牛 顿 环 实 验 报 告

专业___工科试验班___ 姓名___史峰源___ 学号___2412526___

分组及座号 ___H - 12___ 实验日期 ___周二上午___

牛顿环实验报告

1 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.** 了解数量显微镜的使用方法

2 仪器用具

牛顿环装置，钠灯，读数显微镜（又称测距显微镜）

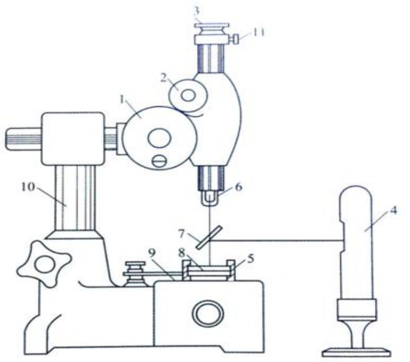
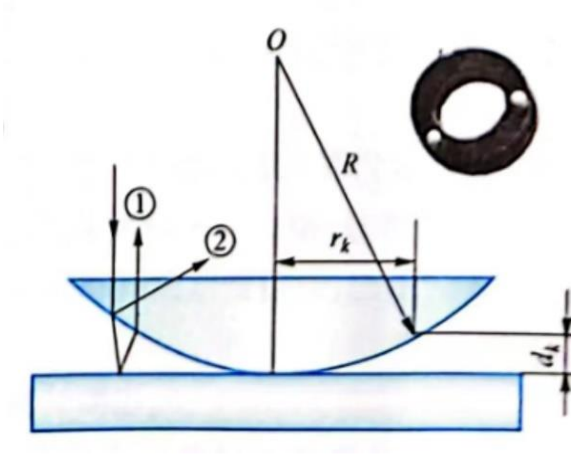


图 3-11-6 读数显微镜装置(牛顿环置于载物台上)

1.测微鼓轮 2.调焦手轮 3.目镜 4.钠光灯 5.平面玻璃 6.物镜 7.45°玻璃片 8.平凸透镜 9.载物台 10.支架 11.锁紧螺钉

3 实验原理

当曲率半径为 **R** 的平凸透镜放置在一平板玻璃上时，在透镜和平板玻璃之间形成一个厚度变化着的空气间隙，如下图所示。当光线垂直照射到其上，从空气间隙的上下表面反射的两束光线 **1,2** 将在空气间隙的上表面附近实现干涉叠加，两束光之间的光程差 Δ 随空气间隙的厚度变化而变化，空气间隙厚度相同处的两束光具有相同的光程差，所以干涉条纹是以接触点为圆心的一组明暗相间的同心圆环，称为牛顿环。中心干涉暗环的级次为 **0**，向外逐次增加，亮环的级次从 **1** 开始，向外逐次增加，离中心最近的亮环级次为 **1**。



由几何关系：

$$R^2 = (R-d)^2 + \gamma^2 \tag{1}$$

而 $R >> d$,化简得到：

$$d = \frac{\gamma^2}{2R} \tag{2}$$

光线垂直入射,考虑光线在平面玻璃上反射的半波损失,得到 Δ：

$$\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2} \tag{3}$$

第 k 级暗环处的光程差为：

$$\Delta_k = 2d_k + \frac{\lambda}{2} = (k+\frac{1}{2})\lambda \tag{4}$$

$$r_k = \sqrt{k\lambda R} \tag{5}$$

但是用此测量关系式往往误差很大,原因在于凸面和平面不可能是理想的点接触;接触压力会引起局部形变,使接触处成为一个圆形平面,干涉环中心为一暗斑。或者空气间隙层中有了尘埃,附加了光程差,干涉环中心为一亮(或暗)斑,均无法确定环的几何中心。实际测量时,我们可以通过测量距中心较远的两个暗环的半径 r_m 和 r_n 的平方差来计算曲率半径 R。

$$l_k^2 = 4(y_k^2 - s^2) \tag{6}$$

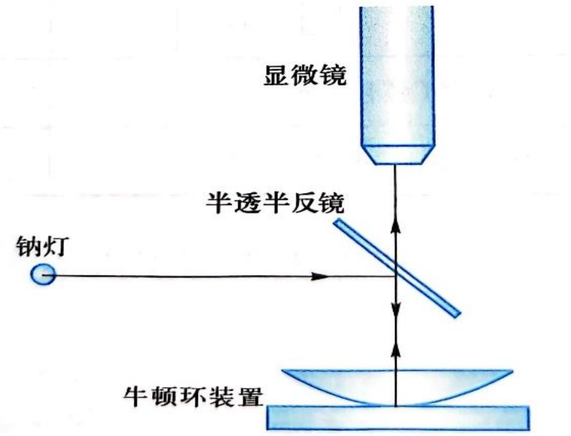
$$l_k^2 = 4k\lambda R - 4s^2 \tag{7}$$

$$\tag{8}$$

弦长的平方与干涉环的级次间是一个线性关系。在测量中,可以测量一组不同级次干涉环在某一直线上的弦长,利用最小二乘法或作图法求得该直线的斜率 $4\lambda R$,再利用已知的波长得到凸透镜的曲率半径。

4 实验步骤

- 按下图摆放仪器



- 按红色开关按钮点燃钠灯，几分钟后它将发出黄光。调节半透半反镜的倾角和左右方向，大概与钠灯光线夹角 45 度，使显微镜的观察视野达到最亮。
- 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。
- 找到干涉纹，并尽量使叉丝与干涉环的中心重合。
- 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。
- 转动鼓轮。测量过程中，为了不引起测距显微镜的回空差，应采用单向测量法。即在一次测量过程中，测微鼓轮应沿一个方向旋转，中途不得反转，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：我们要观测暗环而不是明环，因为周围的环境光是亮的，暗环更容易观察，误差较小。

5 数据处理

6 数据处理

表 1: 数据记录

级次 k	10	15	20	25	30	35	40	45
左边位置 (mm)	28.602	29.133	29.572	29.962	30.410	30.632	30.954	31.256
右边位置 (mm)	23.170	22.661	22.042	21.840	21.489	21.180	20.854	20.582
弧长 l_k (mm)	5.432	6.472	7.350	8.122	8.921	9.452	10.100	10.674
弧长平方 (mm^2)	29.50662	41.88678	54.02250	65.96688	79.58424	89.34030	102.01000	113.93428

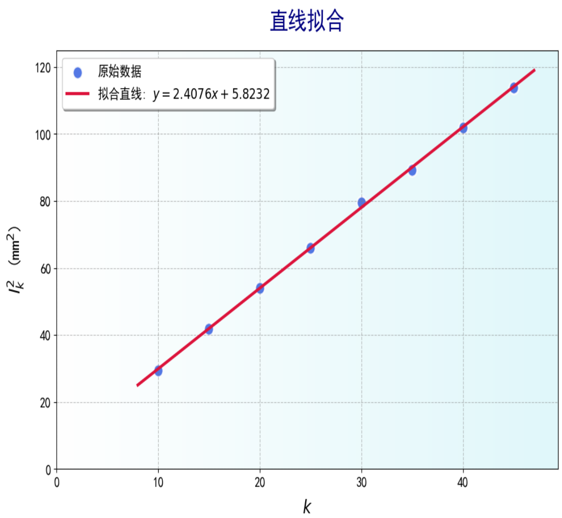
表 2: 最小二乘法

i	k	l_k^2 (mm^2)	$l_k^2-\overline{l_k^2}$ (mm^2)	$k-\bar{k}$	$(k-\bar{k})^2$	$(k-\bar{k})(l_k^2-\overline{l_k^2})$ (mm^2)
1	**10**	**29.50662**	**-42.52483**	**-17.5**	**306.25**	**744.184525**
2	**15**	**41.88678**	**-30.14467**	**-12.5**	**156.25**	**376.808375**
3	**20**	**54.02250**	**-18.00895**	**-7.5**	**56.25**	**135.067125**
4	**25**	**65.96688**	**-6.06457**	**-2.5**	**6.25**	**15.161425**
5	**30**	**79.58424**	**7.55279**	**2.5**	**6.25**	**18.881975**
6	**35**	**89.34030**	**17.30885**	**7.5**	**56.25**	**129.816375**
7	**40**	**102.01000**	**29.97855**	**12.5**	**156.25**	**374.844375**
8	**45**	**113.93428**	**41.90283**	**17.5**	**306.25**	**733.299525**
Σ	**220**	**576.2516**			**1050.00**	**2528.0637**
平均	$\bar{k}=27.5$	$\overline{l_k^2}=72.003145$	$a=\overline{l_k^2}-b\bar{k}=5.79222$	$b=\dfrac{\sum(k-\bar{k})(l_k^2-\overline{l_k^2})}{\sum(k-\bar{k})^2}\approx 2.40767$		

计算得到:

$$b=\frac{\sum(k-\bar{k})(l_k^2-\overline{l_k^2})}{\sum(k-\bar{k})^2}\approx 2.40767 \tag{9}$$

$$R=\frac{b}{4\lambda}=\frac{2.40767}{4\times 589.3}\approx 1021.41099mm \tag{10}$$



相关系数的计算:

残差的平方和 S:

$$S=\sum_{i=1}^{n}(y_i-a-bx_i)^2 \tag{11}$$

为满足残差最小,求偏导需要满足:

$$\frac{\partial s}{\partial a}=0 \tag{12}$$

$$\frac{\partial s}{\partial b}=0 \tag{13}$$

$$\tag{14}$$

计算得到：

$$\sum_{i=1}^{n} y_i = na + b\sum_{i=1}^{n} x_i \tag{15}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i y_i = a\sum_{i=1}^{n} x_i + b\sum_{i=1}^{n} x_i^2 \tag{16}$$

为简化计算，令：

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i^2 \tag{17}$$

$$\overline{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i \tag{18}$$

$$\overline{x^2} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i^2 \tag{19}$$

$$\overline{xy} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i y_i \tag{20}$$

$$\tag{21}$$

相关系数 r 为：

$$r = \frac{\Sigma(k-\overline{k})(l_k^2-\overline{l_k^2})}{\sqrt{\Sigma(k-\overline{k})^2}\sqrt{\Sigma(l_k^2-\overline{l_k^2})^2}} \tag{22}$$

经计算得到；**r=0.999742**，证明拟合效果较好

7 实验分析谈论及思考题

1. 答：实际测量中无法准确确定干涉环的圆心，因此无法准确测量干涉环半径，使用此式计算误差较大，为减小误差，不能使用此式。

2. 答：必须要单向旋转：在测量各个干涉环直径的过程中，应尽可能保持鼓轮的单向旋转，不要反转鼓轮方向，避免引起测微螺距间隙引起的回程误差，导致读数的不准确。

3. 答：首先，低级次的干涉环往往比较靠近中心，这里的环形条纹间距很窄，测量时容易产生误差。而且低级次的干涉环可能受到实验装置中其他因素的影响，如光源的不均匀性、透镜表面的微小瑕疵等。这些因素可能导致干涉环的形状或亮度发生变化，进一步增加了测量误差。另外，从理论计算的角度来看，高级次的干涉环对于曲率半径的敏感度更高。这意味着高级次的干涉环的半径变化与被测透镜的曲率半径之间具有更明显的对应关系。因此，通过测量高级次的干涉环，我们可以更准确地推算出被测透镜的曲率半径。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。

4. 答：首先，好的视场亮度有助于取得好的实验观察效果。当视场达到最亮时，显微镜下的牛顿环干涉图样会更加清晰，有助于我们更准确地观察现象与计算相关数据。其次，最亮的视场意味着光源发出的光线在经过半透半反镜和显微镜后，损失的光量最少。这保证了更加明显的干涉图样。如果视场不够亮，光线损失过多，干涉图样的对比度会降低，导致观察困难或测量结果不准确。此外，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。

5. 首先我们要熟悉相关操作，需要做到较快地调节视场亮度，这样可以较快地观察到实验现象，掌握螺旋测微器的读数方法，有助于更快地测量记录数据。其次在实验过程中一定要细心仔细，将叉丝位置移至左侧 **50** 级干涉暗环处，**50** 级时要从 **0** 开始数，细心一点争取一遍数对。

本次实验让我体会到细致观察和精确操作的重要性。每一个环节的认真对待，都会对最终结果产生影响。通过亲手操作和数据分析，我不仅掌握了实验技能，更培养了严谨的科学态度和独立思考的能力。

8 分析总结

在实验过程中，首先要调节出好的实验现象，清晰明亮的条纹不仅可以更好地观察实验现象，更有助于后续记录数据，可以帮助我们又快又准地记录相关数据，否则就会遇到较大的困难。在记录数据时，一定要做到细心认真，不要太过慌乱，沉住心来记录数据。在处理数据时，计算也应认真并核对数据，避免出现错误。

通过本次实验，我深入理解了光的干涉现象，掌握了利用干涉条纹测量物理量的方法，提升了使用精密仪器的能力。实验中发现，精确的操作和细致的数据处理对结果的准确性至关重要