

实验 6-3 分光计的调节和应用

分光计是把多色光分解为单色光的仪器，它通常利用棱镜或光栅把一束多色入射光分解为不同角度的出射光；通过对出射光角度的测量来得到它的波长等信息。由于分光计对角度的测量精度较高，它有时也作为一种用光学方法测量角度的精密仪器。在光学实验中常用来测定光线的方向及各种角度。由于有些物理量如折射率、光栅常数、色散率等往往可以通过直接测量有关的角度（如最小偏向角、衍射角、布儒斯特角等）来确定，所以在光学技术中，分光计的应用十分广泛。

分光计的基本部件和调节原理与其他更复杂的光学仪器（如单色仪、摄谱仪等）有许多相似之处，因此学习和使用分光计能为今后使用更为精密的光学仪器打下良好基础，本实验要求学会对它的调节和使用，并通过测量棱镜的顶角等应用，了解分光计的基本原理、结构及调整思想。

实验原理

三棱镜是分光仪器中的色散元件，其主截面是等腰三角形，顶角指两个折射面的夹角，如图 1 所示。光线以入射角 i_1 投射到棱镜的 AB 面上，经棱镜的两次折射后，以 i_2 角从 AC 面出射，出射光线和入射光线的夹角 δ 称为偏向角。 δ 的大小随入射角 i_1 而改变。可以证明，当 $i_1 = i_2$ 时，偏向角为极小值 δ_D ，称为棱镜的最小偏向角。它与棱镜的顶角 A 和折射率 n 之间有如下关系：

$$n = \frac{\sin \frac{A + \delta_D}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \quad (1)$$

因此，只要测得 A 和 δ_D 就可用上式求得待测棱镜材料的折射率。

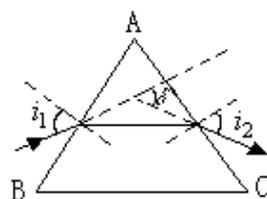


图 1 光线在三棱镜中的折射

实验装置

图 2 是一台实际的分光计。它主要由底座、平行光管、望远镜（又称自准直望远镜）、载物台和圆刻度盘等几部分组成。每部分都有特定的调节螺丝。

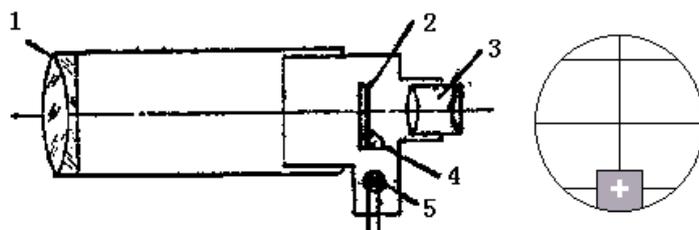
1. 分光计底座的中心有一沿铅直方向的转轴，称为分光计的转轴。在这个转轴上套有一个圆刻度盘和一个游标盘内盘，这两个盘可以绕它旋转。

2. 平行光管与分光计底座固定在一起。平行光管的一端装有一会聚透镜（物镜），另一端是装有狭缝的套管，狭缝的宽度可通过螺丝 B 调节，调节范围为 0.02~2 毫米。旋松螺丝 C 可以使狭缝套筒前后移动，以改变狭缝和物镜的距离，当狭缝的平面调到物镜的焦平面上时，则平行光管可以发出平行光。平行光管的俯仰可由倾斜度调节螺丝 A 来进行调节。



图 2 分光计

3. 望远镜安装在支臂上, 支臂与转轴相连, 在支臂与转轴连接处有螺丝 D, 拧松时, 望远镜(和圆刻度盘一起)可绕轴自由转动; 旋紧时, 不得强制望远镜绕轴转动, 否则会损坏仪器。螺丝 E 是它的微调螺丝当螺丝 D 拧紧后, 望远镜不能绕轴转动时, 用它可以使望远镜绕轴作微小转动。螺丝 F 是目镜镜筒的制动螺钉, 旋松它可调节分划板与物镜之间距离。望远镜光轴的倾斜度由螺丝 G 调节。分光计上的望远镜通常采用阿贝式自准直目镜, 其结构如图 3 所示。分划板的透明玻璃上刻有黑十字准线。在该准线的竖线下方, 紧贴一块小棱镜, 在其涂黑的端面上, 刻有透明十字线, 利用电珠照明使它成为发光体。而在准线的竖线上方, 与透明十字线对称的位置上, 有一条黑水平线。



1—物镜 2—分划板 3—目镜 4—小棱镜 5—小电珠

图 3 自准自目镜

图 3 所示。分划板的透明玻璃上刻有黑十字准线。在该准线的竖线下方, 紧贴一块小棱镜, 在其涂黑的端面上, 刻有透明十字线, 利用电珠照明使它成为发光体。而在准线的竖线上方, 与透明十字线对称的位置上, 有一条黑水平线。

4. 载物台是用来放置平面镜、棱镜、光栅等光学元件的, 它与游标盘通过螺钉 H 相互锁定, 拧紧螺丝 H 后, 载物台可和游标盘一起绕分光计游标盘的转轴转动。螺丝 I 是游标盘的制动螺钉, 拧紧时不能再强制转动游标盘, 否则亦会损坏仪器。螺丝 J 是游标盘的微调螺丝(图 2 中螺丝 J 不很清楚)。当螺丝拧紧后, 游标盘不能绕轴转动, 用它可以使游标盘绕轴作微小转动。载物台下有三只调节螺丝可调节台面的倾斜度。

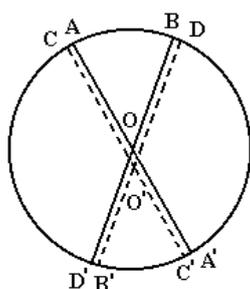


图 4 圆刻度盘的偏心差

5. 圆刻度盘在分光计出厂时已将它调到与仪器转轴垂直。由于圆刻度盘中心和仪器转轴在制造和装配时, 不可能完全重合, 因此在读数时会产生偏心差, 如图 4 所示, 圆刻度盘上的刻度均匀地刻在圆周上, 当圆刻度盘中心 O 与转轴重合时, 由相差 180° 的两个游标读出的转角刻度数值相等即 $AB = A'B'$ 。而当圆刻度盘偏心时, 由两个游标盘读出的转角刻度值就不相等, 即 $CD \neq C'D'$, 所以如果只用一个游标读数窗会产生系统误差。由平面几何很容易证明

$$\frac{1}{2}(CD + C'D') = AB = A'B', \text{ 所以通}$$

过在转轴直径上安置两个对称的游标读数窗, 可消除这种系统误差。

分光计的读数系统由刻度盘和游标盘组成, 读数方法和游标原理相同。如图 5 游标所示的读数应为 $40^\circ 17'$ 。

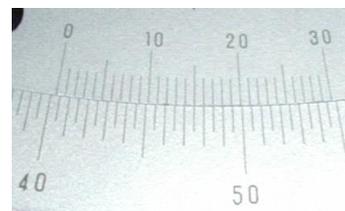


图 5 分光计的游标

实验内容

1. 必做内容:

(1) 分光计的调节

为了使分光计能准确地测出待测角大小(如棱镜顶角、光线经过棱镜、光栅、狭缝等各种光学元件后光线偏转的角度), 必须使待测角所在平面平行于刻度盘平面(为什么? 用米尺测量长度时, 米尺与待测长度基线方向如何?)。为此仪器必须精确调整, 以保证: 望远镜能观察平行光, 即要求望远镜调焦无穷远(用自准直法进行调整); 平行光管能发射平行光; 望远镜和平行光管的光轴与仪器转轴垂直(要准确测定待测角, 首先要保证这三项调整到位, 再使待测角平面平行于刻度盘平面, 为什么?)

将平面反射镜按图 6 所示放置在载物台上(这样放有什么优点? 还有其他放法吗?)

① 调节望远镜使它调焦到无穷远。

先用眼睛估测一下, 粗调至望远镜光轴、平行光管光轴和载物台面均大致与分光计转轴垂直。然后再调节望远镜。步骤是, 首先前后旋动望远

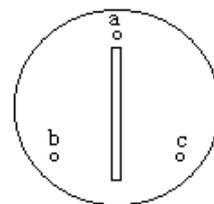


图 6 平面反射镜在载物台上的位置

目镜以调节目镜与分划板之间的距离，使在目镜视场中能看到清晰的黑准线像。然后将望远镜对准载物台上的反射镜，使由亮十字线通过物镜发出的光经平面反射镜反射后，又返回到物镜筒中。于是可以看到反射回来的亮十字线像（如十字线像不清晰，说明什么？如何调节？），调节物镜与分划板距离，使亮十字线像最清晰并与黑准线无视差。这时，望远镜已调焦到无穷远，即能观察平行光了。这种调节方法称自准直法。如果在目镜视场找不到亮十字线像（说明什么？），应如何调节？这里介绍一种粗调方法。可以先转动载物台，眼睛直接从望远镜外侧面找到由平面反射镜反射回来的亮点，这时眼睛高度一般比目镜中心高度偏高或偏低，则调节载物台下面螺丝 **b** 或 **c**，或者调节望远镜倾斜螺丝——直至眼睛与目镜中心等高后，就可看到由平面镜反射回来的亮十字线像了。

② 利用二分之一调节法，调节望远镜的光轴和仪器转轴垂直。

它的调节原理和步骤见图 7。先调节平面镜的倾斜度（调节螺丝 **b** 或 **c**），使目镜中看到的亮十字线像重合在黑准线像的对称位置上，如图 7 (a) 所示。说明望远镜光轴与镜面垂

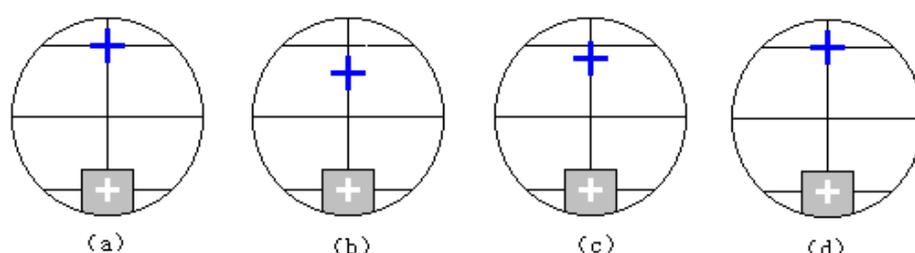


图 7 望远镜调节过程中通过目镜看到的情况

直。然后使平面镜跟随载物台和游标盘绕转轴转过 180° 。（如何知道平面镜已转过 180° ？是否要看刻度盘读数？）一般情况下，这二准线不再重合，如二者处在如图 7 (b) 所示位置上，这时只要调节螺丝 **b** 或 **c**，使二者的水平线间距缩小一半，如图 7 (c) 所示，再调节望远镜的倾斜螺丝 **G**，使二者水平线重合，如图 7 (d) 所示，然后再使平面镜绕轴旋转 180° ，观察亮十字线像与黑准线是否仍然重合，如重合了，说明望远镜光轴已垂直于分光计转轴。若不重合，则重复以上方法进行调节，直到平面镜旋转到任意一面，其镜面都能与望远镜光轴垂直。（想一下，二分之一调节法完成后，分光计的哪个螺丝不能再动了？为什么？）。

③ 调整平行光管使它发出平行光，并使它的光轴也垂直于仪器转轴（如果只要求测量三棱镜顶角，这部是否需要调？为什么？）。开启光源，照明平行光管的狭缝，转动已调好了的望远镜，使正对着平行光管以观察狭缝的像，旋松螺丝 **C** 以调节平行光管狭缝与物镜间距离，使从望远镜中观察狭缝的像既细锐又清晰，并与黑准线无视差，这时平行光管已发出平行光（为什么？）（如狭缝像太宽怎么办？）（如缝取向与分划板上的竖直准线不平行怎么办？），再调节平行光管倾斜度螺丝 **A** 使狭缝像位于望远镜分划板中间，这样平行光管的光轴与望远镜光轴平行，也就是说平行光管光轴也垂直于分光计转轴。此时分光计已全部调节完毕，处于待测状态。

(2) 最小偏向角法测量棱镜的折射率

① 首先应使三棱镜的两个光学表面均与望远镜光轴垂直（为什么？）。为了便于调整，三棱镜在载物台上的位置可参考图 8（这样放有什么好处？如果是等边三棱镜、还可以有其他放法吗？）。先转动望远镜，使它对准 **AB** 面，调节螺丝 **a** 或 **b**，使 **AB** 面垂直望远镜光轴（不可调节望远镜倾斜螺丝，为什么？）。然后再将望远镜转向 **AC** 面，调节螺丝 **c**，使 **AC** 面与望远镜光轴垂直。反复调节，逐次接近，直到 **AB** 面和 **AC** 面均能与望远镜光轴垂直为止。这样望远镜光轴通过棱镜的主截面。

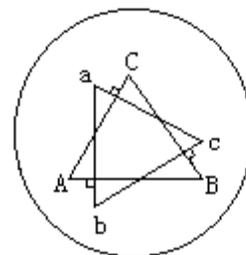


图 8 三棱镜在载物台上的位置

② 开启低压汞灯，照明平行光管狭缝，使平行光管出射平行光。使棱镜处在如图 9 所示位置。先用眼睛沿棱镜出射方向观察，当看到出射的彩色谱线时，再将望远镜移到眼睛所在方位，此时就能看到汞灯的光谱线（即狭缝的单色像）。

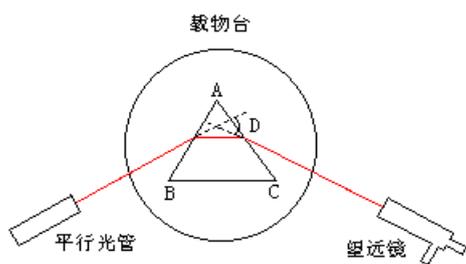


图 9

③ 将望远镜对准待测的谱线（取汞绿光谱线， $\lambda=546.07\text{nm}$ ），让载物台带动游标盘一起转动，使该谱线朝偏向角减小的方向移动，同时转动望远镜跟踪该谱线，直到棱镜继续沿着同方向转动时，该谱线不再向前移动却反而向相反方向移动为止，此转折点则对应于该谱线

的最小偏向角位置。

固定载物平台和游标盘，微调望远镜的位置，使垂直准线对准该谱线的中间，记下两窗口读数 φ 和 φ' 。转动望远镜使其对准平行光管，而垂直准丝直接对准入射光的白色狭缝像（有三棱镜在为什么仍能看到狭缝像？注意观察棱镜在载物台上相对于平行光管的高低位置），记下读数 φ_0 和 φ'_0 。则谱线对应的最小偏向角 $\delta_D = \frac{(\varphi' - \varphi'_0) + (\varphi - \varphi_0)}{2}$ 。重复测量 5

次，求出 δ_D 的平均值及其不确定度。

④ 若已知三棱镜的顶角 $A=60.00^\circ$ ，将 δ_D 值代入式（1），就可求得棱镜材料对该波长的折射率。

2. 选做内容：

(1) 测量棱镜材料对低压汞灯其它谱线的折射率，根据科希公式 $n = n_0 + \frac{C}{\lambda^2}$ ，求出 n_0 和参数 C 。（此时分光计已对准绿色谱线的最小偏向角，还需要转动棱镜，调节对应于另一谱线的最小偏向角吗？）

(2) 测量三棱镜的顶角。固定载物台，转动望远镜（也可固定望远镜而转动载物台），先使棱镜 AB 面与望远镜光轴垂直，记下望远镜相对于转台的方位角 θ_1 、 θ_2 。然后再转动望远镜使 AC 面与望远镜光轴垂直，记下此时望远镜相对于转台的方位角 θ_1' 、 θ_2' 。如图 10 所示。读数之差就是两法线的夹角 α ，而 α 为顶角 A 的补角，重复测量 5 次，求出 α 的平均值及其不确定度，然后求得棱镜顶角 A 。

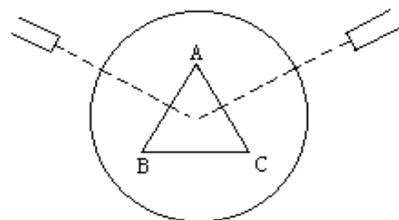


图 10 用望远镜测三棱镜顶角

思考题

1. 用自准直法调节望远镜时，如何判断分划板上黑十字线与物镜焦平面严格共面？
2. 测棱镜折射率时，应把三棱镜如何放置在载物台上？为什么这样放？
3. 在已调好望远镜光轴与分光计转轴垂直以后，拧载物台的螺丝，会不会破坏这种垂直性？
4. 若三棱镜的放置相对于望远镜偏低，对测量有无影响？
5. 调节分光计所用的反射平面镜可否两面镀铝？
6. 何谓最小偏向角？实验中如何确定最小偏向角的位置？
7. 试设计一种调节方法，能很快调节到使望远镜光轴垂直于仪器转轴。
8. 再设计一种利用分光计来测量棱镜折射率的方案。
9. 再设计一种利用平行光管和望远镜测量棱镜顶角的方法。