

# 分光计

## 实验报告

卜一楠 PB22071444

PHYS1008A 教室:1303 座位号:3

2023 年 6 月 5 日

## 摘要

本次实验着重训练分光计的调整技术和技巧，并用它来测量三棱镜的顶角和最小偏向角，进而求得三棱镜的折射率。

1. 了解分光计的结构、作用和工作原理，掌握调整技术和技巧。
2. 通过分光计测量三棱镜的顶角。
3. 测量三棱镜的顶角和最小偏向角，求出三棱镜折射率。

$$C_n^k \rightarrow \begin{pmatrix} n \\ k \end{pmatrix} \quad (1)$$

## 背景介绍

分光计是精确测定光线偏转角的仪器，也称测角仪。光学中的许多基本量如波长，折射率等都可以直接或间接地表现为光线的偏转角，因而利用它可测量波长、折射率，此外还能精确的测量光学平面间的夹角。许多光学仪器（棱镜光谱仪、光栅光谱仪、分光光度计、单色仪等）的基本结构也是以它为基础的，所以分光计是光学实验中的基本仪器之一。

## 目录

1 实验目的	3
2 实验原理	3
3 实验步骤	4
4 数据测量与分析	4
4.1 三棱镜顶角度数测量 . . . . .	4
4.2 最小偏向角度数测量 . . . . .	5
5 思考题	6
6 致谢	7
7 附录	7

## 1 实验目的

1. 了解分光计的结构、作用和工作原理，掌握调整技术和技巧。
2. 通过分光计测量三棱镜的顶角。
3. 测量三棱镜的顶角和最小偏向角，求出三棱镜折射率。

## 2 实验原理

### 1. 正确调整分光计

调整分光计，需要达到下列要求：

- (1) 平行光管发出平行光。
- (2) 望远调整分光计，最后要达到下列要求：镜对平行光聚焦（即接收平行光）。
- (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，其他的调整可以以望远镜为基准。

### 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，对两游标作适当标记，两次分别记录两个游标游标 1 和游标 2 的读数。进而求出载物台转过的角度：

$$\Phi = \frac{1}{2} [|\theta_1 - \theta'_1| + |\theta_2 - \theta'_2|]$$

由几何关系， $\Phi$  为三棱镜顶角 A 的补角。因此有：

$$A = \pi - \Phi$$

于是可以求出三棱镜的顶角。

### 3. 测量三棱镜的最小偏向角及折射率

如图，一束单色光以  $i_1$  角入射到 AB 面上，经过棱镜两次折射后，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  $\delta$  称为偏向角。当棱镜顶角 A 一定时，偏向角  $\delta$  的大小随入射角  $i_1$  的变化而变化。当  $i_1 = i'_2$  时， $\delta$  为最小。这时的偏向角称为最小偏向角，记作  $\delta_{min}$ 。

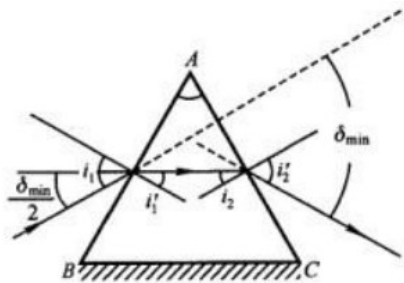


图 1: 三棱镜最小偏向角原理图

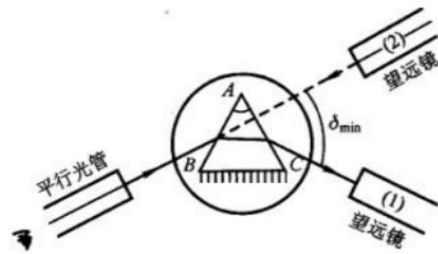


图 2: 测最小偏向角方法

由图，有：

$$i'_1 = \frac{A}{2}, \frac{\delta_{min}}{2} = i_1 - i'_1 = i_1 - \frac{A}{2}, i_1 = \frac{1}{2}(\delta_{min} + A)$$

设棱镜的折射率为  $n$ ，则有：

$$\begin{aligned} \sin i_1 &= n \sin i'_1 = n \sin \frac{A}{2} \\ \Rightarrow n &= \frac{\sin \frac{\delta_{min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \end{aligned}$$

由此可知，测得了棱镜的顶角和最小偏向角，就可以求得棱镜的折射率。

### 3 实验步骤

1. 按照要求调整分光计，直至满足讲义要求。
2. 将棱镜放在载物台上，并使其中一个光学表面正对望远镜。记录两个游标的读数。
3. 转动载物台，使得棱镜的另外一个光学表面正对望远镜。记录两个游标的读数，并重复上述操作两遍。
4. 将平行光管狭缝对准前方汞灯光源后，转动望远镜直至找到棱镜出射的各种颜色的光谱线。
5. 找到光谱线后，转动载物台，改变入射角，望远镜跟随光谱线移动，直至谱线开始反向移动，即偏向角变大为止。固定载物台，调整望远镜使分划板上的中心竖线对准其中的绿谱线。
6. 记录游标读数。再取下三棱镜，转动望远镜，确定入射光的方向，记录游标读数。重复上述操作两遍。
7. 利用公式计算折射率及不确定度。

### 4 数据测量与分析

#### 4.1 三棱镜顶角度数测量

表 1: 顶角的测量数据

实验序号	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta'_1$	$\theta'_2$	$A$
1	148°35'	328°26'	89°08'	269°06'	60°04'
2	149°11'	329°02'	89°08'	269°10'	59°58'
3	149°10'	329°05'	89°07'	269°07'	60°00'

(如果相减大于 180°，则用 360° 减去两角差，再代入计算)

顶角的平均值为：

$$\bar{A} = \frac{60^\circ 04' + 59^\circ 58' + 60^\circ 00'}{3} \approx 60^\circ 01'$$

顶角 A 的标准差为:

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{(60^\circ 01' - 60^\circ 04')^2 + (60^\circ 01' - 59^\circ 58')^2 + (60^\circ 01' - 60^\circ 00')^2}{3-1}} \approx 3'$$

因为试验环境光线较暗, 刻度难以判断对齐, 取试验者估读可能偏离的估读值  $\Delta_{\text{估}} = 3'$ ;

实验仪器分光计测量精度为  $\Delta_{\text{仪}} = 1'$ , 故 B 类不确定度:

$$\Delta_B = \sqrt{\Delta_{\text{仪}}^2 + \Delta_{\text{估}}^2} = \sqrt{(1')^2 + (3')^2} \approx 3'$$

由于分光计的读数近似游标卡尺, 分光计的误差分布近似为均匀分布, 故  $C = \sqrt{3}$ 。查表得此时  $K_{0.95} = 1.654$ 。

顶角 A 的展伸不确定度为:

$$\begin{aligned} U_{A,0.95} &= \sqrt{\left(t_{0.95} \frac{\sigma_A}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(K_{0.95} \frac{\Delta_B}{C}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(4.30 \times \frac{3'}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(1.654 \times \frac{3'}{\sqrt{3}}\right)^2} \\ &\approx 8', P = 0.95 \end{aligned}$$

故顶角 A 的最终结果为:

$$A = 60^\circ 01' \pm 8', P = 0.95$$

## 4.2 最小偏向角度数测量

表 2: 最小偏向角 (绿色谱线) 的测量数据

实验序号	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta'_1$	$\theta'_2$	$\delta_{min}$
1	145°45'	325°40'	94°18'	274°18'	51°24'
2	146°35'	326°32'	95°10'	275°12'	51°22'
3	146°34'	326°31'	95°11'	275°11'	51°22'

(如果相减大于 180°, 则用 360° 减去两角差, 再代入计算)

最小偏向角的平均值为:

$$\bar{\delta}_{min} = \frac{\delta_{min1} + \delta_{min2} + \delta_{min3}}{3} = \frac{51^\circ 24' + 51^\circ 22' + 51^\circ 22'}{3} \approx 51^\circ 23'$$

最小偏向角的标准差为:

$$\sigma_\delta = \sqrt{\frac{(51^\circ 23' - 51^\circ 24')^2 + (51^\circ 23' - 51^\circ 22')^2 + (51^\circ 23' - 51^\circ 22')^2}{3-1}} \approx 1'$$

因为试验环境光线较暗, 刻度难以判断对齐, 取试验者估读可能偏离的估读值  $\Delta_{\text{估}} = 3'$ ;

同上, 实验仪器分光计测量精度为  $\Delta_{\text{仪}} = 1'$ , 故 B 类不确定度:

$$\Delta_B = \sqrt{\Delta_{\text{仪}}^2 + \Delta_{\text{估}}^2} = \sqrt{(1')^2 + (3')^2} \approx 3'$$

由于分光计的读数近似游标卡尺，分光计的误差分布近似为均匀分布，故  $C = \sqrt{3}$ 。此时  $K_{0.95} = 1.654$ 。

$$\begin{aligned} U_{\delta,0.95} &= \sqrt{\left(t_{0.95} \frac{\sigma_{\delta}}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(K_{0.95} \frac{\Delta_B}{C}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(4.30 \times \frac{1'}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(1.654 \times \frac{3'}{\sqrt{3}}\right)^2} \\ &\approx 4', P = 0.95 \end{aligned}$$

故最小偏转角的计算最终结果为：

$$\delta_{\min} = 51^{\circ}23' \pm 4', P = 0.95$$

故折射率为：

$$n = \sin \frac{\delta_{\min} + A}{2} / \sin \frac{A}{2} = \frac{\sin \frac{51^{\circ}23' + 60^{\circ}01'}{2}}{\sin \frac{60^{\circ}01'}{2}} \approx 1.654$$

根据不确定度均分原理：

$$\begin{aligned} \frac{U_n}{n} &= \sqrt{\left(\frac{1}{2} \left(\cot \frac{\delta_{\min} + A}{2} - \cot \frac{A}{2}\right) U_A\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \cot \frac{\delta_{\min} + A}{2} U_{\delta_{\min}}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{2} \left(\cot \frac{51^{\circ}23' + 60^{\circ}01'}{2} - \cot \frac{60^{\circ}01'}{2}\right) \times 8'\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \cot \frac{51^{\circ}23' + 60^{\circ}01'}{2} \times 4'\right)^2} \\ &\approx 0.001, P = 0.95 \end{aligned}$$

因此，n 的展伸不确定度为

$$U_n = n \times 0.001 \approx 0.002, P = 0.95$$

因此，折射率 n 的最终结果为：

$$n = 1.654 \pm 0.002, P = 0.95$$

## 5 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（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：

这不是因为望远镜光轴未调好，是由于载物台未调平。

望远镜光轴已调好后，则光轴已经与平面镜垂直。但是因为人为调整载物台有偏差，载物台并没有与主轴垂直，而只有当前的特定角度恰好使平面镜两次反射的绿十字映在分划版的上十字上。

将平面镜第二次放在载物台上时，由于和第一次未放在同一个位置上，原先载物台未调平的偏差导致镜面又不垂直望远镜光轴了。因此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导致的。

## 6 致谢

感谢中国科学技术大学物理实验教学中心和李恒一老师的指导！

## 7 附录

### 原始实验记录