

等厚干涉——牛顿环实验

【实验目的】

1. 用牛顿环观察和分析等厚干涉现象；
2. 学习利用干涉现象测量透镜的曲率半径；
3. 学会使用读数显微镜测距。

【实验仪器】

JCD 型读数显微镜，牛顿环，钠光灯。

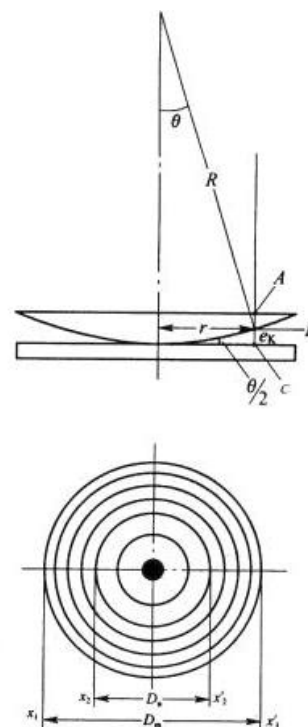
【实验原理】

在一块平面玻璃上安放上一焦距很大的平凸透镜，使其凸面与平面相接触，在接触点附近就形成一层空气膜。当用一平行的准单色光垂直照射时，在空气膜上表面反射的光束和下表面反射的光束在膜上表面相遇，形成以接触点为圆心的明暗相间的环状干涉图样，称为牛顿环，其光路示意图如图。

如果已知入射光波长，并测得第 k 级暗环的半径 r_k ，则可求得透镜的曲率半径 R 。但实际测量时，由于透镜和平面玻璃接触时，接触点有压力产生形变或有微尘产生附加光程差，使得干涉条纹的圆心和环级确定困难。用直径 D_m 、 D_n ，有

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

此为计算 R 用的公式，它与附加厚光程差、圆心位置、绝对级次无关，克服了由这些因素带来的系统误差，并且 D_m 、 D_n 可以是弦长。



【实验内容】

1、调整测量装置

按光学实验常用仪器的读数显微镜使用说明进行调整。调整时注意：

(1) 调节 45° 玻片，使显微镜视场中亮度最大，这时，基本上满足入射光垂直于透镜的要求(毛玻璃下的反光镜要转向里面，让其反射光不会到上面)。

(2) 因反射光干涉条纹产生在空气薄膜的上表面，显微镜应对上表面调焦才能找到清晰的干涉图像。

(3) 调焦时，显微镜筒应自下而上缓慢地上升，直到看清楚干涉条纹时为止。往下移动显微镜筒时，眼睛一定要离开目镜侧视，防止镜筒压坏牛顿环。

2、观察牛顿环的干涉图样

(1) 调整牛顿环仪的三个调节螺丝，在自然光照射下能观察到牛顿环的干涉图样，并将干涉条纹的中心移到牛顿环仪的中心附近。调节螺丝不能过紧，以免中心暗斑太大，甚至损坏牛顿环仪。

(2) 把牛顿环仪置于显微镜的正下方，使单色光源与读数显微镜上 45° 角的反射透明玻璃片等高，旋转反射透明玻璃，直至从目镜中能看到明亮均匀的光照。

(3) 调节读数显微镜的目镜，使十字叉丝清晰；自下而上调节物镜直至观察到清晰的干涉图样。移动牛顿环仪，使中心暗斑（或亮斑）位于视域中心，调节目镜系统，使叉丝横丝与读数显微镜的标尺平行，消除视差。平移读数显微镜，观察待测的各环左右是否都在读数显微镜的读数范围之内。

3、测量牛顿环的直径

(1) 选取要测量的 m 和 n (各 5 环)，如取 m 为 55, 50, 45, 40, 35, n 为 30, 25, 20, 15, 10。

(2) 转动鼓轮。先使镜筒向左移动，顺序数到 60 环，再向右转到 55 环，使叉丝尽量对准干涉条纹的中心，记录读数。然后继续转动测微鼓轮，使叉丝依次与 50, 45, 40, 35, 30, 25, 20, 15, 10, 环对准，顺次记下读数；再继续转动测微鼓轮，使叉丝依次与圆心右 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 环对准，也顺次记下各环的读数。注意在一次测量过程中，测微鼓轮应沿一个方向旋转，中途不得反转，以免引起回程差。

4、算出各级牛顿环直径的平方值后，用逐差法处理所得数据，求出 $\overline{D_m^2 - D_n^2}$ 。直径平方差的平均值代入公式求出透镜的曲率半径，并算出误差。

注意：

- (1) 近中心的圆环的宽度变化很大，不易测准，故从 $K=10$ 左右开始比较好；
- (2) $m-n$ 应取大一些，如取 $m-n=25$ 左右，每间隔 5 条读一个数。
- (3) 应从 0 数到最大一圈，再多数 5 圈后退回 5 圈，开始读第一个数据。
- (4) 因为暗纹容易对准，所以对准暗纹较合适。
- (5) 圈纹中心对准叉丝或刻度尺的中心，并且当测距显微镜移动时，叉丝或刻度尺的某根线与圈纹相切(都切圈纹的右边或左边)。

【实验记录与处理】

1. 凸透镜曲率半径测量数据表

数据表取 $m-n=25$ $\lambda = 5.893 \times 10^{-7} \text{ m}$ ，仪器误差 $5 \times 10^{-6} \text{ m}$ $R_{\text{标}} = 1.0380 \text{ m}$

环数 m	X_L (10^{-3} m)	X_R (10^{-3} m)	D_m (10^{-3} m)	环数 n	X_L (10^{-3} m)	X_R (10^{-3} m)	D_n (10^{-3} m)	$D_m^2 - D_n^2$ (10^{-6} m^2)	$\overline{D_m^2 - D_n^2}$ (10^{-6} m^2)	R / m
55	31.019	19.045	11.974	30	29.583	20.518	9.065	61.202	62.55	1.061±0.016
50	30.778	19.312	11.466	25	29.210	20.882	8.328	62.114		
45	30.532	19.598	10.934	20	28.805	21.272	7.533	62.806	相对不确定度	百分差
40	30.244	19.884	10.360	15	28.360	21.724	6.636	63.293		
35	29.920	20.190	9.730	10	27.830	22.232	5.598	63.335	1.5%	2.2%

2. 数据处理

(1) 确定平凸透镜凸面曲率半径的最佳值

$$D_{55} = X_{L55} - X_{R55} = (31.019 - 19.045) \times 10^{-3} m = 11.974 \times 10^{-3} m$$

$$D_{50} = X_{L50} - X_{R50} = (30.778 - 19.312) \times 10^{-3} m = 11.466 \times 10^{-3} m$$

$$D_{45} = X_{L45} - X_{R45} = (30.532 - 19.598) \times 10^{-3} m = 10.934 \times 10^{-3} m$$

$$D_{40} = X_{L40} - X_{R40} = (30.244 - 19.884) \times 10^{-3} m = 10.360 \times 10^{-3} m$$

$$D_{35} = X_{L35} - X_{R35} = (29.920 - 20.190) \times 10^{-3} m = 9.730 \times 10^{-3} m$$

$$D_{30} = X_{L30} - X_{R30} = (29.583 - 20.518) \times 10^{-3} m = 9.065 \times 10^{-3} m$$

$$D_{25} = X_{L25} - X_{R25} = (29.210 - 20.882) \times 10^{-3} m = 8.328 \times 10^{-3} m$$

$$D_{20} = X_{L20} - X_{R20} = (28.805 - 21.272) \times 10^{-3} m = 7.533 \times 10^{-3} m$$

$$D_{15} = X_{L15} - X_{R15} = (28.360 - 21.724) \times 10^{-3} m = 6.636 \times 10^{-3} m$$

$$D_{10} = X_{L10} - X_{R10} = (27.830 - 22.232) \times 10^{-3} m = 5.598 \times 10^{-3} m$$

$$D_{55}^2 - D_{30}^2 = (11.974^2 - 9.065^2) \times 10^{-6} m^2 = 61.202 \times 10^{-6} m^2$$

$$D_{50}^2 - D_{25}^2 = (11.466^2 - 8.328^2) \times 10^{-6} m^2 = 62.114 \times 10^{-6} m^2$$

$$D_{45}^2 - D_{20}^2 = (10.934^2 - 7.533^2) \times 10^{-6} m^2 = 62.806 \times 10^{-6} m^2$$

$$D_{40}^2 - D_{15}^2 = (10.360^2 - 6.636^2) \times 10^{-6} m^2 = 63.293 \times 10^{-6} m^2$$

$$D_{35}^2 - D_{10}^2 = (9.730^2 - 5.598^2) \times 10^{-6} m^2 = 63.335 \times 10^{-6} m^2$$

$$\text{令 } D_m^2 - D_n^2 = M$$

$$\bar{M} = \frac{61.202 + 62.114 + 62.806 + 63.293 + 63.335}{5} \times 10^{-6} m^2 = 62.550 \times 10^{-6} m^2$$

曲率半径的最佳值

$$\bar{R} = \frac{\bar{M}}{4(m-n)\lambda} = \frac{62.550 \times 10^{-6}}{4 \times 25 \times 5.893 \times 10^{-7}} m = 1.061 m$$

(2) 不确定度计算

A 类不确定度:

$$\begin{aligned} S_M &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(61.202 - 62.550)^2 + (62.114 - 62.550)^2 + (62.806 - 62.550)^2 + (63.293 - 62.550)^2 + (63.335 - 62.550)^2}{5-1}} \times 10^{-6} m^2 \\ &= 0.90 \times 10^{-6} m^2 \end{aligned}$$

B 类不确定度:

$$\text{仪器误差: } \Delta_{\text{仪}} = 5 \times 10^{-6} m$$

$$\Delta_{Dm} = \Delta_{Dn} = \sqrt{\Delta_{\text{仪左}}^2 + \Delta_{\text{仪右}}^2} = \sqrt{2} \times 5 \times 10^{-6} m = 7 \times 10^{-6} m$$

$$\begin{aligned}\Delta_{BM} &= \sqrt{(2D_m \Delta_{Dm})^2 + (2D_n \Delta_{Dn})^2} \\ &= \sqrt{(2 \times 11.974 \times 0.007)^2 + (2 \times 9.065 \times 0.007)^2} \times 10^{-6} m^2 = 0.21 \times 10^{-6} m^2\end{aligned}$$

注：D_m、D_n取值最大值， $D_m = D_{55} = 11.974 \times 10^{-3} m$ ， $D_n = D_{30} = 9.065 \times 10^{-3} m$

$$\begin{aligned}\therefore \Delta_M &= \sqrt{S_M^2 + \Delta_{BM}^2} \\ &= \sqrt{0.90^2 + 0.21^2} \times 10^{-6} m^2 = 0.92 \times 10^{-6} m^2\end{aligned}$$

$$\text{故 } \Delta_R = \frac{\Delta_M}{4(m-n)\lambda} = \frac{0.92 \times 10^{-6}}{4 \times 25 \times 5.893 \times 10^{-7}} m = 16 \times 10^{-3} m$$

(3) 实验结果： $R = \bar{R} \pm \Delta_R = (1.061 \pm 0.016)m$

$$\text{相对不确定度: } E_R = \frac{\Delta_R}{\bar{R}} = \frac{0.016}{1.061} \times 100\% = 1.5\%$$

$$\text{百分差: } E_{\bar{R}} = \frac{\bar{R} - R_{\text{标}}}{R_{\text{标}}} = \frac{1.061 - 1.038}{1.038} \times 100\% = 2.2\%$$

【误差分析】

1、观察牛顿环时将会发现，牛顿环中心不是一点，而是一个不甚清晰的暗或亮的圆斑。其原因是透镜和平玻璃板接触时，由于接触压力引起形变，使接触处为一圆面；又镜面上可能有微小灰尘等存在，从而引起附加的程差，这都会给测量带来系统误差。另外要用肉眼去观察暗条纹，条纹边界的判断不准确会带来误差。

2、仪器不准或精度不够，牛顿环平凸透镜制作不够精细等，会造成系统误差。

3、显微镜叉丝与显微镜移动方向不平行产生的误差。

4、十字叉线纵轴没有垂直环，测量直径时没有将十字叉线纵轴与环相切。

5、自己数错环的偶然误差，在操作时回转仪器时造成操作错误等。