

## 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) 牛顿环与等干涉

在平板玻璃上方放置一曲率半径较大的平凸透镜, 让凸面与平板玻璃接触。这样在平板玻璃与平凸透镜之间就形成一层空气薄膜, 薄膜的厚度以接触点为中心, 沿着远离接触点的方向, 呈同心圆对称地逐渐增加。当有平行光垂直入射到平凸透镜上时, 入射光将在此薄膜的上下两个表面先后发生反射, 从而产生两束有一定光程差的相干光。这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同, 内疏外密的同心圆环, 此圆环为牛顿环。

形如这种利用透明薄膜上下表面依次反射, 入射光, 并将入射光分解为两部分的分振幅方法, 是获得相干光的一种重要途径。若这两束光在相遇时的光程差, 仅取决于产生反射光的薄膜厚度, 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

由空气的薄膜干涉理论可知当有平行单色光垂直入射时, 出现明暗条纹的干涉条件是  
明条纹  $\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$ ,  $k=1, 2, 3, \dots$  暗条纹  $\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$   $k=0, 1, 2, \dots$

式中  $\delta$  为两束相干光的光程差,  $e$  为空气薄膜的厚度,  $\lambda$  为入射光的波长,  $k$  为干涉条纹的级数。由牛顿环装置截面的几何关系可知:  $r^2 = R^2 - (R-e)^2 = 2Re - e^2$ , 忽略暗条纹:  $r^2 = kR\lambda$

## (3) 系统误差及处理方法

测量过程中会出现两个问题: ① 牛顿环中央圆斑的中心难以对准使半径测量不准确  
② 干涉条纹的级数  $k$  不能确定。

减小误差的方法: 对于①可测量其直径  $D$  从而减小误差, 即  $D^2 = 4kR\lambda$

对于②可用两个暗条纹直径的平方差来处理。

$$D_m^2 = 4mR\lambda \quad D_n^2 = 4nR\lambda \quad \text{做差整理得} \quad R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda}$$





## 实验仪器

牛顿环 ( $R_0 = 855.1 \text{ mm}$ ) 数码读数显微镜 ( $\Delta x = 0.02 \text{ mm}$ ) 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 min。

(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的中央。

(3) 调整数码读数显微镜:

① 转动测微手轮, 使显微镜准线平移至标尺中部 25 mm 处, 以保证后续测量过程中, 显微镜筒左右移动时, 有足够的行程。

② 调节物镜、数码目镜视场明亮度, 将已粗调的牛顿环放置在读数显微镜工作台上玻璃中央, 并使物镜筒正对牛顿环装置中心, 调节钠光灯和反射镜的位置, 使钠黄光能充满整个数码目镜视场, 可在显示屏上看到黄色的画面。

③ 调节牛顿环位置, 使牛顿环干涉图样中心与显示屏中十字叉丝大致重合。

④ 调节物镜焦距, 缓缓转动调焦手轮, 首先使物镜接近牛顿环装置的表面, 然后缓慢地将物镜筒自下而上移动, 直到从数码目镜视场中能清晰看到牛顿环干涉条纹且无视差为止。

### 2. 测量牛顿环的直径: ( $n=1, m=11$ )

$x_n$	25.013	25.011	25.036	25.023	25.081	25.050
$x'_n$	23.126	23.147	23.144	23.058	23.203	23.156
$D_n =  x_n - x'_n $	1.887	1.864	1.895	1.965	1.878	1.894
$\bar{D}_n$	1.897					
$x_m$	22.643	22.612	22.573	22.487	22.349	22.519
$x'_m$	27.572	27.518	27.469	27.631	27.482	27.520
$D_m =  x_m - x'_m $	4.929	4.906	4.896	5.144	5.133	5.001
$\bar{D}_m$	5.002					



Quark 夸克  
高清扫描 还原文档



# 实验数据处理

$$(1) R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda} \Rightarrow \bar{R} = \frac{\bar{D}_m^2 - \bar{D}_n^2}{4(m-n)\lambda} = \frac{5.002^2 - 1.897^2}{4 \times 10 \times 589.3 \times 10^{-6}} \approx 908.764 \text{ (mm)}$$

(2) 求 A 类和 B 类不确定度。

$n=6$  查表得  $t_p=2.57$

$$\sigma_{\bar{D}_n} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (D_{ni} - \bar{D}_n)^2}{6 \times (6-1)}} = 0.0143 \text{ (mm)} \quad \Delta A_n = t_p \sigma_{\bar{D}_n} = 0.0369 \text{ (mm)}$$

$$\Delta B = 0.02 \text{ (mm)}$$

$$\Delta A = \sqrt{\Delta A_n^2 + \Delta B^2} = 0.0419 \text{ (mm)}$$

$$\sigma_{\bar{D}_m} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (D_{mi} - \bar{D}_m)^2}{6 \times (6-1)}} = 0.0468 \text{ (mm)} \quad \Delta B_m = t_p \sigma_{\bar{D}_m} = 0.1145 \text{ (mm)}$$

$$\Delta B = 0.02 \text{ (mm)}$$

$$\Delta m = 0.0477 \text{ (mm)}$$

(3) 求总不确定度。

$$\text{由 } R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4\lambda} \text{ 得 } \frac{\partial R}{\partial D_m} = \frac{D_m}{2\lambda} \quad \frac{\partial R}{\partial D_n} = -\frac{D_n}{2\lambda}$$

$$\text{故 } \Delta R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial D_m}\right)^2 \Delta m^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial D_n}\right)^2 \Delta n^2} = \sqrt{\left(\frac{5.002 \times 0.0477}{20 \times 589.3 \times 10^{-6}}\right)^2 + \left(\frac{1.897 \times 0.0419}{20 \times 589.3 \times 10^{-6}}\right)^2}$$

$$\approx 18.176 \text{ (mm)}$$

最终测量结果为  $R = \bar{R} \pm \Delta R$

$$= (908.764 \pm 18.176) \text{ mm}$$





## 实验结论

- (1) 观察等厚干涉现象, 加深对光的波动性的认识, 了解到由于光的波动性形成了牛顿环。
- (2) 学习并掌握了用牛顿环测球面曲率半径的原理和方法。
- (3) 学习了读数显微镜的使用。
- (4) 成功计算了球面曲率, 通过数据处理得到了测量结果。

## 实验讨论

### (1) 误差产生的原因

① 读数显微镜“十字叉丝竖线与显微镜筒移动方向垂直”调节问题, 没有量化判断的依据, 仅凭个人通过视觉来调节。

② ~~牛顿~~牛顿环装置调节得太紧, 凸透镜会发生形变。

### (2) 减少误差的方法

① 调节牛顿环装置上的三颗螺丝: 螺丝不能拧得过紧(过松)并调节到中心干涉斑为最小且又不至于松动, 从而使透镜形变减至最小。

② 不直接使用暗条纹公式计算球面半径。

③ 避免回程差, 在转动测纹手轮改变方向前, 应多转动几圈, 再改变方向。

### (3) 牛顿环的应用

- ① 测量透镜表面曲率半径。
- ② 测量液体折射率。
- ③ 判断透镜表面凹凸。
- ④ 检验光学元件表面质量。

### (4) 实验注意事项

① 未松开各锁轮的同时, 需用手托住活动部分, 以防发生事故。

② 未调节物镜时, 先将镜筒接近但不接触牛顿环。

③ 牛顿环装置的三颗螺丝钉, 太紧会变形; 如太松, 轻微的震动将会使条纹移动。





## 思考题

11) 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, 应朝同一方向运动, 以免产生空回误差, 影响测量结果。

要求: 松开各锁紧的同时, 应用手托住活动部分, 以防发生故障。

2

12) 在实验中假如平玻璃上有微小的凸起, 则微小凸起处薄膜厚度减小, 导致等厚干涉条纹发生畸变, 试问这时的牛顿环(暗环)将局部内凹还是局部外凸? 为什么?

将局部外凸, 因为由于有微小凸起存在, 使空气厚度变小, 为使条纹的干涉级次相同, 因此条纹外凸。

13) 用自然光照射时能否看到牛顿环? 此时条纹有什么特征?

能看到干涉条纹。

特征: 彩色的条纹, 但条纹数有限。

14) 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线间距, 转动时存在空隙, 从而造成主动装置运动而被动装置没有产生运动, 即在实验中读数发生变化而实际上没有移动。

② 方法: 避免倒转测微螺杆或改变方向后多转几圈。



Quark 夸克  
高清扫描 还原文档



# 原始记录

~~10~~

$x_n$	25.013	25.011	25.036	25.023	25.081	25.050
$x'_n$	23.126	23.147	23.144	23.058	23.203	23.156
$D_n =  x_n - x'_n $	1.887	1.864	1.895	1.965	1.878	1.894
$\bar{D}_n$	1.897					
$x_m$	22.643	22.612	22.573	22.487	22.510 <sup>349</sup>	22.519
$x'_m$	27.572	27.518	27.469	27.631	27.482	27.520
$D_m =  x_m - x'_m $	4.929	4.906	4.896	5.144	5.133	5.001
$\bar{D}_m$	5.002					

2024.04.26



Quark 夸克  
高清扫描 还原文档