

### 实验 39 等厚干涉

为了研究薄膜颜色，牛顿（Newton, I. 1642-1727）曾经用凸透镜放在平面玻璃上的方法做实验。1675 年，他在给皇家学会的论文里记述了这个被后人称做牛顿环的实验。他的最有价值的发现，是测出同心环的半径就可算出相应的空气层厚度，亮环的厚度与 1, 3, 5, … 成比例，暗环的厚度与 0, 2, 4, … 成比例。19 世纪初，托马斯·杨（Young, T. 1773-1829）用光干涉原理解释了牛顿环，并参考牛顿的测量计算了与不同色光对应的波长和频率。

牛顿环和劈形膜干涉都是由振幅分割法产生的干涉。在光学仪器厂，常用标准面与待测面之间产生的干涉条纹（称做“光圈”）检查加工的平面度。

#### 【预习重点】

- (1) 牛顿环产生的原理，曲率半径测量公式的解释。
- (2) 了解对实验装置的调整要求和如何进行测量。

#### 【实验目的】

- (1) 了解等厚干涉的应用。
- (2) 掌握移测显微镜的使用方法。

#### 【实验仪器】

牛顿环仪、移测显微镜、低压钠灯、平行平面玻璃两块及待测薄片。

#### 【实验原理】

1) 利用牛顿环测凸透镜的球面半径

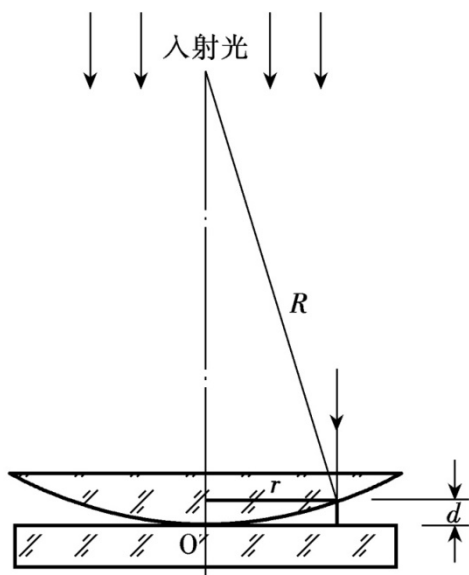


图 39-1 牛顿环的形成

一个曲率半径很大的平凸透镜，以其凸面朝下，放在一块平面玻璃板上（图 39-1），二者之间形成从中心向周边逐渐增厚的空气膜。若对透镜垂直投射单色平行光，则空气膜下

缘面与上缘面反射的光就会在空气膜上缘面附近相遇而干涉, 出现以玻璃接触点为中心的一系列明暗相间的圆环, 即牛顿环。

设透镜曲率半径为 $R$ , 与接触点 $O$ 相距 $r$ 处的膜厚为 $d$ , 则

$$r^2 = d(2R - d) = 2Rd - d^2$$

因 $R \gg d$ , 所以 $d^2$ 可略去, 得

$$d = \frac{r^2}{2R} \quad (39-1)$$

光线垂直入射, 几何程差为 $2d$ , 还要考虑光波在平面玻璃上反射会有半波损失, 从而带来 $\lambda/2$ 的附加程差, 所以总程差

$$\delta = 2d + \frac{\lambda}{2} \quad (39-2)$$

产生暗环的条件是

$$\delta = (2m + 1)\frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (39-3)$$

其中 $m$ 为干涉级。综合以上 3 式, 第 $m$ 级暗环半径

$$r_m = \sqrt{mR\lambda} \quad (39-4)$$

实际上, 由于两镜面接触点之间难免存在细微的尘埃, 使程差产生难以确定的变化, 中央暗点可变为亮点或若明若暗; 再者, 接触压力引起的玻璃形变会使接触点扩大成一个接触面, 以致接近圆心处的干涉条纹也是宽阔而模糊的。这就给 $m$ 带来某种程度的不确定性。根据式(39-4), 并用直径 $d_m$ 代入, 可得:

$$d_m^2 = 4mR\lambda, \quad d_n^2 = 4nR\lambda$$

两式相减, 可求得:

$$R = \frac{d_m^2 - d_n^2}{4(m - n)\lambda} \quad (39-5)$$

因 $m$ 和 $n$ 有着相同的不确定程度, 利用 $m - n$ 这一相对性测量恰好消除了由绝对测量的不确定性带来的误差。另外, 在测量时直径 $d$ 往往是弦长, 可以证明, 用弦长代替直径其测量结果不变。

## 2) 利用劈形膜干涉测薄片厚度

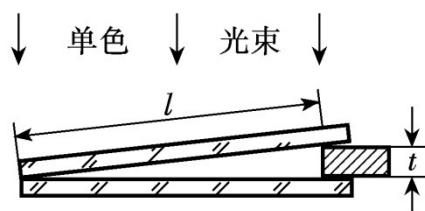


图 39-2 劈形膜

在叠合的两块平板玻璃的一端夹一薄片，即构成空气的劈形膜（见图 39-2）。在单色光垂直照射下，可见空气膜上形成平行于两块玻璃面交线的等距干涉条纹。据式（39-2），形成暗条纹的条件为

$$\delta = 2d + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \quad (k = 0,1,2,\dots) \quad (39-6)$$

与  $k$  级暗条纹对应的空气膜厚度

$$d = k\frac{\lambda}{2} \quad (39-7)$$

设薄片的厚度为  $t$ ，从劈形膜尖端到  $k$  级暗纹和薄片端面的距离分别为  $x$  和  $l$ ，可知相邻暗条纹的间距

$$\Delta x = \frac{x}{k} \quad (39-8)$$

于是有

$$\frac{d}{x} = \frac{t}{l} \quad (39-9)$$

将式（39-7）和式（39-8）代入式（39-9）得

$$t = \frac{l}{\Delta x} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (39-10)$$

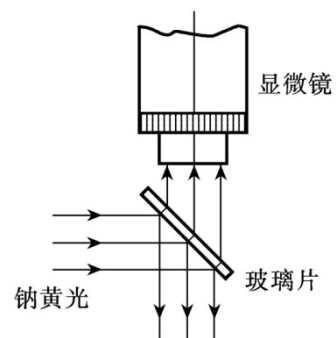


图 39-3 牛顿环实验装置



### 【实验内容及要求】

#### 1) 调节仪器

- (1) 目视调节：在白光下观察牛顿环仪可以看到很小的彩色干涉环，轻微调节圆形框架上面的 3 个调节螺丝，使环中心大致固定在牛顿环仪中心。注意不要拧得过紧以免干涉条纹变形或光学玻璃破裂。
- (2) 使显微镜筒居主尺中间，镜筒下  $45^\circ$  反射玻璃对准光源。
- (3) 将牛顿环仪放在显微镜筒下方的载物台上，使钠黄光经牛顿环仪反射进入显微镜视场（见图 39-3）。
- (4) 转动目镜对十字叉丝聚焦，并使一根叉丝与镜筒移动方向平行。再转动显微镜的调焦手轮对牛顿环聚焦并且消除视差。
- (5) 移动牛顿环装置让牛顿环圆心位于视场中心。移动显微镜筒，检查环心左右均能看清 70 条以上的干涉环。

#### 2) 测量平凸透镜的曲率半径

由于螺纹间隙带来的移测显微镜在改变移动方向时的空程误差，测量时必须单方向转动显微镜的读数鼓轮读取数据。具体转动取向由鼓轮上的零点与直尺示值的配合情况决定。例如，先从中心向一侧移动镜筒，同时默数叉丝扫过的环数，到 55 环后反向移动，记下 50~41 环以及 25~16 环范围内每一环的位置  $L_m$  和  $L_n$ ，再继续移至环心另一侧，记下 16~25 和 41~

50 各环的位置读数 $L'_m$ 和 $L'_n$ 。计算 $d_m = L_m - L'_m$ 和 $d_n = L_n - L'_n$ ,各牛顿环的直径(可能是弦长),求曲率半径 $R = \frac{d_m^2 - d_n^2}{4(m-n)\lambda}$ ,并计算平均值及其不确定度。(自行设计表格)

### 3) 薄膜厚度的测量

将劈形膜装置置于移测显微镜的载物台上,观察劈形膜干涉现象,使待测薄片的直边与干涉条纹平行。由劈形膜两个端线的相对位置测得 $l$ ,量出20个暗条纹的总间距,代入式(39-10),计算膜厚 $t$ 。

### 【拓展与设计】

- (1) 用视深法测水(或玻璃)的折射率,写出实验公式和测量过程。
- (2) 用牛顿环仪测液体的折射率,设计实验方案。