

实验 4-8 等厚干涉的应用

【实验目的】

1. 通过实验加深对等厚干涉原理的理解。
2. 掌握用牛顿环测定透镜曲率半径和用劈形膜形成的干涉条纹测定微小直径(或微小厚度)的方法。

【仪器用具】

读数显微镜、平凸透镜及平面玻璃板(或“牛顿环仪”)、平面玻璃板(两块)、钠光灯。

4-8-1 用牛顿环测定透镜的曲率半径

【实验原理】

如图 4-8-1 所示,当平凸透镜的曲率很小的凸面与一平面玻璃板的光学面相接触时,二者间形成一空气薄层,其厚度由中心接触点向四周逐渐增加。若以波长为 λ 的单色光垂直入射,入射光将在空气膜上、下两表面反射,产生具有一定光程差的两束相干光,从而在薄膜表面附近产生等厚干涉条纹。从反射光方向观察,该等厚条纹是一组以接触点为中心的亮暗交替的同心圆环,且中心是一暗斑。此干涉图样称为牛顿环。在实验应用中,常用它来测量透镜的曲率半径,若已知透镜的曲率半径,也可用来测定光波波长。

设离接触点 O 任一距离为 r_k 处的空气膜厚为 e_k ,则空气膜该处上、下表面反射光所产生的光程差为

$$\Delta = 2e_k + \frac{\lambda}{2} \quad (4-8-1)$$

其中 $\lambda/2$ 的附加光程差是因为光从平面玻璃板上反射时位相有 180° 的变化。

令 R 为透镜凸面的曲率半径,由图 4-8-1 中的几何关系可得

$$R^2 = (R - e_k)^2 + r_k^2 = R^2 - 2Re_k + e_k^2 + r_k^2$$

因 $R \gg e_k$,故 e_k^2 可忽略,得

$$e_k = \frac{r_k^2}{2R} \quad (4-8-2)$$

第 k 级暗环的形成决定于

$$\Delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (4-8-3)$$

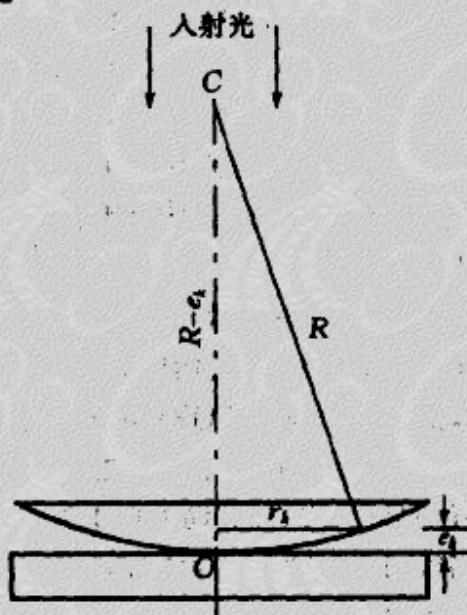


图 4-8-1

由公式(4-8-1)、(4-8-2)和(4-8-3)可得

$$r_k^2 = kR\lambda \quad (4-8-4)$$

若已知 λ , 只要由实验测量出第 k 级干涉暗环的半径 r_k , 就可由(4-8-4)式算出待测球面的曲率半径 R 。但由于平凸透镜和平面玻璃板的接触处附有尘埃而未能接触或接触时受力产生了形变, 故接触处不可能是一个几何点, 而是一个圆斑, 以致难以判定干涉环的中心和级次, 因此要利用(4-8-4)式来测定 R 实际上是不可能的。在实际测量中, 常常将(4-8-4)式变为如下形式:

$$R = \frac{d_{k+m}^2 - d_k^2}{4m\lambda} \quad (4-8-5)$$

式中: d_{k+m} 和 d_k 分别为第 $(k+m)$ 级和第 k 级暗环的直径。由(4-8-5)式可知, 只要数出所测各环的环序差 m , 而无需确定各环的级数。此外, 为了减小测量误差, 应选取距中心较远的、比较清晰的两个环来测量, 且使 m 值取大些。这样将成倍地减小读数显微镜的测量叉丝与干涉条纹对准时产生的定位误差, 提高测量的精密度。

【实验步骤】

1. 实验装置如图 4-8-2。将平面玻璃板和平凸透镜按图中所示放置在读数显微镜的载物台上,让钠光 S 经会聚透镜 L 变成平行光(亦可直接使用扩展光源)入射到玻璃片 G 上,使一部分光由 G 反射后垂直入射到平凸透镜上。调节 G 的高低及方位(约与水平方向成 45° 角)和钠灯的位置,使显微镜视场中亮度大而均匀。

2. 调节读数显微镜 M 的目镜,使目镜视场中十字叉丝最清晰,然后上、下移动镜筒对空气膜的上表面调焦,以找到清晰的干涉圆环。

3. 测量前还应调节读数显微镜十字叉丝竖线与显微镜筒的移动方向垂直(亦即十字叉丝横线与显微镜的主尺方向平行,如何调节,请读者思考)。

4. 调节显微镜并调节玻璃板及平凸透镜的整体位置,使叉丝交点与干涉圆环的中心重合,然后使叉丝的交点由中心向右移到干涉圆环的较外层,再反转向左越过中心到较外层,观察整个视场中干涉条纹的清晰度,以选择干涉圆环合适的测量范围。

5. 测量。取 $m = 10$, 并选相继 5 组直径平方差 $(d_{k+m}^2 - d_k^2)$, 然后求其平均值。具体方法是:如选择的测量范围为距中心的第 11 个暗环到第 25 个暗环时,则转动显微镜的测微螺旋,使镜筒向左(或向右)移动到叉丝交点对准第 30 环,再反转使叉丝竖线依次与第 25、24...21 及第 15、14...至第 11 个暗环相切,并逐次记下相应的读数 x_{25} 、 x_{24} ... x_{21} 、 x_{15} 、 x_{14} ... x_{11} ;再将镜筒继续按原方向移动,使叉丝竖线越过中心暗斑,与另一方的第 11、

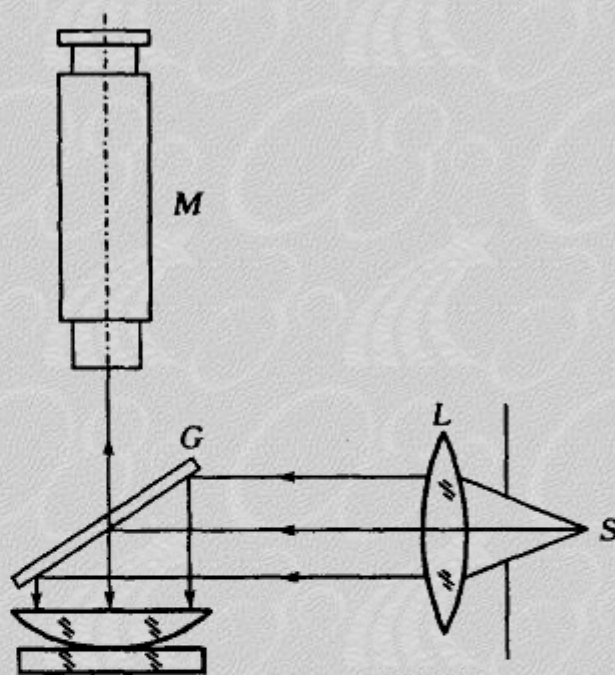


图 4-8-2

12...15及 21、22...至第 25 个暗环相切,记下相应的读数 x'_{11} 、 x'_{12} ... x'_{15} 、 x'_{21} 、 x'_{22} ... x'_{25} ;再将同一暗环的两次读数相减算出各环的直径 d_{11} 、 d_{12} 、 d_{13} 、 d_{14} 、 d_{15} 及 d_{21} 、 d_{22} 、 d_{23} 、 d_{24} 、 d_{25} 。测量时要注意干涉环的序数不能数错。

6. 用逐差法处理数据。用逐差法可求得 5 个 $(d_{k+10}^2 - d_k^2)$ 的值,即 $d_{25}^2 - d_{15}^2$ 、 $d_{24}^2 - d_{14}^2 - \dots - d_{21}^2 - d_{11}^2$ 。取它们的平均值,利用(4-8-5)式计算透镜凸面的曲率半径。

7. 计算测量结果 R 并估算不确定度 u_R 。估算时把波长 λ 和 $m = 10$ 看做常数,仪器误差可取读数显微镜的示值误差限,即 $\Delta_1 = 0.01 \text{ mm}$ 。

【数据表格】

牛顿环编号:

环序 k	显微镜读数(mm)		直径 d_k (mm) $x_2 - x_1$	d_k^2 (mm ²)	$d_{k+m}^2 - d_k^2$ (mm ²)
	x_1	x_2			
25					
24					
23					
22					
21					
15					
14					
13					
12					
11					