

《大学基础物理实验》课程实验报告

姓名：柯云超 学号：2413575

学院：计算机学院 时间：2025 年 5 月 20 日 组别：L 组 11 号

牛顿环

[实验目的]

1. 观察等厚干涉现象，并利用等厚干涉测量凸透镜表面的曲率半径。
2. 了解读数显微镜的使用方法。

[实验器材]

牛顿环装置，钠灯，读数显微镜

[实验原理]

牛顿环原理

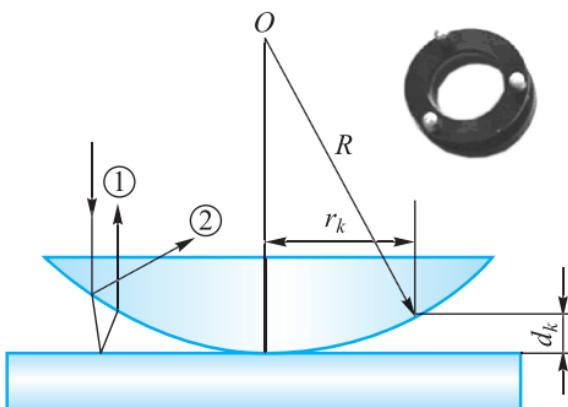


图 1：牛顿环原理

测量原理

在图 1 中， R 为待测透镜凸面的曲率半径， r_k 是第 k 级干涉环的半径， d_k 是第 k 级干涉环所对应的空气间隙的厚度。如果入射光的波长为 λ ，则第 k 级干涉环所对应的光程差为

$$\Delta_k = 2d_k + \frac{\lambda}{2}$$

其中, $\frac{\lambda}{2}$ 为光由光疏介质入射到光密介质时, 反射光的半波损失。因此, 在接触点处 ($d_0=0$) 的光程差为

$$\Delta_0 = \frac{\lambda}{2}$$

在理想情况下, 牛顿环的中心是一个几何暗点。但在实际情况中, 透镜和平板玻璃接触时, 由于有重力和压力存在, 透镜的凸面和平板玻璃均发生形变, 两者的接触不再是点接触, 而是面接触。因此, 牛顿环的零级暗条纹不是个点, 而是一个较大的暗斑。

第 k 级干涉暗环处的光程差为

$$\Delta_k = 2d_k + \frac{\lambda}{2} = (k + \frac{1}{2})\lambda$$

所对应的空气间隙的厚度为

$$d_k = k \frac{\lambda}{2}$$

由于 $R \gg d_k$, 所以有

$$r_k^2 = R^2 - (R - d_k)^2 \approx 2Rd_k$$

可知第 k 级别的干涉暗环的半径为

$$r_k = \sqrt{k\lambda R}$$

但是在实际测量中, 无法确定干涉环圆心的位置, 但是可以获得弦长

$$l_k^2 = 4(r_k^2 - s^2)$$

代入之前的公式, 得到

$$l_k^2 = 4k\lambda R - 4s^2$$

为了得到斜率求出 R , 测量不同数据利用最小二乘法计算出斜率。

[实验内容]

调节牛顿环装置

1. 点燃钠灯, 几分钟后它将发出明亮的黄光。调节半透半反镜的倾角和左右方向, 使显微镜的视场达到最亮。
2. 调节显微镜的目镜, 使自己能够清楚地看到叉丝。对显微镜进行调焦。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。
3. 找到干涉纹, 并尽量使叉丝与干涉环的中心重合。

4. 测量不同级次干涉环的弦长。测量时应测量较高级次的干涉环，这样可以避免中心部分有形变带来的测量误差。

5. 测量牛顿环细节问题

6. 转动鼓轮。先使镜筒向左移动，顺序数到 50 环，再向右转到 45 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 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边 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 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。

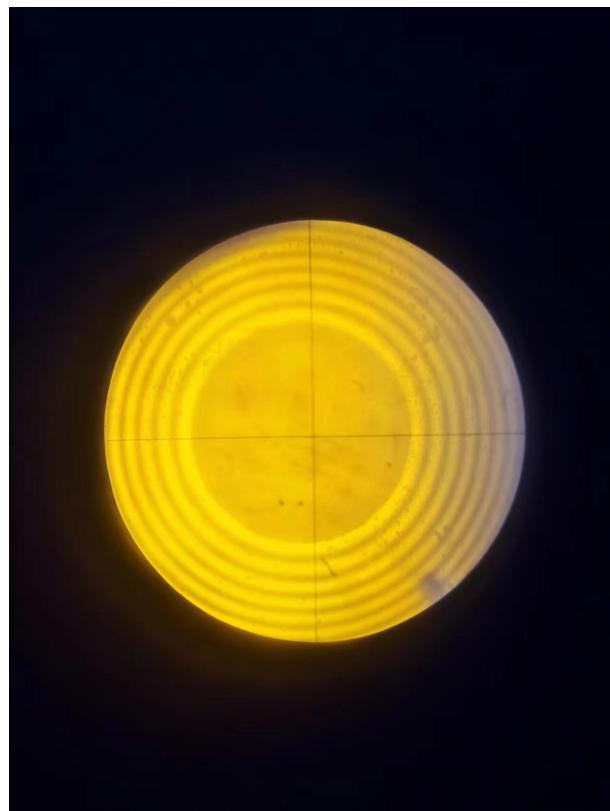


图 2: 牛顿环图片

[数据处理]

光源波长:589.3nm

原始数据

干涉级数		10	15	20	25	30	35	40	45
干涉位置	左	26.125	26.643	27.100	27.488	27.849	28.178	28.475	28.778
	右	21.002	20.472	20.028	19.555	19.198	18.868	18.539	18.215
弦长		5.123	6.171	7.072	7.933	8.651	9.310	9.936	10.563
弦长平方		26.24513	38.08124	50.01318	62.93249	74.83980	86.67610	98.72410	111.57697

表 1: 实验数据记录表 (单位:mm)

使用最小二乘法处理数据

$$l_k^2 = 4k\lambda R - 4s^2$$

目的: 求出直线斜率 $4\lambda R$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n y_i = na + b \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i = a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{cases}$$

引入平均值:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\bar{x^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2, \quad \bar{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

则有:

$$\bar{y} = a + b\bar{x}, \quad n\bar{xy} = na\bar{x} + nb\bar{x^2}$$

解方程组:

$$\begin{cases} \bar{y} = a + b\bar{x} \\ \bar{xy} = a\bar{x} + b\bar{x^2} \end{cases}$$

得:

$$b = \frac{\bar{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\bar{x^2} - \bar{x}^2}, \quad a = \bar{y} - b\bar{x}$$

相关系数:

$$r = \frac{(\bar{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y})}{\sqrt{(\bar{x^2} - \bar{x}^2)(\bar{y^2} - \bar{y}^2)}}, \quad r \in [-1, 1]$$

解得:

$$b = 2.43436, r = 0.99994$$

则:

$$R = \frac{b}{4\lambda} = \frac{2.43436}{4 \times 589.3 \times 10^{-6}} = 1032.73mm$$

[考察题]

第一题

因为不能保证叉丝移动轨迹刚好经过圆心, 故无法准确测量干涉环半径, 因此使用此式计算误差较大。只能通过弦长的公式来计算。

第二题

先往一个方向移动超过需要测量的距离更多的距离，这样子再往回移动的过程中就可以先移动一段距离然后再测量。在测量各干涉环的直径时，只可沿同一个方向旋转鼓轮，不能进进退退，以避免测微螺距间隙引起的回程误差。

第三题

1. 低级次条纹容易受到牛顿环装置接触面的灰尘、形变等影响，往往不呈比较理想的圆环形。
2. 低级次条纹比较粗不利于准确测量。
3. 测量较低级次时不能有效避免中心部分形变带来的测量误差，且读数误差较大。

第四题

显微镜视场达到最亮说明反射光与透射光重合，此时更容易找到牛顿环。

第五题

1. 测量时应先向左数 50 级次，然后从 45 级次开始测量，向右移动并计数，按级次从大到小再变大测量。测量时鼓轮必须朝一个方向转动：
2.45 到 5 级次记录暗环外圈数值，5 到 45 级次记录内圈数值，这样就能得到相对准确的弦长值。