

学号：11910104 姓名：王奕童 日期：2020 年 05 月 22 日 星期 五

## 分光计的调节与使用

### 一. 实验目的

1. 训练分光计的调节方法与技巧。
2. 用分光计测量三棱镜的顶角和最小偏向角, 计算三棱镜对汞灯绿线的折射率。

### 二. 实验仪器

分光计、双面反射镜、棱镜、汞灯

### 三. 实验原理

仔细阅读讲义, 理解以下问题, 简要写明实验原理。

#### 1. 分光计的调整要求及各部分调整方法;

为使测量精确, 必须先将分光计调好, 分光计的调整主要是调望远镜和平行光管。

(1) 分光计调整要求:

- ①望远镜对平行光聚焦 (即接收平行光);
- ②望远镜垂直仪器主轴;
- ③平行光管发出平行光, 平行光管的主轴垂直仪器的的主轴, 并与望远镜筒共轴。

(2) 分光计调整方法:

分光计的调整有一定难度。在进行仪器调整前, 先对照仪器实物, 熟悉仪器构成及各个部件各个螺钉的功能。仪器的调整遵从先粗调后细调的原则, 细调要求耐心仔细。

①粗调要求如下：分别调节望远镜和平行光管俯仰角螺钉，目测望远镜主轴和平行光管主轴水平；调节载物台底部三颗螺钉顶起的高度基本一致，载物台面三条线对准三颗底角螺钉，载物台平面大致水平。

分光计调整的关键是调好望远镜，其他的调整可以望远镜为参考。望远镜的调整需借助双面平面镜。

②分光计的细调方法如下：

(1) 调节望远镜对平行光聚焦。

①目镜调焦。要求眼睛通过目镜能看清分划板上的刻线。调焦方法是把目镜调焦手轮轻轻转动（旋出或旋进），直到从目镜中看清分划板刻线。

②调望远镜对平行光聚焦，调整方法如下：打开绿色 LED 光源，将双面平面镜放到载物台上。为便于调节，平面镜与载物台下三个调节螺钉的相对位置如图 5。固定望远镜，双手转动游标盘，载物台跟着一起转动。转到平面镜正对着望远镜时，在目镜中应该看到一团绿色像随着镜面的转动而动，这是镜面反射像。此时，沿着轴向移动目镜筒，直到像绿色像清晰且无视差，再旋紧螺钉，则望远镜已对平行光聚焦。无视差是指当观察者眼睛左右移动时，准线和绿色亮十字之间没有相对位移，即测量准线和被测目标处于同一平面。这可以通过仔细移动望远镜目镜套筒和转动目镜视度调节手轮实现。需要注意的是，在后续调整或测量中，望远镜目镜与分光板的距离已固定，不可再调。

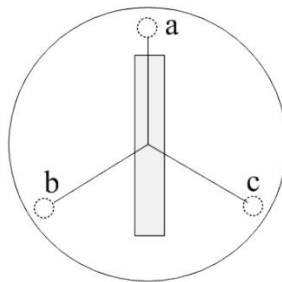


图 5 双面镜在载物台上放置俯视图

(2) 调节望远镜垂直仪器公共轴，可以借助双面反射镜。当镜面与望远镜光轴垂直时，它的反射像应落到分划板上与下方十字窗对称的上十字线中心，如图 6-5 所示。双面镜绕轴旋转  $180^\circ$  以后，如果另一镜面的反射像也落在此处，则表明镜面平行于仪器主轴，当然，与镜面垂直的望远镜光轴也垂直于仪器主轴；如果平面镜绕轴旋转  $180^\circ$  以后，另一镜面的反射像消失或上下移动，则说明望远镜没有垂直仪器公共轴。这时我们需要调整望远镜俯仰角或载物台倾斜程度，或者两者同时调节，这取决于望远镜还是载物台是否水平。为简化调整，方便操作，这里不去分析究竟是望远镜还是载物台不水平，而是同时调节望远镜倾斜角和载物台水平，通过逐次逼近方式调整，这种方法叫各半调节法。这里的各半指的是望远镜倾角和载物台倾角各调一半，具体操作详述如下。

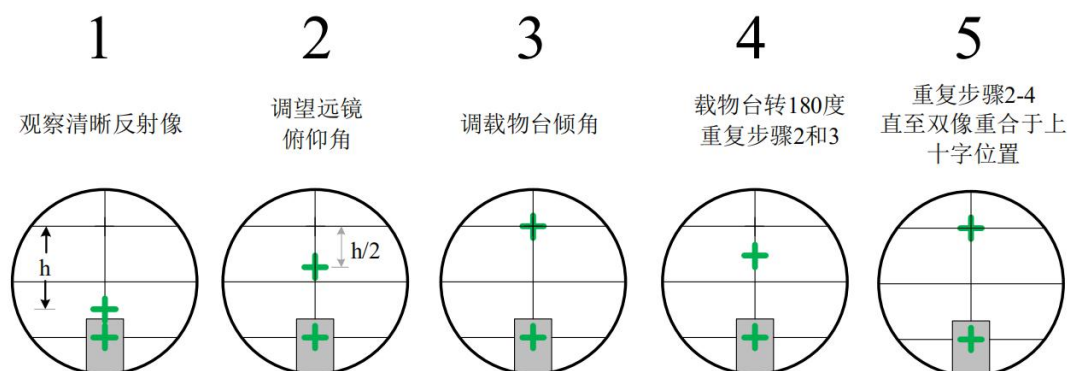


图 6 各半调节法示意图

如图 6 所示，绿十字在图 6-1 位置，则先调望远镜俯仰螺钉，使绿十字接近目标位置（即分划板上十字）一半距离，即图 6-2 处；再调整载物台平面镜

后面的那颗螺钉，使绿十字到上十字如图 6-3 所示，此处分了两步调整。然后将游标内盘（连同载物台、反射镜）旋转  $180^\circ$ ，使平面反射镜另一面对准望远镜，找到绿十字，图 6-4。此时不管绿十字在什么位置，采用上述同样的调整方法，先调望远镜俯仰螺钉使绿十字接近上十字线一半距离，再调载物台平面镜后面的那颗螺钉使绿十字到上十字线处。如此反复几次，则平面反射镜正反两个面反射的绿十字都与分划板的上十字线重合。此时望远镜光轴与仪器主轴垂直。在进行各半调节法前，要求双面镜的两个面都能看到反射像，如果其中一个面看不到，则需要先找到它的反射像。方法如下：转动载物台至镜面与望远镜主轴垂直的位置（俯视目测），从望远镜视场中观察，缓慢调节望远镜俯仰角螺丝，直到看到绿十字像，否则可反方向调节望远镜俯仰角。注意，望远镜调整完成后，在后续调节或实验中，即使看到成像不清晰，也不可再调节望远镜的俯仰角螺钉。

(3) 调节平行光管发出平行光，平行光管的光轴垂直仪器的公共轴。取下平面镜，关闭目镜照明光源，将汞灯对准狭缝，将望远镜对准平行光管，在目镜中观察狭缝，沿轴向前后移动狭缝，直到目镜中看到清晰的狭缝像，此时平行光管已发出平行光，此后将狭缝固定螺钉拧紧。

再将狭缝转向横向，调平行光管水平调节螺钉，将像调到中心横线上，见图 7 (a)。这表明平行光管已与望远镜光轴共线，同时也垂直于仪器主轴。再将狭缝调成垂直，锁紧螺钉，见图 7 (b)。

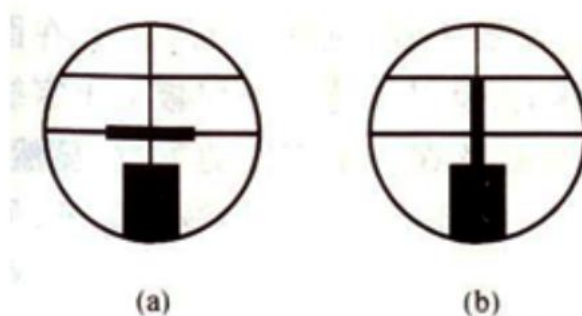


图 7 平行光管光轴与望远镜光轴共线

## 2. 三棱镜顶角的测量原理与读数方法；

本实验通过测量三棱镜两个光学面之间的夹角  $\Phi$  来得到顶角  $A$ ，如图 9 所示， $\Phi$  与  $A$  互补。测量  $\Phi$  需要知道两个光学面的法线位置，将两个光学面当作镜面，调节望远镜主轴与两个光学面分别垂直（通过绿十字像的位置来保证），这种测量顶角的方法叫自准直法。

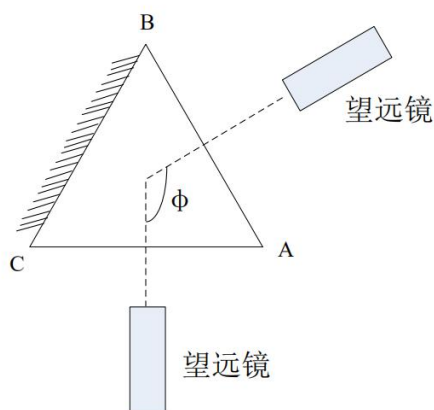


图 9 自准直法原理

自准直法步骤如下：

(1) 调载物台下部三个螺钉，使平台大致水平，将棱镜放到载物台上，使棱镜三边与分别与载物台三条参考线平行，见图 10。

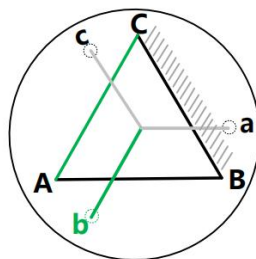


图 10 三棱镜在载物台上的放置方法

(2) 接通目镜照明光源，挡住从平行光管来的光。转动载物台，在望远镜中观察从侧面 AB 和 AC 反射回来的十字像，只调台下三螺钉（不要动望远镜俯仰螺钉），使其反射像都落到上十字线处。其中，在调节 AB 面的反射像时，可通过调节螺钉 b 实现，调节 AC 面的反射像时，可通过调节螺钉 a 实现。按照图 10 的放置方法，螺钉 b 和螺钉 a 可分别独立调节 AB 面和 AC 面的像，不会相互影响。注意：每个螺钉的调节要轻微。调好后的棱镜，其位置不能再动。

(3) 对两游标作适当标记，分别称游标 1 和游标 2。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 AB 面正对望远镜，见图 9，记下游标 1 的读数  $\theta_1$  和游标 2 的读数  $\theta_2$ 。再转动游标盘，再使 AC 面正对望远镜，记下游标 1 的读数  $\theta_1'$  和游标 2 的读数  $\theta_2'$ 。载物台转过的角度  $\Phi$  为同一游标两次读数之差，而  $\Phi$  是 A 角的补角，因此顶角

$$A = \pi - \Phi = \pi - \frac{1}{2}(|\theta_1 - \theta_1'| + |\theta_2 - \theta_2'|)$$

注意，顶角测量完成后，不要移动三棱镜位置，方便后面测量最小偏向角。

### 3. 三棱镜最小偏向角的测量方法及折射率的计算。

测量绿光的最小偏向角的实验过程：

- (1) 将汞灯光源对准平行光管狭缝。
- (2) 将载物台（连同三棱镜）转到图 11 位置，固定载物台。

(3) 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 11 中所示的位置(1)处, 左右微微转动望远镜, 可以依次看到各种颜色按波长排列的谱线, 即汞灯的可见光谱。由于汞灯的光谱是分立的, 因此我们看到的是一条条分开的线状谱。

(4) 松开载物台制动螺钉, 轻轻转动载物台(改变入射角  $i_1$ ), 在望远镜中看到谱线跟着动。改变  $i_1$ , 使谱线往  $\delta$  减小的方向移动(图 11 中顺时针方向)。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(即偏向角变大)为止。这个转折位置, 就是光线的最小偏向角位置。固定载物台(锁紧 23), 再使望远镜的那条绿谱线。

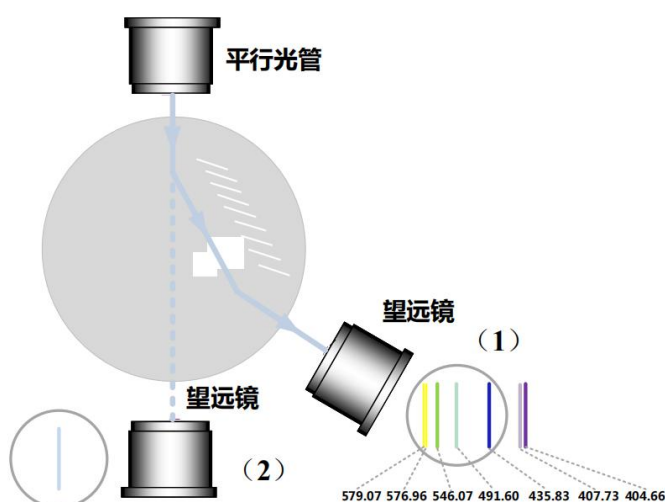


图 11 测最小偏向角方法

(5) 测量。记下此时两游标处的读数  $\theta_1$  和  $\theta_2$ , 取下三棱镜(载物台固定), 转动望远镜对准平行光管, 即图 11 中(2)的位置, 再记下两游标处的读数  $\theta'_1$  和  $\theta'_2$ 。

此时绿线的最小偏向角

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

当光从一种介质进入到另一种介质时，光线传播方向会发生变化，这是折射现象，折射角的正弦值与入射角正弦值之比称为相对折射率。当一束平行白光照射到三棱镜上，出射光被分解为彩色光带，这是色散现象。色散现象表明不同颜色（波长）的光在介质中的折射率是不一样的。在本实验，我们测量汞灯绿线（546.1nm）在三棱镜中的折射率，由于在三棱镜中的光线偏转角不易测量，这里我们测量光线出射三棱镜之后相对入射光角度的变化（即偏向角）来计算折射率。通过偏向角的测量我们也可以计算材料的色散特性。

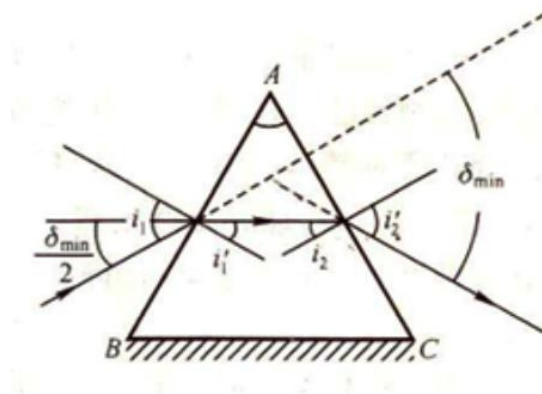


图 8 三棱镜最小偏向角原理图

见图 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。可以证明，当  $i_1 = i_2'$  时， $\delta$  最小，此时偏向角称为最小偏向角，记为  $\delta_{\min}$ 。由图 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

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

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

由此可知，要求得汞灯绿线在三棱镜中的折射率  $n$ ，我们需要测量三棱镜顶角  $A$  和绿光在其中的最小偏向角  $\delta_{\min}$ 。类似地，如果我们测量汞灯各种谱线的最小偏向角，即可计算出三棱镜的色散曲线。

将  $\delta_{\min}$  值和测得的棱镜  $A$  角平均值代入式(2)计算  $n$ ，即可得到折射率  $n$ 。

## 四. 实验内容

### 1. 调整分光计。

要求与调整方法见原理部分 1。

### 2. 用自准直法测三棱镜顶角 $A$ 。

简要写明如何利用自准直法测量顶角  $A$ 。

- (1) 将三棱镜置于载物台；
- (2) 调整载物台使得三棱镜两个光学表面  $AB$  和  $AC$  都垂直于望远镜筒。
- (3) 使棱镜  $AB$  面正对望远镜，记下游标 1 的读数  $\theta_1$  和游标 2 的读数  $\theta_2$ 。再转动游标盘，再使  $AC$  面正对望远镜，记下游标 1 的读数  $\theta_1'$  和游标 2 的读数  $\theta_2'$ 。载物台转过的角度  $\Phi$  为同一游标两次读数之差，而  $\Phi$  是  $A$  角的补角，因此顶角

$$A = \pi - \Phi = \pi - \frac{1}{2} \left( |\theta_1 - \theta_1'| + |\theta_2 - \theta_2'| \right)$$

### 3. 测量绿色谱线的最小偏向角

- (1) 将汞灯光源对准平行光管狭缝；
- (2) 调整载物台及望远镜的位置，使得望远镜中可以看到汞灯的可见光谱。
- (3) 轻轻转动载物台及望远镜筒，找到绿色谱线的最小偏向角位置，并使分划板的中心竖线对准绿色谱线。
- (4) 测量。记下此时两游标处的读数  $\theta_1$  和  $\theta_2$ ，取下三棱镜(载物台固定)，转动望远镜对准平行光管，再记下两游标处的读数  $\theta'_1$  和  $\theta'_2$ 。此时绿线的最小

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

4. 利用  $\delta_{\min}$  值和测得的棱镜  $A$  角平均值计算  $n$ 。

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

## 五．原始数据

表 1. 三棱镜顶角  $A$  测量数据记录表

	望远镜筒垂直 于 AB 面读数		望远镜筒垂直 于 AC 面读数		$\Phi$
	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta'_1$	$\theta'_2$	$\Phi = \frac{1}{2} ( \theta_1 - \theta'_1  +  \theta_2 - \theta'_2 )$
1	181°38'	1°38'	61°44'	241°46'	119°53'
2	181°32'	1°33'	61°32'	241°33'	120°00'
3	181°32'	1°31'	61°27'	241°28'	120°04'
平均值	181°34'	1°34'	61°34'	241°36'	119°59'

表 2. 绿光最小偏向角测量数据记录表

	最小偏向角方向		入射光方向		$\delta_{\min}$
	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta'_1$	$\theta'_2$	$\delta_{\min} = \frac{1}{2}( \theta_1 - \theta'_1  +  \theta_2 - \theta'_2 )$
1	271°58'	91°59'	221°24'	41°23'	50°35'
2	259°42'	79°41'	209°09'	29°09'	50°33'
3	261°25'	81°25'	211°05'	31°03'	50°21'
平均值	264°22'	84°21'	213°32'	33°32'	50°30'

## 六．数据处理

1. 由原始数据计算出  $\overline{\Phi}$ ，计算出顶角 A。

$$\begin{aligned}\overline{\Phi} &= \frac{1}{3}(\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3) \\ &= \frac{1}{3}(119^\circ 53' + 120^\circ 00' + 120^\circ 04') \\ &= 119^\circ 59'\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{顶角 } A: \quad A &= \pi - \overline{\Phi} \\ &= 180^\circ - 119^\circ 59' = 60^\circ 01'\end{aligned}$$

2. 由原始数据计算出  $\overline{\delta_{\min}}$ 。

$$\begin{aligned}\overline{\delta_{\min}} &= \frac{1}{3}(\delta_{\min 1} + \delta_{\min 2} + \delta_{\min 3}) \\ &= \frac{1}{3}(50^\circ 35' + 50^\circ 33' + 50^\circ 21') = 50^\circ 30'\end{aligned}$$

3. 利用  $n = \frac{\sin \frac{\delta_{\min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$ ，要求要有计算过程。

$$\text{公式: } n = \frac{\sin \frac{\delta_{\min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}}, \text{ 其中 } \delta_{\min} \text{ 是最小偏向角, } A \text{ 是顶角。}$$

$$\begin{aligned}\therefore n &= \frac{\sin \frac{\delta_{\min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \\ &= \frac{\sin \frac{50^{\circ}30' + 60^{\circ}01'}{2}}{\sin \frac{60^{\circ}01'}{2}} = \frac{0.8216}{0.5001} = 1.643\end{aligned}$$

得到折射率  $n = 1.643$ 。

## 七．误差分析

简要分析实验误差来源与改进办法。

误差来源：

- ①实验中对于游标盘的读数存在人为因素的影响，会造成微小的误差；
- ②实验中望远镜和主轴有可能不完全正交，会对实验结果产生误差；
- ③实验过程中，载物台和望远镜没有严格调节到同一水平面，会对实验结果产生误差；

改进措施：

- ①多次重复实验进行测量。根据随机误差的对称性和抵偿性的特点，因人为读数带来的误差会随着测量次数的增加而降低；
- ②实验中注意“逐次逼近法”的实验规范操作，从而减小望远镜和主轴不完全正交对实验结果的影响；
- ③规范实验中调节载物台底部三根螺丝的操作；并将分光计仪器移至更加水平的实验区域再进行实验。

## 八．实验结论

简要概括实验内容及结果，须有明确的实验结果。

(1) 实验内容：本次实验使用了分光计、双面反射镜、棱镜、汞灯等实验仪器，完成了四部分实验：①调整分光计；②测量三棱镜顶角  $A$ ；③测量汞灯的绿色谱线对于该三棱镜的最小偏向角  $\delta_{\min}$ ；④测量该三棱镜的折射率  $n$ 。

(2) 实验结果：本次实验测得三棱镜顶角  $A = 60^{\circ}01'$ ，汞灯的绿色谱线对于该三棱镜的最小偏向角  $\delta_{\min} = 50^{\circ}30'$ ，得到该三棱镜的折射率  $n = 1.643$ 。

通过本次实验，掌握了分光计的调节方法，学习了用分光计来测量三棱镜的顶角和最小偏向角从而计算三棱镜对汞灯绿线（546.1nm）的折射率的实验方法。

## 九．思考题

1. 为什么双面反射镜要如图 5 所示放置于载物台上？

答：图 5：

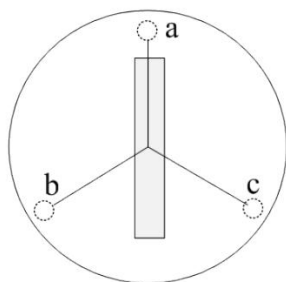


图 5 双面镜在载物台上放置俯视图

如图 5 所示，bc 两螺丝的位置关于双面镜对称，因此可以通过同步调节 bc 两螺丝的高度来调节望远镜对平行光的聚焦，从而简化调节望远镜对平行光聚焦的实验操作。

2. 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

# 物理实验报告



南方科技大学  
SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

明望远镜光轴还没有调好？

答：

(1) 原因：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)的实验操作会使得这时平面镜不能和主轴平行，所以导致两镜面又不垂直望远镜光轴。

(2) 不能说明望远镜光轴未调好，因为这是平面镜不能和主轴平行导致的。

3. 为什么使用两个游标来测量光线的偏转角？

答：使用两个游标来测量光线的偏转角主要是减小游标盘的离轴误差和偏心误差对实验结果的影响。

①在不同轴的时候，在游标盘上读取的角度差不等于实际的角度差。圆盘不一定是完全均匀的圆形，故有可能存在离轴半径有微小的不同，而离轴半径偏小的区域会使得测得的偏转角偏小，离轴半径偏大的区域会使得测得的偏转角偏大。因此设置相隔  $180^\circ$  左右的位置处为游标读数处，可以减小离轴误差对实验结果的影响；

②分光计的游标盘不一定是质量完全均匀分布的几何圆盘，因此游标盘会存在偏心误差，也会对实验结果产生误差。选取相隔  $180^\circ$  的位置为测量点，可以减小游标盘的偏心误差对实验结果的影响。