

干涉法测微小量实验报告

专业： 班级： 学号： 姓名： 实验序号：

总分： 100

一、实验目的

- 1.观察、研究等厚干涉现象及其特点；
- 2.学习用干涉法测量平凸透镜的曲率半径和细丝直径的方法，同时加深对光的波动性的认识；
- 3.学会调节和使用读数显微镜。

二、实验仪器

牛顿环法测曲率半径实验的主要仪器有:读数显微镜, 钠光源,牛顿环
用劈尖测细丝直径实验的主要仪器有:读数显微镜, 钠光源,尖劈

三、实验原理

1、用牛顿环测平凸透镜的曲率半径

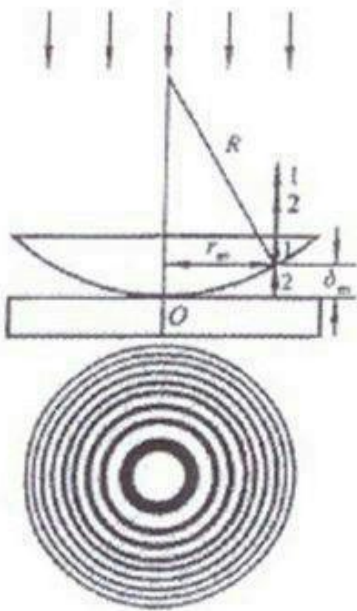


图 1. 牛顿环干涉条纹的形成

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 为中心的明暗相接的同心圆环，称为牛顿环。

如图，1、2 两束光的光程差 $\Delta = 2\delta + \frac{\lambda}{2}$ ，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

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

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

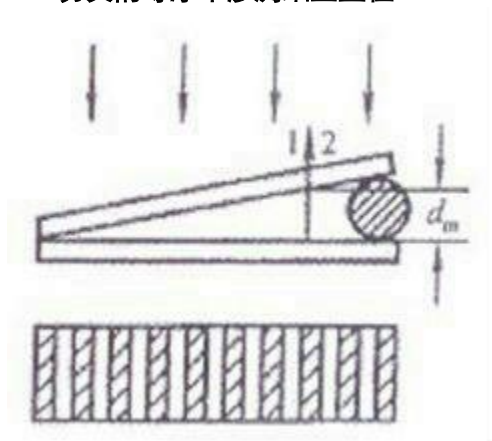


图 2. 劈尖干涉条纹的形成

两片叠在一起的玻璃片，在它们的一端口夹一直径待测的细丝，于是两片玻璃之间便形成一空气劈尖。当用单色光垂直照射时，会产生干涉现象。因为光程差相等的地方是平行两玻璃片交线的直线，所以等厚干涉条纹是一组明暗相间的、平行于交线的直线。设入射光波为 λ ，则得

到第 m 级暗纹处空气劈尖的厚度 $d = m \frac{\lambda}{2}$ 。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 $d = N \cdot \frac{\lambda}{2}$ 。

四、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 3 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。

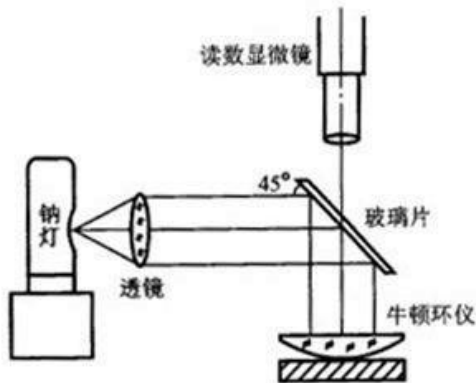


图 3.观测牛顿环实验装置图

2) 调节目镜, 看清目镜视场内的十字叉丝后, 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 环外侧相切时, 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 环外侧相切, 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 环内侧相切时的读数 $d'_5, d'_{10}, d'_{15}, d'_{20}, d'_{25}, d'_{30}$ 。

5) 重复测量两次, 实验共测得三组数据。

(3) 用逐差法处理数据

第 30 环直径 $D_{30} = |d_{30} - d'_{30}|$, 同理, 可求出 $D_{25}, D_{20}, \dots, D_5$, 式 (7) 中, 取 $n=15$, 求出

$\overline{D_{m+15}^2 - D_m^2}$, 代入式 $R = \frac{D_{m+15}^2 - D_m^2}{4n\lambda}$ 中计算 R 和 R 的不确定度。具体要求见数据处理部分。

2、测细丝直径(选做)

(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 (已知劈尖两玻璃片交线处到夹细线处的总长度 $L=0.04\text{m}$)

1) 调节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) 在劈尖面的三个不同部分, 测出 20 条暗纹的总长度 l , 测三次求其平均值及单位长度的干

涉条纹数 $n = \frac{20}{l}$ 。

3) 由公式求细丝直径 $d = N \cdot \frac{\lambda}{2} = L \cdot n \cdot \frac{\lambda}{2} = L \cdot \frac{20}{\Delta l} \cdot \frac{\lambda}{2}$ 。

3、计算涉及相关公式

1) 直接测量量的不确定公式

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i - \overline{\Delta x})^2}{n(n-1)}} \quad u_B = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{C}$$

2) 直接测量量不确定合成公式

$$u(\overline{\Delta x}) = \sqrt{(t_p u_A)^2 + (K_p u_B)^2}, \quad P=0.95, \quad K_p=1.96; \quad n=6 \text{ 时}, \quad t_p=2.57; \quad n=3 \text{ 时}, \quad t_p=4.30$$

3) 不确定传递公式

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

$$U_y = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial X_1}\right)^2 U_{X_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial X_2}\right)^2 U_{X_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial X_n}\right)^2 U_{X_n}^2}$$

$$\frac{U_y}{Y} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial X_1}\right)^2 U_{X_1}^2 + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial X_2}\right)^2 U_{X_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial X_n}\right)^2 U_{X_n}^2}$$

$$4) \text{ 曲率半径 } R = \frac{D_{m+n}^2 - D_m^2}{4n\lambda}$$

$$5) \text{ 细丝直径 } d = N \cdot \frac{\lambda}{2}$$

五、注意事项

1、测量过程中，显微镜必须始终沿一个方向移动，读数鼓轮中途不得返回转动，以免产生回程误差。

2、干涉环两侧的序数不要数错。

3、暗环直径测量数据由直尺读数+鼓轮读数两部分组成，读数可估读到 0.001mm。

六、数据处理

实验内容一：测平凸透镜曲率半径

★ (1) 计算干涉环半径及不确定度

相关公式:

干涉环直径平均值 $\bar{D} = \sum_{i=1}^3 D_i / 3,$

不确定度 $U_D = \sqrt{(t_p \frac{\sigma_D}{\sqrt{3}})^2 + (k_p \frac{\Delta_B}{C})^2}, t_p = 4.30, k_p = 1.96, \Delta_B = 0.005mm, C = 3$

其中 $\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (D_i - \bar{D})^2}{3 - 1}}$

☆ (20 分)原始测量数据如下(表格中数据单位均为 mm):

| 环数 | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| d1 (mm) | 60.112 | 59.694 | 59.231 | 58.712 | 58.080 | 57.240 |
| d1' (mm) | 50.832 | 51.250 | 51.711 | 52.273 | 52.901 | 53.792 |
| D1 (mm) | 9.280 | 8.444 | 7.510 | 6.439 | 5.179 | 3.448 |
| d2 (mm) | 60.118 | 59.702 | 59.230 | 58.710 | 58.075 | 57.241 |
| d2' (mm) | 50.830 | 51.252 | 51.730 | 52.264 | 52.911 | 53.793 |
| D2 (mm) | 9.288 | 8.450 | 7.500 | 6.446 | 5.164 | 3.448 |
| d3 (mm) | 60.120 | 59.699 | 59.230 | 58.710 | 58.082 | 57.242 |
| d3' (mm) | 50.819 | 51.253 | 51.729 | 52.268 | 52.910 | 53.792 |
| D3 (mm) | 9.301 | 8.446 | 7.501 | 6.442 | 5.172 | 3.450 |

☆ (15 分)干涉环的直径及不确定度

| 环数 | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| D 平均值 (mm) | 9.290 | 8.447 | 7.504 | 6.442 | 5.172 | 3.449 |
| U_D (mm) | 0.0265 | 0.0083 | 0.0140 | 0.0094 | 0.0189 | 0.0045 |

★ (2) 计算 $\overline{D_{m+15}^2 - D_m^2}$ 及不确定度

相关公式:

不确定度 $u_{D_{m+15}^2 - D_m^2} = \sqrt{(2D_{m+15}U_{m+15})^2 + (2D_mU_m)^2}$

$\overline{D_{m+15}^2 - D_m^2} = \sum_{m=1}^3 (D_{m+15}^2 - D_m^2) / 3,$

$u_{\overline{D_{m+15}^2 - D_m^2}} = \sqrt{(U_{D_{30}^2 - D_{15}^2})^2 + (U_{D_{25}^2 - D_{10}^2})^2 + (U_{D_{20}^2 - D_5^2})^2} / 3$

☆ (9分) 根据以上数据, 计算结果如下:

| | | | |
|------------------------------------|--------|--------|--------|
| m | 5 | 10 | 15 |
| $D_{m+15}^2 - D_m^2 (\text{mm}^2)$ | 44.414 | 44.602 | 44.805 |

☆ (5分) $\overline{D_{m+15}^2 - D_m^2} (\text{mm}^2) = 44.607 \text{ mm}^2$

☆ (7分) $u_{\overline{D_{m+15}^2 - D_m^2}} (\text{mm}^2) = 0.1917 \text{ mm}^2$

★ (3) 计算 $R = \frac{D_{m+15}^2 - D_m^2}{4n\lambda}$ 及不确定度
相关公式:

$$\text{曲率半径 } \bar{R} = \frac{\overline{D_{m+15}^2 - D_m^2}}{4n\lambda}$$

$$\text{不确定度 } U_{\bar{R}} = \frac{1}{4n\lambda} u_{\overline{D_{m+15}^2 - D_m^2}}$$

☆ (8分) 已知光波长 589.3nm, 平凸透镜曲率半径的平均值 $\bar{R} (\text{m}) = 1.2616 \text{ m}$

☆ (8分) 由不确定度的传递公式, 得平凸透镜曲率半径的不确定度 $U_{\bar{R}} (\text{m}) = 0.0035 \text{ m}$

☆ (8分) 故平凸透镜曲率半径的最终表达式为 $R (\text{单位: m}) = 1.2616 \pm 0.0035 \text{ m}$

六、误差分析 (10分)

1. 仪器精度导致产生误差;
2. 读刻度上的数据时, 可能存在读数的误差;
3. 在环较小时, 可能会出现外侧内侧无法准确定位的问题, 导致产生测量误差。

七、实验总结 (10分)

通过本次实验, 成功学会了如何调节以及使用读数显微镜, 并进行了观察、研究等厚干涉现象的实验, 了解了这些现象的一些特性。并且能够掌握了使用干涉法测量平凸透镜的曲率半径和细丝直径的方法, 加深了本人对光的波动性的认识。

八、原始数据及数据处理过程（拍照之后粘贴在下方）（无此项实验无效，不给成绩）

| | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5 | 原 |
|--------|-------------------|---------|--------|--------|---------|--------|---|
| d_1 | 60.112 | 59.899 | 59.231 | 58.712 | 58.8080 | 57.240 | 始 |
| d_1' | 50.832 | 51.250 | 51.711 | 52.273 | 52.901 | 53.792 | |
| d_2 | 60.118 | 59.7002 | 59.230 | 58.710 | 58.075 | 57.241 | 数 |
| d_2' | 50.830 | 51.252 | 51.730 | 52.264 | 52.911 | 53.793 | 据 |
| d_3 | 60.1120 | 59.699 | 59.230 | 58.710 | 58.082 | 57.242 | |
| d_3' | 50.819 | 51.253 | 51.729 | 52.268 | 52.910 | 53.792 | |
| D_1 | 9.280 | 8.444 | 7.510 | 6.479 | 5.179 | 3.448 | |
| D_2 | 9.288 | 8.450 | 7.500 | 6.446 | 5.164 | 3.448 | |
| D_3 | 9.301 | 8.446 | 7.501 | 6.442 | 5.172 | 3.450 | |

干涉环的直径及不确定度：

$$\bar{D}_{30} = \frac{\sum_{i=1}^3 D_i}{3} = \frac{9.280 + 9.288 + 9.301}{3} = 9.290 \text{ mm}$$

$$\bar{D}_{25} = \frac{8.444 + 8.450 + 8.446}{3} = 8.447 \text{ mm}$$

$$\bar{D}_{20} = \frac{7.510 + 7.500 + 7.501}{3} = 7.504 \text{ mm}$$

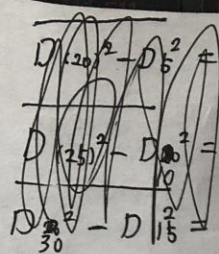
$$\bar{D}_{15} = \frac{6.479 + 6.446 + 6.442}{3} = 6.442 \text{ mm}$$

同理 $\Rightarrow \bar{D}_{10} = 5.172 \text{ mm}$
 $\bar{D}_5 = 3.449 \text{ mm}$

$$u_{D_{30}} = \sqrt{\left(1.96 \frac{\Delta D}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(k_p \frac{\Delta B}{C}\right)^2} = \sqrt{1.4430 \times \frac{(9.280 - 9.290)^2 + (9.288 - 9.290)^2 + (9.301 - 9.290)^2}{3-1}}{\sqrt{3}}$$

$$\times \left(1.96 \times \frac{0.005}{3}\right)^2 = 0.0265 \text{ mm}$$

同理得 $u_{D_{25}} = 0.0083$ $u_{D_{20}} = 0.0140$ $u_{D_{15}} = 0.0094$ $u_{D_{10}} = 0.0189$
 $u_{D_5} = 0.0045$



$$\therefore D_{20}^2 - D_5^2 = (7.504)^2 - (3.449)^2 = 44.414 \text{ mm}^2$$

$$D_{25}^2 - D_{10}^2 = (8.447)^2 - (5.172)^2 = 44.602 \text{ mm}^2$$

$$D_{30}^2 - D_{15}^2 = (9.290)^2 - (6.442)^2 = 44.805 \text{ mm}^2$$

$$\therefore \overline{D_{m+15} - D_m^2} = \frac{44.414 + 44.602 + 44.805}{3} = 44.607 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \overline{u_{D_{m+15} - D_m^2}} &= \sqrt{\frac{(u_{D_{30}^2 - D_{15}^2})^2 + (u_{D_{25}^2 - D_{10}^2})^2 + (u_{D_{20}^2 - D_5^2})^2}{3}} \\ &= \sqrt{\frac{(0.0265 - 0.0094)^2 + (0.0083 - 0.0189)^2 + (0.0470 - 0.0094)^2}{3}} \\ &= 0.0074 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$u_{D_{30}^2 - D_{15}^2} = \sqrt{(2D_{30}u_{30})^2 + (2D_{15}u_{15})^2} = 0.5071$$

$$u_{D_{25}^2 - D_{10}^2} = \sqrt{(2D_{25}u_{25})^2 + (2D_{10}u_{10})^2} = 0.2406$$

$$u_{D_{20}^2 - D_5^2} = \sqrt{(2D_{20}u_{20})^2 + (2D_5u_5)^2} = 0.1250$$

$$\begin{aligned} \overline{u_{D_{m+15} - D_m^2}} &= \sqrt{(0.5071)^2 + (0.2406)^2 + (0.1250)^2} / 3 \\ &= 0.1917 \end{aligned}$$

$$\therefore \bar{R} = \frac{44.607}{4 \times 15 \times 589.3 \times 10^{-6}} \div 1000 = 1.2616 \text{ m}$$

$$\overline{u_R} = \frac{1}{4 \times 15 \times 589.3 \times 10^{-6}} \times 0.1250 \div 1000 = 0.0035 \text{ m}$$

$$\therefore R = 1.2616 \pm 0.0035 \text{ m}$$

评分: