

实验报告：分光计的调节与使用

张贺 PB07210001

一、实验题目：

分光计的调节与使用

二、实验目的：

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偏向角。

三、实验仪器：

分光计、双面平面镜、三棱镜、低压汞灯

四、实验原理：

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。外形如图 7.1.2-1 所示。

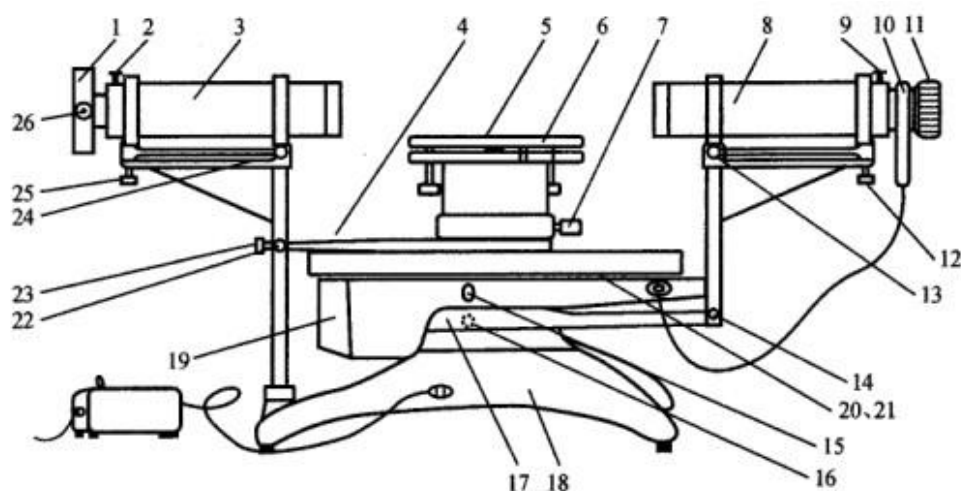


图 7.1.2-1 分光计外形图

1—狭缝装置;2—狭缝装置锁紧螺钉;3—平行光管;4—制动架(二);5—载物台;6—载物台调节螺钉(3只);7—载物台锁紧螺钉;8—望远镜;9—目镜锁紧螺钉;10—阿贝式自准直目镜;11—目镜调节手轮;12—望远镜仰角调节螺钉;13—望远镜水平调节螺钉;14—望远镜微调螺钉;15—转座与刻度盘止动螺钉;16—望远镜止动螺钉;17—制动架(一);18—底座;19—转座;20—刻度盘;21—游标盘;22—游标盘微调螺钉;23—游标盘止动螺钉;24—平行光管水平调节螺钉;25—平行光管仰角调节螺钉;26—狭缝宽度调节手轮

2. 分光计的调整原理和方法

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标准。

(1) 调整望远镜

1) 目镜调焦

这是为了使眼睛通过目镜能清楚的看到图 7.1.2-3 所示分划板上的刻线。调焦方法是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。

2) 调望远镜对平行光聚焦

这是要将分划板调到物镜焦平面上，调整方法是：

(a) 把目镜照明，将双平面镜放到载物台上。为了便于调节，平面镜与载物台下三个调节螺钉的相对位置如图 7.1.2-4。

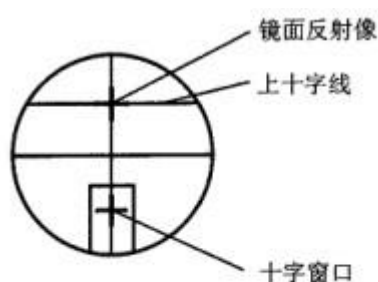


图 7.1.2-3 从目镜中看到的分划板

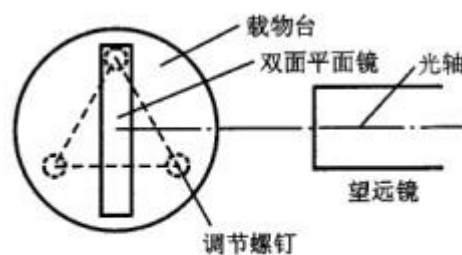


图 7.1.2-4 载物台上双面镜放置的俯视图

(b) 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。

(c) 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。

3) 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，见图 7.1.2-3。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。当然，此时与镜面垂直的望远镜光轴也垂直仪器主轴。

（a） 载物台倾角没调整好的表现及调整

假设望远镜光轴已垂直仪器主轴，但载物台倾角没调好，见图 7.1.2-5。平面镜 A 面反射光偏上，载物台转 180° 后，B 面反射光偏下。在目镜中看到的现象是 A 面反射像在 B 面反射像的上方。显然，调整方法是把 B 面像（或 A 面像）向上（向下）调到两像点距离的一半，使镜面 A 和 B 的像落在分划板上同一高度。

（b） 望远镜光轴没调好的表现及调整

假设载物台已调好，但望远镜光轴不垂直仪器主轴，见图 7.1.2-6。在图（a）中，无论平面镜 A 面还是 B 面，反射光都偏上，反射像落在分划板上十字线的上方。在图（b）中，镜面反射光都偏下，反射像都落在十字线的下方。显然，调整方法是只要调整望远镜仰角调节螺钉（12），把像调到上十字线上即可，见图（c）。

（c） 载物台和望远镜光轴都没调好的表现和调整方法

表现是两镜面反射像一上一下。先调载物台螺钉，使两镜面反射像像点等高（但像点没落在上十字线上），再把像调到上十字线上，见图 7.1.2-6（c）。

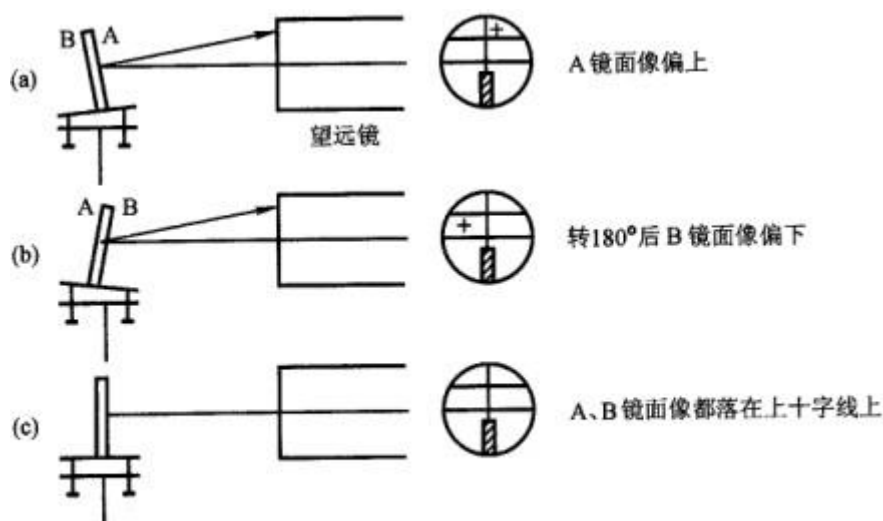


图 7.1.2-5 载物台倾角没调好的表现及调整原理

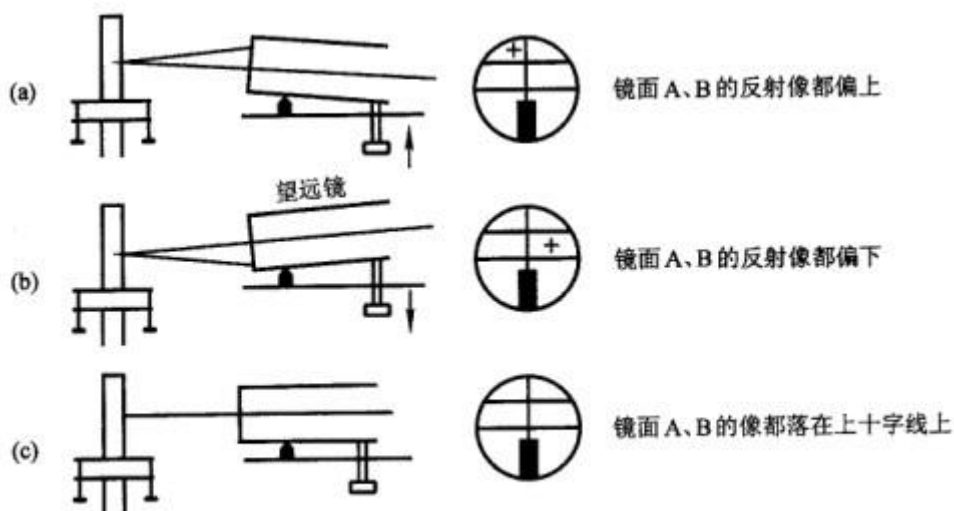


图 7.1.2-6 望远镜光轴没调好的表现及调整原理

(2) 调整平行光管发出平行光并垂直仪器主轴

将被照明的狭缝调到平行光管物镜焦平面上，物镜将出射平行光。

调整方法是：取下平面镜和目镜照明光源，狭缝对准前方水银灯光源，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（25），将像调到中心横线上，见图 7.1.2-7（a）。这表明平行光管轴已与望远镜光轴共线，所以

也垂直仪器主轴。螺钉（25）不能再动。

再将狭缝调成垂直，锁紧螺钉，见图 7.1.2-7（b）。

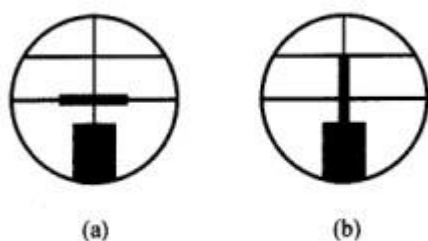


图 7.1.2-7 平行光管光轴与望远镜光轴共线

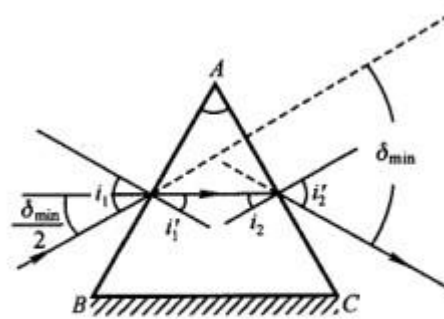


图 7.1.2-8 三棱镜最小偏向角原理图

3. 用最小偏向角法测三棱镜材料的折射率

见图 7.1.2-8，一束单色光以 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} 。

由图 7.1.2-8 中可以看出，这时

$$\begin{aligned} i_1' &= \frac{A}{2} \\ \frac{\delta_{\min}}{2} &= i_1 - i_1' = i_1 - \frac{A}{2} \\ i_1 &= \frac{1}{2}(\delta_{\min} + A) \end{aligned} \quad (1)$$

设棱镜材料折射率为 n ，则

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

故

$$n = \frac{\sin i_1}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{\xi_{\min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \quad (2)$$

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

五、实验内容：

1. 调整分光计（要求与调整方法见原理部分）
2. 使三棱镜光学侧面垂直望远镜光轴

（1）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，见图 7.1.2-9。试分析这样放置的好处。

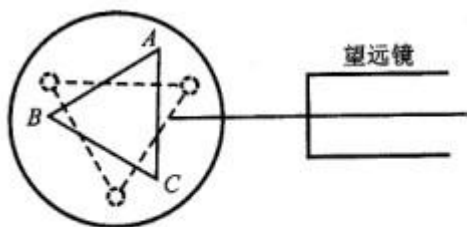


图 7.1.2-9 三棱镜在载物台上的正确放法

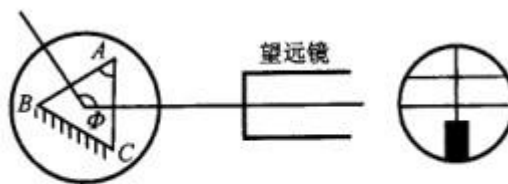


图 7.1.2-10 测棱镜顶角 A

（2）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，见图 7.1.2-10。调节时，切莫动螺钉（12）（为什么？）。

3. 测棱镜顶角 A

对两游标作一适当标记，分别称游标 1 和游标 2，切记勿颠倒。旋紧度盘下螺钉（16）、（17），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，见图 7.1.2-10。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，再使 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 。同一游标两次读数误差 $|\theta_1 - \theta'_1|$ 或 $|\theta_2 - \theta'_2|$ ，即是载物台转过的角度 Φ ，而 Φ 是 A 角的补角，

$$A = \pi - \Phi$$

4. 测三棱镜的最小偏向角

(1) 平行光管狭缝对准前方水银灯光源。

(2) 旋松望远镜止动螺钉 (16) 和游标盘止动螺钉 (23)，把载物台及望远镜转至如图 7.1.2-11 中所示的位置 (1) 处，再左右微微转动望远镜，找出棱镜出射的各种颜色的水银灯光谱线 (各种波长的狭缝像)。

(3) 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 (锁紧 23)，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 (546.1nm)。

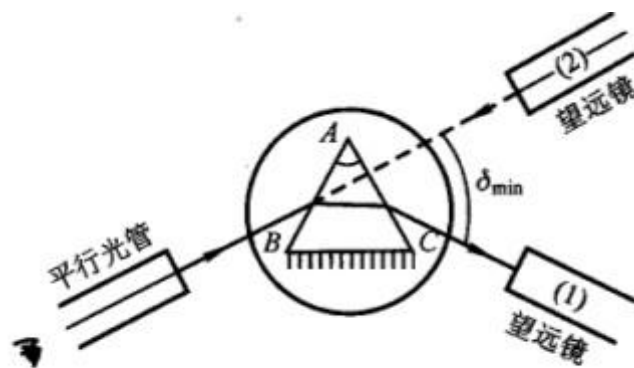


图 7.1.2-11 测最小偏向角方法

(4) 测量

记下此时两游标处的读数 θ_1 和 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，即图 7.1.2-11 中（2）的位置，以确定入射光的方向，再记下两游标处的读数 θ'_1 和 θ'_2 。此时绿谱线的最小偏向角

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

将 δ_{\min} 值和测得的棱镜 A 角平均值代入式（2）计算 n。

六、数据处理：

1. 实验内容 2（2）中只调节载物台下三螺钉，不能再动望远镜仰角调节螺钉的原因分析如下：

因为望远镜光轴已与仪器主轴垂直，不能再动望远镜仰角调节螺钉。此时是由于载物台没有调好，需要调节载物台下三螺钉即可。

2. 测量棱镜顶角 A：

测量次数 n=6

原始数据如下：

n	θ_1	θ_2	θ_1'	θ_2'
1	285°53'	105°52'	165°54'	345°54'
2	165°41'	345°42'	45°43'	225°43'
3	284°40'	104°40'	164°40'	344°41'
4	45°17'	225°17'	285°18'	105°18'
5	285°10'	105°10'	165°10'	345°11'
6	165°44'	345°46'	45°47'	225°47'

则有

n	$ \theta_1 - \theta_1' $	$ \theta_2 - \theta_2' $	平均值	A
1	119°59'	119°58'	119°58'	60°2'
2	119°58'	119°59'	119°58'	60°2'
3	120°0'	119°59'	120°0'	60°0'
4	119°59'	119°59'	119°59'	60°1'
5	120°0'	119°59'	120°0'	60°0'
6	119°57'	119°59'	119°58'	60°2'

$$\bar{A} = \frac{60^\circ 2' + 60^\circ 2' + 60^\circ 0' + 60^\circ 1' + 60^\circ 0' + 60^\circ 2'}{6} = 60^\circ 1' = 60.02^\circ$$

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{(60^\circ 2' - 60^\circ 1')^2 + (60^\circ 2' - 60^\circ 1')^2 + (60^\circ 0' - 60^\circ 1')^2 + (60^\circ 0' - 60^\circ 1')^2 + (60^\circ 2' - 60^\circ 1')^2}{6-1}} = 0.0167^\circ$$

$$u_A = \frac{\sigma_A}{\sqrt{6}} = \frac{0.0167^\circ}{\sqrt{6}} = 0.0068^\circ$$

$$t_p u_A = 2.57 \times 0.0068^\circ = 0.017^\circ \quad p = 0.95$$

$$u_B = \frac{\sqrt{\Delta_{\text{仪}}^2 + \Delta_{\text{估}}^2}}{C} = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{\sqrt{3}} = \frac{1'}{\sqrt{3}} = 0.010^\circ$$

$$k_p u_B = 1.96 \times 0.010^\circ = 0.020^\circ \quad p = 0.95$$

$$u = \sqrt{(t_p u_A)^2 + (k_p u_B)^2} = \sqrt{(0.017^\circ)^2 + (0.020^\circ)^2} = 0.026^\circ = 0.0004 \text{ rad}$$

$$p = 0.95$$

3. 测三棱镜的最小偏向角 δ_{\min} :

测量次数 n=6

原始数据如下：

n	θ_1	θ_2	θ_1'	θ_2'
1	134°6'	314°9'	185°34'	5°36'
2	133°48'	313°49'	185°14'	5°17'
3	5°54'	185°51'	314°25'	134°23'
4	14°14'	194°13'	65°42'	245°41'
5	134°30'	314°32'	185°59'	6°0'
6	253°57'	73°57'	305°26'	125°22'

则有

n	$ \theta_1 - \theta_1' $	$ \theta_2 - \theta_2' $	平均值
1	51°28'	51°27'	51°28'
2	51°26'	51°28'	51°27'
3	51°29'	51°28'	51°28'
4	51°28'	51°28'	51°28'
5	51°29'	51°28'	51°28'
6	51°29'	51°25'	51°28'

$$\overline{\delta_{\min}} = \frac{51^{\circ}28' + 51^{\circ}27' + 51^{\circ}28' + 51^{\circ}28' + 51^{\circ}28' + 51^{\circ}28'}{6} = 51^{\circ}28' = 51.47^{\circ}$$

$$\sigma_{\delta_{\min}} = \sqrt{\frac{(51^{\circ}27' - 51^{\circ}28')^2}{6 - 1}} = 0.00745^{\circ}$$

$$u_A = \frac{\sigma_{\delta_{\min}}}{\sqrt{6}} = \frac{0.00745^{\circ}}{\sqrt{6}} = 0.0030^{\circ}$$

$$t_p u_A = 2.57 \times 0.0030^{\circ} = 0.007^{\circ} \qquad p = 0.95$$

$$u_B = \frac{\sqrt{\Delta_{\text{仪}}^2 + \Delta_{\text{估}}^2}}{C} = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{\sqrt{3}} = \frac{1'}{\sqrt{3}} = 0.010^{\circ}$$

$$k_p u_B = 1.96 \times 0.010^{\circ} = 0.020^{\circ} \qquad p = 0.95$$

$$u = \sqrt{(t_q u_A)^2 + (k_p u_B)^2} = \sqrt{(0.007^{\circ})^2 + (0.020^{\circ})^2} = 0.021^{\circ} = 0.0004rad$$

$$p = 0.95$$

4. 计算三棱镜材料的折射率 n :

$$n = \frac{\sin i_1}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{\xi_{\min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{51.47^\circ + 60.02^\circ}{2}}{\sin \frac{60.02^\circ}{2}} = 1.65$$

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

两边取对数

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

求微分

$$\frac{dn}{n} = \frac{1}{\sin \frac{\xi_{\min} + A}{2}} \cos \frac{\xi_{\min} + A}{2} d \frac{\xi_{\min} + A}{2} - \frac{1}{\sin \frac{A}{2}} \cos \frac{A}{2} d \frac{A}{2}$$

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

合并同类项

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

系数取绝对值

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

最后写成标准差公式

$$\left(\frac{u_n}{n} \right)^2 = \left(\frac{1}{2} \cot \frac{\xi_{\min} + A}{2} u_{\delta_{\min}} \right)^2 + \left[\frac{1}{2} \left(\cot \frac{\xi_{\min} + A}{2} - \cot \frac{A}{2} \right) u_A \right]^2$$

$$u_n = \frac{n}{2} \sqrt{\left(\cot \frac{\xi_{\min} + A}{2} u_{\delta_{\min}} \right)^2 + \left[\left(\cot \frac{\xi_{\min} + A}{2} - \cot \frac{A}{2} \right) u_A \right]^2}$$

$$= \frac{1.65}{2} \sqrt{\left(\cot \frac{51.47^\circ + 60.02^\circ}{2} \times 0.0004 \right)^2 + \left[\left(\cot \frac{51.47^\circ + 60.02^\circ}{2} - \cot \frac{60.02^\circ}{2} \right) \times 0.0004 \right]^2}$$

$$= 0.0004$$

结果的最终表达式为

$$n = 1.65 \pm 0.0004$$

$$p = 0.95$$

七、注意事项：

1. 转动载物台，都是指转动游标盘带动载物台一起转动.
2. 狭缝宽度 1 mm 左右为宜，宽了测量误差大，窄了光通量小。狭缝易损坏，尽量少调，调节时要边看边调，动作要轻，切忌两缝太近。
3. 光学仪器螺钉的调节动作要轻柔，锁紧螺钉也是指锁住即可，不可用力过大，以免损坏器件。

八、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：这是由于载物台倾角没有调好，导致平面镜再次放到载物台上后凉镜面又不垂直望远镜光轴了，不说明望远镜光轴没有调好。