

实验 20 光的等厚干涉

引言

牛顿环是牛顿在 1675 年制作天文望远镜时，偶然将一个望远镜的物镜放在平板玻璃上发现的。牛顿环是一种典型的等厚干涉，是分振幅法产生的定域干涉。利用它检验一些光学元件的球面度、平面度、光洁度缺陷以及机械零件的内应力分布等，在科学研究、工业生产检测技术中具有广泛的用途。

实验目的

- 1、加深对光的等厚干涉原理的理解。
- 2、观察和研究等厚干涉现象及其特点。
- 3、练习用干涉法测量透镜的曲率半径、微小直径（或厚度）。
- 4.* 设计用干涉法测量液体的折射率。

实验原理

利用透明薄膜上下两表面对入射光的依次反射，入射光的振幅将被分解成有一定光程差的几个部分。若两束反射光相遇时的光程差取决于产生反射光的透明薄膜厚度，则同一干涉条纹所对应的薄膜厚度相同，这就是等厚干涉。牛顿环和劈尖干涉都是典型的等厚干涉。

1. 牛顿环

将一块平凸透镜的凸面放在一块光学平板玻璃上，因而在它们之间形成以接触点 O 为中心向四周逐渐增厚的空气薄膜，离 O 点等距离处厚度相同。如图 1 (a) 所示。当光垂直入射时，其中有一部分光线在空气膜的上表面反射，一部分在空气膜的下表面反射，因此产生两束具有一定光程差的相干光，当它们相遇后就产生干涉现象。由于空气膜厚度相等处是以接触点为圆心的同心圆，即以接触点为圆心的同一圆周上各点的光程差相等，故干涉条纹是一系列以接触点为圆心的明暗相间的同心圆，如图 1 (b) 所示。这种干涉现象称为牛顿环。

由光路分析可知，与 k 级条纹对应的两束相干光的光程差为

$$\delta_k = 2e + \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

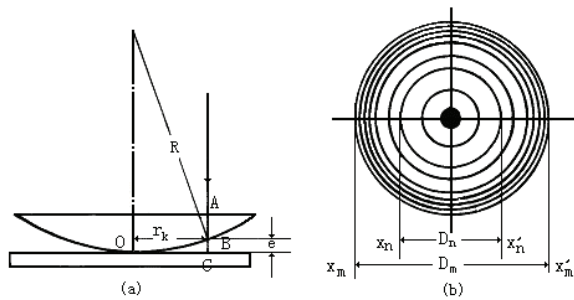


图1 牛顿环及其形成的光路示意图

由图 1 可知

$$R^2 = r^2 + (R - e)^2$$

简化上式，并由于 $e \ll R$ ，略去二级小量 e^2 得

$$e = \frac{r^2}{2R} \quad (2)$$

将(2)式代入(1)式得

$$\delta_k = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

由干涉条件可知，当干涉条纹是暗条纹时

$$\delta_k = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

于是得 $r^2 = kR\lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$ (4)

由 (4) 式可知，若入射光波长 λ 已知，测出各级暗环的半径，则可算出曲率半径 R 。

但实际观察牛顿环时发现，牛顿环的中心不是理想的一个接触点，而是一个不甚清晰的暗或亮的圆斑。其原因是透镜与平玻璃板接触处，由于接触压力引起形变，使接触处为一圆面；又因镜面上可能有尘埃存在，从而引起附加的光程差。设由以上引入的附加厚度为 a ，则

$$r^2 = kR\lambda \pm 2Ra$$

因此用两个暗环的半径 r_m 和 r_n 的平方差来计算 R ，则可消除附加程差引入的误差。由上式可得：

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m - n)\lambda}$$

又因为暗环圆心不易确定，故可用暗环的直径代替半径，得：

$$R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda} \quad (5)$$

2. 劈尖

劈尖干涉装置如图 2 (a) 所示。将两块光学平板玻璃迭在一起，在一端放入一薄片或细丝，则在两玻璃板间形成一空气劈尖，当用单色光垂直照射时，在劈尖薄膜的上下两表面反射的两束相干光相遇时发生干涉。两者光程差 $\delta=2e+\lambda/2$ ，产生的干涉条纹是一簇与玻璃板交线相平行的等间距明暗相间的平行直条纹，如图 2 (b) 所示。

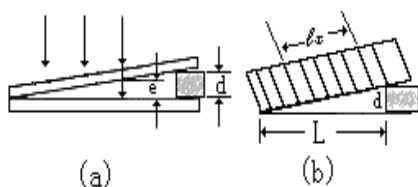


图2 劈尖干涉

显然，当

$$\delta_k = 2e + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \quad (k = 0,1,2,\dots)$$

时，为暗条纹。与 k 级暗条纹对应的薄膜厚度为：

$$e = k \frac{\lambda}{2} \quad (6)$$

3. 液体折射率的测量（设计）

实验要求：设计好测量方案，包括实验原理，公式的推导，实验步骤，数据表格等。

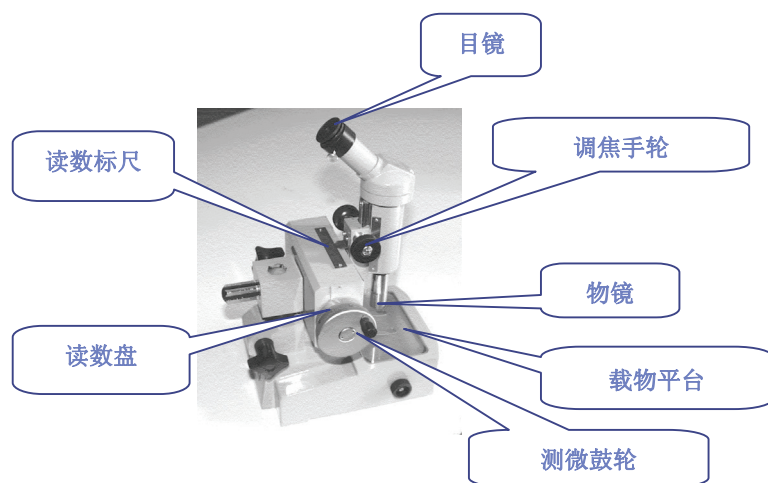
实验提示：可在平凸玻璃和平板玻璃之间滴入待测液体，此时液体薄膜上下两表面所反射光的光程差 $\delta=2ne+\lambda/2$ ，n 是液体的折射率。根据干涉原理可推导出液体折射率公式。

实验仪器

读数显微镜、牛顿环测试仪、劈尖玻璃、钠光灯

仪器简介

1. 读数显微镜



2. 牛顿环装置

牛顿环装置是由平凸透镜 L 和磨光的平玻璃板 P 叠合装在金属框架 F 中构成 (图 3)。框架边上有三个螺旋 H, 用以调节 L 和 P 之间的接触, 以改变干涉环纹的形状和位置。调节 H 时, 螺旋不可旋得过紧, 以免接触压力过大引起透镜弹性形变, 甚至损坏透镜。

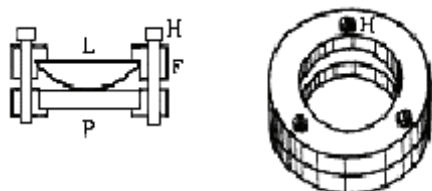


图 3 牛顿环装置

实验内容

1. 根据牛顿环测量透镜的曲率半径

(1) 按图 4 安放实验仪器。

(2) 调节牛顿环仪边框上三个螺旋, 使在牛顿环仪中心出现一组同心干涉环。将牛顿环仪放在显微镜的平台上, 调节 45° 玻璃板, 以便获得最大的照度。

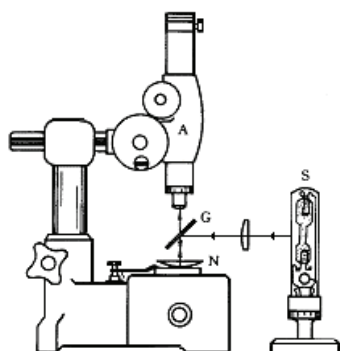


图4 实验装置图

(3) 调节读数显微镜调焦手轮，使显微镜筒自下而上缓慢地上升，直至在显微镜内能看到清晰的干涉条纹的像。适当移动牛顿环位置，使干涉条纹的中央暗区在显微镜叉丝的正下方，观察干涉条纹是否在显微镜的读数范围内，以便测量。

(4) 转动测微鼓轮，先使镜筒由牛顿环中心向左移动，顺序数到第 31 暗环，再反向至第 30 暗环并使竖直叉丝对准暗环中间，依次测量各暗环左右两侧的位置，将数据填入表中。在整个测量过程中，鼓轮只能沿同一个方向旋转，中途不能倒转。显然，某环左右位置读数之差即为该环的直径。用逐差法求出 R ，并计算误差。

数据记录表

环数	m	30	29	28	27	26
环的位置/mm	左					
	右					
大环直径/mm	D_m					
环数	n	25	24	23	22	21
环的位置/mm	左					
	右					
小环直径/mm	D_n					
大环直径平方	D_m^2					
小环直径平方	D_n^2					
$R_i = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda}$						

$$u_R = \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2 / n(n-1)}$$

2. 用劈尖干涉法则微小厚度 d

(1) 将被测薄片（或细丝）夹在两块平板玻璃的之间，形成劈尖，然后置于读数显微镜载物台上。

(2) 用读数显微镜测出 x 条（如 20 条）暗条纹间的垂直距离 lx ，再测出棱边到细丝所在处的总长度 L ，求出 d 。

由图2几何关系得 $\frac{d}{L} = \frac{\lambda/2}{l_x/x}$ 导出 $d = \frac{xL}{l_x} \cdot \frac{\lambda}{2}$

(3) 重复步骤 2，各测三次，将数据填入自拟表格中。求其平均值。

3.* 根据设计好的方案测液体的折射率

思考题

1. 试比较牛顿环和劈尖的干涉条纹的异同点。
2. 透射光的牛顿环是如何形成的？如何观察？它与反射光的牛顿环在明暗上有何关系，为什么？
3. 在牛顿环实验中，假如平板玻璃上有微小的凸起，则凸起处空气薄膜的厚度减小，导致等厚干涉条纹发生畸变。试问这时牛顿环将局部内凹还是局部外凸？为什么？
4. 用白光照射时能否看到牛顿环和劈尖干涉条纹？此时条纹有何特征？
5. 为什么说读数显微镜测量的是牛顿环的直径，而不是显微镜内牛顿环的放大象的直径？如果改变显微镜的放大倍率，是否会影响测量的结果？
6. 在牛顿环实验中，若不是测牛顿环直径，而是测弦长是否可以？试从理论上加以说明。

注意事项

1. 调焦时，显微镜筒应自下而上缓慢的上升，避免显微镜筒压坏 45°玻璃片（或损坏牛顿环装置）。
2. 每次测量时，鼓轮应沿一个方向转动，中途不可倒转。（为什么？）