

分光计的调节和使用

PB2100026 胡文悦 少年班学院 1 班

1 实验目的

掌握分光计的调整方法和技巧，利用分光计测量三棱镜的顶角和最小偏向角，获得三棱镜的折射率。

2 实验原理

2.1 分光计的结构

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。底座中心有仪器的公共轴，望远镜和读数圆盘可绕该轴转动；平行光管是产生平行光的装置；望远镜目镜系统和物镜组成，目镜和物镜之间装有分划板；载物台放平面镜、棱镜等光学元件用，台面下三个螺钉可调节台面的倾斜角；读数圆盘由刻度盘和游标盘组成。

2.2 分光计的调节原理和方法

1. 调整望远镜

- 目镜调焦：把目镜调焦手轮轻轻旋出，或旋进，从目镜中观看，直到分划板刻线清晰为止。
- 调望远镜对平行光聚焦：把目镜照明，将双面平面镜放到载物台上。粗调望远镜光轴与镜面垂直——用眼睛估测一下，把望远镜调成水平，再调载物台螺钉，使镜面大致与望远镜垂直。观察与调节镜面反射像——固定望远镜，双手转动游标盘，于是载物台跟着一起转动。转到平面镜正好对着望远镜时，在目镜中应看到一个绿色亮十字随着镜面转动而动，这就是镜面反射像。如果像有些模糊，只要沿轴向移动目镜筒，直到像清晰，再旋紧螺钉，则望远镜已对平行光聚焦。
- 调整望远镜光轴垂直仪器主轴：当镜面与望远镜光轴垂直时，它的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，平面镜绕轴转 180° 后，如果另一镜面的反射像也落在此处，这表明镜面平行仪器主轴。

2. 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，所以也垂直仪器主轴。再将狭缝调成垂直，锁紧螺钉。

2.3 用最小偏向角法测三棱镜材料的折射率

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（证明略）。这时的偏向角称为最小偏向角，记作 δ_{min} 。由图可以看出，这时

$$i'_1 = \frac{A}{2}$$

$$\frac{\delta_{min}}{2} = i_1 - i'_1 = i_1 - \frac{A}{2}$$

$$i_1 = \frac{1}{2}(\delta_{min} + A)$$

设棱镜材料折射率为 n ，则

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

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

由此可知，要求得棱镜材料折射率 n ，须测出其顶角 A 和最小偏向角 δ_{min} 。

3 实验仪器

分光计，汞灯，双面平面镜，三棱镜（辅助工具：手电筒，放大镜）

4 实验步骤

1. 打开汞灯进行预热。
2. 调整分光计，使分光计满足：平行光管发出平行光；望远镜对平行光聚焦（即接收平行光）；望远镜、平行光管的光轴垂直仪器公共轴。
3. 使三棱镜光学侧面垂直望远镜光轴

- (a) 调载物台的上下台面大致平行，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。
- (b) 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，此时三棱镜光学侧面垂直望远镜光轴。

4. 测棱镜顶角

对两游标作适当标记，分别称游标 1 和游标 2，切勿颠倒。旋紧度盘下螺钉，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'_1 。再转动游标盘，再使 AB 面正对望远镜，记下游标 1 的读数 θ_2 和游标 2 的读数 θ'_2 。则载物台转过的角度为

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

顶角 A 是 Φ 的补角，故

$$A = \pi - \Phi$$

5. 测三棱镜的最小偏向角

- (a) 平行光管狭缝对准前方汞灯光源。
- (b) 旋松望远镜止动螺钉和游标盘止动螺钉，转动载物台及望远镜转至特定位置 1，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（各种波长的狭缝像）。
- (c) 轻轻转动载物台（改变入射角 i_1 ），在望远镜中将看到谱线跟着动。改变 i_1 ，应使谱线往 δ 减小的方向移动（向顶角 A 方向移动）。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）为止。这个反向移动的转折位置，就是光线以最小偏向角射出的方向。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（546.1 nm）。

- (d) 记下此时两游标处的读数 θ_1 和 θ'_1 。取下三棱镜（载物台保持不动），转动望远镜对准平行光管，以确定入射光的方向，再记下两游标处的读数 θ_2 和 θ'_2 。此时绿谱线的最小偏向角

$$\delta_{min} = \frac{1}{2}(|\theta_1 - \theta'_1| + |\theta_2 - \theta'_2|)$$

6. 多次重复实验。

7. 整理仪器

8. 计算折射率 n 及其不确定度。

5 数据处理与误差分析

分光计的最大允差 $\Delta_{\text{仪}} = 0^\circ 1'$ 。估计误差 $\Delta_{\text{估}} = 0$ 。

分光计测量误差满足均匀分布，取置信系数 $C = \sqrt{3}$ 。

取 $P = 0.95$, $k_p = 1.645$, B 类不确定度 $u_b = \frac{k_p \sqrt{\Delta_{\text{仪}}^2 + \Delta_{\text{估}}^2}}{C} = 0.0158^\circ$

5.1 三棱镜顶角的测量与不确定度计算

平均值

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n} = 59^\circ 59'$$

标准差

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{(n-1)}} = 1' 25''$$

A 类不确定度

$$u_{Aa} = \frac{t_p \sigma_A}{\sqrt{n}} = 3' 31''$$

顶角的扩展不确定度

$$u_A = \sqrt{u_{Aa}^2 + u_b^2} = 0.0606^\circ$$

5.2 最小偏向角的测量和不确定度计算

平均值

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{n} = \frac{56^\circ 30' + 55^\circ 48' + 53^\circ 56'}{3} = 55.41^\circ$$

标准差

$$\sigma_\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_i - \bar{\delta})^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{(56^\circ 30' - 55.41^\circ)^2 + (55^\circ 48' - 55.41^\circ)^2 + (53^\circ 56' - 55.41^\circ)^2}{(3-1)}} = 1.33^\circ$$

A 类不确定度

取 $P = 0.95$, $n = 3$, 则 $t_p = 4.30$

$$u_{\delta a} = \frac{t_p \sigma_\delta}{\sqrt{n}} = \frac{4.30 \times 1.33}{\sqrt{3}} = 3.29^\circ$$

最小偏向角的扩展不确定度

$$u_\delta = \sqrt{u_{\delta a}^2 + u_b^2} = 3.29^\circ$$

5.3 折射率及其不确定度的计算

折射率

$$n = \frac{\sin \frac{\bar{\delta} + \bar{A}}{2}}{\sin \frac{\bar{A}}{2}} = \frac{\sin \frac{55.41 + 59.98}{2}}{\sin \frac{59.98}{2}} = 1.6815$$

将以上公式两边取对数

$$\ln n = \ln \sin \frac{\delta + A}{2} - \ln \sin \frac{A}{2}$$

两边求微分，整理得

$$\frac{dn}{n} = \left(\frac{\cos \frac{\delta + A}{2}}{2 \sin \frac{\delta + A}{2}} - \frac{\cos \frac{A}{2}}{2 \sin \frac{A}{2}} \right) dA + \frac{\cos \frac{\delta + A}{2}}{2 \sin \frac{\delta + A}{2}} d\delta$$

设

$$x = \left| \frac{\cos \frac{\bar{\delta} + \bar{A}}{2}}{2 \sin \frac{\bar{\delta} + \bar{A}}{2}} - \frac{\cos \frac{\bar{A}}{2}}{2 \sin \frac{\bar{A}}{2}} \right| = 0.5441$$
$$y = \left| \frac{\cos \frac{\bar{\delta} + \bar{A}}{2}}{2 \sin \frac{\bar{\delta} + \bar{A}}{2}} \right| = 0.3223$$

将之前所得不确定度转换为弧度制

$$u_A = 1.06 \times 10^{-3}$$

$$u_\delta = 5.74 \times 10^{-2}$$

折射率的扩展不确定度

$$u_n = \sqrt{(xu_A)^2 + (yu_\delta)^2} = 1.85 \times 10^{-2}$$

不确定度保留一位有效数字，折射率与不确定度位数对齐

$$n = 1.6815 \pm 0.0185$$

6 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：

出现上述现象不能说明望远镜光轴还没调好。第一次调节使平面镜底部水平，望远镜光轴垂直主轴，两镜面垂直光轴。由于载物台平面不水平，重新放置平面镜后，平面镜底部不再水平，两镜面不垂直光轴，故不能说明。（保持望远镜倾角不变，改变平面镜位置多次调节，可使载物台水平）