

实验题目：干涉法测微小量

实验目的：学习、掌握利用光的干涉原理检验光学元件表面集合特征的方法，用劈尖的等厚干涉测量细丝直径的方法，同时加深对光的波动性的认识。

实验原理：1、用牛顿环测平凸透镜的曲率半径

当曲率很大的平凸透镜的凸面放在一平面玻璃上时，会产生一组以 O 为中心的明暗相间的同心圆环，称为牛顿环。

如图，1、2 两束光的光程差为 $\Delta = 2\delta + \frac{\lambda}{2}$ ，式中 λ 为入射光的波长， δ 是空气层厚度，空气折射率 $n \approx 1$ 。如果第 m 个暗环处空气厚度为 δ_m ，则有

$$\Delta = 2\delta_m + \frac{\lambda}{2} = (2m+1)\frac{\lambda}{2}, m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

故得到： $\delta_m = m \cdot \frac{\lambda}{2}$ 。

利用几何关系有 $R^2 = r_m^2 + (R - \delta_m)^2$ ，并根据 $\delta_m \ll R$ ，得

到 $\delta_m = \frac{r_m^2}{2R}$ ，联系以上两式，有

$$r_m^2 = mR\lambda$$

换成直径，并考虑第 m+n 个环和第 m 个环，有 $D_{m+n}^2 = 4(m+n)R\lambda$ ， $D_m^2 = 4mR\lambda$ ，故

$$R = \frac{D_{m+n}^2 - D_m^2}{4n\lambda}$$

那么测量出 D_{m+n} 和 D_m 就可以根据这个表达式得到 R。

2、劈尖的等厚干涉测细丝直径

两片叠在一起的玻璃片，在它们的一端夹一直径待测的细丝，于是两玻璃片之间形成一空气劈尖。当用单色光垂直照射时，会产生干涉现象。因为程差相等的地方是平行于两玻璃片交线的直线，所以等厚干涉条纹是一组明暗相间、平行于交线的直线。

设入射光波为 λ ，则得第 m 级暗纹处空气劈尖的厚度 $d = m \cdot \frac{\lambda}{2}$ 。

由此可知，m=0 时，d=0，即在两玻璃片交线处，为零级暗条纹。

如果在细丝处呈现 m=N 级条纹，则待测细丝直径 $d = N \cdot \frac{\lambda}{2}$ 。

3、利用干涉条纹检验光学表面面形

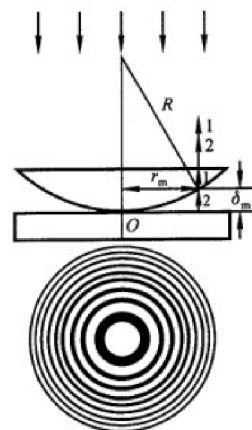


图 7.2.1-1 牛顿环干涉条纹的形成

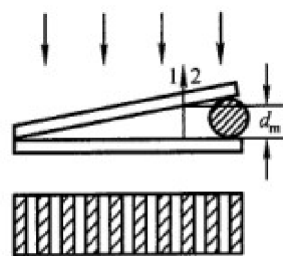


图 7.2.1-2 劈尖干涉条纹的形成

实 验 报 告

评分：5

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-6-4

实验内容：

1. 测平凸透镜的曲率半径

(1) 观察牛顿环

- 1) 将牛顿环仪按图 7.2.1-5 所示放置在读数显微镜镜筒和入射光调节木架的玻璃片的下方，木架上的透镜要正对着钠光灯窗口，调节玻璃片角度，使通过显微镜目镜观察时视场最亮。
- 2) 调节目镜，看清目镜视场的十字叉丝后，使显微镜筒下降到接近玻璃片，然后缓慢上升，直到观察到干涉条纹，再微调玻璃片角度及显微镜，使条纹更清楚。

(2) 测牛顿环直径

- 1) 使显微镜的十字叉丝交点与牛顿环中心重合，并使水平方向的叉丝与标尺平行（与显微镜筒移动方向平行）。
- 2) 转动显微镜测微鼓轮，使显微镜筒沿一个方向移动，同时数出十字叉丝竖丝移过的暗环数，直到竖丝与第 35 环相切为止。
- 3) 反向转动鼓轮，当竖丝与第 30 环相切时，记录读数显微镜上的位置读数 d_{30} ，然后继续转动鼓轮，使竖丝依次与第 25、20、15、10、5 环相切，顺次记下读数 d_{25} ， d_{20} ， d_{15} ， d_{10} ， d_5 。
- 4) 继续转动鼓轮，越过干涉圆环中心，记下竖丝依次与另一边的 5、10、15、20、25、30 环相切时的读数 d'_5 、 d'_{10} 、 d'_{15} 、 d'_{20} 、 d'_{25} 、 d'_{30} 。

重复测量两次，共测两组数据。

(3) 用逐差法处理数据

第 30 环的直径 $D_{30} = |d_{30} - d'_{30}|$ ，同理，可求出 D_{25} 、 D_{20} ... D_5 ，式 (7) 中，取 $n=15$ ，求出 $\overline{D_{m+15}^2 - D_m^2}$ ，

代入式 (7) 计算 R 和 R 的标准差。

2. 测细丝直径

(1) 观察干涉条纹

将劈尖盒放在曾放置牛顿环的位置，同前法调节，观察到干涉条纹，使条纹最清晰。

(2) 测量

- 1) 调整显微镜及劈尖盒的位置，当转动测微鼓轮使镜筒移动时，十字叉丝的竖丝要保持与条纹平行。
- 2) 在劈尖玻璃面的三个不同部分，测出 20 条暗纹的总长度 Δl ，测三次求其平均值及单位长度的干涉条纹数 $n = \frac{20}{\Delta l}$ 。
- 3) 测劈尖两玻璃片交线处到夹细线处的总长度 L ，测三次，求平均值。
- 4) 由公式，求细丝直径

$$d = N \cdot \frac{\lambda}{2} = L \cdot n \frac{\lambda}{2} = L \cdot \frac{20}{\Delta l} \cdot \frac{\lambda}{2}$$

实 验 报 告

评分：5

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-6-4

实验数据：

1、测平凸透镜曲率半径（表格中数据单位为 mm）

环数	30	25	20	15	10	5
d_1	21.266	21.557	21.947	22.355	22.816	23.394
d_1'	29.459	29.131	28.759	28.364	27.888	27.295
D_1	8.193	7.574	6.812	6.009	5.072	3.899
d_2	21.259	21.554	21.937	22.338	22.800	23.405
d_2'	29.442	29.129	28.740	28.345	27.867	27.291
D_2	8.183	7.575	6.803	6.007	5.067	3.886
d_3	21.272	21.558	21.949	22.367	22.816	23.410
d_3'	29.460	29.141	28.761	28.370	27.887	27.299
D_3	8.188	7.583	6.812	6.003	5.071	3.889

表一：原始数据和直接计算得到的数据

（注：此表格中 D_1 D_2 D_3 是通过计算（相减）得到的，由于计算简单直接，故写在表格中）

光波长 589.3nm

2、测细丝直径

光波长 589.3nm

劈尖长度 $L=39.043\text{mm}$

20 条暗纹长度（三次测量，mm）：17.590---20.531 20.682---23.607 23.776---26.752

数据处理：

1、测平凸透镜曲率半径

以下均取 $P=0.95$ ：

$$\overline{D}_{30} = \frac{8.193 + 8.183 + 8.188}{3} \text{mm} = 8.188 \text{mm}$$

$$\sigma_{30} = \sqrt{\frac{(8.193 - 8.188)^2 + (8.183 - 8.188)^2 + (8.188 - 8.188)^2}{3-1}} \text{mm} = 0.005 \text{mm}$$

展伸不确定度

实 验 报 告

评分：5

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-6-4

$$U_{D30} = \sqrt{(t_p \frac{\sigma_{30}}{\sqrt{3}})^2 + (k_p \frac{\Delta_B}{C})^2} = \sqrt{(4.30 \times \frac{0.005}{\sqrt{3}})^2 + (1.96 \times \frac{0.005}{3})^2} mm = 0.013mm$$

$$\overline{D}_{25} = \frac{7.574 + 7.575 + 7.583}{3} mm = 7.577mm$$

$$\sigma_{25} = \sqrt{\frac{(7.574 - 7.577)^2 + (7.575 - 7.577)^2 + (7.583 - 7.577)^2}{3-1}} mm = 0.005mm$$

展伸不确定度

$$U_{D25} = \sqrt{(t_p \frac{\sigma_{25}}{\sqrt{3}})^2 + (k_p \frac{\Delta_B}{C})^2} = \sqrt{(4.30 \times \frac{0.005}{\sqrt{3}})^2 + (1.96 \times \frac{0.005}{3})^2} mm = 0.013mm$$

$$\overline{D}_{20} = \frac{6.812 + 6.803 + 6.812}{3} mm = 6.809mm$$

$$\sigma_{20} = \sqrt{\frac{(6.812 - 6.809)^2 + (6.803 - 6.809)^2 + (6.812 - 6.809)^2}{3-1}} mm = 0.005mm$$

展伸不确定度

$$U_{D20} = \sqrt{(t_p \frac{\sigma_{20}}{\sqrt{3}})^2 + (k_p \frac{\Delta_B}{C})^2} = \sqrt{(4.30 \times \frac{0.005}{\sqrt{3}})^2 + (1.96 \times \frac{0.005}{3})^2} mm = 0.013mm$$

$$\overline{D}_{15} = \frac{6.009 + 6.007 + 6.003}{3} mm = 6.006mm$$

$$\sigma_{15} = \sqrt{\frac{(6.009 - 6.006)^2 + (6.007 - 6.006)^2 + (6.003 - 6.006)^2}{3-1}} mm = 0.003mm$$

展伸不确定度

$$U_{D15} = \sqrt{(t_p \frac{\sigma_{15}}{\sqrt{3}})^2 + (k_p \frac{\Delta_B}{C})^2} = \sqrt{(4.30 \times \frac{0.003}{\sqrt{3}})^2 + (1.96 \times \frac{0.005}{3})^2} mm = 0.008mm$$

$$\overline{D}_{10} = \frac{5.072 + 5.067 + 5.071}{3} mm = 5.070mm$$

$$\sigma_{10} = \sqrt{\frac{(5.072 - 5.070)^2 + (5.067 - 5.070)^2 + (5.071 - 5.070)^2}{3-1}} mm = 0.003mm$$

展伸不确定度

$$U_{D10} = \sqrt{(t_p \frac{\sigma_{10}}{\sqrt{3}})^2 + (k_p \frac{\Delta_B}{C})^2} = \sqrt{(4.30 \times \frac{0.003}{\sqrt{3}})^2 + (1.96 \times \frac{0.005}{3})^2} mm = 0.008mm$$

$$\overline{D}_5 = \frac{3.899 + 3.886 + 3.889}{3} mm = 3.891mm$$

实 验 报 告

评分：5

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-6-4

$$\sigma_5 = \sqrt{\frac{(3.899 - 3.991)^2 + (3.886 - 3.991)^2 + (3.889 - 3.991)^2}{3-1}} mm = 0.007 mm$$

展伸不确定度

$$U_{D10} = \sqrt{(t_p \frac{\sigma_5}{\sqrt{3}})^2 + (k_p \frac{\Delta_B}{C})^2} = \sqrt{(4.30 \times \frac{0.007}{\sqrt{3}})^2 + (1.96 \times \frac{0.005}{3})^2} mm = 0.018 mm$$

利用逐差法处理上述数据。根据前述公式 $R = \frac{D_{m+n}^2 - D_m^2}{4n\lambda}$ ，则不确定度的传递公式应该是

$$U_R = \sqrt{2^2 (\frac{D_{m+n} U_{m+n}}{4n\lambda})^2 + 2^2 (\frac{D_m U_m}{4n\lambda})^2}$$

那么：

$$R_1 = \frac{D_{30}^2 - D_{15}^2}{4n\lambda} = \frac{(8.188 mm)^2 - (6.006 mm)^2}{4 \times 15 \times 589.3 nm} = 875.9 mm$$

$$U_{R1} = \sqrt{2^2 (\frac{D_{15+15} U_{15+15}}{4n\lambda})^2 + 2^2 (\frac{D_{15} U_{15}}{4n\lambda})^2} = \sqrt{2^2 (\frac{8.188 \times 0.013}{4 \times 15 \times 589.3 \times 10^{-6}})^2 + 2^2 (\frac{6.006 \times 0.008}{4 \times 15 \times 589.3 \times 10^{-6}})^2} mm$$
$$= 6.6 mm$$

$$R_2 = \frac{D_{25}^2 - D_{10}^2}{4n\lambda} = \frac{(7.577 mm)^2 - (5.070 mm)^2}{4 \times 15 \times 589.3 nm} = 896.7 mm$$

$$U_{R2} = \sqrt{2^2 (\frac{D_{10+15} U_{10+15}}{4n\lambda})^2 + 2^2 (\frac{D_{10} U_{10}}{4n\lambda})^2} = \sqrt{2^2 (\frac{7.577 \times 0.013}{4 \times 15 \times 589.3 \times 10^{-6}})^2 + 2^2 (\frac{5.070 \times 0.008}{4 \times 15 \times 589.3 \times 10^{-6}})^2} mm$$
$$= 6.0 mm$$

$$R_3 = \frac{D_{20}^2 - D_5^2}{4n\lambda} = \frac{(6.809 mm)^2 - (3.991 mm)^2}{4 \times 15 \times 589.3 nm} = 860.8 mm$$

$$U_{R3} = \sqrt{2^2 (\frac{D_{5+15} U_{5+15}}{4n\lambda})^2 + 2^2 (\frac{D_5 U_5}{4n\lambda})^2} = \sqrt{2^2 (\frac{6.809 \times 0.013}{4 \times 15 \times 589.3 \times 10^{-6}})^2 + 2^2 (\frac{3.991 \times 0.018}{4 \times 15 \times 589.3 \times 10^{-6}})^2} mm$$
$$= 6.4 mm$$

$$\text{对以上值取平均：} \bar{R} = \frac{1}{3} (R_1 + R_2 + R_3) = \frac{1}{3} \times (875.9 + 896.7 + 860.8) mm = 877.8 mm$$

$$\text{同时 } U_R = \frac{1}{3} \sqrt{U_{R1}^2 + U_{R2}^2 + U_{R3}^2} = \frac{1}{3} \times \sqrt{6.6^2 + 6.0^2 + 6.4^2} mm = 3.6 mm$$

R 不要分开求，先求总的 $D_1^2 - D_2^2$ 的平均值，求不确定度的时候也是，上式平方和的关系从何而来？

故最终结果表示成： $R = \bar{R} \pm U_R = (877.8 \pm 3.6) mm, P = 0.95$

2、测细丝直径

以下均取 $P=0.95$ ：

实 验 报 告

评分：5

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-6-4

三次测量的长度分别为 2.941mm、2.925mm、2.976mm

$$\text{平均值 } \bar{l} = \frac{2.941 + 2.925 + 2.976}{3} \text{ mm} = 2.947 \text{ mm}$$

$$\sigma_l = \sqrt{\frac{(2.941 - 2.947)^2 + (2.925 - 2.947)^2 + (2.976 - 2.947)^2}{3 - 1}} \text{ mm} = 0.024 \text{ mm}$$

展伸不确定度

$$U_l = \sqrt{\left(t_p \frac{\sigma_l}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(k_p \frac{\Delta_B}{C}\right)^2} = \sqrt{\left(4.30 \times \frac{0.024}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(1.96 \times \frac{0.005}{3}\right)^2} \text{ mm} = 0.060 \text{ mm}$$

此处由于 L 值 (39.043mm) 直接从劈尖贴纸上读出, 认为是一个确定值 (不知道可以这样处理不?)
可以当常数也可以当一次测量量

$$\text{那么 } \bar{d} = 20 \frac{L}{l} \times \frac{\lambda}{2} = 20 \times \frac{39.043}{2.947} \times \frac{589.3 \times 10^{-6}}{2} \text{ mm} = 0.078 \text{ mm} \text{ 这个有效数字不对}$$

$$U_d = \frac{U_l}{l} \bar{d} = \frac{0.060}{2.947} \times 0.078 \text{ mm} = 0.002 \text{ mm}$$

于是最终结果写成 $d = \bar{d} \pm U_d = (0.078 \pm 0.002) \text{ mm}, P = 0.95$

实验小结：

- 1、本实验实验原理比较简单, 实验操作也不复杂, 但是数牛顿环和条纹时容易数错, 考验细心和耐心;
- 2、实验中应特别注意回程差的影响, 测量时一旦开始向某个方向转动读数显微镜, 就一定要保证本次测量绝对不能向反方向转;
- 3、本实验数据处理比较繁琐, 需要特别注意;
- 4、在牛顿环实验中, 个人认为直接从读数显微镜中操作更简单方便, 而用摄像头的话, 应考虑不清晰的图象的影响。