

分光计实验

一、实验简介

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的表现光线的偏转角，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的调整才能得到准确的结果，他的调整技术是光学实验中的基本技术之一，必须正确掌握。本实验的目的就在于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最小偏向角(入射光波长—低压汞灯在可见光区的谱线577nm，579nm，546.1nm，404.7nm)。

二、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1所示。

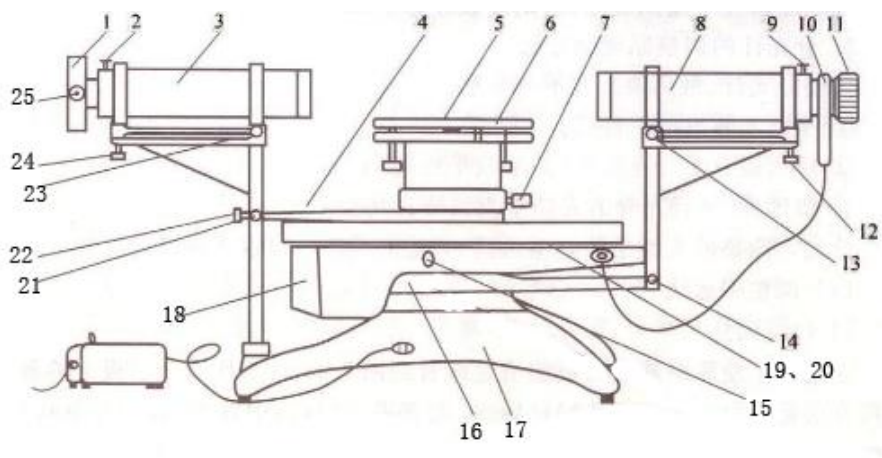


图 1 分光计外形图

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——望远镜制动螺钉；16——制动架(一)；17——底座；18——转座；19——刻度盘；20——游标盘；21——游标盘微调螺钉；22——游标盘制动螺钉；23——平行光管水平调节螺钉；24——平行光管仰角调节螺钉；25——狭缝宽度调节手轮

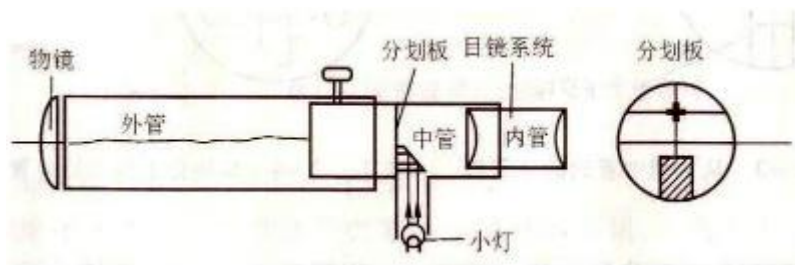


图 2 望远镜结构

(1)底座——中心有一竖轴，望远镜和读数圆盘可绕该轴转动，该轴也称为仪器的公共轴或主轴。

(2)平行光管——是产生平行光的装置，管的一端装有会聚透镜，另一端是带有狭缝的圆筒，狭缝宽度可以根据需要调节。

(3)望远镜——观测用，由物镜和目镜系统组成，为了调节和测量，物镜和目镜之间还装有分划板，它们分别置于内管、外管和中管内，三个管彼此可以相互移动，也可以用螺钉固定。参看图2，目镜在内管中，分划板在中管中，分划板下方紧贴一块 45° 的全反射棱镜，棱镜与分划板的粘贴部分涂成黑色，仅留一个绿色的小十字窗口。光线从小棱镜的另一直角边入射，从 45° 反射面反射到分划板上，透光部分便形成一个在分划板上的明亮的十字窗。

(4)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度。

(5)读数圆盘——是读数装置。由可绕仪器公共主轴转动的刻度盘和游标盘组成。度盘上有720等分刻线，格值为 $30'$ 。有两个角游标。这是因为读数时，要读出两个游标处的读数值，然后取平均值，这样可以消除偏心误差。

读数方法和游标卡尺相似，这里读出的是角度。读数时，以角游标零刻线为准，读出刻度盘上的度值，再找游标上与刻度盘上刚好重合的刻线为所求分值。

2. 分光计的调整原理和方法

(1)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。

(2)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 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)把分划板照明，将双面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 4。

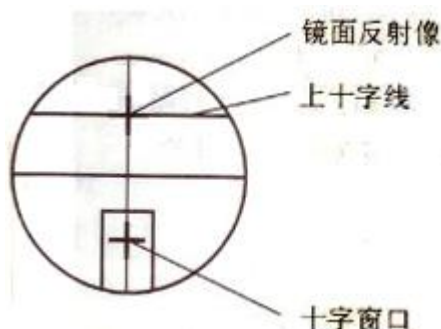


图 3 从目镜中看到的分划板

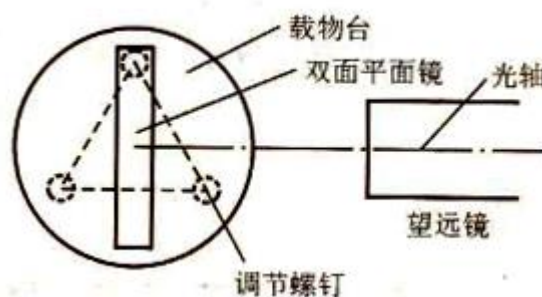


图 4 载物台上双面镜放置的俯视图

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，在目镜中应该看到一个绿色的亮十字随着镜面的转动而动，这是镜面反射像。如果有些模糊，只要沿着轴向移动目镜筒，直到像清晰，再旋紧目镜旋紧螺钉，则望远镜已对平行光聚焦。

3) 调整望远镜光轴垂直于仪器主轴

当镜面与望远镜光轴垂直时，它的反射像应落到分划板的上十字中心，见图 3。平面镜绕轴旋转 180° 以后，如果另一镜面的反射像也落在此处，这表明镜面平行于仪器主轴。当然，此时与镜面垂直的望远镜光轴也垂直于仪器主轴。

在调整过程中出现的某些现象是何原因？调整什么？应如何调整，这是要分析清楚地。例如，是调载物台？还是调望远镜？调到什么程度？下面简述之。

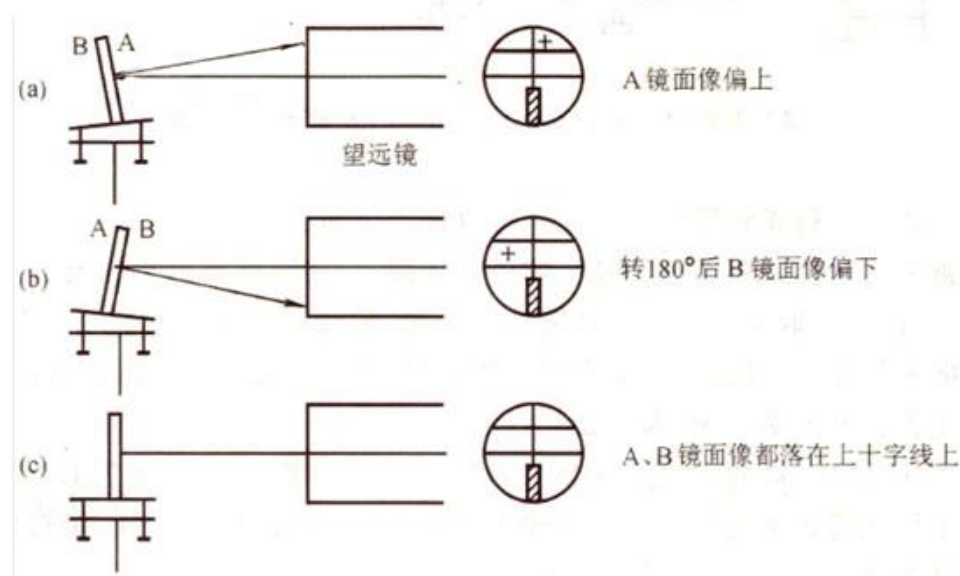


图 5 载物台倾角没调好的表现及调整原理

A) 载物台倾斜角没有调好的表现及调整

假设望远镜光轴已垂直仪器主轴，但载物台倾斜角没有调好，见图 5。平面镜 A 面反射光偏上，载物台转动 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其调整。

假设载物台已调平，但望远镜光轴不垂直于仪器主轴，见图 6。在图(a)中，无论平面镜 A 面还是 B 面，反射光都偏上，反射像都落在分划板上十字线上方。在图(b)中，镜面反射光都偏下，反射像都落在上十字线的下方。显然，调整方法是只要调整望远镜仰角调节螺丝，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节好的表现及调节方法。

表现是两镜面反射像一上一下。先调节载物台螺钉，使两镜面反射像点等高(但没有落在上十字线上)，再把像调到上十字线上，见图 6(c)。

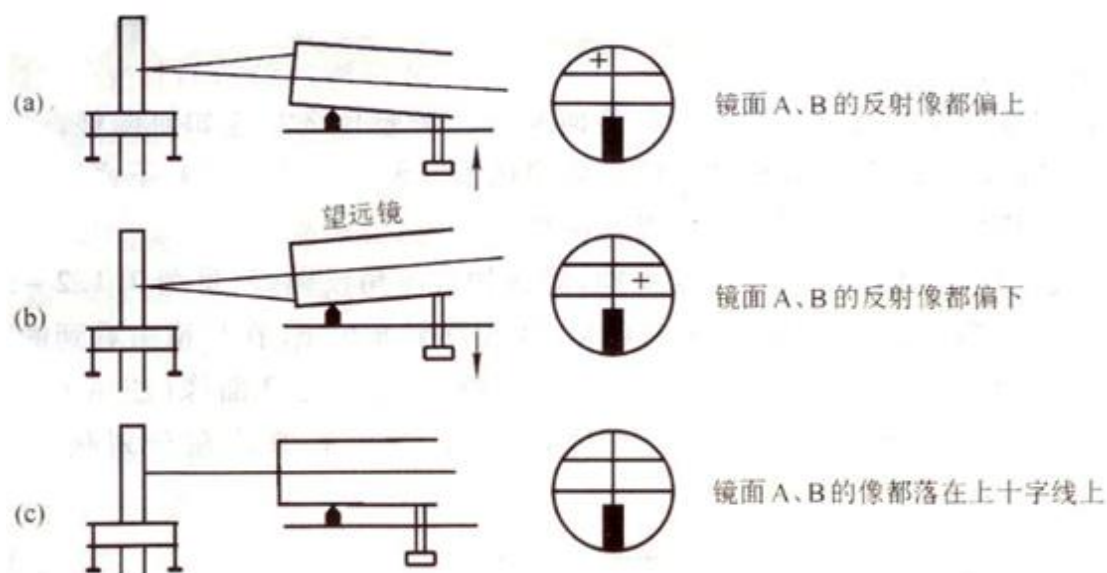


图 6 望远镜光轴没调好的表现及调整原理

(3) 调整平行光管发出平行光并垂直于仪器主轴

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：取下平面镜和关掉目镜照明光源，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，沿轴向移动狭缝筒，直到像清晰。这表明平行光管已发出平行光。

再将狭缝转向横向，调螺钉(24)，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，所以也垂直于仪器主轴。

再将狭缝调成竖直，锁紧螺钉，见图 7(b)。

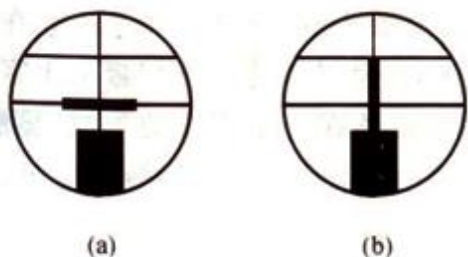


图 7 平行光管光轴与望远镜光轴共线

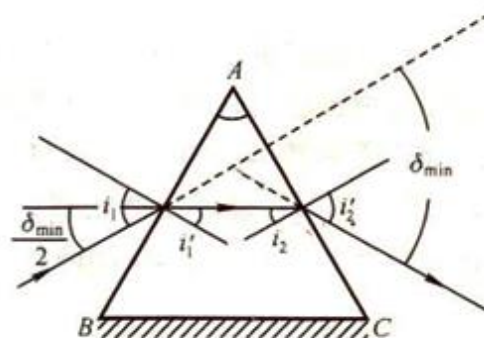


图 8 三棱镜最小偏向角原理图

3.用最小偏向角法测三棱镜材料的折射率

见图 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，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。而当 $i_1 = i_2$ 时， δ 为最小(证明略)。这时的偏向角称为最小偏向角，记为 δ_{\min} 。

由图 8 可以看出，这时

$$i_1' = \frac{A}{2} \quad (1)$$

$$\frac{\delta_{\min}}{2} = i_1 - i_1' = i_1 - \frac{A}{2} \quad (2)$$

$$i_1 = \frac{1}{2}(\delta_{\min} + A) \quad (3)$$

设棱镜材料折射率为 n ，则

$$\sin i_1 = n \sin i_1' = n \sin \frac{A}{2} \quad (4)$$

故

$$n = \frac{\sin i_1}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{\delta_{\min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \quad (5)$$

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

三、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于望远镜光轴。

(1)调载物台的上下台面大致平行，将棱镜放到载物台上，使棱镜三边与台下三螺钉的连线所成三边互相垂直，见图 9。

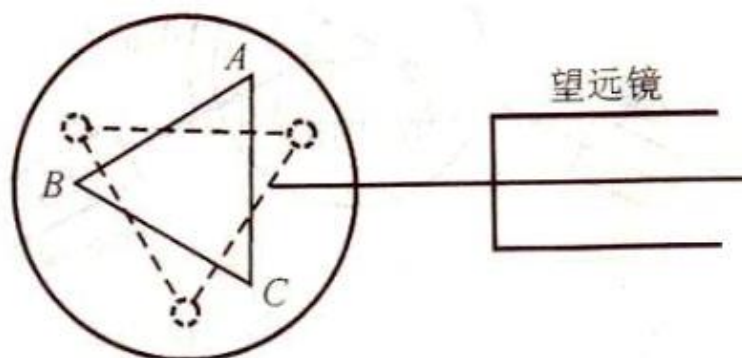


图9 三棱镜在载物台上放置方法

(2)接通目镜光源，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，只调节台下三螺钉，使其反射像都落到上十字线处，见图10。调节时，切莫动螺钉(12) (为什么?)

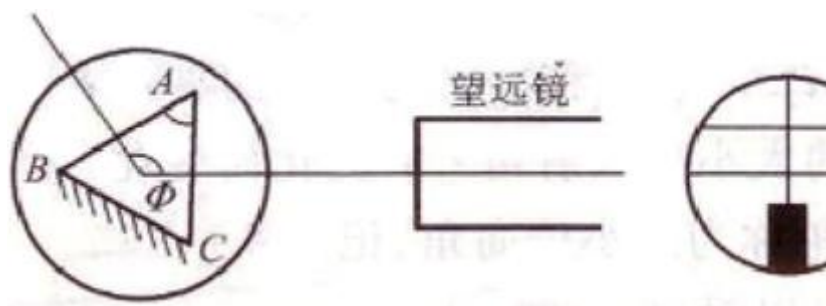


图10 测棱镜顶角A

注意：每个螺钉的调节要轻微，要同时观察它对各侧面反射像的影响。调整好后的棱镜，其位置不能再用。

3. 测三棱镜顶角A

固定望远镜和刻度盘。转动游标盘，使镜面AC正对望远镜，见图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，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' 。同一游标两次读数之差 $|\theta_1 - \theta_1'|$ 或 $|\theta_2 - \theta_2'|$ ，既是载物台转过的角度 Φ ，而 Φ 是A角的补角。

$$A = \pi - \Phi \quad (6)$$

4. 测三棱镜最小偏向角

(1)平行光管狭缝对准前方水银灯的光源。

(2)旋松望远镜制动螺丝和游标盘制动螺丝，把载物台及望远镜转至如图11中所示的位置(1)处，再左右微微转动望远镜，找出棱镜出射的各颜色的水银灯光谱线(各种波长的狭缝像)。

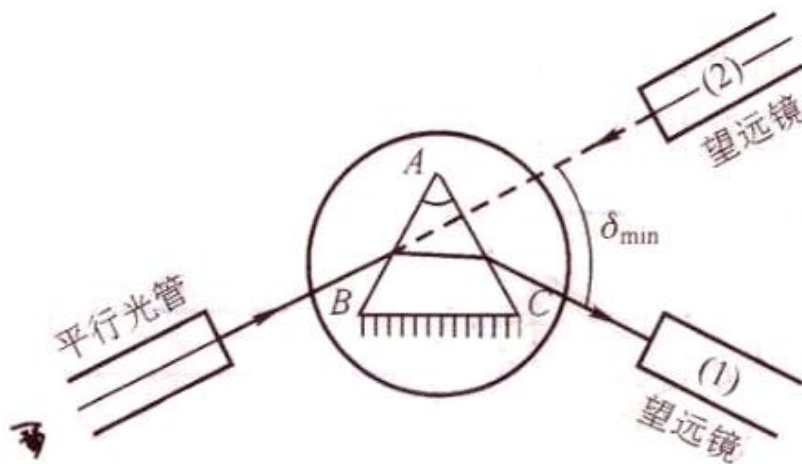


图11 测最小偏向角

(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。这个反方向移动的转折位置，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 (或其它要测量的谱线)。

(4) 测量

记下此时两游标处的读数 θ_1 和 θ_2 。取下三棱镜，转动望远镜对准平行光管，即图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

$$\delta_{\min} = \frac{1}{2} (|\theta_1 - \theta_1'| - |\theta_2 - \theta_2'|) \quad (7)$$

将 δ_{\min} 值和测得的棱镜 A 角平均值代入式 (2) 计算 n 。

5. 注意事项

- (1) 转动载物台，都是指转动游标盘带动载物台仪器转动。
- (2) 狭缝宽度 1mm 左右为宜，宽了测量误差大，窄了光通量小、谱线暗。

四、实验仪器

分光计：

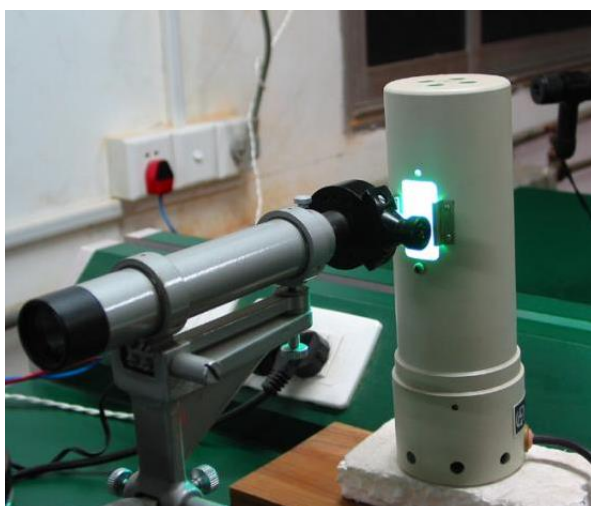


实物照片



仿真仪器

汞灯：



实物照片



仿真仪器

五、实验指导

实验重点

1. 仪器主轴的基本概念和载物台的作用；
2. 分光计的主要光学元件望远镜的调整：本实验主要使用自准直法使望远镜对无限远调焦，用双面反射镜使望远镜的光轴与仪器的主轴垂直。

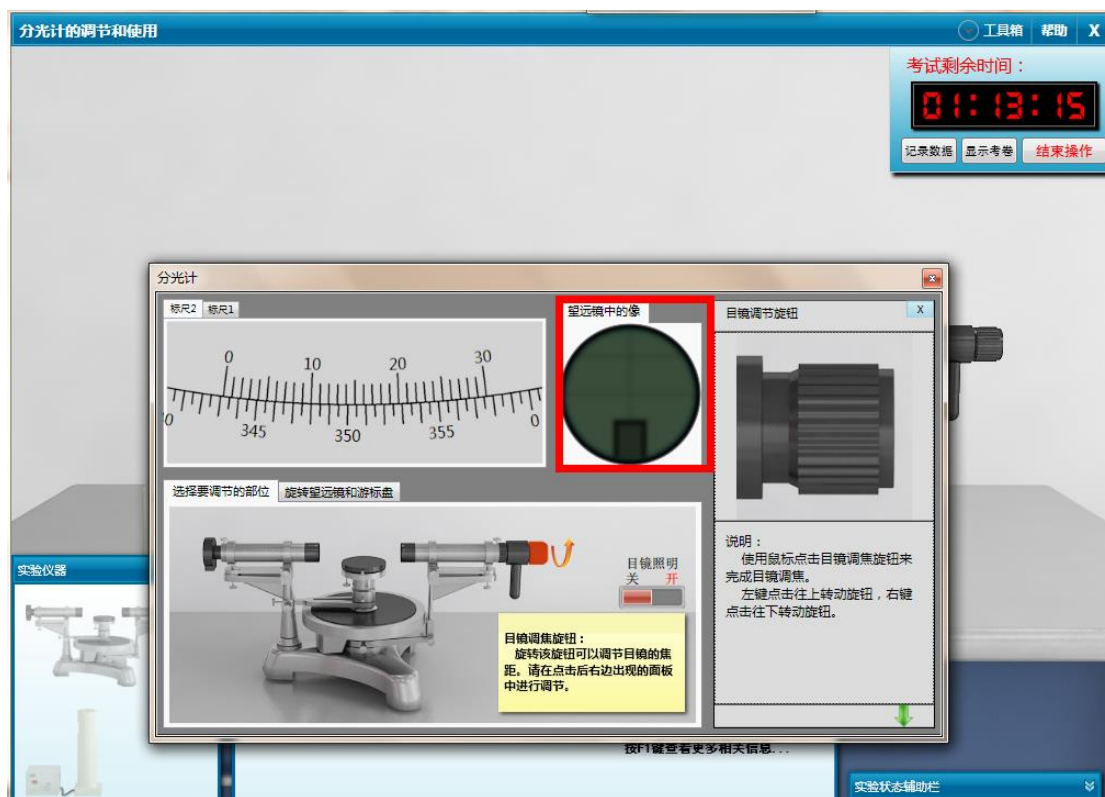
实验难点

1. 由于望远镜视场很小($3^{\circ}22'$)，分光计的调整难度较大；
2. 载物台在实验中的作用。
3. 阿贝目镜是采用几何分光的办法，光源通过 45° 的反射棱镜照亮分划板上的标尺刻线(小十字)，由标尺中心发出的主光线与自准直光轴成 α 角，并经物镜成像于无穷远，再被物镜前面垂直于光轴的平面反射镜反射后，其反射像的主光线与光轴的夹角为一对称的 α 角，因此，再经物镜成像时，像点A与原标尺中心A以光轴为对称，这种目镜的视场有一小半被棱镜遮挡。(由阿贝目镜的构造可知，操作时不得用手转动分划板下面的通光管，否则引起小孔错位，将无法将小孔照亮)
4. 载物台的调节：调节载物台的目的并不是要将载物台调节成水平(或与仪器主轴垂直)而是使放在上面的平面镜及三棱镜的工作面与望远镜光轴垂直(因为望远镜已调好，其光轴与仪器主轴已垂直)。调节时必须注意平面镜和三棱镜的放置位置。平面镜放置时是与载物台的两个螺钉连线垂直而与另一个螺钉重合，因此只能调节垂直螺钉而不能调节重合螺钉。因为调节垂直螺钉使平面镜的转动能改变反射的十字像上下位置，而调节重合螺钉使平面镜在自身平面内转动不能改变反射的十字像位置，三棱镜在载物台上的放置应使调节一个工作面时不影响另一个工作面(即调节一个工作面时这个工作面的反射像垂直上下运动而另一个面在自身平面内转动)，除讲义上的方法外，还可以用三螺钉和三顶点重合法。

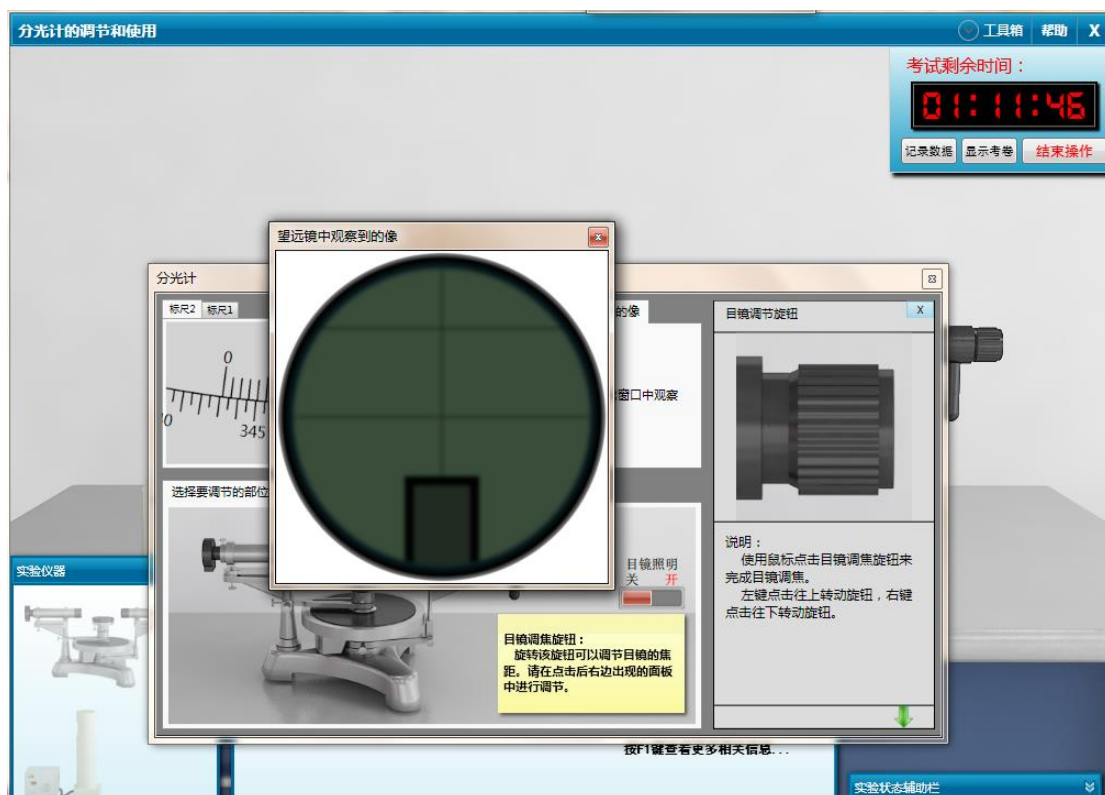
这时怎样调节可以让同学思考。

实验操作方法

1. 双击打开分光计的调节面板。



2. 单击上图中红色方框内的区域弹出放大的观察窗口。



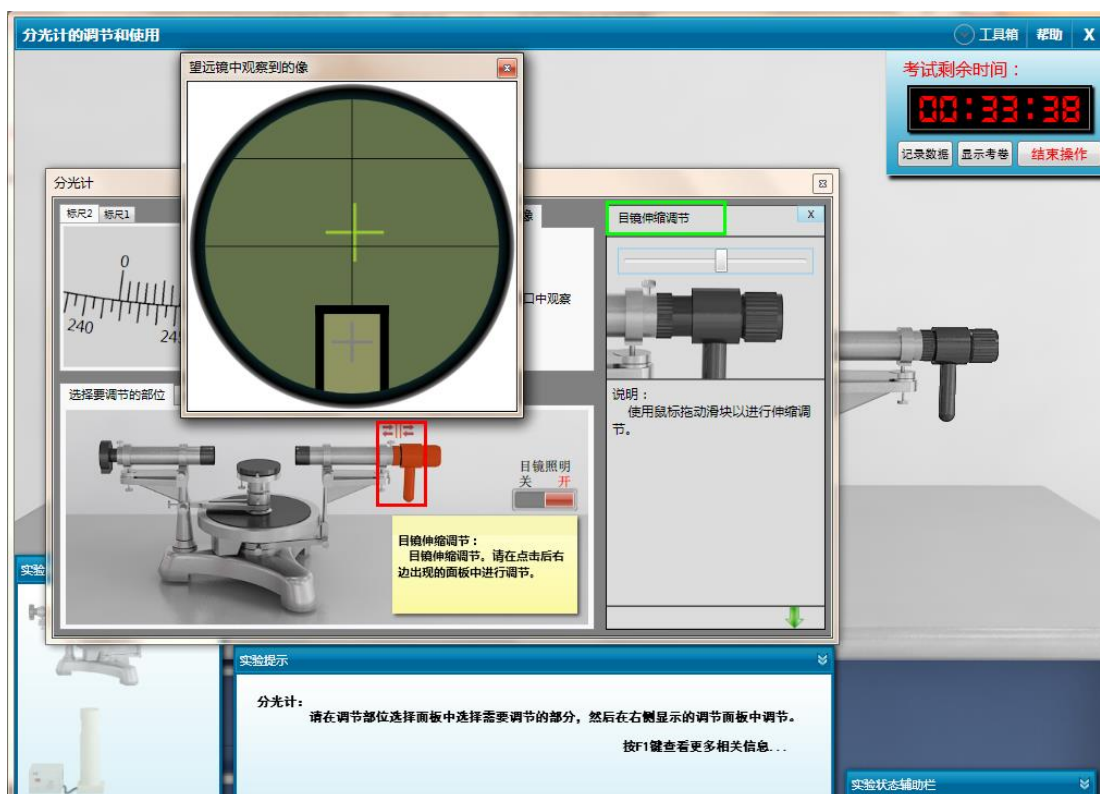
3. 调节目镜调节旋钮使分划板清晰。



6. 在“选择要调节的部位”中单击打开目镜照明开关。



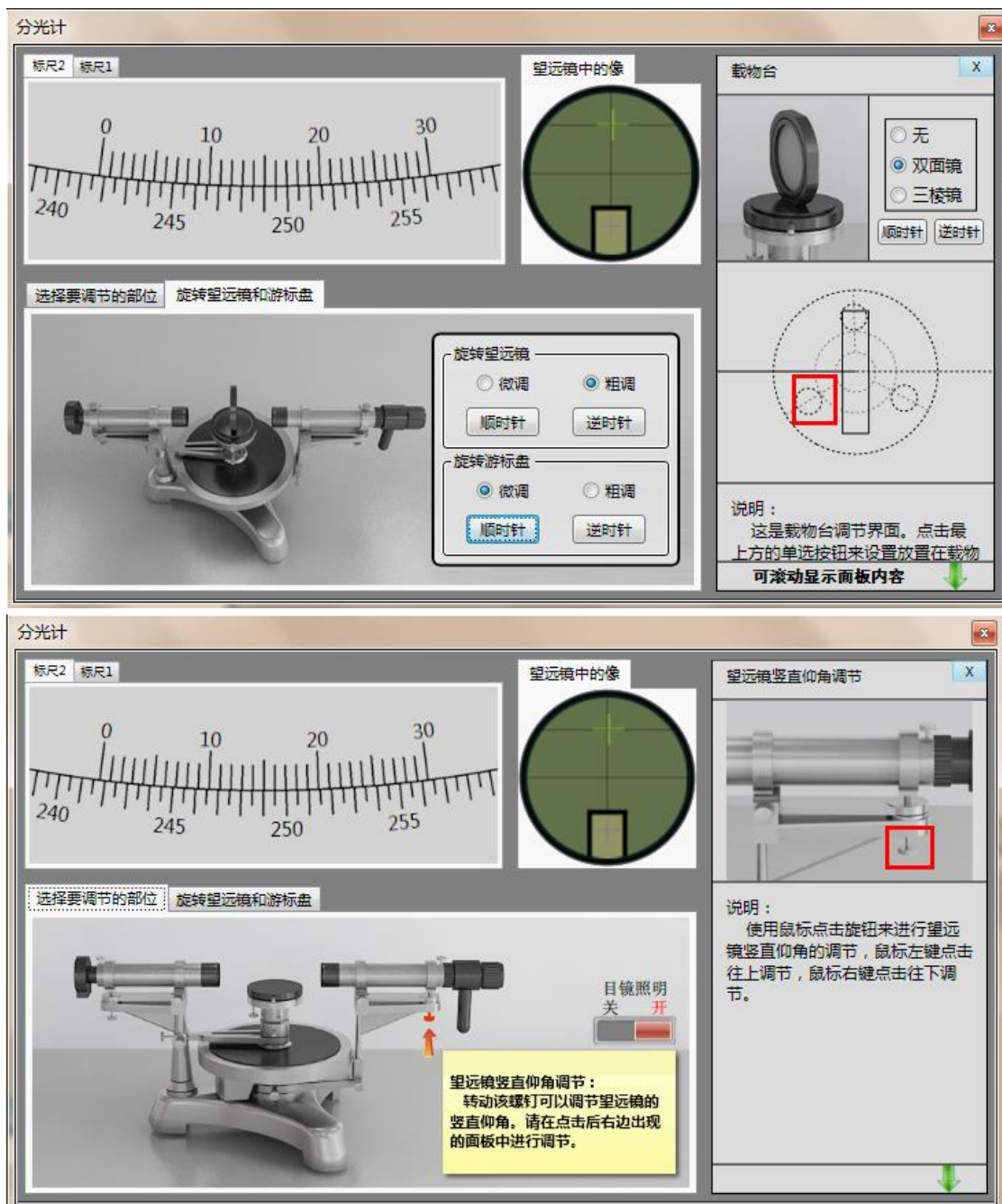
7. 转动游标盘使望远镜的观察窗口中出现绿十字像，点击下图中红色方框中的区域弹出目镜的伸缩调节区域，并进行目镜伸缩调节使绿十字清晰。



8. 选择目镜锁紧螺钉并单击锁紧该螺钉。



9. 转动游标盘使双面镜正对望远镜，点击调节望远镜仰角调节螺钉(下图二)和双面镜后面的载物台螺钉(下图一)使望远镜垂直于仪器主轴。



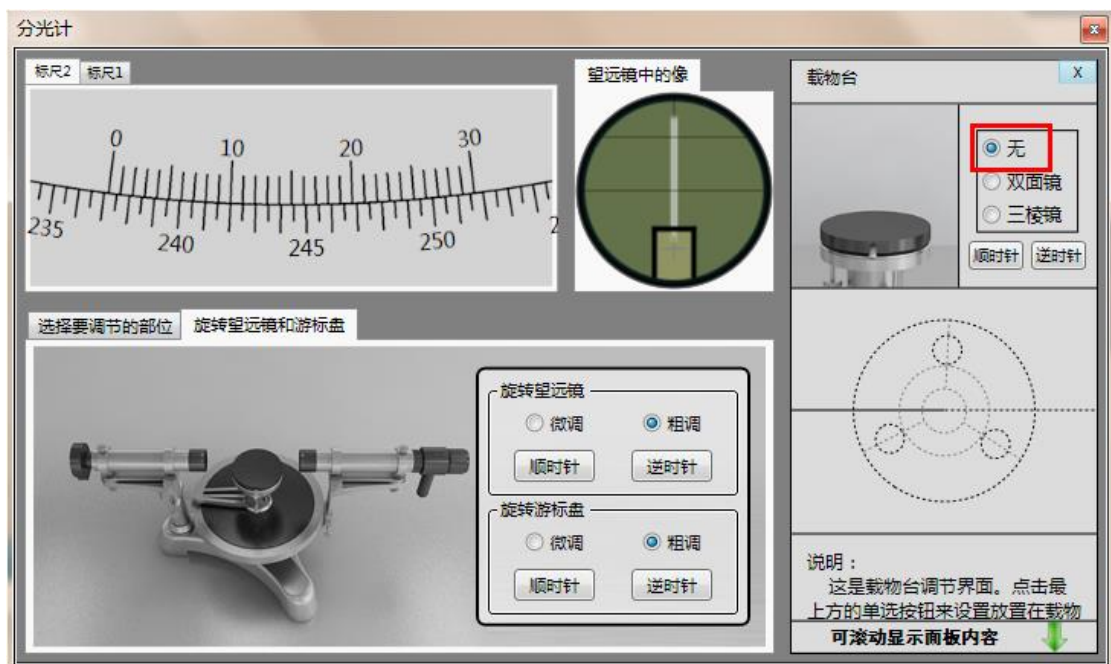
10. 把汞灯从仪器栏中移入实验台。



11. 双击汞灯打开汞灯的调节窗口，单击开关打开汞灯，让汞灯预热一段时间(仿真实验中不需要预热)。



12. 移除双面镜。



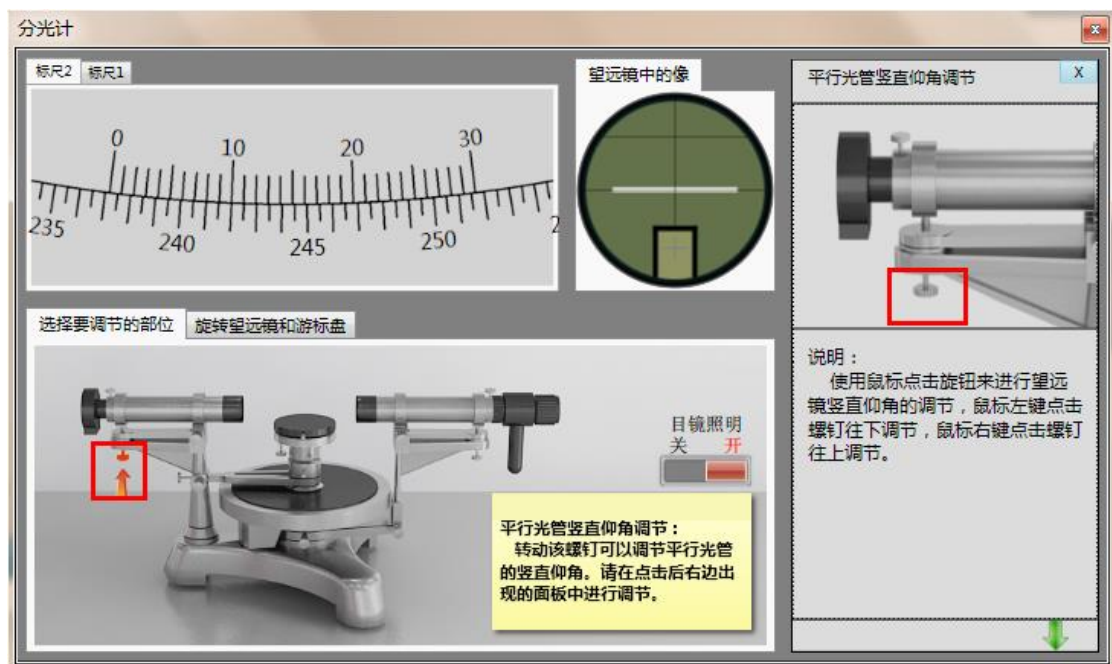
13. 对狭缝装置进行调节，使狭缝的像清晰。点击狭缝宽度调节螺钉对狭缝宽度进行调节，使狭缝宽度适当。



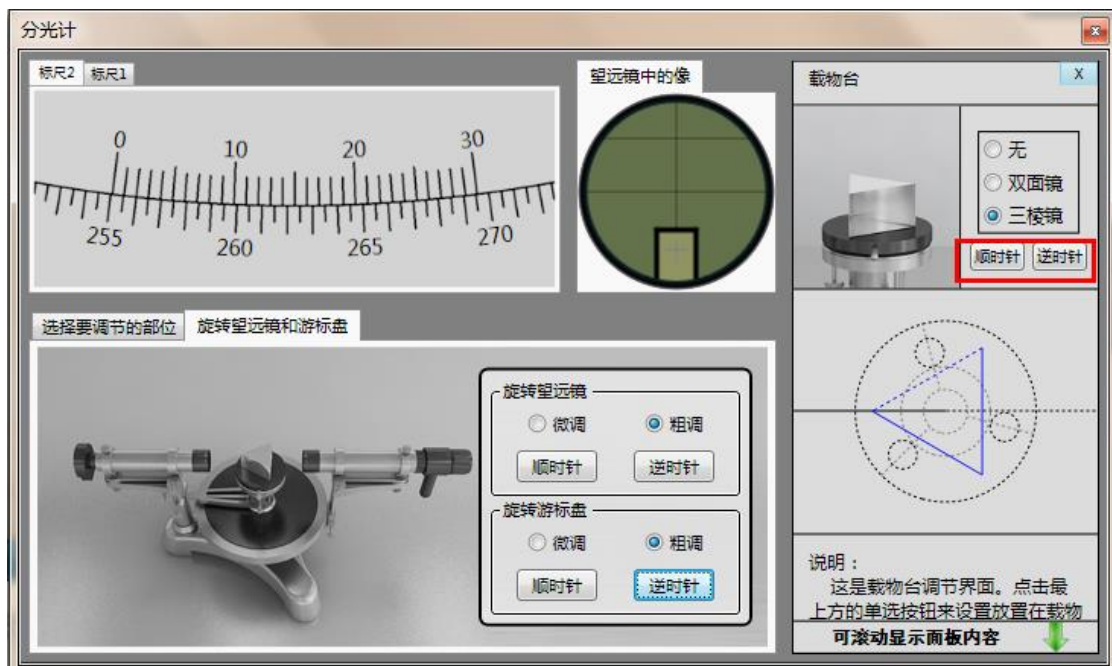
14. 将狭缝水平放置。



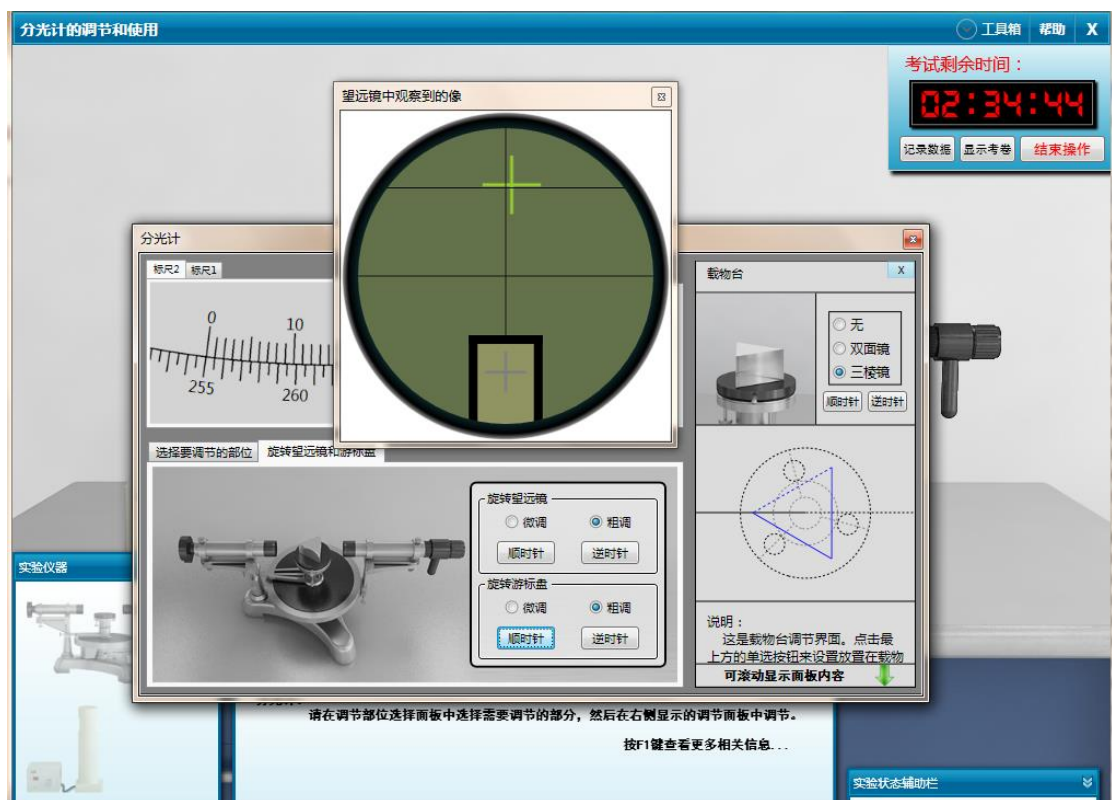
15. 调节平行光管的仰角调节螺钉使平行光管与仪器主轴垂直。



16. 将狭缝竖直放置，并将三棱镜置于载物台上。通过点击顺时针或逆时针按钮使棱镜三边与台下三螺丝的连线互相垂直，并转动游标盘使棱镜的一个光学表面正对望远镜。

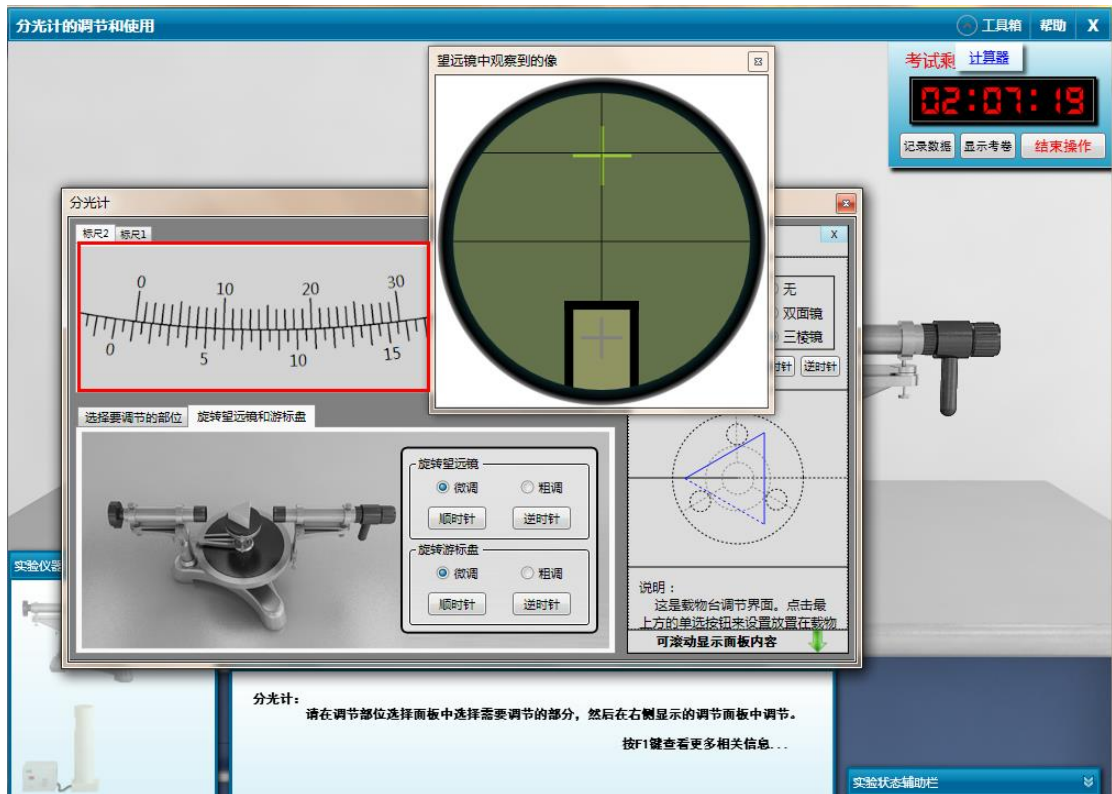
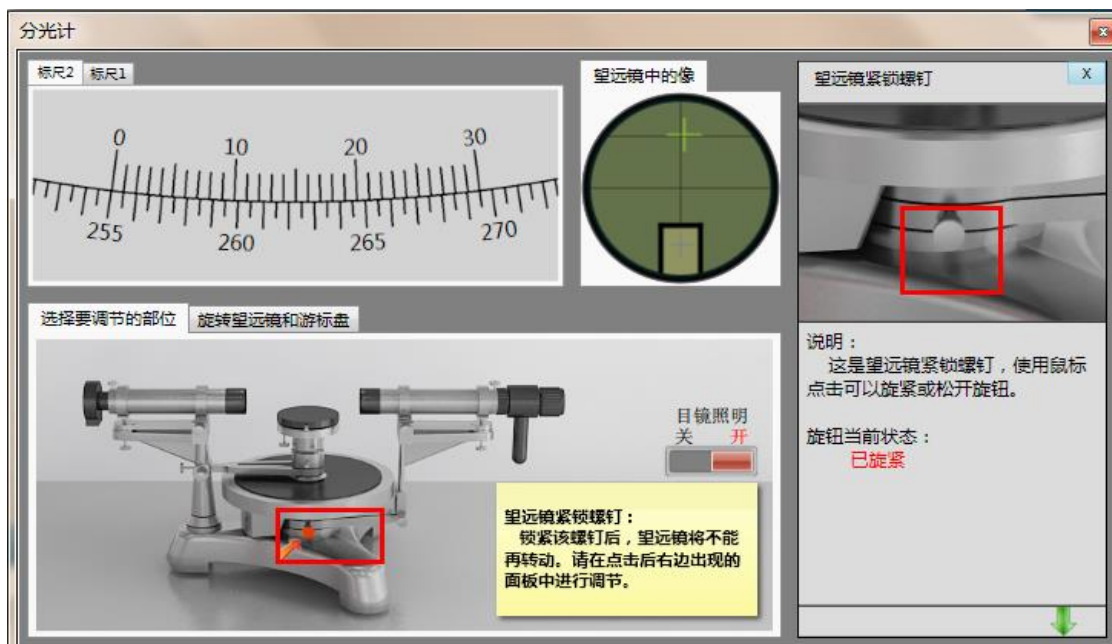


17. 调节载物台的调平螺钉使棱镜的两个光学表面平行于仪器主轴。

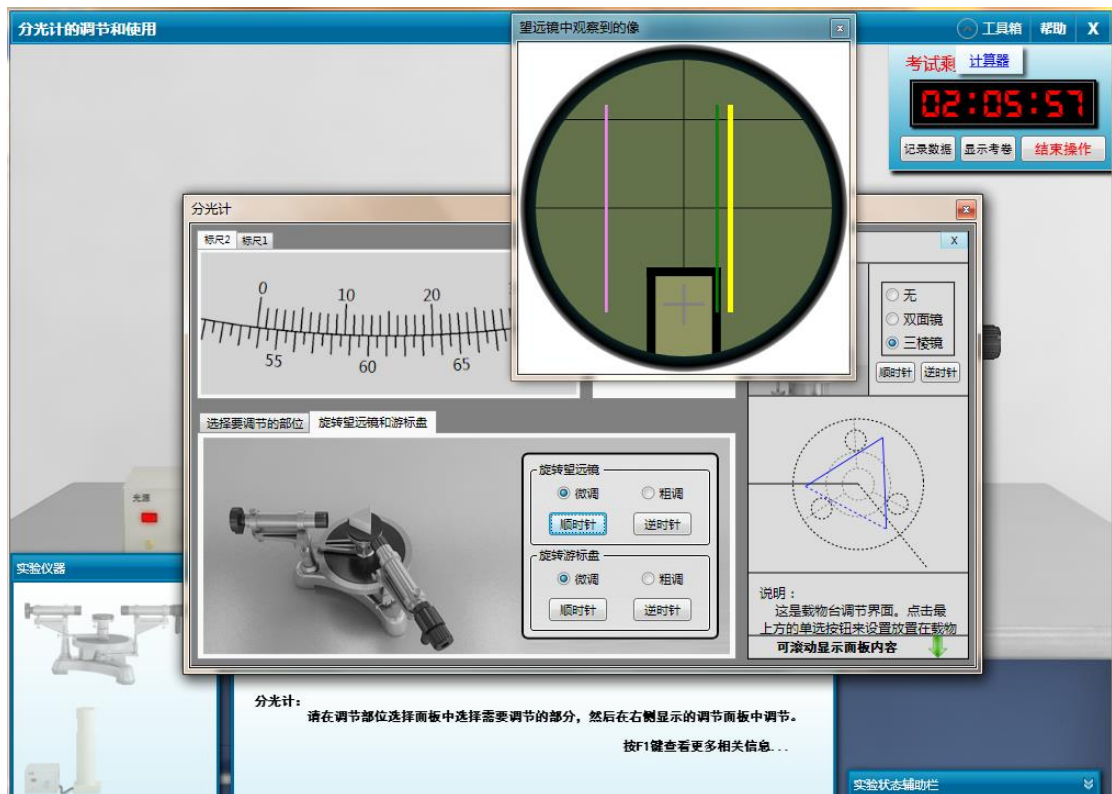


18. 测量棱镜的顶角

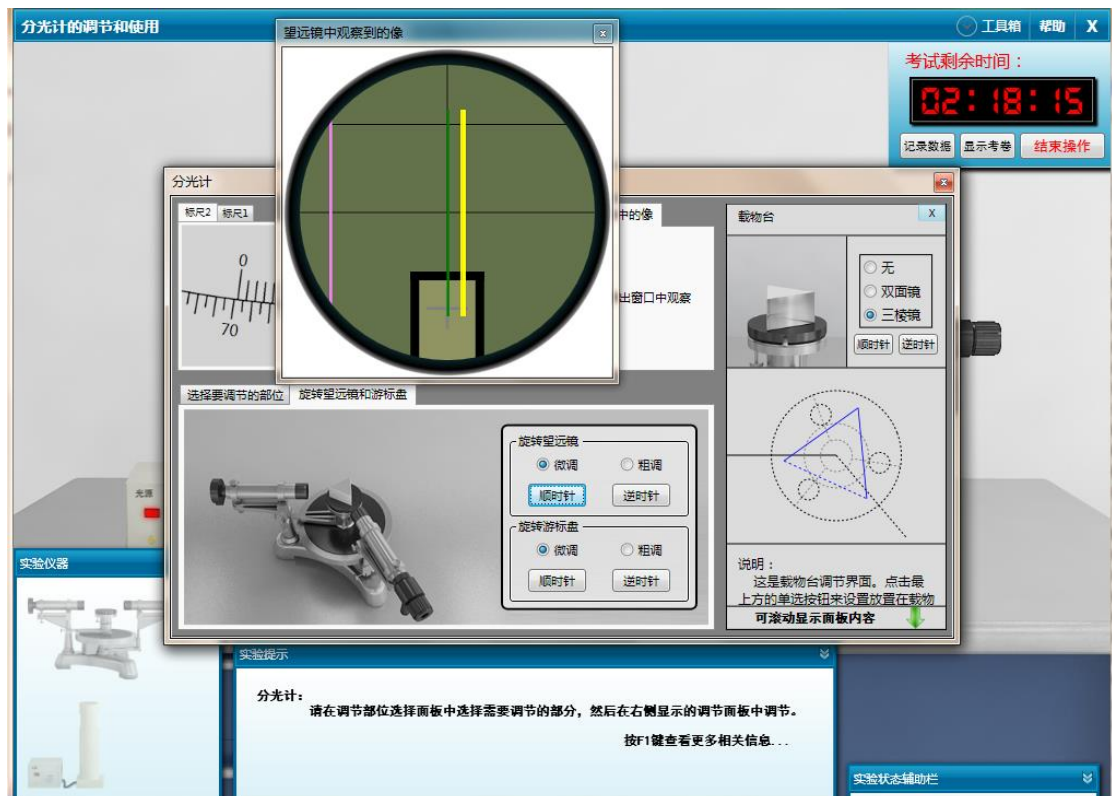
固定望远镜(如下图一)，转动游标盘。先将棱镜的一个光学表面对准望远镜(如下图二)，使绿十字像与分划板的上叉丝重合，记下此时两个游标盘的读数；转动游标盘将棱镜的另一个光学表面对准望远镜，使绿十字像与分划板的上叉丝重合，记下此时两个游标盘的读数。



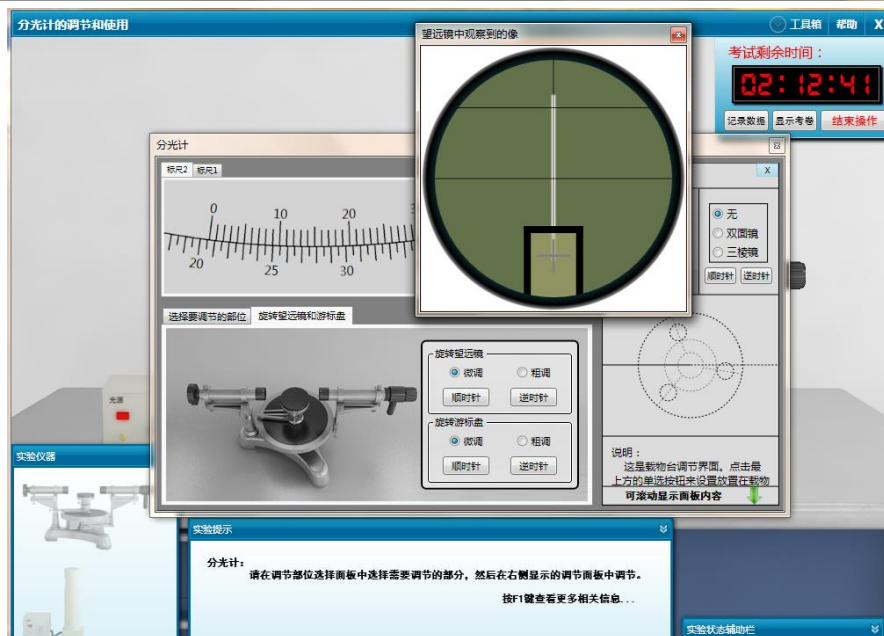
19. 旋松望远镜的制动螺钉。转动游标盘和望远镜找出棱镜出射的各种颜色的光谱线。



20. 找到三棱镜的最小偏向角，对两个游标进行读数。



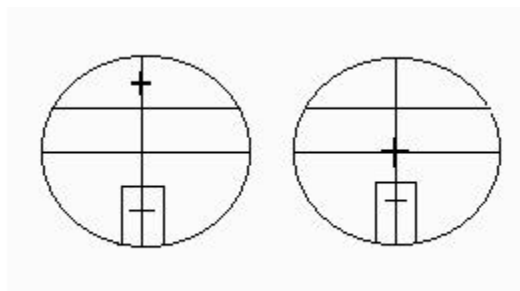
21. 锁定游标盘(如下图), 移除三棱镜, 转动望远镜使望远镜的光轴与平行光管的光轴平行, 并对两个游标进行读数。



六、思考题

1. 调节分光计时所使用的双平面反射镜起了什么作用？能否用三棱镜代替平面镜来调整望远镜？

2. 如果调节时从望远镜中观察到平面镜的两个反射像如下图所示，怎样调节能最快的将十字叉丝像与上十字线重合？写出调节步骤。



3.讨论本实验的系统误差，根据系统误差决定折射率 n 的有效数字应取几位。

七、参考资料

1. 吴泳华,霍剑青,浦其荣主编.《大学物理实验》第一册.高等教育出版社.