

# 基础光学实验

## 实验 1 透镜焦距测定

### 一. 实验目的

1. 学习并掌握调节光学系统共轴的步骤和方法。
2. 掌握测量薄会聚透镜焦距的方法。
3. 验证透镜成像公式，并从感性上了解透镜成像公式的近似性。

### 二. 实验仪器设备

白光源 S、物屏 P (SZ-14)、凸透镜 L (焦距待测)、二维架 (SZ-07)、白屏 H (SZ-13)、二维平移底座 (SZ-02)、三维平移底座 (SZ-01)、通用底座 (SZ-04)。

### 三. 实验要求

1. 预习教材中的相关内容。
2. 阅读并熟悉本次实验的内容。
3. 设计并正确摆放光学仪器组成测量光路。
4. 测量并记录实验数据。
5. 实验结束将光学仪器归位。

### 四. 实验任务

#### 1. 共轭法测量凸透镜焦距

利用凸透镜物、像共轭对称成像的性质测量凸透镜焦距的方法，叫共轭法。所谓“物像共轭对称”是指物与像的位置可以互移，如图 1-1 (a) 所示。其中 (a) 图中处于物

点  $S_0$  的物体 Q 经凸透镜 L 在像点 P 处成像

P，这时物距为  $u$ ，像距为  $v$ 。若把物点  $S_0$  移到图 1-1 (a) 中 P 的点，那么该物体经同一凸透镜 L 成像于原来的物点，即像点 P

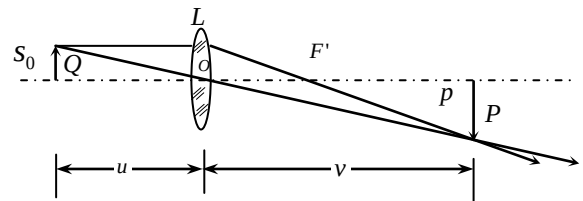


图 1-1 (a)

将移到图 1-1 (a) 中的  $S_0$  点。于是，图 1

1-1 (b) 中的物距  $u'$  和像距  $v'$  分别是图 1

1-1 (a) 中的像距  $v$  和物距  $u$ ，即物距  $u' = v$ ，

像距  $v' = u$ 。这就是“物像共轭对称”。设

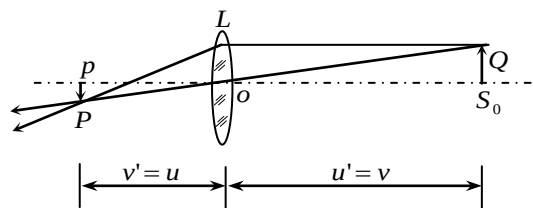


图 1-1 (b)

$v - u = u' - v' = D$  (物屏  $Q$  和像屏  $P$  之间的距离为  $D$ )。

根据上面的共轭法, 如果物与像的位置不调换, 那么, 物放在  $s_0$  处, 凸透镜  $L$  放在  $X_1$  处, 所成一倒立放大实像在  $P$  处; 将物不动, 凸透镜放在  $X_2$  处, 所成倒立缩小的实像也在  $P$  处, 如图 1-2 所示。由图可知,  $u' + u = d$  或  $v + u = d$ 。于是解方程组得

$$\begin{cases} D = v - u \\ d = u + v \\ \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f'} \end{cases}$$

$$u = \frac{D-d}{-2}, \quad v = \frac{D+d}{2}, \quad f' = \frac{D^2 - d^2}{4D} \quad (1-1)$$

该式是共轭法测量凸透镜焦距的公式。由于  $f'$  是通过移动透镜两次成像而求得的, 所以, 这种方法又称二次成像法。

另外, 从方程组中消去  $u$ , 得

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{v-D} = \frac{1}{f'}, \quad v^2 - Dv + Df' = 0, \quad v = \frac{D \pm \sqrt{D^2 - 4f'D}}{2}。$$

当  $v$  有实根必须有

$$D^2 - 4f'D \geq 0; \quad D \geq 4f' \quad (1-2)$$

即物屏与像屏之间的距离大于或最少等于四倍的焦距, 物才能通过凸透镜二次成像。

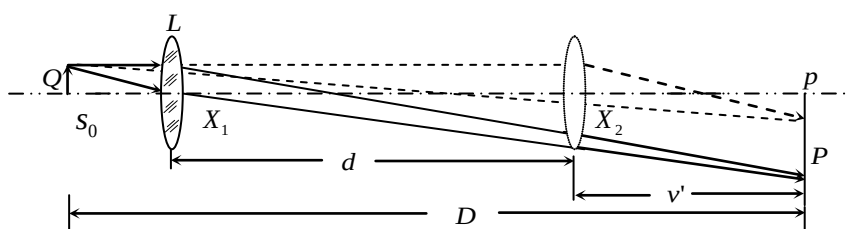


图 1-2

实验步骤如下:

- (1) 粗调, 将光具靠拢, 调节高低左右; 使光心和中心大致在同一高度和同一直线上。
- (2) 细调, 用共轭原理进行调整, 使物屏与像屏之间的距离  $D \geq 4f'$ , 将凸透镜从物屏向像屏缓慢移动, 若所成的大像与小像的中心重合, 则等高共轴已调节好, 若大像中心

在小像中心的下方，说明凸透镜位置偏低，应将位置调高；反之，则将透镜调低；左右亦然。

(3) 读出物屏所在位置  $s_0$ ，像屏所在位置  $p$ ，填入自拟的表格中，求出  $D = |p - s_0|$ 。

(4) 移动凸透镜，使像屏上呈现清晰的放大的倒立实像，记下此时的位置  $X_1$ ，继续移动凸透镜，使像屏上呈现清晰的缩小的倒立实像，记下此时的位置  $X_2$ ，求出  $d = |X_2 - X_1|$ 。

重复上述步骤四次，共得四组数据，用 (1-1) 式计算出每组的  $f'$  值，求出  $f'$  的平均值。

## 五. 实验报告

1. 记录数据并进行数据处理，计算透镜焦距。
2. 为什么要调节光学系统共轴？调节共轴有那些要求？怎样调节？
3. 为什么实验中常用白屏作为成像的光屏？可否用黑屏、透明平玻璃、毛玻璃，为什么？
4. 为什么实物经会聚透镜两次成像时，必须使物体与像屏之间的距离  $D$  大于透镜焦距的 4 倍？实验中如果  $D$  选择不当，对  $f'$  的测量有何影响？

## 实验 2 菲涅耳双棱镜干涉测波长

### 一. 实验目的

1. 了解菲涅耳双棱镜的结构，掌握菲涅耳双棱镜获得双光束干涉的方法。
2. 观察双棱镜产生的双光束干涉现象，进一步理解产生干涉的条件。
3. 学会用双棱镜测定光波波长。

### 二. 实验仪器设备

钠灯、凸透镜 L1 (焦距 50mm) L2 (焦距 190mm)、二维架 (SZ-07)、可调狭缝 (SZ-27)、双棱镜、双棱镜架 (SZ-41)、测微目镜架 (SZ-36)、测微目镜、二维平移底座 (SZ-02)、三维平移底座 (SZ-01)、通用底座 (SZ-04)。

### 三. 实验要求

1. 预习教材中的相关内容。
2. 阅读并熟悉本次实验的内容。
3. 设计并正确摆放光学仪器组成测量光路。
4. 测量并记录实验数据。
5. 实验结束将光学仪器归位。

### 四. 实验任务

如图 2-1 所示, 将一块平玻璃板的上表面加工成两楔形, 两端与棱脊垂直, 楔角较小 (一般小于 1 度)。当单色光源照射在双棱镜表面时, 经其折射后形成两束好像由两个光源发出的光, 即两列光波的频率相同, 传播方向几乎相同, 相位差不随时间变化, 那么, 在两列光波相交的区域内, 光强的分布是不均匀的, 满足光的相干条件, 称这种棱镜为双棱镜。

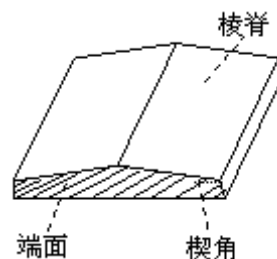


图 2-1

菲涅耳利用图 2-2 所示的装置, 获得了双光束的干涉现象。图中双棱镜  $AB$  是一个分割波前的分束器。从单色光源  $M$  发出的光波, 经透镜  $L$  会聚于狭缝  $S$ , 使  $S$  成为具有较大亮度的线状光源。当狭缝  $S$  发出的光波投射到双棱镜  $AB$  上时, 经折射后, 其波前便被分割成两部分, 形成沿不同方向传播的两束相干光波。通过双棱镜观察这两束光, 就好像它们是由  $S_1$  和  $S_2$  发出的一样, 故在其相互交叠区域  $P_1P_2$  内产生干涉。如果狭缝的宽度较小, 双棱镜的棱脊与光源平行, 就能在白屏  $P$  上观察到平行与狭缝的等间距干涉条纹。

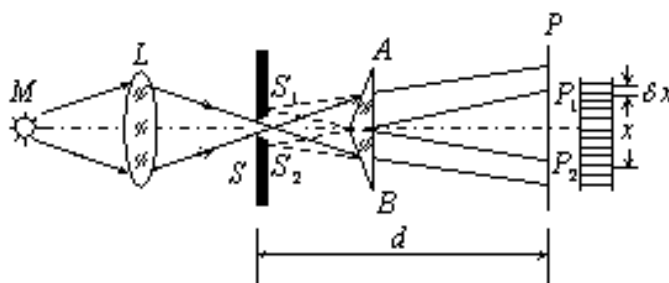


图 2-2

设  $d'$  代表两虚光源  $S_1$  和  $S_2$  间的距离,  $d$  为虚光源所在的平面 (近似地在光源狭缝  $S$  的平面内) 至观察屏的距离, 且  $d' \ll d$ , 干涉条纹宽度为  $\Delta x$ , 则实验所用光波波长  $\lambda$  可由下式确定

$$\lambda = \frac{d'}{d} \Delta x \quad (2-1)$$

(2-1) 式表明, 只要测出  $d'$ 、 $d$  和  $\Delta x$ , 便可计算出光波波长。

通过使用简单的米尺和测微目镜, 进行毫米级的长度测量, 推算出微米级的光波波长, 所以, 这是一种光波波长的绝对测量。

由于干涉条纹宽度  $\Delta x$  很小, 必须使用测微目镜进行测量。两虚光源间的距离  $d'$ , 可用已知焦距为  $f'$  的会聚透镜  $L'$  置于双棱镜与测微目镜之间, 由透镜的两次成像法求得。只要使测微目镜到狭缝的距离  $d > 4f'$ , 前后移动透镜, 就可以在的两个不同位置上从测微目镜中看到两虚光源  $S_1$  和  $S_2$  经透镜所成的实像  $S'_1$  和  $S'_2$ , 其中一组为放大的实像, 另一组为缩小的实像, 如果分别测得二放大像间距  $d_1$  和二缩小像间距  $d_2$ , 则有

$$d' = \sqrt{d_1 d_2} \quad (2-2)$$

由(2-2)式可求得两虚光源之间的距离。

实验步骤如下：

### 1. 调节共轴

(1) 将单色光源  $M$ 、会聚透镜  $L$ 、狭缝  $S$ 、双棱镜  $AB$  与测微目镜  $P$ ，按图 2-2 的顺序放置在光学平台上，用目视粗略地调整它们的中心等高、共轴；双棱镜的底面与系统的光轴垂直，棱脊和狭缝的取向大体平行。

(2) 点亮光源  $M$ ，使钠黄光通过透镜  $L$  会聚在狭缝  $S$  上，用手执白屏在双棱镜后面观察，经双棱镜折射后的光束，应有较亮的叠加区域  $P_1 P_2$ ，且叠加区域能够进入测微目镜，当白屏移动时，叠加区域能逐渐向左、右或上、下偏移。根据观察到的现象，做出判断，反复调节，直至共轴。

### 2. 调节干涉条纹

(1) 减小狭缝的宽度，一般情况下，可从测微目镜中观察到不太清晰的干涉条纹。

(2) 绕系统光轴缓慢地向右或向左旋转狭缝，将会出现清晰的干涉条纹。这时棱镜的棱脊与狭缝的取向严格平行。

(3) 看到清晰的干涉条纹后，将双棱镜或测微目镜前后移动，使干涉条纹的宽度适当，同时在不影响条纹清晰度的情况下，适当地增加缝宽，以保持干涉条纹有足够的亮度。但双棱镜和狭缝的距离不宜过小，因为减小它们的距离， $S_1 S_2$  间距也会减小，对测量  $d'$  不利。

### 3. 测量与数据处理

(1) 用测微目镜测量干涉条纹的宽度  $\bar{\Delta x}$

为了提高测量精度，可先测出  $n$  条 (10~20 条) 干涉条纹的间距，再除以  $n$ ，即得  $\bar{\Delta x}$ 。测量时，先使目镜叉丝对准某亮纹的中心，然后旋转测微螺旋，使叉丝移过  $n$  个条纹，读出两次读数。重复上述步骤，求出  $\bar{\Delta x}$ 。

(2) 用米尺量出狭缝到测微目镜叉丝平面的距离  $d$ ，测量几次，求平均值。

(3) 用透镜两次成像法测两虚光源的间距  $d'$ 。保持狭缝与双棱镜原来的位置不变，在双棱镜和测微目镜之间放置一已知焦距  $f'$  的会聚透镜  $L'$ ，移动测微目镜使它到狭缝的距离大于  $4f'$ ，分别测得两次清晰成像时实像的间距  $d_1$ 、 $d_2$ 。各测几次，取其平均值，再计算  $d'$  值。

(4) 用所得的  $\bar{\Delta x}$ 、 $\bar{d}'$ 、 $d$  值，求出光源的光波波长  $\lambda$ 。

## 五. 实验报告

1. 记录数据并进行数据处理。
2. 分析双棱镜是怎样实现双光束干涉的？干涉条纹是怎样分布的？干涉条纹的宽度、数目由哪些因素决定？
3. 在实验时，双棱镜和光源之间为什么要放一狭缝？为什么狭缝很窄时，才可以得到清晰的干涉条纹？

## 实验 3 偏振光的产生和检验

### 一. 实验目的

1. 观察光的偏振现象，加深对偏振光的了解。
2. 掌握产生和检验线偏振光、部分偏振光、椭圆偏振光和圆偏振光的原理和方法。

### 二. 实验仪器设备

二维架（SZ-07）、光学测角台（SZ-47）、升降调节座（SZ-03）、黑玻璃镜、偏振片、X轴旋转的二维架（SZ-06）、二维平移底座、氦氖激光器、1/4 波片及架。

### 三. 实验要求

1. 预习教材中的相关内容。
2. 阅读并熟悉本次实验的内容。
3. 设计并正确摆放光学仪器组成测量光路。
4. 测量并记录实验数据。
5. 实验结束将光学仪器归位。

### 四. 实验任务

光波的振动方向与光波的传播方向垂直。自然光的振动在垂直于其传播方向的平面内，取所有可能的方向。某一方向振动占优势的光叫部分偏振光，只在某一个固定方向振动的光线叫线偏振光或平面偏振光。将非偏振光（如自然光）变成线偏振光的方法称为起偏，用以起偏的装置或元件叫起偏器。

#### 1. 平面偏振光的产生

##### （1）非金属表面的反射和折射

光线斜射向非金属的光滑平面（如水、木头、玻璃等）时，反射光和折射光都会产生偏振现象，偏振的程度取决于光的入射角及反射物质的性质。当入射角是某一数值而反射光为线偏振光时，该入射角叫起偏角。起偏角的数值  $\alpha$  与反射物质的折射率  $n$  的关系是

$$\tan \alpha = n \quad (3-1)$$

称为布儒斯特定律，如图 3—1 所示。根据此式，可以简单地利用玻璃起偏，也可以用于测定物质的折射率。从空气入射到介质，一般起偏角在 53 度到 58 度之间。

非金属表面发射的线偏振光的振动方向总是垂直于入射面的；透射光是部分偏振光；使用多层玻璃组合成的玻璃堆，能得到很好的透射线偏振光，振动方向平行于入射面。

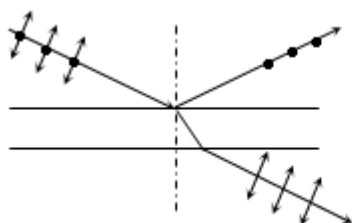


图 3-1

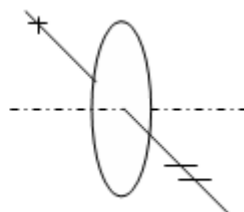


图 3-2

## (2) 偏振片

分子型号的偏振片是利用聚乙烯醇塑胶膜制成，它具有梳状长链形结构的分子，这些分子平行地排列在同一方向上。这种胶膜只允许垂直于分子排列方向的光振动通过，因而产生线偏振光，如图 3—2 所示。分子型偏振片的有效起偏范围几乎可达到 180 度，用它可得到较宽的偏振光束，是常用的起偏元件。

鉴别光的偏振状态叫检偏，用作检偏的仪器叫或元件叫检偏器。偏振片也可作检偏器使用。自然光、部分偏振光和线偏振光通过偏振片时，在垂直光线传播方向的平面内旋转偏振片时，可观察到不同的现象，如图 3—3 所示，图中 (a) 表示旋转  $P$ ，光强不变，为自然光；(b) 表示旋转  $P$ ，无全暗位置，但光强变化，为部分偏振光；(c) 表示旋转  $P$ ，可找到全暗位置，为线偏振光。

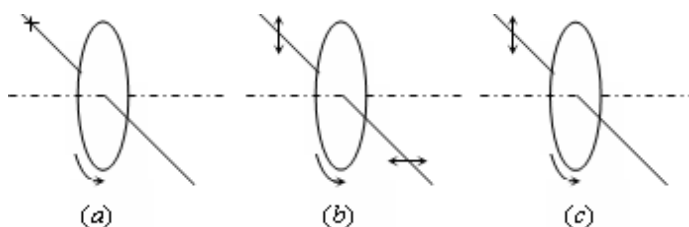


图 3-3

## 2. 圆偏振光和椭圆偏振光的产生

平面偏振光垂直入射晶片，如果光轴平行于晶片的表面，会产生比较特殊的双折射现象。这时，非常光  $e$  和寻常光  $o$  的传播方向是一致的，但速度不同，因而从晶片出射时会产生相位差

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_o - n_e) d \quad (3-2)$$

式中  $\lambda_0$  表示单色光在真空中的波长， $n_o$  和  $n_e$  分别为晶体中  $o$  光和  $e$  光的折射率， $d$  为晶片厚度。

(1) 如果晶片的厚度使产生的相位差  $\delta = \frac{1}{2}(2k+1)\pi$ ， $k=0, 1, 2, \dots$ ，这样的晶

片称为 1/4 波片。平面偏振光通过 1/4 波片后，透射光一般是椭圆偏振光；当  $a = \pi/4$  时，则为圆偏振光；当  $\alpha = 0$  或  $\pi/2$  时，椭圆偏振光退化为平面偏振光。由此可知，1/4 波片可将平面偏振光变成椭圆偏振光或圆偏振光；反之，它也可将椭圆偏振光或圆偏振光变成平面偏振光。

(2) 如果晶片的厚度使产生的相差  $\delta = (2k+1)\pi$ ， $k=0, 1, 2, \dots$ ，这样的晶片称为半波片。如果入射平面偏振光的振动面与半波片光轴的交角为  $\alpha$ ，则通过半波片后的光仍为平面偏振光，但其振动面相对于入射光的振动面转过  $2\alpha$  角。

### 3. 平面偏振光通过检偏器后光强的变化

强度为  $I_0$  的平面偏振光通过检偏器后的光强  $I_\theta$  为

$$I_\theta = I_0 \cos^2 \theta \quad (3-3)$$

式中， $\theta$  为平面偏振光偏振面和检偏器主截面的夹角，(3-3) 式为马吕斯 (Malus) 定律，它表示改变角可以改变透过检偏器的光强。

当起偏器和检偏器的取向使得通过的光量极大时，称它们为平行 (此时  $\theta = 0$  度)。当二者的取向使系统射出的光量极小时，称它们为正交 (此时  $\theta = 90$  度)。

实验步骤如下：

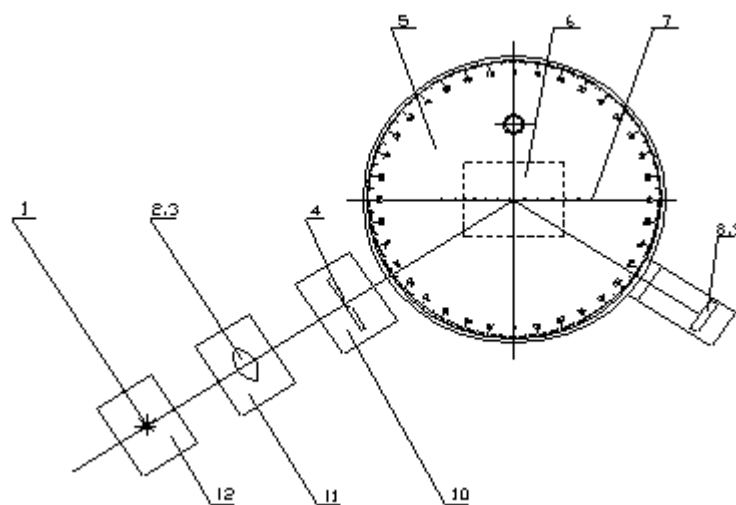


图 3-4

(1) 测布儒斯特角，定偏振片光轴：按图 3-4 所示布置光路，激光光束向光学测角台分度盘中心的黑玻璃镜入射，并在台面上显出指向圆心的光迹。此时转动分度盘，对任意入射角，利用偏振片和 X 轴旋转二维架组成的检偏器检验反射光，转动  $360^\circ$ ，观察部分偏振光的强度变化。而当光束以布儒斯特角  $i_B$  入射时，反射的线偏振光可被检偏器消除 (对  $n=1.51$ ， $i_B=157^\circ$ )。该入射角需反复仔细校准。因线偏振光的振动面垂直于入射面，按检偏器消光方



位可以定出偏振片的易透射轴。

(2) 线偏振光分析：用装在 X 轴旋转二维架上（对准指标线）的偏振片在转动中检偏振，分析透过光强变化与角度的关系。

(3) 椭圆偏振光分析：使 He-Ne 激光通过扩束器和偏振片产生线偏振光，再通过  $1/4$  波片之后，用装在 X 轴旋转二维架上的偏振片在旋转中观察透射光强变化，是否有两明两暗位置，在暗位置，检偏器的透振方向即椭圆的短轴方向。

(4) 圆偏振光分析：在透振轴正交的二偏振片之间加入  $1/4$  波片，旋转至透射光强恢复为零处，从该位置再转动  $45^\circ$ ，即可产生圆偏振光。此时若用检偏器转动检查，透射光强是不变的。

## 五. 实验报告

1. 记录数据并分析实验现象。
2. 两片  $1/4$  波片组合，能否做成半波片？
3. 在确定起偏角时，找不到全消光的位置，根据实验条件分析原因。

## 实验 4 用牛顿环测透镜的曲率半径

### 一. 实验目的

1. 观察牛顿环产生的等厚干涉条纹，加深对等厚干涉现象的认识。
2. 掌握测量平凸透镜曲率半径的方法。

### 二. 实验仪器设备

牛顿环支架、牛顿环组件、半透半反玻璃（分束器）、显微镜、测微目镜架、二维平移底座、干板架、通用底座、钠灯。

### 三. 实验要求

1. 预习教材中的相关内容。
2. 阅读并熟悉本次实验的内容。
3. 设计并正确摆放光学仪器组成测量光路。
4. 测量并记录实验数据。
5. 实验结束将光学仪器归位。

### 四. 实验任务

牛顿环是由待测平凸透镜 L 和磨光的平玻璃板 P 叠装在框架 F 中构成，如图 4-1 所示。框架边上有三个螺旋 H，用来调节 L 和 P

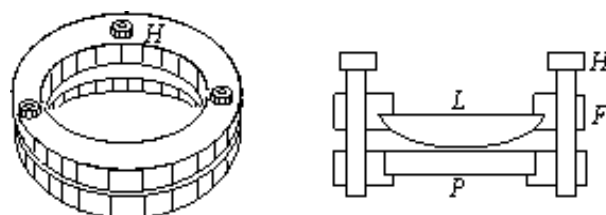


图 4-1 牛顿环结构示意图

之间的接触，以改变干涉条纹的形状和位置。调节 H 时，螺旋不可旋得过紧，以免接触压力过大引起透镜弹性形变，甚至损坏透镜。

牛顿环属于用分振幅的方法产生的干涉现象，也是典型的等厚干涉条纹。牛顿环在实际工作中通常用来测量透镜的曲率半径或检查物体的平面度，其原理如图 4-2 所示。在平面玻璃板 BB' 上放置一曲率半径为 R 的平凸透镜 AOA'，两者之间便形成一层空气薄层。当用单色光垂直照射下来时，从空气上下两个表面反射的光束 1 和光束 2 在空气表面层附近相遇产生干涉，空气层厚度相等处形成相同的干涉条纹，这种干涉现象称为等厚干涉。此等厚干涉条纹最早由牛顿发现，故称为牛顿环。在干涉条纹上，光程差相等处，是以接触点 O 为中心，半径为 r 的明暗相间的同心圆，r、h、R 三者关系为

$$h = \frac{r^2}{2R - h} \quad (4-1)$$

因  $R \gg h$  (R 为几米，h 为几分之一厘米)。

所以  $h \approx \frac{r^2}{2R}$ ，光程差为

$$\delta = 2h - \frac{\lambda}{2}$$

(3-2)

$$\delta = \frac{r^2}{R} - \frac{\lambda}{2} \quad (4-3)$$

即

式 (3-3) 是进入透镜的光束，光束 1 先由透镜凸面反射回去，光束 2 穿过透镜进入空气膜后，由平面玻璃板反射形成的光程差，式中  $\lambda/2$  为额外光程差。

在反射光中见到的亮环

$$\frac{r_k^2}{R} - \frac{\lambda}{2} = 2k \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (4-4)$$

在反射光中见到的暗环

$$\frac{r_k^2}{R} - \frac{\lambda}{2} = (2k-1) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (4-5)$$

式中  $k=0, 1, 2, \dots$

从上观察，以中心暗环为准，则有

$$r_k^2 = k \cdot \lambda \cdot R$$

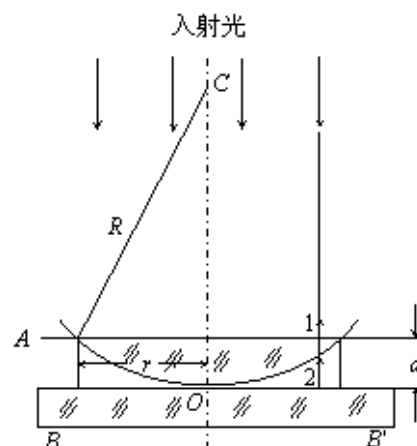


图 4-2 牛顿环等厚干涉原理图

$$R = \frac{r_k^2}{k \cdot \lambda} \quad (4-6)$$

可见，测出条纹的半径  $r$ ，依（4-6）式便可计算出平凸透镜的半径  $R$ 。

实验步骤如下：

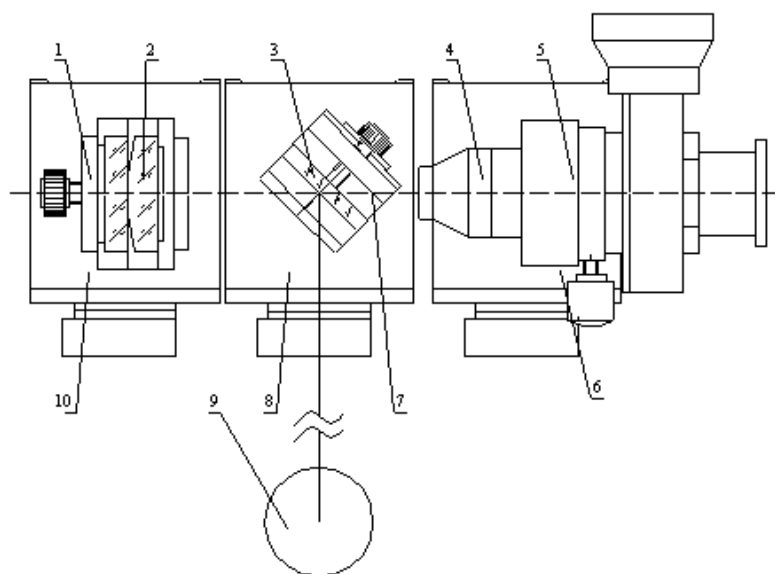


图 4-3 用牛顿环测透镜的曲率半径实验光路图

（1）如图 4-3 布置光路，其中 1：牛顿环支架 2：牛顿环组件 3：半透半反玻璃（分束器）4：显微镜 5：测微目镜架 6：二维平移底座（SZ-02）7：干版架（SZ-12）8：升降调节座（SZ-03）9：钠灯 10：升降调节座。若牛顿环装置平凸透镜与平板玻璃的接触点偏离中心，得调节夹具上的三个螺钉，使接触点稳定居中即可，但不要拧得太紧。

（2）接通钠光灯电源使灯管预热。

（3）调节分束器，使视场 6mm 测量范围内充满黄光。消除视差。尽量使干涉圆环在量程内对称分布。

（4）从第 14 环开始逐环测定位置至第 5 环，再越过环心，从另一侧第 5 环测至第 14 环为止，计算 10 个环的直径  $d$ 。

（5）用逐差法取  $m-n=5$  算出 5 个  $(r_m^2 - r_n^2)$  值，取平均，代入公式

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m-n)\lambda}$$

已知钠光波长  $\lambda = 589.3nm$ ，计算得出平凸透镜的曲率半径。

注意事项：

（1）使用读数显微镜时，为避免引进螺距差，移测时必须向同一方向旋转，中途不可

倒退。

(2) 调节 H 时，螺旋不可旋得过紧，以免接触压力过大引起透镜弹性形变。

(3) 实验完毕应将牛顿环仪上的三个螺旋松开，以免牛顿环变形。光波的振动方向与光波的传播方向垂直。自然光的振动在垂直于其传播方向的平面内，取所有可能的方向。某一方向振动占优势的光叫部分偏振光，只在某一个固定方向振动的光线叫线偏振光或平面偏振光。将非偏振光（如自然光）变成线偏振光的方法称为起偏，用以起偏的装置或元件叫起偏器。

## 五. 实验报告

1. 记录数据并分析实验现象。
2. 牛顿环干涉条纹一定会成为圆环形状吗？其形成的干涉条纹定域在何处？
3. 从牛顿环仪透射出到环底的光能形成干涉条纹吗？如果能形成干涉环，则与反射光形成的条纹有何不同？
4. 实验中为什么要测牛顿环直径，而不测其半径？