

学号: 11910104 姓名: 王奕童 日期: 2020 年 4 月 3 日 星期 五

干涉法测几何量

一. 实验目的

1. 通过本实验学习光的干涉原理及其应用。
2. 学习应用等厚干涉原理测量凸透镜的曲率半径和细丝直径的方法。
3. 加深对光波动性的认识。

二. 实验仪器

读数显微镜、牛顿环装置、劈尖盒、钠光灯

三. 实验原理

仔细阅读讲义，理解以下问题，简要概况实验原理。

1. 用牛顿环测量透镜曲率半径的光学原理：

当曲率半径很大的平凸透镜的凸面放在一平面玻璃上时，见图 1，在透镜的凸面与平面之间形成一个从中心 O 向四周逐渐增厚的空气层。当单色光垂直照射下来时，从空气层上下两个表面反射的光束 1 和光束 2 在上表面相遇时产生干涉。因为光程差相等的地方是以 O 点为中心的同心圆，因此等厚干涉条纹也是一组以 O 点为中心的明暗相间的同心圆，称为牛顿环。由于从下表面反射的光多走了二倍空气层厚度的距离，以及从下表面反射时，是从光疏介质到光密介质而存在半波损失，故 1、2 两束光的光程差为：

$$\Delta = 2\delta + \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

式中 λ 为入射光波长， δ 是空气层厚度，空气折射率 $n \approx 1$

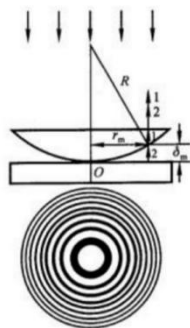


图 1 牛顿环干涉条纹示意图

当光程差 Δ 为半波长的奇数倍时为暗环，若第 m 个暗环处的空气层厚度为 δ_m ，则有：

$$\Delta = 2\delta_m + \frac{\lambda}{2} = (2m+1)\frac{\lambda}{2}, m = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

$$\delta_m = m\lambda/2$$

由图 6.2.1-1 的几何关系 $R^2 = r_m^2 + (R - \delta_m)^2$ ，以及一般空气层厚度远小于所使用的平凸透镜的曲率半径 R ，即 $\delta_m \ll R$ ，可得

$$\delta_m = \frac{r_m^2}{2R} \quad (3)$$

式中 r_m 是第 m 个暗环的半径。由式 (2) 和式 (3) 可得

$$r_m^2 = mR\lambda \quad (4)$$

可见，我们若测得第 m 个暗环的半径 r_m 便可由已知 λ 求 R ，或者由已知 R 求 λ 了。但是，由于玻璃接触处受压，引起局部的弹性形变，使透镜凸面与平面玻璃不可能很理想的只以一个点相接触，所以圆心位置很难确定，环的半径 r_m 也就不易测准。同时因玻璃表面的不洁净所引入的附加程差，使实验中看到的干涉级数并不代表真正的干涉级数 m 。为此，我们将式 (4) 作一变换，将式中半径 r_m 换成直径 D_m ，则有

$$D_m^2 = 4mR\lambda \quad (5)$$

对第 $m+n$ 个暗环有：

$$D_{m+n}^2 = 4(m+n)R\lambda \quad (6)$$

将 (5) 式和 (6) 式两式相减，再展开整理后有：

$$R = \frac{D_{m+n}^2 - D_m^2}{4n\lambda} \quad (7)$$

可见，如果我们测得第 m 个暗环及第 $m+n$ 个暗环的直径 D_m 、 D_{m+n} ，就可由式 (7) 计算透镜的曲率半径 R 。

经过上述的公式变换，避开了难测的量 r_m 和 m 从而提高了测量的精度，这是物理实验中常用的方法。

2. 用劈尖测量细丝直径的原理。

如图 2 所示，两片叠在一起的玻璃片，在它们的一端夹一直径待测的细丝，于是两玻璃片之间形成一空气劈尖。当用单色光垂直照射时，如前所述，会产生干涉现象。因为光程差相等的地方是平行于两玻璃片交线的直线，所以等厚干涉条纹是一组明暗相间、平行于交线的直线。

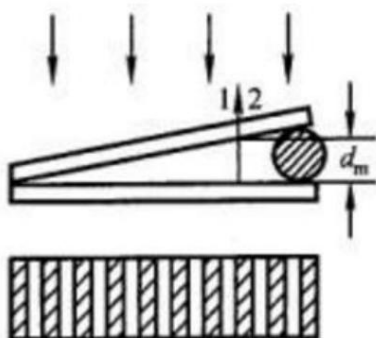


图 2 劈尖干涉条纹示意图

设入射光波为 λ ，则由式 (2) 得第 m 级暗纹处空气劈尖的厚度

$$d = \frac{m\lambda}{2} \quad (8)$$

由式 (8) 可知， $m=0$ 时， $d=0$ ，即在两玻璃片交线处，为零级暗条纹。如果在细丝处呈现 $m=N$ 级条纹，则待测细丝直径 $d = \frac{N\lambda}{2}$ 。

具体测量时，常用劈尖盒，盒内装有两片叠在一起玻璃片，在它们的一端夹一细丝，于是两玻璃片之间形成一空气劈尖，见图 2。使用时木盒切勿倒置或将玻璃片倒出，以免细丝位置变动，给测量带来误差。

四. 实验内容

1. 利用牛顿环测平凸透镜的曲率半径

(1) 观察牛顿环

将牛顿环仪放置于载物台上，调节读数显微镜使得牛顿环清晰，观察牛顿环。

具体操作：

- 将牛顿环仪按图 3 所示放置在读数显微镜镜筒和入射光调节木架的玻璃片的下方，木架上的透镜要正对着钠光灯窗口，调节玻璃片角度，使通过显微镜目镜观察时视场最亮。
- 调节目镜，看清目镜视场的十字叉丝后，使显微镜筒下降到接近玻璃片，然后缓慢上升，直至观察到干涉条纹，再微调玻璃片角度及显微镜，使条纹更清楚。

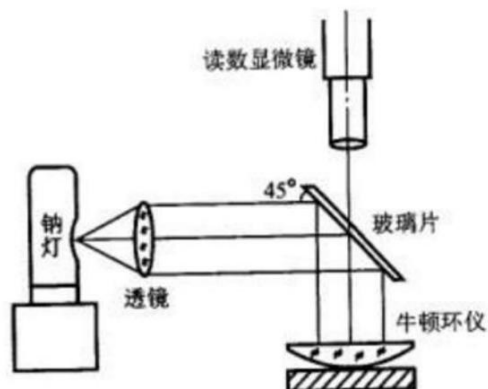


图 3 装置示意图

(2) 测牛顿环直径

用读数显微镜依次读取牛顿环左右两边第 5 环到第 30 环的直径位置。

具体操作：

- 使显微镜的十字叉丝交点与牛顿环中心重合，并使水平方向的叉丝与标尺平行（与显微镜筒移动方向平行）。
- 转动显微镜测微鼓轮，使显微镜筒沿一个方向移动，同时数出十字叉丝竖丝移过的暗环数，直到竖丝与第 35 环相切为止。
- 反向转动鼓轮，当竖丝与第 30 环相切时，记录读数显微镜上的位置读数 d_{30} ，然后继续转动鼓轮，使竖丝依次与第 25、20、15、10、5 环相切，顺次记下读数 d_{25} ， d_{20} ， d_{15} ， d_{10} ， d_5 。
- 继续转动鼓轮，越过干涉圆环中心，记下竖丝依次与另一边的 5、10、15、20、25、30 环相切时的读数 d'_5 、 d'_{10} 、 d'_{15} 、 d'_{20} 、 d'_{25}

(3) 用逐差法处理数据

第 30 环的直径 $D_{30} = d_{30} - d'_{30}$ ，同理，可求出 D_{25} 、 D_{20} 、 \dots 、 D_5 ，取 $n = 15$ ，

求出 $\overline{D_{m+15}^2 - D_m^2}$ 。代入式 $R = \frac{D_{m+n}^2 - D_m^2}{4n\lambda}$ 计算 R ，其中 $\lambda = 589\text{nm}$ 。

2. 测细丝直径

- 将劈尖盒放置于载物台上，调节读数显微镜，观察到干涉条纹，使条纹最清晰；
- 在劈尖的三个不同部位，用读数显微镜测 20 条暗纹的距离 Δl ，测三次求其平均 Δl ，求单位长度的干涉条纹数 $n = \frac{20}{\Delta l}$ ；
- 求细丝直径 $d = L \cdot \frac{20}{\Delta l} \cdot \frac{\lambda}{2}$ ，其中 $L = 0.04\text{m}$ ， $\lambda = 589\text{nm}$ 。

五. 原始数据

表 1. 牛顿环测量数据记录表 单位(mm)

	第 5 环	第 10 环	第 15 环	第 20 环	第 25 环	第 30 环
左边读数	53.842	52.934	52.320	51.802	51.355	51.090
右边读数	57.369	58.048	58.669	59.192	59.646	60.054
直径	3.527	5.114	6.349	7.390	8.291	8.964

表 2. 劈尖测量数据记录表 单位(mm)

	第一次	第二次	第三次	平均值 $\bar{\Delta l}$
初始位置	57.191	64.300	72.057	/
20 条条纹位置	58.005	65.112	72.869	/
Δl	0.814	0.812	0.812	0.8127

六. 数据处理

1. 由原始数据计算出第 5 至第 30 环直径填入表 1。利用逐差法，根据式 $R =$

$\frac{D_{m+n}^2 - D_m^2}{4n\lambda}$ 计算出平凸透镜曲率半径，其中 $\lambda = 589\text{nm}$ 。（写出具体的计算过程）

数据处理：从以上数据记录可得

$$D_5 = 3.527\text{mm}$$

$$D_{10} = 5.114\text{mm}$$

$$D_{15} = 6.349\text{mm}$$

$$D_{20} = 7.390\text{mm}$$

$$D_{25} = 8.291\text{mm}$$

$$D_{30} = 8.964\text{mm}$$

先求 $\overline{D_{m+15}^2 - D_m^2}$ ，由于式 $R = \frac{D_{m+n}^2 - D_m^2}{4n\lambda}$ 中其余均为常数

$$D_{30}^2 - D_{15}^2 = (8.964\text{mm})^2 - (6.349\text{mm})^2 = 40.0435\text{mm}^2$$

$$D_{25}^2 - D_{10}^2 = (8.291\text{mm})^2 - (5.114\text{mm})^2 = 42.5877\text{mm}^2$$

$$D_{20}^2 - D_5^2 = (7.390\text{mm})^2 - (3.527\text{mm})^2 = 42.1724\text{mm}^2$$

$$\begin{aligned} \therefore \overline{D_{m+15}^2 - D_m^2} &= \frac{1}{3}(D_{30}^2 + D_{25}^2 + D_{20}^2 - D_{15}^2 - D_{10}^2 - D_5^2) \\ &= \frac{1}{3}(40.0435\text{mm}^2 + 42.5877\text{mm}^2 + 42.1724\text{mm}^2) = 41.601\text{mm}^2 \end{aligned}$$

又已知 $n = 15, \lambda = 589\text{nm}$

$$\therefore R = \frac{\overline{D_{m+n}^2 - D_m^2}}{4n\lambda} = \frac{41.601\text{mm}^2}{4 \times 15 \times 589\text{nm}} = 1.18 \times 10^3\text{mm}$$

得到 $R = 1.18 \times 10^3\text{mm}$

2. 由原始数据计算出 $\overline{\Delta l}$, 根据 $d = L \cdot \frac{20}{\overline{\Delta l}} \cdot \frac{\lambda}{2}$, 其中 $L=0.04m$, $\lambda=589nm$. (写出具体的计算过程)

数据处理: 计算 $\overline{\Delta l}$: $\overline{\Delta l} = \frac{1}{3}(\Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3) = 0.8127mm$

$$d = L \cdot \frac{20}{\overline{\Delta l}} \cdot \frac{\lambda}{2} = 0.04m \cdot \frac{20}{0.8127mm} \cdot \frac{589nm}{2} = 0.290mm$$

其中 $L = 0.04m$, $\lambda = 589nm$

得到 $\overline{\Delta l} = 0.8127mm$
 $d = 0.290mm$

七. 误差分析

简要分析实验误差来源与改进办法。

(1) 利用牛顿环测平凸透镜的曲率半径

误差来源分析:

- ①测量者在测量时可能估读数据不准确, 会带来误差;
 - ②测量所用玻璃表面可能附有灰尘, 使得牛顿环分布不均匀, 使得干涉条纹分布不均匀;
 - ③透镜受到重力作用, 有可能发生形变, 中心形成暗斑, 可能带来测得的曲率半径有误差;
 - ④牛顿环分布密集且界限不清晰, 有可能使实验者视力疲劳而数错环数;
 - ⑤可能所测透镜表面的曲率并不均匀, 使得测得的曲率半径误差较大;
 - ⑥实验操作时可能读数显微镜的光线方向与水平的垂直方向有一定微小的偏差
- 改进方法:

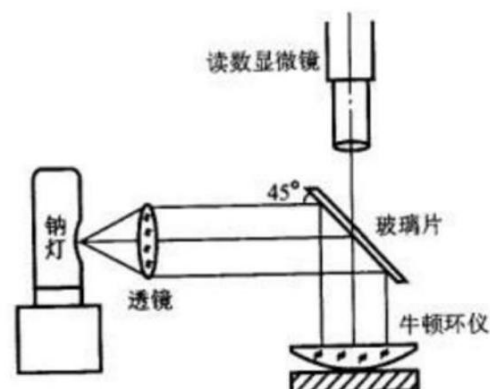


图3 装置示意图

- ①多次测量，减少测量者的估读测量带来的偶然误差；
- ②多次使用干净的毛巾擦拭玻璃片和凸透镜，以去除表面的灰尘；
- ③实验者测量多次后进行视力休息，以减少因视力疲劳而带来因为视力疲劳而数错环数的可能性；
- ④实验操作时确保显微镜叉丝平行于移动方向，同时对读数显微镜的光线方向进行相应的修正

(2) 用劈尖测量细丝直径

误差来源分析：

- ①测量者在测量时可能估读数据不准确，会带来误差；
- ②测量所用玻璃表面可能附有灰尘，使得光线有偏差，

Δl 不均匀，测得有偏差；

- ③实验操作时可能读数显微镜的光线方向与水平的垂直方向有一定微小的偏差；

改进方法：

- ①多次测量求取平均值，以减少测量者的估读测量带来的偶然误差；
- ②多次使用干净的毛巾擦拭玻璃片和凸透镜，以去除表面的灰尘；
- ③实验操作时确保显微镜叉丝平行于移动方向，同时对读数显微镜的光线方向进行相应的修正；

八. 实验结论

简要概括实验内容及结果。

(1) 实验内容：本次实验使用了读数显微镜、牛顿环装置、劈尖盒、钠光灯等仪器进行了干涉法测几何量的实验，共分为 2 个部分：①利用牛顿环测平凸透镜的曲率半径；②劈尖测细丝直径，并进行了数据处理与分析，最终得到实验结果。

(2) 实验结果：

- ①牛顿环测平凸透镜的曲率半径实验中，测得待测透镜的曲率半径为 $R = 1.18 \times 10^3 \text{ mm}$ ；
- ②劈尖测细丝直径实验中，测得待测细丝的直径为 $d = 0.290 \text{ mm}$

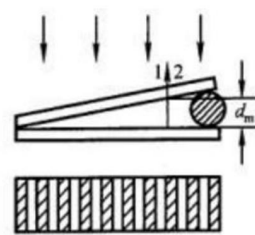


图 2 劈尖干涉条纹示意图

物理实验报告



南方科技大学
SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

通过本次实验，学习、掌握利用光的干涉原理检验凸透镜等光学元件表面几何特征的方法，用劈尖的等厚干涉测量细丝直径的方法。通过这次实验，学习了光的干涉原理及其应用，同时对光波动性有了更深刻的理解。

九. 思考题

1. 牛顿环中心级次是多少？你实验用的牛顿环中心是亮斑还是暗斑？为什么？

①牛顿环中心级次是 0 级；

②从本次实验的实验数据图片可知我本次实验使用的牛顿环中心区域为暗斑；

③原因分析：由于本次实验中凸透镜置于平面玻璃上，存在挤压形变，形成了一片接触区域，在该区域内光在玻璃-空气界面上反射有损失，该区域应为半波长的奇数倍，故牛顿环中心应为暗斑区域。

2. 为什么说牛顿环和劈尖实验中测量的干涉条纹数目越多，测量的精度越高？

原因：可以通过更多次测量以减小某一次牛顿环和劈尖实验中实验误差对实验结果带来的影响，从而提高实验的测量精度。不仅如此，牛顿环和劈尖实验中的实验随机误差有对称性和抵偿性的特点，测量误差的算术平均值会随着测量次数的不断增加而不断趋于 0，从而减小本次实验的误差，以实现提高测量精度的目的。