



# 物理实验报告

实验名称 用牛顿环法测球面曲率半径

专 业 电子信息类

姓 名 罗灵子

学 号 12111020104

指导教师 李欢欢

实验时间 4 月 13 日 第三 大节

理学院 物理实验中心



## 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.

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会形成一层空气薄膜, 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, 入射光在此薄膜的上下两表面先后发生反射, 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, 在凸透镜表面形成一系列以接触点为中心的明暗相间的、内疏外密的同心圆环. 此圆环图案称为牛顿环.

形如这种利用透明薄膜上下表面依次反射入射光, 并将入射光分为两部分一分振幅小方法, 是获得相干光的一种重要途径. 若这两束反射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为明条纹:

$$\delta = 2e + \lambda/2 = k\lambda, \quad k=1, 2, 3, \dots$$

暗条纹:  $\delta = 2e + \lambda/2 = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, \quad k=0, 1, 2, \dots$

式中, 又由牛顿环装置截面的几何关系可知  $r^2 = R^2 - (R-e)^2 \approx 2Re - e^2$ .

选择暗条纹:  $r^2 = kR\lambda$

### 3. 系统误差及处理方法

测量过程会出现如下两个问题: 1. 牛顿环中央圆斑的中心难以对准, 使得对半径的测量不准确; 2. 干涉条纹的级数  $k$  不能确定.

1. 可在实际操作中测暗条纹的半径  $r$  作为测量其直径  $D$ , 从而减小圆斑中心对准的误差.

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

2. 可用求两个暗条纹直径的平方差的方式来处理. 对第  $m, n$  级暗条纹, 分别有

$$D_m^2 = 4mR\lambda \quad D_n^2 = 4nR\lambda$$

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

4.13



## 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  $2 \sim 5 \text{ min}$ .

(2) 调节牛顿环装置 轻轻旋转牛顿环装置的三款螺钉, 使干涉条纹的中心在牛顿环装置的中央

(3) 调整数码读数显微镜:

① 转动测微手轮, 使显微镜筒对准标尺中部  $25 \text{ mm}$  处, 以保证后续测量过程中, 显微镜筒左右移动时, 有足够行程。

② 调节数码目镜视场明亮度, 将已粗调之牛顿环装置在读数显微镜工作后玻璃中央, 并使物镜筒对准牛顿环装置中心, 调节钠光灯和半反射镜位置, 使钠黄光能充满数码目镜视场, 可在显示屏上看到黄色画面。

③ 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表面, 然后缓慢地将物镜筒自下向上移动, 直到从数码目镜视场中能较清楚地看到牛顿环干涉条纹且无畸变为止。

④ 调节牛顿环装置位置, 使牛顿环干涉图样中心与显示屏中十字交叉线大致重合。

### 2. 测量牛顿环直径 (一边外切, 一边内切)

$x_n$	25.013	25.011	25.036	25.023	25.081	25.050
$x'_n$	25.126	23.147	23.141	23.058	23.203	23.156
$D_n =  x_n - x'_n $	1.887	1.864	1.895	1.965	1.881	1.894
$\bar{D}_n$	1.898					
$x_m$	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
$\bar{D}_m$	5.005					



## 实验数据处理

$$R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda} \quad D_m = (5.0015 \pm 0.02) \text{ mm} \quad D_n = (1.898 \pm 0.02) \text{ mm}$$

由公式可得:  $\bar{R} = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda} = \frac{5.0015^2 - 1.898^2}{4 \times (11-1) \times 589.3 \times 10^{-6}} \approx 908.4 \text{ mm}$

由  $n=6$ ,  $t_p = 2.57$

因为  $\Delta A_n = t_p \cdot \sigma_{\bar{D}_n}$   $\sigma_{\bar{D}_n} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (D_n - \bar{D}_n)^2}{6 \times (6-1)}} = 0.0365 \text{ mm}$

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

$$\Delta n = \sqrt{\Delta A_n^2 + \Delta B_n^2} = 0.0416 \text{ mm}$$

$$\Delta A_m = t_p \cdot \sigma_{\bar{D}_m} \quad \sigma_{\bar{D}_m} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (D_m - \bar{D}_m)^2}{6 \times (6-1)}} = 0.217 \text{ mm}$$

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

$$\Delta m = \sqrt{\Delta A_m^2 + \Delta B_m^2} = 0.218 \text{ mm}$$

$$\text{总不确定度 } \Delta R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial D_m}\right)^2 \Delta m^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial D_n}\right)^2 \Delta n^2}$$

$$\frac{\partial R}{\partial D_m} = \frac{D_m}{2(m-n)\lambda}$$

$$\frac{\partial R}{\partial D_n} = -\frac{D_n}{2(m-n)\lambda}$$

$$\Delta R = \sqrt{\left(\frac{5.0015 \times 0.218}{2 \times 10 \times 589.3 \times 10^{-6}}\right)^2 + \left(\frac{1.898 \times 0.0416}{2 \times 10 \times 589.3 \times 10^{-6}}\right)^2} \approx 18.17 \text{ mm}$$

最终测量结果为  $R = \bar{R} \pm \Delta R = (908.4 \pm 18.17) \text{ mm}$



## 实验结论

1. 由光的波动性可知牛顿环的形成也是干涉现象
2. 学习了读数显微镜的使用。
3. 成功计算球面曲率。通过数据处理得到满意结果。

## 实验讨论

1. 测微手轮每次转动幅度较大，十字叉丝无法准确与条纹相切，所以实验数据不是完全准确。

2. <sup>能</sup>不用直接暗纹公式计算球面曲率。在实际情况下，由于玻璃的弹性形变及接触处不干净等因素，透镜和玻璃板之间不可能是一个理想的点接触。

3. 虽然  $n=1$ ， $m=11$ ，但为了尽量避免回程差对实验结果的影响，转动测微手轮改变方向前，尽量往原方向旋转 2~3 环，再改变方向。

4. 观察到牛顿环中心出现较大暗斑，变形之牛顿环会使测得之曲率半径偏大。



## 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回误差，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。

12) 用白光照射时能否看到牛顿环？此时条纹有什么特征？

用白光照射能看到干涉条纹。

特征：彩色条纹，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距误差，转动时存在空程，从而造成主动装置运动了，而被动装置并没有产生运动，在实验中表现为读数发生改变，而实际上装置并没有移动。

2. 方法：不倒转测微螺杆。



$\bar{D}_m$  5.0015

$X_n$  25.013

25.011

25.036

25.023

25.081

25.050

$X'_n$  25.126

23.147

23.141

23.058

23.203

23.156

$D=|X_n-X'_n|$  1.887

1.864

1.895

1.965

1.881

1.894

$\bar{D}_n$  1.898

~~22.612~~

$X_m$  22.643

~~27.518~~

22.573

22.487

22.349

22.519

$X'_m$  27.572

~~4.906~~

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

$\bar{D}_m$  5.0015

24.13