游标 II
第一位置 $T_1$	10°20′	190°18′	273°14′	93°16′	279°06′	99°10′
第二位置 $T_2$	130°16′	310°18′	153°12′	333°14′	159°02′	339°10′
$\phi_i =  T_1 - T_2 $	119°56′	120°00′	120°02′	120°02′	120°04′	120°00′
$\phi = \frac{1}{2}(\phi_I - \phi_{II})$	119°58′		120°02′		120°02′	

$\therefore$  用自准法测得的三棱镜顶角为： $A = 180^\circ - (119^\circ 58' + 2 \times 120^\circ 02') \div 3 = 59^\circ 59' 20''$

## 六. 实验总结与分析

1. 这次实验，分光计的调节是重点。教材中对分光计结构和原理的讲解有点抽象，加上教材中分光计只有平面示意图，导致了我预习效果不是很好，所以刚开始实验的时候调整分光计用了很长的时间。
2. 对分光计结构导致误差的思考

在进行谱线观察之前，必须确保望远镜光轴，平行光管轴与分光计主轴垂直，这直接关系到观察谱线测量角度的精度。但是实际操作中发现并不能十分精确且十分方便地调整分光计，比如望远镜和

平行光管的两个套筒不太容易拔出或塞入，用力稍大就会使整个分光计移动。

还有，我觉得分光计刻度盘的两个游标的设计不合理。两个径向相对的游标的确能消除偏心差（系统误差），但是没有考虑到读数者的方便，为了不因视线歪斜产生误差，读数者必须把头移到两个游标尺上，或者转动整个分光计，把游标移动到眼前。这样产生随机误差的可能性会很大，不可预知也不可消除。我认为一个比较好的设计是，把整个刻度盘封装住，在两个游标处用光学棱镜装置把读数“引”到望远镜目镜旁（设计与望远镜镜筒平行的另一个镜筒，通过此镜筒目镜同时看到两个游标）。这样的设计是建筑工程测量中经纬仪采用的方法，通过读数镜筒读出横刻度盘和竖刻度盘读数，用以测量水平角和竖直角。

（原始数据表格见附页）