
分光计的调节和使用实验报告

PB22000197 李心玥

2023 年 4 月 28 日

1 实验目的

1. 了解分光计的结构、作用和工作原理，掌握其调整方法和技巧。
2. 利用分光计测量三棱镜的顶角。
3. 利用分光计测量三棱镜的最小偏向角，从而求出三棱镜的折射率。

2 实验原理

2.1 正确调整分光计

调整分光计以达到以下要求：

1. 平行光管发出平行光。
2. 望远镜对平行光聚焦。
3. 望远镜、平行光管的光轴垂直仪器公共轴。

分光计调整的关键是调好望远镜，其他的调整以望远镜为基准。

2.2 测量三棱镜的顶角

首先将三棱镜两个光学表面分别正对望远镜，对两游标作好标记，分别记录游标 1 和游标 2 的两次读数 θ_1 , θ_1' 和 θ_2 , θ_2' ，则载物台转过的角度即为 $\Phi = \frac{1}{2}[|\theta_1 - \theta_1'| + |\theta_2 - \theta_2'|]$ ，而 Φ 是三棱镜顶角 A 的补角，故由 $A = \pi - \Phi$ 可求出三棱镜顶角。

2.3 用最小偏向角法测量三棱镜的折射率

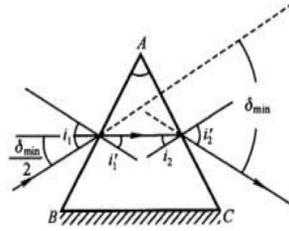


图 1: 三棱镜最小偏向角原理图

一束单色光以 i_1 角入射到 AB 面上，经棱镜两次折射后，从 AC 面折射出来，出射角为 i_2' ，入射光和出射光之间的夹角 δ 称为偏向角。当棱镜顶角 A 一定时，偏向角 δ 的大小随入射角 i_1 的变化而变化，当 $i_1 = i_2'$ 时， δ 最小，称为最小偏向角，记为 δ_{min} 。

棱镜折射率 $n = \frac{\sin i_1}{\sin A} = \frac{\sin \frac{\delta_{min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$ ，因此测出棱镜顶角 A 和最小偏向角 δ_{min} ，即可求得棱镜折射率。

3 实验仪器

分光计，汞灯，双面平面镜，三棱镜

4 实验步骤

1. 根据实验讲义所介绍的方法，正确调整分光计。
2. 将棱镜放到载物台上，使棱镜三边与台下三螺钉的连线所称的三边相互垂直。
3. 接通目镜照明光源，遮住从平行光管来的光，转动载物台，在望远镜中观察从侧面 AC 和 AB 反射回来的十字像，只调台下三螺钉，使其反射像都落到上十字线处。
4. 将两游标分别标记为游标 1 和游标 2，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 ；转动游标盘，再使棱镜 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' 。
5. 让平行光管狭缝对准前方汞灯光源，旋松望远镜止动螺钉和游标盘止动螺钉，把载物台及望远镜转至如图 2 所示的位置 (1) 处，再左右微微转动望远镜，找出棱镜出射的各种颜色的汞灯光谱线。
6. 轻轻转动载物台，望远镜要跟踪光谱线转动，直到棱镜继续转动但谱线开始反向移动为止。记下此时两游标处的读数 θ_1 和 θ_2 。
7. 取下三棱镜，转动望远镜对准平行光管，再记下两游标处的读数 θ_1' 和 θ_2' 。

8. 重复步骤 4 至步骤 7 两次，一共记录三组数据。
9. 整理仪器，处理数据并进行误差分析。

5 测量记录

见附件：实验数据记录

6 数据处理与误差分析

6.1 三棱镜顶角读数测量

实验序号	θ_1	θ_2	θ'_1	θ'_2	A
1	195°58'	15°59'	315°58'	135°58'	60°01'
2	224°19'	44°19'	104°19'	284°19'	60°00'
2	316°25'	136°25'	196°24'	16°25'	60°01'

表 1: 三棱镜顶角测量数据

三次测量的平均值

$$\bar{A} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3} = \frac{60^\circ 01' + 60^\circ 00' + 60^\circ 01'}{3} \approx 60^\circ 01'$$

标准差

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(60^\circ 01' - 60^\circ 01')^2 + (60^\circ 00' - 60^\circ 01')^2 + (60^\circ 01' - 60^\circ 01')^2}{3-1}} \approx 1'$$

A 类标准不确定度

$$u_A = \frac{\sigma_A}{\sqrt{n}} = \frac{1'}{\sqrt{3}} \approx 0.58'$$

取置信概率 $p = 0.95$ ，由于自由度为 $n - 1 = 2$ ，查表得 $t_p = 4.303$

故 A 类扩展不确定度

$$U_A = t_p u_A = 4.303 \times 0.58 \approx 2.48'$$

分光计允差为 $\Delta_{app} = 1'$ ，取估计误差 $\Delta_{est} = 3'$

则 B 类极限不确定度

$$\Delta_B = \sqrt{\Delta_{app}^2 + \Delta_{est}^2} \approx 3.16'$$

分光计的读数类似游标卡尺，故误差分布也近似为均匀分布，B 类标准不确定度

$$u_B = \frac{\Delta_B}{\sqrt{3}} = \frac{3.16'}{\sqrt{3}} \approx 1.83'$$

查表得包含因子 $k_p = 1.645$ ，则 B 类扩展不确定度

$$U_B = k_p u_B = 1.645 \times 1.83' \approx 3.01'$$

合成不确定度

$$U_p = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = \sqrt{2.48^2 + 3.01^2} \approx 4'$$

故三棱镜顶角 $A = 60^\circ 01' \pm 4'$

6.2 最小偏向角测量

实验序号	θ_1	θ_2	θ'_1	θ'_2	A
1	214°00'	34°00'	162°55'	342°54'	51°45'
2	336°46'	156°47'	285°12'	105°12'	51°34'
2	300°32'	120°32'	249°18'	69°17'	51°15'

表 2: 最小偏向角测量数据

三次测量的平均值

$$\delta_{min}^- = \frac{\delta_{min1} + \delta_{min2} + \delta_{min3}}{3} = \frac{51^\circ 45' + 51^\circ 34' + 51^\circ 15'}{3} \approx 51^\circ 31'$$

标准差

$$\sigma_{\delta_{min}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_{mini} - \delta_{min}^-)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(51^\circ 45' - 51^\circ 31')^2 + (51^\circ 34' - 51^\circ 31')^2 + (51^\circ 15' - 51^\circ 31')^2}{3-1}} \approx 21'$$

A 类标准不确定度

$$u_{\delta_{min}} = \frac{\sigma_{\delta_{min}}}{\sqrt{n}} = \frac{21'}{\sqrt{3}} \approx 12'$$

取置信概率 $p = 0.95$ ，由于自由度为 $n - 1 = 2$ ，查表得 $t_p = 4.303$

故 A 类扩展不确定度

$$U_A = t_p u_A = 4.303 \times 12 \approx 51'$$

分光计允差为 $\Delta_{app} = 1'$ ，取估计误差 $\Delta_{est} = 3'$

则 B 类极限不确定度

$$\Delta_B = \sqrt{\Delta_{app}^2 + \Delta_{est}^2} \approx 3.16'$$

分光计的读数类似游标卡尺，故误差分布也近似为均匀分布，B 类标准不确定度

$$u_B = \frac{\Delta_B}{C} = \frac{3.16'}{\sqrt{3}} \approx 1.83'$$

查表得包含因子 $k_p = 1.645$ ，则 B 类扩展不确定度

$$U_B = k_p u_B = 1.645 \times 1.83' \approx 3.01'$$

合成不确定度

$$U_p = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = \sqrt{51^2 + 3.01^2} \approx 51'$$

故三棱镜最小偏向角 $\delta_{min} = 51^\circ 31' \pm 51'$

6.3 折射率计算

$$n = \frac{\sin i_1}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{\delta_{min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{51^\circ 31' + 60^\circ 01'}{2}}{\sin \frac{60^\circ 01'}{2}} \approx 1.653$$

根据不确定度传递公式，有：

$$U_{\frac{\delta_{min} + A}{2}} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}U_{\delta_{min}}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}U_A\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \times 4'\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \times 51'\right)^2} \approx 25'$$

$$U_{\sin \frac{\delta_{min} + A}{2}} = \left| \cos \frac{\delta_{min} + A}{2} \right| U_{\frac{\delta_{min} + A}{2}} = \left| \cos \frac{60^\circ 01' + 51^\circ 31'}{2} \right| \times 25' \approx 13'$$

$$U_{\sin A} = |\cos A| U_A = |\cos 60^\circ 01'| \times 4' \approx 2'$$

$$\begin{aligned} \frac{U_n}{n} &= \sqrt{\left(\frac{U_{\sin \frac{\delta_{min} + A}{2}}}{\sin \frac{\delta_{min} + A}{2}}\right)^2 + \left(\frac{U_{\sin A}}{\sin A}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{13'}{\sin \frac{60^\circ 01' + 51^\circ 31'}{2}}\right)^2 + \left(\frac{2'}{\sin \frac{60^\circ 01'}{2}}\right)^2} \\ &\approx 15.67' \\ &= 0.004rad \end{aligned}$$

故折射率的不确定度为：

$$U_n = 0.004 \times 1.653 \approx 0.007$$

折射率结果为：

$$n = 1.653 \pm 0.007$$

6.4 误差原因分析

1. 人为调整分光计仍然存在一定偏差，不能保证载物台完全水平，因此在旋转载物台后，载物台与主轴可能不再垂直，导致了一定的测量误差。
2. 本实验中，三棱镜顶角 A 和最小偏向角 δ_{min} 分别只测量了 3 次，导致不确定度偏大。
3. 分光计的仪器精度很高，因此人为测量误差对最终结果的影响较大。

7 实验讨论

通过本次实验，我收获如下：

1. 了解了分光计的结构、作用和工作原理
2. 掌握了分光计的基本调节要求、方法和使用规范
3. 实践操作了利用分光计测量三棱镜折射率的实验过程，体会了光学实验的基本思想

8 思考题

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，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：这不是由于望远镜光轴未调好造成的，而是由于载物台未调平。若载物台未与主轴垂直，但第一次放置平面镜时的特定角度恰好使平面镜两次反射的绿十字都出现在分划板的上十字线，则第二次放置时由于不能保证将其放在同一位置，这个偏差就会导致镜面不再垂直于光轴。