

实验十六 等厚干涉及应用

【实验目的】

1. 观察等厚干涉现象，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和微小厚度的方法（设计实验）；
3. 熟悉读数显微镜使用；
4. 学习用逐差法处理数据。

【实验仪器】

读数显微镜，钠灯，牛顿环仪，劈尖等

【实验原理】

当一束单色光入射到透明薄膜上时，通过薄膜上下表面依次反射而产生两束相干光。如果这两束反射光相遇时的光程差仅取决于薄膜厚度，则同一级干涉条纹对应的薄膜厚度相等，这就是所谓的等厚干涉。牛顿环和劈尖干涉都是典型的等厚干涉。

1. 牛顿环

将一块平凸透镜的曲率很小凸面放在一块光学平板玻璃上，因而在它们之间形成以接触点 O 为中心向四周逐渐增厚的空气薄膜，离 O 点等距离处厚度相同。如图1（a）所示。当以波长为 λ 的单色光垂直入射时，其中有一部分光线在空气膜的上表面反射，一部分在空气膜的下表面反射，因此产生两束具有一定光程差的相干光，当它们相遇在薄膜表面附近产生等干涉条纹。从反射方向观察，该等厚条纹是一组以接触点 O 为中心的亮暗交替的同心圆，且中心是一暗斑如图1（b）所示。，此图样称为称为牛顿环。在实验应用中，常用它来测量透镜的曲率半径，若已知透镜的曲率半径，也可用来测定光波波长。

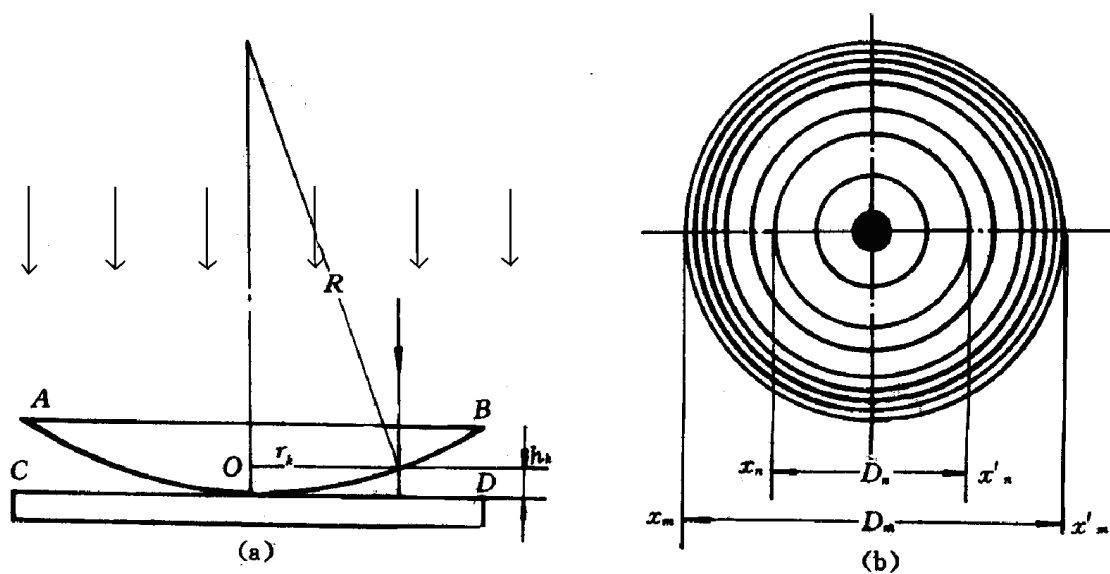


图1牛顿环的干涉原理及干涉条纹

设入射光是波长为 λ 的单色光，第 k 级干涉环的半径为 r_k ，该处空气膜厚度为 h_k ，则空气膜上、下表面反射光的光程差为

$$\delta = 2h_k + \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

其中 $\frac{\lambda}{2}$ 是由于光从光疏媒质射到光密媒质的交界面上反射时，发生半波损失引起的。

由图1 (a) 的几何关系可知：

$$R^2 = (R - h_k)^2 + r_k^2 \quad (2)$$

式中 R 是透镜凸面 AOB 的曲率半径。因 $r_k \ll R, h_k \ll R$ ，可略去二级小量，得：

$$h_k = \frac{r_k^2}{2R} \quad (3)$$

根据干涉相长和相消的条件有

$$\delta = 2h_k + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & k = 1, 2, 3, \dots \quad (\text{明纹}) \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & k = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (\text{暗纹}) \end{cases} \quad (4)$$

将(3)式代入(4)式得第 k 级暗纹的半径为：

$$r_k^2 = kR\lambda \quad (5)$$

由(5)式可见， r_k 与 k 和 R 的平方根成正比，随着 k 的增大，环纹愈来愈密，而且愈

细。

同理可推得，亮纹的半径为：

$$r_k^2 = (2k+1)R\frac{\lambda}{2} \quad (6)$$

通过上面推导知，若入射光波长 λ 已知，测出各级暗环的半径，则可算出曲率半径 R 。但实际观察牛顿环时发现，牛顿环的中心不是理想的一个几何接触点，而是一个不甚清晰的暗或亮的圆斑。其原因是透镜与平玻璃板接触处，由于接触压力引起形变，使接触处为一圆面；又因镜面上可能有尘埃存在，从而引起附加的光程差。因此难以准确判定级数 k 和测出 r_k 。因而用公式（5）和（6）来测量实际上也就成为不可能，为避免这一困难并减小误差，测量距中心较远的、比较清晰的两个环纹的半径。测出距中心黑斑第 m 个和第 n 个暗环的半径 r_m 和 r_n （ m 、 n 均为环序，不是干涉等级，若假设中心黑斑已有 j 干涉条纹， j 为干涉级修正值，则它们的干涉等级分别为 $m+j$ 和 $n+j$ ）因而由（5）式可得为

$$r_m^2 = (m+j)R\lambda$$

$$r_n^2 = (n+j)R\lambda$$

于是

$$r_m^2 - r_n^2 = [(m+j) - (n+j)]R\lambda = (m-n)R\lambda$$

则透镜的曲率半径 R 式可得：

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{\lambda(m-n)} \quad (7)$$

因暗环干涉环的中心圆心不易确定，故可用暗环的直径代替半径，得：

$$R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda} \quad (8)$$

【实验内容和步骤】

1. 读数显微镜结构和使用方法

见第二章

2. 牛顿环测平凸透镜的曲率半径

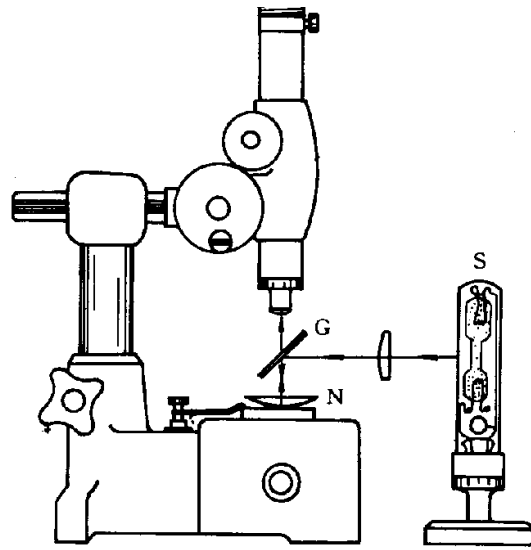
（1）接通钠光灯电源使灯管S预热，调节牛顿环仪N边框上三个螺旋，使在牛顿环仪中心出现一组同心干涉环。图1（右）

（2）将牛顿环仪A放在读数显微镜的平台上，调节45°反射镜G，以便获得最大的照度，

如图3所示。

图3

(3) 调节读数显微镜的目镜，使目镜中看到叉丝最为清晰，将读数显微镜的物镜对准牛顿环仪中心。从下向上调节读数显微镜调焦手轮D，直至在读数显微镜目镜C内能看到清晰的干涉条纹的像。并与显微镜的测量叉丝之间无视差。适当移动牛顿环位置，使干涉条纹的中央暗区在显微镜C叉丝的正下方，观察干涉条纹是否在读数显微镜的读数范围内，以便测量。测量时，显微镜的叉丝最好调节成其中一根与显微镜的移动方向垂直，移动时始终保持这根



叉丝与干涉环纹相切，这样便于观察测量。（注意：调焦过程中应该先将读数显微镜调下，然后向上调焦，以免压坏牛顿环）。

(4) 测量。若取 $m-n=10$ ，并选相继5组直径的平方差 $D_m^2 - D_n^2$ ，然后求其平均值。若 n 环序取11、12、13、14、15，则 m 环序将测21、22、23、24、25。转动读数鼓轮A，观察叉丝竖丝准线从中央缓慢向左（或向右）移至27环，然后反方向至第25环向右移动，当十字准线竖线与25环中心相切时，记录读数显微镜上的位置读数 x_{25} ，然后继续转动鼓轮，使竖线依次与24、23、22、21环中心相切，并记录读数，移至15环时又继续记录读数，至第11环中心。过了11环后继续转动鼓轮，并注意读出环的顺序，直到十字准线回到牛顿环中心，核对该中心是否是 $k=0$ 。如果十字准线回到牛顿环中心时 $k \neq 0$ ，如 $k=1$ ，则应如何处理数据，请同学们自己思考？

(5) 继续按原方向转动读数鼓轮A，越过干涉圆环中心，记录十字准线与右边第11、12、13、14、15和21、22、23、24、25环中心相切时的读数。注意从25环移到另一侧25环的过程中鼓轮不能倒转。然后再反向转动鼓轮，并读出反向移动时各暗环次序，并核对十字准线回到牛顿环中心时是否是 $k=0$ 。

(6) 用逐差法处理数据

用逐差法可求的5个 $(D_m^2 - D_n^2)$ 的值，即 $D_{25}^2 - D_{15}^2$ 、 $D_{24}^2 - D_{14}^2 \cdots D_{21}^2 - D_{11}^2$ 。取它们平均值，利用公式(8)计算透镜的曲率半径 R 。估算其不确定度。

2. 用劈尖干涉法测细丝直径或薄纸片厚度（设计实验）

劈尖干涉装置如图2 (a) 所示。将两块光学平板玻璃迭在一起，在一端放入一薄片或细丝，则在两玻璃板间形成一空气劈尖，当用单色光垂直照射时，在劈尖薄膜的上下两表面反射的两束相干光相遇时发生干涉。两者光程差 $\delta = 2h_k + \frac{\lambda}{2}$ ，其中 h_k 是第 k 级干涉条纹处对应的劈尖空气膜厚度， $\frac{\lambda}{2}$ 为半波损失。干涉图形形成在劈尖膜上表面附近，是一组与玻璃板交线相平行的等间距明暗相间的平行直条纹，如图2 (b) 所示。这也是一种等厚干涉条纹。

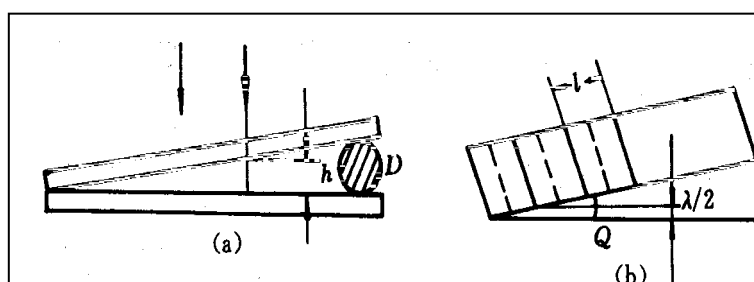


图2 劈尖干涉

劈尖干涉的条件为：

$$\delta = 2h_k + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & k = 1, 2, 3, \dots \quad (\text{明纹}) \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & k = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (\text{暗纹}) \end{cases} \quad (1)$$

由干涉条件可得两相邻明（或暗）条纹所对应的空气膜厚度差为：

$$h_{k+1} - h_k = \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

如果由两玻璃板交线处到细金属丝处的劈尖面上共有 N 条干涉条纹，则金属丝直径或薄纸片的厚度 d 为：

$$d = N \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

由于 N 数目很大，为了简便，可先测出单位长度的暗条纹数 N_0 ，再测出两玻璃板交线处至金属丝或薄纸片的距离 L ，则

$$N = N_0 L$$

即得
$$d = N_0 L \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

由（4）式可知，如果已知入射光波长 λ ，并测出 N_0 和 L ，则可求出细金属丝直径或薄片厚度。

劈尖干涉除了用于测量薄片（薄纸等）厚度、细丝直径外，还可以用于鉴定一个抛光面的平面度，本实验不再讨论。

【数据记录和处理】

1. 自行设计实验记录表格
2. 用逐差法进行数据处理
3. 等厚干涉不确定度的评定

根据计算公式 $R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda}$ 对 D_m, D_n 分别测量 k 次，因而可得 k 个 R_i ，因

$\lambda = 589.3nm$ 视为常量； $m-n$ 视为定值。将 $D_m^2 - D_n^2$ 视为整体。

1. 最佳值 $\bar{R} = \frac{\overline{D_m^2 - D_n^2}}{4(m-n)\lambda}$

2. 不确定度的评定

(1) $D_m^2 - D_n^2$ 的A类不确定度

$$u_{A(D_m^2 - D_n^2)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k [(D_m^2 - D_n^2)_i - \overline{(D_m^2 - D_n^2)}]^2}{k(k-1)}}$$

(2) $D_m^2 - D_n^2$ 的B类不确定度

μ_{B_i} 为单次测量的B分量

$$u_{B(D_m^2 - D_n^2)} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k u_{B(D_m^2 - D_n^2)_i}$$

$$u_{B(D_m^2 - D_n^2)_i} = \sqrt{\left(\frac{\partial(D_m^2 - D_n^2)_i}{\partial D_{m_i}^2} \right)^2 u_{B(D_m)}^2 + \left(\frac{\partial(D_m^2 - D_n^2)_i}{\partial D_{n_i}^2} \right)^2 u_{B(D_n)}^2}$$

其中

$$\frac{\partial(D_m^2 - D_n^2)_i}{\partial D_{m_i}^2} = 2D_{m_i} \quad \frac{\partial(D_m^2 - D_n^2)_i}{\partial D_{n_i}^2} = 2D_{n_i}$$

由于仪器相同

$$u_{B(D_m)} = u_{B(D_n)} = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.01}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} (mm)$$

$$u_{B(D_m^2 - D_n^2)_i} = [2\sqrt{(D_m^2 + D_n^2)_i}]u_{B(D_m)}$$

则

$$u_{B(D_m^2 - D_n^2)} = [2\sqrt{(D_m^2 + D_n^2)_i}]u_{B(D_m)}$$

(3) $D_m^2 - D_n^2$ 的 C 类不确定度

$$u_{C(D_m^2 - D_n^2)} = \sqrt{u_{A(D_m^2 - D_n^2)}^2 + u_{B(D_m^2 - D_n^2)}^2}$$

3. 总不确定度

$$u_{C(R)} = \frac{u_{C(D_m^2 - D_n^2)}}{4(m-n)\lambda}$$

【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. 调节牛顿环厚度时，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。
4. 在测量劈尖干涉条纹的间距 L_0 时，纵丝每次应与明、暗条纹的交界线重合；测量劈尖长度 L 时，劈尖棱边和纸片处均以内侧位置为准。
5. 由于读数显微镜的量程较短（5cm 左右），所以每次测量前均应将显微镜镜筒放置在主刻度尺的适当位置，以避免未测量完成而镜筒却已移到了主刻度尺的端头。
6. 调焦过程中应该先将读数显微镜调下，然后向上调焦，以免压坏牛顿环和劈尖。

【思考题】

1. 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？
2. 实验中为什么要测牛顿环直径，而不测其半径？
3. 在使用读数显微镜时，怎样判断是否消除了视差？使用时最主要的注意事项是什么？
4. 如何用劈尖干涉检验光学平面的表面质量？