

## 实验目的

- 1) 观察等厚干涉现象, 加深对光的波动性的认识
- 2) 熟悉读数显微镜的调节和使用
- 3) 掌握用牛顿环测球面曲率半径的原理和方法

## 实验原理

### 1. 牛顿环与等厚干涉

两束反射光相遇后发生干涉, 在平凸透镜表面形成一系列以接触点为中心的明暗相间、内疏外密的同心圆环, 此圆环为牛顿环。若两束反射光在相遇时的光程差, 仅取决于产生反射光时的薄膜厚度, 在形成的干涉条纹中, 同一级干涉条纹对应的薄膜厚度相等, 即为等厚干涉。

### 2. 测量平凸透镜的曲率半径

$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & k=1, 2, 3 \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & k=0, 1, 2, 3 \end{cases}$$

$$r^2 = kR\lambda$$

### 3. 主要误差来源及相应处理办法

1) 中心定位误差 —— 改测半径为直径

$$D^2 = 4kR\lambda$$

2) 中心定级误差 —— 改测一环为两环

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

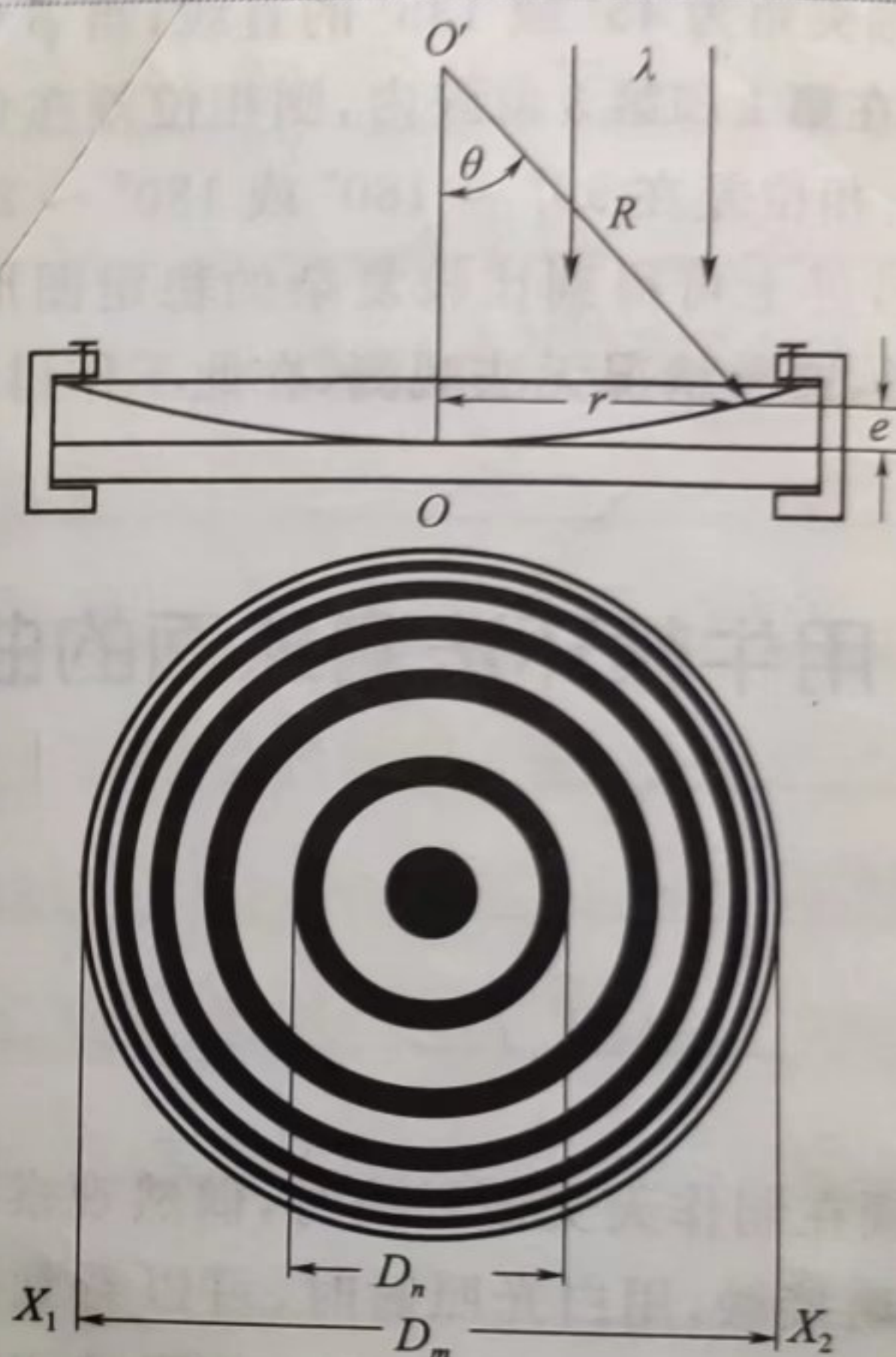


图 2.6.1 牛顿环等厚干涉示意图

4.12



## 实验仪器

No. 210903

JCD<sub>3</sub> 读数显微镜

NTK 牛顿环

钠光灯 ( $\lambda = 589.3 \text{ nm}$ )

## 实验步骤与数据记录

### 1. 调整测量装置

- (1) 点燃钠光灯预热 2~5 分钟
- (2) 调节牛顿环装置, 轻轻旋转牛顿环装置的三颗螺钉, 使干涉条纹的中心在牛顿环装置的中央
- (3) 调整读数显微镜:
  - ① 转动测微手轮使显微镜筒平移至标尺中部, 以保证待测环都能在显微镜的可调节视场范围内。
  - ② 调节视场明亮度, 将牛顿环放置在读数显微镜工作台上玻璃中央, 并使显微镜筒正对牛顿环装置中心, 调节钠光灯和半反射镜的位置使钠黄光能充满整个视场。
  - ③ 调节目镜焦距, 转动目镜, 使分划板上的十字叉丝清晰可见, 旋松锁紧螺钉, 使分划板上的横线与显微镜移动方向平行后再锁紧。
  - ④ 调节物镜焦距, 缓缓转动调焦手轮, 使物镜接近牛顿环装置的表面, 缓慢将显微镜自下而上移动, 直至从目镜视场中能够清楚地看到牛顿环干涉条纹且无视差为止。
  - ⑤ 调节牛顿环位置, 使牛顿环中心与分划板中的十字叉丝大致重合。

### 2. 测量牛顿环的直径

测量第一暗环与第十一暗环的直径 ( $m=11, n=1$ ) 各 6 次。

$x_n$	34.512	34.469	34.391	34.411	34.400	34.406
$x'_n$	31.513	31.376	31.319	31.385	31.319	31.379
$D_n =  x_n - x'_n $	2.999	3.093	3.072	3.086	3.081	3.027
$\bar{D}_n$	3.059					
$x_m$	35.729	35.641	35.676	35.662	35.667	35.709
$x'_m$	30.120	30.226	30.069	30.069	30.079	30.219
$D_m =  x_m - x'_m $	5.609	5.615	5.607	5.593	5.588	5.690
$\bar{D}_m$	5.634					

3. 处理数据并写出测量结果  $R = \bar{R} \pm \Delta R = (919.6 \pm 22.64) \text{ mm}$ .

4. 整理实验器材并放回原位。



# 实验数据处理

## 测量中轴环的直径

单位: mm

$X$	34.512	34.469	34.391	34.411	34.400	34.406
$X_n'$	31.513	31.376	31.319	31.325	31.319	31.379
$D_n =  X_n - X_n' $	2.999	3.093	3.072	3.086	3.081	3.027
$\bar{D}_n$	3.059					
$X_m$	35.729	35.641	35.676	35.662	35.667	35.709
$X_m'$	30.120	30.126	30.069	30.069	30.079	30.219
$D_m =  X_m - X_m' $	5.609	5.515	5.607	5.593	5.588	5.490
$\bar{D}_m$	5.634					

$$\bar{D}_n = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 D_n = \frac{1}{6} (2.999 + 3.093 + 3.072 + 3.086 + 3.081 + 3.027) = 3.059 \text{ mm}$$

$$\bar{D}_m = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 D_m = \frac{1}{6} (5.609 + 5.515 + 5.607 + 5.593 + 5.588 + 5.490) = 5.634 \text{ mm}$$

由查表可得 当测量次数  $n=6$  时.  $t_p = 2.57$ .  $\lambda = 589.3 \text{ nm} = 0.5893 \times 10^{-3} \text{ mm}$

$$\Delta A_n = t_p \sigma_x = t_p \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

$$= 2.57 \times \sqrt{\frac{(2.999 - 3.059)^2 + (3.093 - 3.059)^2 + (3.072 - 3.059)^2 + (3.086 - 3.059)^2 + (3.081 - 3.059)^2 + (3.027 - 3.059)^2}{6(6-1)}}$$

$$= 0.03971 \text{ mm}$$

$$\Delta A_m = t_p \sigma_x = t_p \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

$$= 2.57 \times \sqrt{\frac{(5.609 - 5.634)^2 + (5.515 - 5.634)^2 + (5.607 - 5.634)^2 + (5.593 - 5.634)^2 + (5.588 - 5.634)^2 + (5.490 - 5.634)^2}{6(6-1)}}$$

$$= 0.03667 \text{ mm}$$

$$\Delta B = \Delta \text{ins} = 0.02 \text{ mm}$$

$$\Delta B_m = \Delta B_n = 0.02 \text{ mm}$$

$$\Delta n = \sqrt{\Delta A_n^2 + \Delta B_n^2} = 0.0445 \text{ mm}$$

$$\Delta m = \sqrt{\Delta A_m^2 + \Delta B_m^2} = 0.0418 \text{ mm}$$

$$\bar{R} = \frac{D_m - D_n}{4(m-n)\lambda} = \frac{(5.634 - 3.059)}{4(11-1) \times 0.5893 \times 10^{-3}} = 919.6 \text{ nm}$$

$$\Delta R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial D_n}\right)^2 \Delta n^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial D_m}\right)^2 \Delta m^2} = \sqrt{\left(-\frac{D_n}{20\lambda}\right)^2 \Delta n^2 + \left(-\frac{D_m}{20\lambda}\right)^2 \Delta m^2}$$

$$= \sqrt{\left(-\frac{3.059}{20 \times 0.5893 \times 10^{-3}}\right)^2 \cdot (0.0445)^2 + \left(-\frac{5.634}{20 \times 0.5893 \times 10^{-3}}\right)^2 \cdot (0.0418)^2}$$

$$\therefore R = \bar{R} \pm \Delta R = (919.6 \pm 22.64) \text{ nm} = 22.64 \text{ mm}$$



## 实验结论

- 1) 牛顿环是两束反射光相遇后发生干涉, 在平凸透镜表面形成一系列以接触点为中心的明暗相间、内疏外密的同心圆环。
- 2) 有平行单色光垂直入射时, 会出现明暗条纹。
- 3) 实验中的光程差仅取决于产生反射光的薄膜厚度。
- 4) 实验得到  $R = \bar{R} \pm \Delta R = (919.6 \pm 22.64) \text{ mm}$ 。

## 实验讨论

### 注意事项:

- 1) 松开各锁轮的同时, 需用手托住活动部分, 以防发生事故。
- 2) 调节物镜时, 先将镜筒接近并不接触牛顿环。
- 3) 转动测微手轮时, 应朝同一方向运动, 以免产生回程差, 影响测量精度。
- 4) 牛顿环装置的三颗螺钉拧得太紧会变形, 如果太松, 轻微的震动将会使条纹移动。
- 5) 十字叉丝竖线定位于各环内、外切位置。
- 6) 尽量避免或减小回程差。

### 系统误差及处理方法:

由于平板玻璃和平凸透镜的接触点受力存在弹性形变以及接触点可能存在尘埃或缺陷, 因此接触点不再是一个几何点, 导致牛顿环中心的干涉条纹不是零级暗点, 而是一个或明或暗的圆斑, 暗斑中可能包含若干个圆环状条纹。① 牛顿环中心难以对准使得对半径的测量不准确。② 干涉条纹的级数  $k$  不能确定。

### 解决方法:

对①: 可在实际操作中将测量暗条纹的半径  $r$  改为测量其直径  $D$ , 从而减小圆斑中心位置判定所造成的误差, 由  $r^2 = kR\lambda$  变形为  $D^2 = 4kR\lambda$ 。

对②: 可用求两个暗条纹直径的平方差的方式来处理, 对第  $m$  级和  $n$  级暗条纹, 分别有  $D_m^2 = 4mR\lambda$   $D_n^2 = 4nR\lambda$  两式做差并整理可得:

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

在已知入射光波长的情况下, 要计算出平凸透镜曲率半径, 只需测量出两个暗环的直径并知道二者之间的级数差即可。



## 思考题

1) 读数显微镜的调焦分为哪两步? 调整的要求是什么?

① 先将镜筒接近工作表面, 然后逐渐上升, 直至看到清晰图像为止。

② 转动测微手轮时, 应朝同一方向运动, 以免丝杆的螺距产生空间误差影响测量结果。

要求: 松开各锁轮的同时, 应用手托住活动部分, 以防止发生故障。

2) 用白光照射时能否看到牛顿环? 此时的条纹有什么特征?

用白光照射时, 可以看到圆心点为一暗点, 其周围为一些明暗相间的彩色圆环(紫色在内, 红色在外)。特征是这些圆环的距离不等, 随离中心点的距离的增加而逐渐变窄, 是彩色的条纹, 但条纹数有限。

3) 什么叫回程差? 实验中应如何避免回程差?

① 回程差是由于测微螺杆的螺纹间距, 传动时存在间隙, 从而造成主动装置运动了, 而被动装置并没有产生运动, 在实验中体现为读数发生了改变, 而实际上装置并没有移动。② 避免的方法就是不倒转测微螺杆。



# 原始记录

$x_n$	46.385	46.365	46.225	46.225	46.214	46.255
$x'_n$	43.675	43.614	43.540	43.542	43.535	43.545
$D_n =  x_n - x'_n $	2.770	2.751	2.685	2.683	2.679	2.710
$\bar{D}_n$	2.713					
$x_m$	47.675	47.665	47.535	47.535	47.545	47.554
$x'_m$	42.345	42.262	42.253	42.251	42.262	42.226
$D_m =  x_m - x'_m $	5.330	5.403	5.282	5.284	5.283	5.331
$\bar{D}_m$	5.319					

$x_n$	34.512	34.469	34.391	34.411	34.400	34.406
$x'_n$	31.513	31.376	31.399	31.325	31.319	31.379
$D_n =  x_n - x'_n $	2.999	3.093	3.072	3.086	3.081	3.027
$\bar{D}_n$	3.059					
$x_m$	35.729	35.641	35.676	35.662	35.667	35.709
$x'_m$	30.120	30.126	30.069	30.069	30.079	30.219
$D_m =  x_m - x'_m $	5.609	5.515	5.607	5.593	5.588	5.490
$\bar{D}_m$	5.634					

7 4.12