



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

大学物理-基础实验 | 实验报告

1 实验背景

• 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。

• 使用分光计时必须经过一系列的精细调整才能得到精确的结果，它的调整技术是光学实验的基本技术之一，必须正确掌握。

2 实验目的

- 了解分光计的结构组成, 工作原理, 调整技术和技巧。
- 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, 求得三棱镜材料的折射率。
- 对实验数据进行不确定度分析, 掌握不确定度分析的方法

3 实验原理

3.1 分光计调整

调整分光计，最后要达到下列要求：

- 1 平行光管发出平行光；
- 2 望远镜对平行光聚焦（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。

a. 调整望远镜：1) 目镜调焦：把目镜调焦手轮轻轻旋出或旋进，使分划板刻线清晰。

2) 调望远镜对平行光聚焦：粗调望远镜光轴与镜面垂直，转动平面镜到正对望远镜时，在目镜中应看到一个绿色亮十字随着镜面转动而动，沿轴向移动目镜筒，使绿十字像清晰。

3) 调整望远镜光轴垂直仪器主轴：各半调节法，使两镜面反射像应落在目镜分划板上与下方十字窗对称的上十字线中心。

b. 调整平行光管发出平行光并垂直仪器主轴：取下平面镜和目镜照明光源，狭缝对准前方汞灯光源，使望远镜转向平行光管方向，在目镜中观察狭缝像，沿轴向移动狭缝筒，直到像清晰。这表明光管已发出平行光。再将狭缝转向横向，调节平行光仰角调节螺钉，将像调到中心横线上，这表明平行光管光轴已与望远镜光轴共线。

3.2 测量三棱镜折射率

如图 2，使两个光学分别正对望远镜，记录游标 1，2 的角度，两次读数之差即是载物台转过的角度 Φ ，而根据几何关系 Φ 是顶角 A 的补角， $A = 180^\circ - \frac{1}{2}(|\theta_1 - \theta'_1| + |\theta_2 - \theta'_2|)$

如图 3，一束单色光以 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 为最小。这时的偏向角称为最小偏向角，记作 δ_{min} 。此时 $i'_1 = \frac{A}{2}$ $\frac{\delta_{min}}{2} = i_1 - i'_1 = i_1 - \frac{A}{2}$ 。根据

$$\sin i_1 = n \sin i'_1 = n \sin \frac{A}{2}$$

可推出折射率为

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

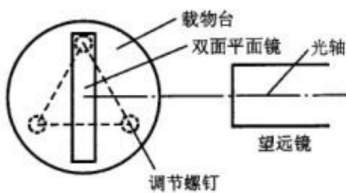


图 1: 双面镜放置位置

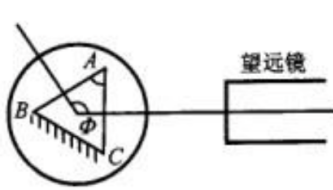


图 2: 测量顶角

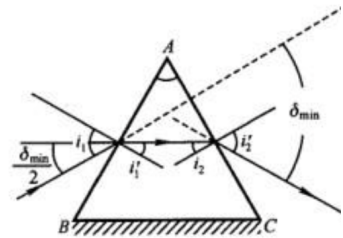


图 3: 测量最小偏向角原理

4 实验仪器

分光计 (主要由底座、平行光管、望远镜、载物台和读数圆盘五部分组成), 汞灯, 三棱镜, 双面平面镜, 放大镜, 台灯。

5 实验步骤

1. 按照实验原理部分调整分光计。

2. 使三棱镜光学侧面垂直望远镜光轴: 转动载物台, 只调台下三螺钉, 使其 AC, AB 面反射像都落到上十字线处

3. 测棱镜顶角: 旋紧度盘下螺钉, 使光学面 AB 正对望远镜, 记下游标 1, 2 读数 θ_1, θ_2 。再转动游标盘, 使光学面 BC 正对游标盘, 记下读数 θ'_1, θ'_2 。

4. 测量三棱镜最小偏向角:

平行光管狭缝对准前方汞灯光源。移动望远镜找出光谱线。转动载物台, 望远镜要跟踪光谱线转动, 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), 记录此时偏转角。固定载物台, 再使望远镜微动, 使其分划板上的中心竖线对准其中的那条绿谱线。

记下此时两游标处的读数 θ_1, θ_2 。取下三棱镜, 转动望远镜对准平行发光管, 以确定入射光的方向, 再记下两游标处的读数 θ'_1, θ'_2 。

5. 重复步骤 2-5 三次。

6. 记算折射率及其不确定度。

6 测量记录

表 1: 顶角测量

测量次数	AC 面		AB 面		顶角
	θ_1	θ_2	θ'_1	θ'_2	$180^\circ - \frac{1}{2}(\theta_1 - \theta'_1 + \theta_2 - \theta'_2)$
1	320°20'	140°20'	200°20'	20°20'	60°00'
2	204°09'	24°08'	324°09'	144°09'	59°99'
3	322°40'	142°40'	202°40'	22°40'	60°00'

表 2: 最小偏向角

测量次数	位置		入射光位置		最小偏向角
	θ_1	θ_2	θ'_1	θ'_2	$\frac{1}{2}(\theta_1 - \theta'_1 + \theta_2 - \theta'_2)$
1	$18^\circ 10'$	$198^\circ 12'$	$326^\circ 45'$	$146^\circ 45'$	$51^\circ 26'$
2	$196^\circ 40'$	$16^\circ 40'$	$145^\circ 10'$	$325^\circ 12'$	$51^\circ 29'$
3	$16^\circ 16'$	$196^\circ 18'$	$324^\circ 50'$	$144^\circ 53'$	$51^\circ 26'$

7 数据处理

7.1 不确定度计算

顶角平均值

$$\bar{A} = \frac{A_1 + A_1 + A_3}{3} = \frac{60^\circ 00' + 59^\circ 99' + 60^\circ 00'}{3} = 60^\circ 00'$$

顶角标准差

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{(\bar{A} - A_1)^2 + (\bar{A} - A_1)^2 + (\bar{A} - A_3)^2}{3 - 1}} = 1'$$

分光计仪器允差 $1'$, 根据合成公式

$$\Delta_B = \sqrt{\Delta_{\lambda}^2 + \Delta_{\text{仪}}^2} = 1'$$

分光计仪器读数类似游标卡尺是均匀分布, 取置信因子 $C = \sqrt{3}$, 查表得 $t_{0.95} = 4.30$, $K_p = 1.645$.

A 的延展不确定度为 ($P=0.95$)

$$U_A = \sqrt{(t_{0.95} \frac{\sigma_A}{\sqrt{n}})^2 + (K_p \frac{\Delta_B}{C})^2} = \sqrt{(4.30 \frac{1'}{\sqrt{3}})^2 + (1.645 \frac{1'}{\sqrt{3}})^2} = 2.7'$$

得顶角

$$A = 60^\circ 00' \pm 2.7' \quad (P = 0.95)$$

最小偏转角平均值

$$\bar{\delta}_{min} = \frac{51^\circ 26' + 51^\circ 29' + 51^\circ 26'}{3} = 51^\circ 27'$$

最小偏转角标准差

$$\sigma_{\delta_{min}} = \sqrt{\frac{(51^\circ 26' - 51^\circ 27')^2 + (51^\circ 29' - 51^\circ 27')^2 + (51^\circ 29' - 51^\circ 27')^2}{3 - 1}} = 2.5'$$

最小偏转角延展不确定度 ($P=0.95$)

$$U_l = \sqrt{(t_{0.95} \frac{\sigma_{\delta_{min}}}{\sqrt{n}})^2 + (K_p \frac{\Delta_B}{C})^2} = \sqrt{(4.30 \frac{2.5'}{\sqrt{3}})^2 + (1.645 \frac{1'}{\sqrt{3}})^2} = 6'$$

得最小偏转角

$$\delta_{min} = 51^\circ 27' \pm 6' \quad (P = 0.95)$$

计算折射率为

$$n = \frac{\sin \frac{\delta_{min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{51^\circ 27' + 60^\circ 00'}{2}}{\sin \frac{60^\circ 00'}{2}} = 1.653$$

由不确定度均分原理

$$\begin{aligned} \frac{U_n}{n} &= \sqrt{(\frac{1}{2}(\cot(\frac{\delta_{min} + A}{2}) - \cot \frac{A}{2})U_A)^2 + (\frac{1}{2} \cot(\frac{\delta_{min} + A}{2})U_{\delta_{min}})^2} \\ &= \sqrt{(\frac{1}{2}(\cot(\frac{51^\circ 27' + 60^\circ 00'}{2}) - \cot \frac{60^\circ 00'}{2})2.7')^2 + (\frac{1}{2} \cot(\frac{51^\circ 27' + 60^\circ 00'}{2})6')^2} \\ &= 0.0007 \quad (P = 0.95) \end{aligned}$$

故

$$U_n = 0.0007 \times 1.653 \approx 0.001$$

折射率为

$$n = 1.653 \pm 0.001 \quad P = (0.95)$$

注：每一步计算结果进行了近似处理，计算过程中用弧度制保留了较高精度。

7.2 误差分析

分光计是一个误差较小的仪器，实验中有一定误差，分析原因如下：

1. 测量次数较少，只测量三次，置信因子较大。
2. 人为误差，调平分光计时无法保证载物台完全水平，在旋转载物台后，可能导致载物台与望远镜光轴存在一定偏差，进而导致测量存在一定误差。
3. 实验室光线较弱，读数可能存在一定误差，寻找最小偏向角时难以准确地判断出谱线反向移动的位置因此最小偏转角的测量存在误差。

8 实验讨论

8.1 实验细节

1. 双面镜放置如图 1，这样放置较为方便，各半调节法调距离我们近的螺钉，转动 180° 用同样方法调整另一镜面。

2. 调整平行光管发出平行光并垂直仪器主轴：平行光管光轴望远镜光轴共线后，平行光仰角调节螺钉不能再动。

3. 调节三棱镜光学侧面垂直望远镜光轴的过程中，将棱镜放到平台上，使棱镜三边与台下三螺钉的连线所成三边相互垂直，这样放置的好处便于找到反射面正对的螺钉，便于调节。

调节三棱镜光学侧面垂直望远镜光轴时，不能动螺钉望远镜仰角，因为用双面镜已经调好了望远镜仰角，此时应该调平载物台。

4. 在找到最小偏向角之后，要先锁定载物台，否则载物台会随望远镜转动，无法读出入射光源角度。

8.2 实验收获

- 通过分光计的调节与使用实验，了解了分光计的组成结构、工作原理。
- 熟练了分光计的调节，学会了用分光计测量三棱镜顶角，最小偏向角，提升了实践能力。
- 掌握了分析误差的基本能力，确定了误差来源。
- 逐步掌握了判断和排除光路调节基本故障的能力。

9 思考题

1. 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：这不是由于望远镜光轴未调好造成的，望远镜已经与主轴垂直。

这说明载物台没有调平。第一次调整两个螺钉只能使在同一方向看到绿十字落在分划板中心，此时载物台可能不平，当重新放回时，角度改变使镜面又不垂直于光轴了。因此，放上三棱镜后仍需要调载物台。