

4.3 分光计的调节和色散曲线的测定

生医 5 朱仁骏 2005013032

组号: 12

2006 年 12 月 12 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

分光计上装有能产生平行光的平行光管, 能接受平行光的望远镜, 以及能承载光学元件的小平台; 这三者的方位都能利用各自的调节螺钉作适当的调整。为了测出角度, 还配有可与望远镜连结在一起的刻度盘。

1. 望远镜

分光计采用的是自准望远镜, 中间的套筒装有一块分划板, 上有双十字叉丝, 分划板下方与小棱镜的一个直角面紧贴着, 这个直角面上有十字透光叉丝。小灯照亮十字透光叉丝, 如果叉丝平面正好处于物镜的焦平面上, 而且前方有一平面镜, 则从叉丝发出的光经过物镜后成一平行光束, 再被平面镜反射回来, 成像在其焦平面上。此时从目镜可以同时看到双十字叉丝和十字叉丝的反射像, 而且两者无视差。由于分划板双十字叉丝下

[1]

横线在望远镜的中心轴线上，上轴线与十字横线处于相对于轴线对称的位置上，故而当望远镜光轴与平面镜法线平行时，在目镜看到的十字叉丝的中点应与双十字叉丝的上交点互相重合。

2. 平行光管

平行光管由狭缝和透镜组成。将狭缝调到透镜的焦平面上，则从狭缝发出的光经透镜后称为平行光。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。为消除偏心差，采用两个相差 180° 的窗口读数。刻度盘的分度值为 0.5° ，游标的最小分度为 $1'$ 。

(2) 用最小偏向角法测玻璃的折射率

一束平行的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1所示。入射光和 AB 面法线的夹角 i 称为入射角，出射光和 AC 面法线的夹角 i' 称为出

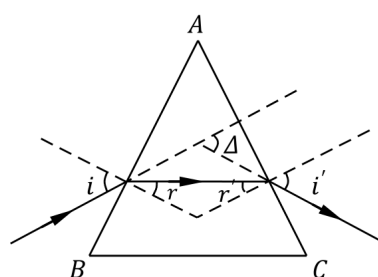


图1 单色光经三棱镜折射

射角，入射光和出射光的夹角 Δ 称为偏向角。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，

[2]

下载高清
无水印

称为最小偏向角 δ 。

由图1可知, 光线偏向角 $\Delta = (i - r) + (i' - r')$, 当 $i = i'$ 时, 由折射定律有 $r = r'$, 此时 $\Delta = \delta$, 所以

$$\delta = 2(i - r)$$

又因为 $r + r' = A$, 所以

$$r = \frac{A}{2}$$

可解出

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

由折射定律, 有

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

故而只要测出三棱镜的顶角 A 和最小偏向角 δ , 即可计算出棱镜对该波长的单色光的折射率。

(3) 色散及色散曲线的拟合

折射率 n 随波长 λ 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。一般的透明材料, 折射率随波长的减小而增大。不同的材料色散曲线不同, 一般用平均色散 $n_F - n_C$ 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。

[3]

$$\lambda_C = 656.3nm, \lambda_D = 589.3nm, \lambda_F = 486.1nm。$$

实验中用经验公式

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

研究可见光范围内玻璃材料的折射率与波长之间的关系。通过对 (n, λ) 的七组以上实验结果进行处理，设 $y = n^2, x_1 = \lambda^2, x_2 = \lambda^{-2}, x_3 = \lambda^{-4}, x_4 = \lambda^{-6}, x_5 = \lambda^{-8}$ ，利用计算机进行多元线性回归拟合色散曲线，得到经验公式。

(4) 三棱镜顶角的测量原理

1. 自准法测三棱镜顶角。

只要测出三棱镜的两个光学面的法线之间的夹角 ϕ ，即可求得顶角 $A = 180^\circ - \phi$ 。如图

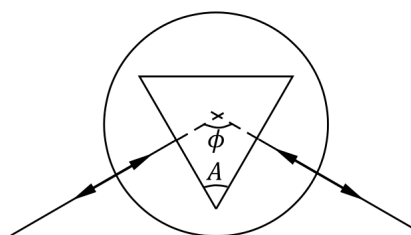


图2 自准法测三棱镜顶角

2所示。

2. 平行光法测三棱镜顶角。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 ϕ 即可求得顶角 $A = \frac{1}{2}\phi$ ，如图3

所示。放置三棱镜应使三棱镜定点靠近小平台中心，否则反射光将不能进入望远镜中。

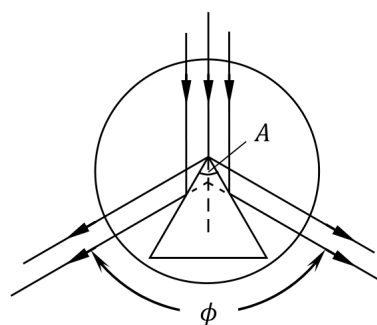


图3 平行光法测三棱镜顶角

三、 实验仪器

分光计、平面反射镜、玻璃三棱镜、氦光谱管

四、 实验步骤

(1) 分光计的调节

先进行粗调，调节望远镜和平行光管的光轴，尽量使它们与刻度盘平行，调节小平台尽量使它与刻度盘平行（即与主轴垂直）。粗调完毕后进行细调

1. 调节望远镜

先调节目镜与叉丝的距离，看清双十字叉丝。再将平面镜放在小平台上，调节望远镜至适合观察平行光，并调节望远镜光轴垂直于分光计主轴。

不妨以图4的方法放置小平面镜，先在望远镜中寻找由镜面反射回来的十字叉丝光斑，

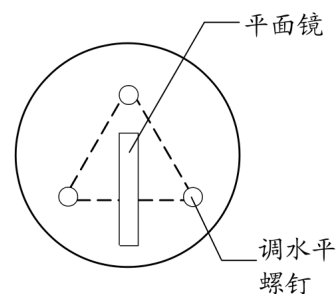


图4 平面镜在小平台上的位置

找到后稍微调节叉丝套筒，改变叉丝到物镜间的距离，使十字叉丝和分划板双十字叉丝无视差，此时望远镜已适合观察平行光。此时定义小平台最靠近望远镜的螺钉为调水平螺钉。

然后大致记下此时十字叉丝的像相对于双十字叉丝

上交点的位置，再将小平台旋转 180° ，如果十字叉丝的相对位置上移了，则将调水平螺钉旋高，使十字叉丝的像大约下降其升高距离的一半，反之亦然。再将小平台旋转 180° ，此时十字叉丝像的相对位置应该基本不变了。反复几次，直至旋转小平台 180° 不会导致十字叉丝像相对双十字叉丝有改变时，便可肯定分光计主轴平行于平面镜了（此时小平台平面不一定垂至于分光计主轴）。再调节望远镜调水平螺钉，使十字叉丝像与双十字叉丝上交点重合即可保证望远镜主轴垂至于分光计主轴了。

2. 调节平行光管

用已经适合观察平行光的望远镜作标准，正对平行光管观察，调节狭缝和透镜的距离，使从望远镜中能看到清晰的狭缝的像，且狭缝像与叉丝无视差，则此时狭缝恰好位于透镜的焦平面上。再调节狭缝宽度至约 0.5mm 左右即可。

然后调节平行光管调水平螺钉，使狭缝像的中点与双十字叉丝中心交点重合，则说明平行光管已垂直与分光计主轴了。

3. 调节三棱镜的两个光学面的法线垂直于分光计主轴

粗调小平台水平，再如图5放置三棱镜，保证一个光学面与某两个小平台调水平螺钉的连线垂直。利用已调节好的望远镜用自准法校准三棱镜的两个光学面法线，

使它们都与望远镜光轴平行，即与分光计主轴垂直。

具体方法是：先通过调节调水平螺丝2使望远镜十字叉丝经光学面II反射回来的像的中心与双十字叉丝上交点重合，亦即调节光学面

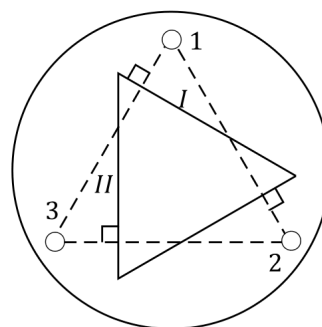


图5 三棱镜在小平台上的位置

II的法线平行于望远镜光轴。再仅通过调节调水平螺丝1使光学面I的法线也平行于望远镜光轴(判断方法同上)。

(2) 测量氦光管谱线的最小偏向角 δ

1. 观察谱线并对照氦光谱图认谱

保持三棱镜光学面法线与主轴垂直，设法通过望远镜看到谱线。再调节到最佳状态使望远镜视场里谱线清晰明亮。对照光谱图认清9条谱线。

2. 确定最小偏向角

通过观察，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，找到谱线移动的转折点，即为最小偏向角位置。将望远镜叉丝竖线对准该谱线中心，测出此时出射光方位，进而得出最小偏向角 δ 。对数据记录中所列的7条谱线都要测量。

(3) 测量三棱镜顶角

用自准法、平行光法测三棱镜顶角。方法见实验原理(4)。

五、 数据记录

分光计编号：12；三棱镜编号：12； $A = 60^\circ 3'$ ； $\Delta_{\text{仪}} = 1'$ ；

入射光方位 $\phi_{10} = 34^\circ 43'$ ； $\phi_{20} = 214^\circ 40'$

(1) 最小偏向角测三棱镜折射率

波 长 (nm)	ϕ_1	ϕ_2	δ_1	δ_2	δ	$\frac{A + \delta}{2}$	n
447.1	341°24'	161°21'	53°19'	53°19'	53°19'	56°41'	1.6703
471.3	341°58'	161°56'	52°45'	52°44'	52°44'	56°23'	1.6647
492.2	342°24'	162°21'	52°19'	52°19'	52°19'	56°11'	1.6606
501.6	342°30'	162°29'	52°13'	52°11'	52°12'	56°7'	1.6595
587.6	343°39'	163°37'	51°4'	51°3'	51°3'	55°24'	1.6482
667.8	344°16'	164°15'	50°27'	50°25'	50°26'	55°14'	1.6421
706.6	341°31'	164°29'	50°12'	50°11'	50°11'	55°7'	1.6396

注： $\delta_1 = \phi_1 - \phi_{10}$ ， $\delta_2 = \phi_2 - \phi_{20}$ ， $\delta = \frac{1}{2}(\delta_1 + \delta_2)$ ， $n = \sin \frac{A + \delta}{2} / \sin \frac{A}{2}$

若转盘在旋转过程中越过360°刻线，则应考虑 $\pm 360^\circ$ ，具体情况根据实验操作过程而定。

(2) 测三棱镜顶角

1. 自准法

	1		2		3	
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>I</i>	<i>II</i>
T_1	113°24′	293°18′	186°54′	6°53′	201°22′	21°22′
T_2	353°26′	173°24′	66°58′	246°54′	321°20′	141°19′
$\phi_i = T_1 - T_2 $	119°58′	119°54′	119°56′	119°59′	119°58′	119°57′
$\phi = \frac{\phi_1 - \phi_2}{2}$	119°56′		119°58′		119°58′	
$A = 180^\circ - \phi$	60°4′		60°2′		60°2′	

2. 平行光法

	1		2		3	
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>I</i>	<i>II</i>
T_1	346°8′	166°7′	65°33′	245°30′	319°20′	139°20′
T_2	106°8′	286°5′	185°37′	5°36′	119°14′	19°15′
$\phi_i = T_1 - T_2 $	120°0′	119°58′	120°4′	120°6′	120°6′	120°5′
$\phi = \frac{\phi_1 - \phi_2}{2}$	119°59′		120°5′		120°6′	
$A = \phi/2$	60°0′		60°3′		60°3′	

注：若转盘在旋转过程中越过360°刻线，则应考虑 $\pm 360^\circ$ ，具体情况根据实验操作过程而定。

六、 数据处理

(1) 折射率 n 的不确定度

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

作为估计, 可取 $\Delta_A = \Delta_\delta = \Delta_{\text{仪}} = 1' = 2.909 \times 10^{-4} \text{rad}$,

A 约为 60° , 取 $\delta = 52^\circ$, 代入上式, 得

$$\Delta_n = 4 \times 10^{-4}$$

所以折射率应保留到小数点后4位。

(2) 根据色散曲线, 求平均色散和色散本领

$$n_C = 1.6426, n_D = 1.6480, n_F = 1.6616$$

平均色散

$$n_F - n_C = 1.6616 - 1.6426 = 0.0190$$

色散本领

$$V = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1} = \frac{1.6616 - 1.6426}{1.6480 - 1} = 0.0293$$

(3) 计算三棱镜顶角

$$A = \frac{1}{6} \sum A_i = 60^\circ 2'$$

与实验室所给 $60^\circ 3'$ 相近。

七、 问题讨论

(1) 当转动小平台 180° 反复调节使望远镜光轴垂直于分光计主轴

轴时, 小平台是否也同时调好到垂直于主轴了? 为什么?

答: 不一定。小平台平面可以由2

个不共线的向量确定。调节

望远镜光轴垂直于分光计主

轴时, 同时也保证了平面镜

法线垂直于分光计主轴。一

方面, 由于平面镜底座的工

艺原因, 平面镜法线不一定平行于小平台平面; 另一方面,

即使平行, 也只能保证小平台平面的一个基向量垂直于主轴,

在垂直于这个基向量的方向上, 小平台的方位仍是任意的。

如图6所示 (平面镜法线垂直于纸面)。

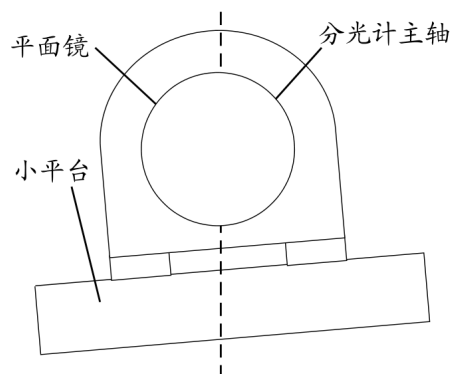


图6 平面镜与小平台的位置关系

(2) 根据折射定律, 结合图7定性分析入射光的方位应处于何种

情况时才可能找到最小偏向角?

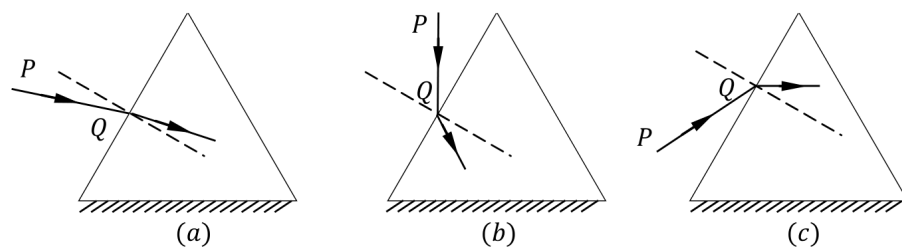


图7 光线PQ以不同的方位入射在三棱镜上

答: 由于玻璃的折射率大于空气的折射率, 所以入射角比折射角

大, 且入射光和折射光分居法线两侧。故而只有(c)可能找

到最小偏向角 (图中只大致画了第一次折射)。

(3) 根据本实验的原理怎样测量光波波长？

答: 可以通过测量某波长的光波的最小偏向角, 求出玻璃材料对该波长光的折射率, 通过对色散曲线内插法反查出该光的波长。也可以通过经验公式解出波长, 但经验公式次数太高, 求解比较困难。

(4) 试根据光路图分析, 为什么望远镜光轴与平面镜法线平行时, 在目镜内应看到十字叉丝反射像与双十字形叉丝的上方交点相重合？

答: 分划板双十字叉丝的下横线在望远镜中心轴线上, 上横线与十字叉丝的横线相对于轴线处于对称的位置。光路如图8。

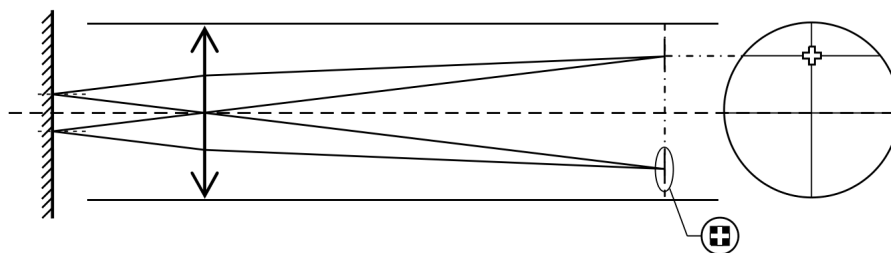


图8 望远镜光轴与平面镜法线平行时的光路图

(5) 实验中调节望远镜光轴垂直于分光计主轴的原理是怎样的？

答: 根据图8, 仅用望远镜调水平螺丝调节望远镜光轴与平面镜法线平行是比较容易的。故而, 只需在再调节平面镜法线垂直于分光计主轴即可保证望远镜光轴垂直于分光计主轴。

光路如图9, 假设平面镜法线与分光计主轴不垂直, 则

[12]

下载高清
无水印

转动小平台 180° 后的光路如虚线所示。

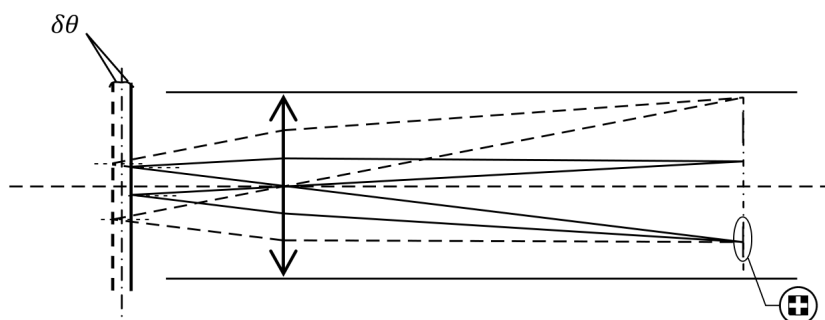


图9 调节望远镜光轴垂直于分光计主轴

可见，如果平面镜法线不垂直于分光计主轴，则旋转 180° 后，光点的竖直位置会移动，而且在角度较小的情况下（如果角度大了，则看不到光点），平面镜法线与分光计主轴垂直时的光点大致在实际两光点中间，故而只要仅调节小平台螺丝使光点上升（下降）一半距离，就可很快的让平面镜法线垂直于分光计主轴。再调节望远镜水平就相对容易了。

(6) 如果三棱镜三个角不是均接近 60° ，该如何放置才能更方便的调节两个光学面法线垂直于分光计主轴？

答: 如果三棱镜的顶角不都是 60° ，

则无法同时保证三个侧面分别与某两个螺钉的连线垂直。此时，只需保证一个光学面与某两个螺钉连线垂直（图中的II垂直于2、3连线），便可先通过2或3调节II的法线垂直于主轴，再通过调节1，可使I的法线垂直于主轴而不影响II。

[13]

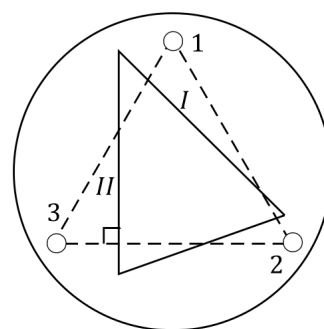


图10 顶角不都是 60° 的三棱镜在小平台上的位置

(7) 实验过程中，分光计各紧固螺钉应处于怎样的状态？

答: 分光计各紧固螺钉可以使望远镜、刻度盘、游标盘、小平台分别自由转动，也可将望远镜与刻度盘、小平台与游标盘锁紧作为整体绕主轴转动或锁紧在主轴上，而平行光管的位置是不变的。

在测量最小偏向角实验中，应始终保持游标盘锁定在主轴上，望远镜与刻度盘锁定在一起转动，通过旋转小平台改变入射角，通过转动望远镜和刻度盘寻找入射光、出射光的角度，进而测出最小偏向角。为了方便读数，通常将两个游标分别置于左右两侧，以避免游标被平行光管遮挡而不方便读数。

在用自准法测三棱镜顶角时，应分别将望远镜与刻度盘、小平台与游标盘锁定一起转动，再将望远镜（或小平台）锁定在主轴上，通过旋转小平台（或望远镜）寻找反射光线。同样出于方便读数考虑，一般仍采用将小平台锁定在主轴上的做法。

在用平行光测三棱镜顶角的实验中，应始终保持小平台和游标盘锁紧在主轴上，将望远镜与刻度盘锁定一起旋转，寻找平行光管的反射光。

(8) 用经验公式对测量数据进行多元线性拟合，并根据拟合公式求出 n_C ， n_D 和 n_F ，与从曲线上求得的结果比较。

[14]

下载高清
无水印

答: 用于拟合的公式

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

利用Excel的LINEST函数可以求出各值，列表如下

$$r = 0.99979$$

A_0	2.64540
A_1	0
A_2	6.66856×10^{-15}
A_3	1.10605×10^{-26}
A_4	-2.13842×10^{-39}
A_5	1.62858×10^{-52}

拟合值与测量值的偏差

$\lambda(\text{nm})$	n	n^2	$n^2_{\text{计算}}$	E
447.1	1.6703	2.7899	2.7898	0.004%
471.3	1.6647	2.7712	2.7714	0.007%
492.2	1.6606	2.7576	2.7583	0.03%
501.6	1.6595	2.7539	2.7530	0.03%
587.6	1.6482	2.7166	2.7170	0.015%
667.8	1.6421	2.6965	2.6960	0.019%
706.6	1.6396	2.6883	2.6886	0.011%

$$\text{注: } E = \frac{|n^2 - n^2_{\text{计算}}|}{n^2} \times 100\%$$

[15]

再利用拟合公式计算 n_C ， n_D 和 n_F ，列表如下

	$n_{\text{计算}}$	$n_{\text{读图}}$	E
$\lambda_C = 656.3nm$	1.6427	1.6426	0.006%
$\lambda_D = 589.3nm$	1.6482	1.6480	0.012%
$\lambda_F = 486.1nm$	1.6619	1.6616	0.018%

$$\text{注: } E = \frac{|n_{\text{计算}} - n_{\text{读图}}|}{n_{\text{读图}}} \times 100\%$$

可见，折射率 n 保留四位小数是有意义的，而且通过读图和拟合计算所得出的结果是非常接近的。

