

实验报告——分光计的调节与使用

姓名：杨博涵 学号：PB20000328 班级：403 组 实验日期：2021 年 5 月 11 日

一. 实验目的

认识分光计，熟练掌握分光计的调节方法和技巧，并用它来测量三棱镜的顶角和最小偏向角，并根据公式求得三棱镜的折射率，进行不确定度分析。

二. 实验原理

本实验主要分为两个部分：分光计的调节，三棱镜的顶角和最小偏向角的测量。

1. 分光计的调节

调整分光计要达到下列要求：平行光管发出平行光，望远镜对平行光聚焦，望远镜、平行光管的光轴垂直仪器公共轴。

主要步骤分为：目镜调焦，调望远镜对平行光聚焦，通过双面平面镜调整望远镜光轴使之垂直仪器主轴，调整平行光管发出平行光并垂直仪器主轴。具体操作细节详见讲义。

2. 角度的测量

在已调节三棱镜光学侧面垂直望远镜光轴后，对两游标作适当标记，分别称游标 1 和游标 2。保持望远镜和刻度盘固定不动。转动游标盘，使棱镜 AC 面正对望远镜，记下游标 1 的读数 θ_1 和游标 2 的读数 θ_2 。再转动游标盘，使棱镜 AB 面正对望远镜，记下游标 1 的读数 θ_1' 和游标 2 的读数 θ_2' 。两次示数之差即载物台转动角度

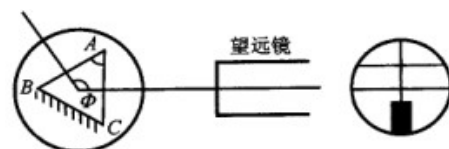


图 7.1.2-10 测棱镜顶角 A

$$\varphi = \frac{1}{2} [|\theta_1' - \theta_1| + |\theta_2' - \theta_2|]$$

而三棱镜顶角是其补角

$$A = \pi - \varphi$$

最小偏向角的测量要先找到最小偏向角。方法是先找到绿光谱线，轻轻转动载物台，在望远镜中将看到谱线跟着动并向着偏向角减小的方向移动（向顶角 A 方向移动）。直到棱镜继续转动，而谱线开始要反向移动（即偏向角反而变大）为止，这一分界线即为所找到的最小偏向角位置。

记下游标 1 的读数 θ_1 和游标 2 的读数 θ_2 。取下三棱镜（载物台保持不动），转动望远镜对准平行发光管，以确定入射光的方向，记下游标 1 的读数 θ_1' 和游标 2 的读数 θ_2' 。此时绿光谱线的最小偏向角即为

$$\delta_{min} = \frac{1}{2} [|\theta_1' - \theta_1| + |\theta_2' - \theta_2|]$$

设三棱镜折射率为 n，由图中几何关系知

$$i_1' = \frac{A}{2}$$
$$i_1 = \frac{A}{2} + \frac{\delta_{min}}{2}$$

由折射定律得

$$n = \frac{\sin i_1'}{\sin i_1} = \frac{\sin \frac{A + \delta_{min}}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

将上述数据代入，即可得到三棱镜折射率 n。

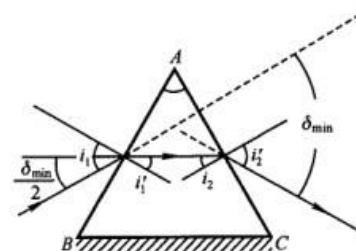


图 7.1.2-8 三棱镜最小偏向角原理图

三. 实验仪器

分光计，三棱镜，双面平面镜。

四. 原始数据

本次实验三棱镜的顶角和最小偏向角分别测 3 组, 实验原始数据如下:

1. 三棱镜顶角

组别	1	2	3
θ_1	321.5°15'	207.5°15'	25°17'
θ_1'	80.5°26'	327.5°18'	145°23'
θ_2	141.5°22'	27.5°16'	205°15'
θ_2'	260.5°26'	147.5°21'	325°18'

2. 最小偏向角

组别	1	2	3
θ_1	269°3'	325°29'	30°20'
θ_1'	324°10'	19.5°5'	84°22'
θ_2	89°5'	145.5°3'	210°19'
θ_2'	144°20'	199.5°5'	264°17'

五. 数据处理与误差分析

1. 三棱镜顶角 A

$$\text{第一组: } \varphi_1 = \frac{1}{2} [|321.5^\circ 15' - 80.5^\circ 26' - 360^\circ| + |141.5^\circ 22' - 260.5^\circ 26'|] = 119^\circ 8'$$

$$A_1 = \pi - \varphi_1 = 60^\circ 52'$$

$$\text{第一组: } \varphi_2 = \frac{1}{2} [|207.5^\circ 15' - 327.5^\circ 18'| + |27.5^\circ 16' - 147.5^\circ 21'|] = 120^\circ 4'$$

$$A_2 = \pi - \varphi_2 = 59^\circ 56'$$

$$\text{第一组: } \varphi_3 = \frac{1}{2} [|25^\circ 17' - 145^\circ 23'| + |205^\circ 15' - 325^\circ 18'|] = 120^\circ 4'$$

$$A_3 = \pi - \varphi_3 = 59^\circ 56'$$

三棱镜顶角 A 的平均值为

$$\bar{A} = \frac{60^\circ 52' + 59^\circ 56' + 59^\circ 56'}{3} = 60^\circ 15'$$

三棱镜顶角 A 的 A 类不确定度

$$u_{AA} = \sqrt{\frac{(60^\circ 52' - 60^\circ 15')^2 + (59^\circ 56' - 60^\circ 15')^2 + (59^\circ 56' - 60^\circ 15')^2}{3 \cdot (3-1)}} = 0^\circ 19'$$

B 类不确定度是由于四次测量游标盘的允差与人的估计误差导致的, 则

$$u_{Bl} = \sqrt{4 \cdot (\Delta_{尺}^2 + \Delta_{估}^2)} = 2\sqrt{0^\circ 1'^2 + 0^\circ 0.5'^2} = 0^\circ 2'$$

故三棱镜顶角 A 的展伸不确定度为 (P=0.95)

$$U_A = \sqrt{(t_{0.95} u_{AA})^2 + (k_{0.95} \Delta_{BA}/C)^2} = \sqrt{(4.30 \cdot 0^\circ 19')^2 + (1.645 \cdot 0^\circ 2' / \sqrt{3})^2} = 1^\circ, P = 0.95$$

2. 最小偏向角 δ_{min}

$$\text{第一组: } \delta_1 = \frac{1}{2} [|269^\circ 3' - 324^\circ 10'| + |89^\circ 5' - 144^\circ 20'|] = 55^\circ 11'$$

$$\text{第一组: } \delta_2 = \frac{1}{2} [|325^\circ 29' - 19.5^\circ 5' - 360^\circ| + |145.5^\circ 3' - 199.5^\circ 5'|] = 54^\circ 4'$$

$$\text{第一组: } \delta_3 = \frac{1}{2} [|30^\circ 20' - 84^\circ 22'| + |210^\circ 19' - 264^\circ 17'|] = 54^\circ$$

最小偏向角 δ_{min} 的平均值为

$$\bar{\delta} = \frac{55^{\circ}11' + 54^{\circ}4' + 54^{\circ}}{3} = 54^{\circ}25'$$

最小偏向角 δ_{min} 的 A 类不确定度

$$u_{A\delta} = \sqrt{\frac{(55^{\circ}11' - 54^{\circ}25')^2 + (54^{\circ}4' - 54^{\circ}25')^2 + (54^{\circ} - 54^{\circ}25')^2}{3 \cdot (3-1)}} = 0^{\circ}20'$$

B 类不确定度是由于四次测量游标盘的允差与人的估计误差导致的，则

$$u_{B\delta} = \sqrt{4 \cdot (\Delta_{尺}^2 + \Delta_{估}^2)} = 2\sqrt{0^{\circ}1'^2 + 0^{\circ}0.5'^2} = 0^{\circ}2'$$

故最小偏向角 δ_{min} 的展伸不确定度为 (P=0.95)

$$U_{\delta} = \sqrt{(t_{0.95}u_{A\delta})^2 + (k_{0.95}\Delta_{B\delta}/C)^2} = \sqrt{(4.30 \cdot 0^{\circ}20')^2 + (1.645 \cdot 0^{\circ}2' / \sqrt{3})^2} = 1^{\circ}, P = 0.95$$

3. 由原理知，三棱镜折射率 n 的表达式为

$$n = \frac{\sin i_1}{\sin i_1'} = \frac{\sin \frac{A + \delta_{min}}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

三棱镜折射率 n 的平均值为

$$\bar{n} = \frac{\sin \frac{A + \delta_{min}}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{60^{\circ}15' + 54^{\circ}25'}{2}}{\sin \frac{60^{\circ}15'}{2}} = 1.677$$

对表达式两边取对数

$$\ln n = \ln \sin \left(\frac{A + \delta_{min}}{2} \right) - \ln \sin \left(\frac{A}{2} \right)$$

再全微分得

$$\frac{dn}{n} = \frac{1}{2} \left(\cot \frac{A + \delta_{min}}{2} - \cot \frac{A}{2} \right) dA + \frac{1}{2} \left(\cot \frac{A + \delta_{min}}{2} \right) d\delta$$

故不确定度传递公式为

$$\frac{U_n}{n} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \left(\cot \frac{A + \delta_{min}}{2} - \cot \frac{A}{2} \right) U_A \right)^2 + \left(\frac{1}{2} \left(\cot \frac{A + \delta_{min}}{2} \right) U_{\delta} \right)^2}$$

代入数据得 (角度制要化成弧度制)

$$\begin{aligned} U_n &= 1.677 \times \sqrt{\left(\frac{1}{2} \left(\cot \frac{60^{\circ}15' + 54^{\circ}25'}{2} - \cot \frac{60^{\circ}15'}{2} \right) \times \frac{\pi}{180} \right)^2 + \left(\frac{1}{2} \left(\cot \frac{60^{\circ}15' + 54^{\circ}25'}{2} \right) \times \frac{\pi}{180} \right)^2} \\ &= 0.018, P = 0.95 \end{aligned}$$

最后，我们得到了三棱镜折射率 n 的最终表达式为

$$n = 1.677 \pm 0.018$$

根据最终结果，我们在 $\frac{U_n}{n} \approx 1\%$ 的精度下测得了三棱镜折射率 n，实验取得成功。

六. 思考与讨论

分光计是精确测定光线偏转角的仪器，在光学实验中具有重要作用。但是作为光学仪器，使用分光计前必须经过一系列的精细调整才能开始实验，本实验最耗时间的步骤也是分光计的调节。且操作过程中必须严格按照自

准直法的操作步骤进行。

思考：已调好望远镜光轴垂直主轴，若将平面镜取下后，又放到载物台上（放的位置与拿下前的位置不同），发现两镜面又不垂直望远镜光轴了，这是为什么？是否说明望远镜光轴还没调好？

答：这并不是由于望远镜光轴未调好造成的，一开始平面镜两次反射的绿十字映在分划板的上十字线就已经说明望远镜光轴已经调好。实际上，此时是因为载物台并没有与主轴垂直，只是在一个特殊方向上恰好使平面镜两次反射的绿十字映在分划板的上十字线上，但其实平面镜还是倾斜的，只不过特殊角度下不影响光路罢了。当平面镜换一个角度后，倾斜效应就影响了光路，使绿十字偏移。这时候应调节载物台下方螺丝（不能调节望远镜螺丝）。