

干涉法测微小量

实验要求：

1. 预习阶段

- (1) 认真阅读实验讲义。
- (2) 准备预习报告。预习报告控制在 1 到 2 页纸内，用自己的语言简述实验原理即可。

2. 实验阶段

- (1) 维护良好的课堂秩序，在实验室内尽量保持安静。
- (2) 维护整洁的实验环境，不要将水杯等放在试验台上，不得在实验室内吃口香糖。
- (3) 爱护实验设备，轻拿轻放。在老师讲解后才能动手操作。并且在动手前应仔细阅读实验注意事项和操作说明。
- (4) 如实记录实验数据，不得篡改、抄袭。
- (5) 实验数据经指导老师签字、实验设备整理好后方可离开。

3. 报告撰写阶段

- (1) 本实验要求计算平凸透镜曲率半径 R 的不确定度。
- (2) 完成讲义中的思考题 1、2、3。

注意事项：

1. 爱护光学元件

光学实验中使用的大部分光学元件是玻璃制成的，光学表面经过精心抛光。使用时要轻拿、轻放，避免碰撞、损坏元件。任何时候都不要用手触及光学表面（镀膜片或光在此表面反射或折射），只能拿磨砂面（光线不经过的面一般都磨成毛面，如透镜的侧面，棱镜的上下底面等），不要对着光学元件表面说话、咳嗽、打喷嚏等。

2. 钠灯需提前预热 10 分钟，实验过程中不要关闭，不要震动。若关闭，需等完全冷却下来才能再次开启。

光的干涉现象表明了光的波动性质，干涉现象在科学研究与计量技术中有着广泛的应用。在干涉现象中，不论是何种干涉，相邻干涉条纹的光程差的改变都等于相干光的波长，可见光的波长虽然很小，但干涉条纹间的距离或干涉条纹的数目却是可以计量的。因此，通过对干涉条纹数目或条纹移动数目的计量，可得到以光的波长为单位的光程差。

利用光的等厚干涉现象可以测量光的波长，检验表面的平面度、球面度、光洁度，精确地测量长度、角度，测量微小形变以及研究工件内应力的分布等。

通过本次实验，学习、掌握利用光的干涉原理检验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，同时加深对光的波动性的认识。

实验原理

1. 用牛顿环测平凸透镜的曲率半径

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 7.2.1-1，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

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

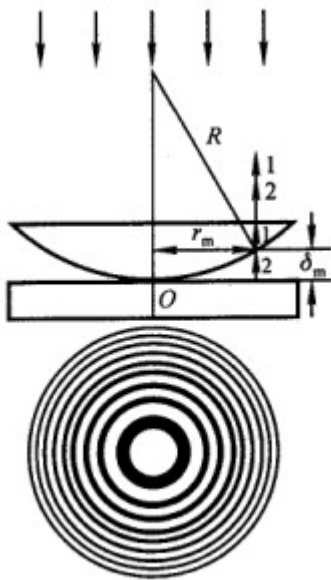


图 7.2.1-1 牛顿环干涉条纹的形成

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

当程差 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

$$\Delta = 2\delta_m + \frac{\lambda}{2} = (2m+1)\frac{\lambda}{2}, m = 0, 1, 2, 3 \dots$$

$$\delta_m = m \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

由图 7.2.1-1 中的几何关系 $R^2 = r_m^2 + (R - \delta_m)^2$ ，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) 和 (6) 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，这是物理实验中常采用的方法。

2. 劈尖的等厚干涉测细丝直径

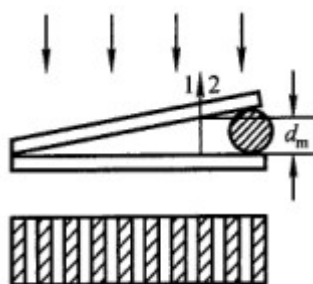


图 7.2.1-2 劈尖干涉
条纹的形成

见图 7.2.1-2，两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。

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

$$d = m \frac{\lambda}{2} \tag{8}$$

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 $d = N \cdot \frac{\lambda}{2}$ 。

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 7.2.1-2。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。

3. 利用干涉条纹检验光学表面面形

检查光学平面的方法通常是将光学样板（平面平晶）放在被测平面之上，在样板的标准平面与待测平面之间形成一个空气薄膜。当单色光垂直照射时，通过观测空气膜上的等厚干涉条纹即可判断被测光学表面的面形。

（1）待测表面是平面

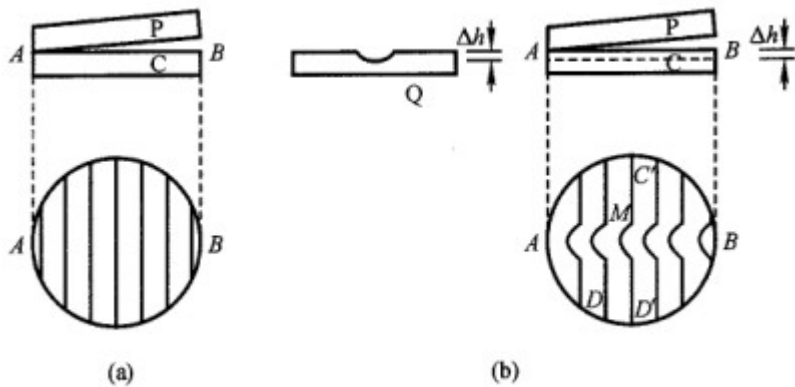


图 7.2.1-3 平面面形的干涉条纹

两表面一端夹一极薄垫片，形成一楔形空气膜，如果干涉条纹是等距离的平行直条纹，则被测平面是精确的平面，见图 7.2.1-3（a），如果干涉条纹如图 7.2.1-3（b）所示，则表明待测表面中心沿 AB 方向有一柱面形凹痕。因为凹痕处的空气膜的厚度较其两侧平面部分厚，所以干涉条纹在凹痕处弯向膜层较薄的 A 端。

（2）待测表面呈微凸球面或微凹球面

将平面平晶放在待测表面上，可看到同心圆环状的干涉条纹，参看图 7.2.1-4。用手指在平晶上表面中心部位轻轻一按，如果干涉圆环向中心收缩，表明面形是凹面；如果干涉圆环从中心向边缘扩散，则面形是凸面。这种现象可解释为：当手指向下按时，空气膜变薄，各级干涉条纹要发生移动，以满足式（2）。

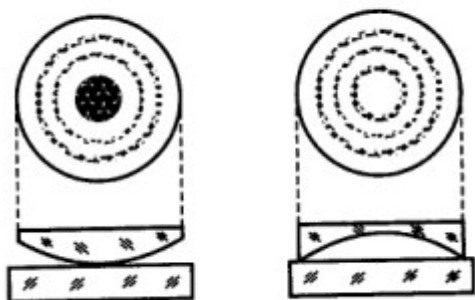


图 7.2.1-4 球面面形的干涉条纹

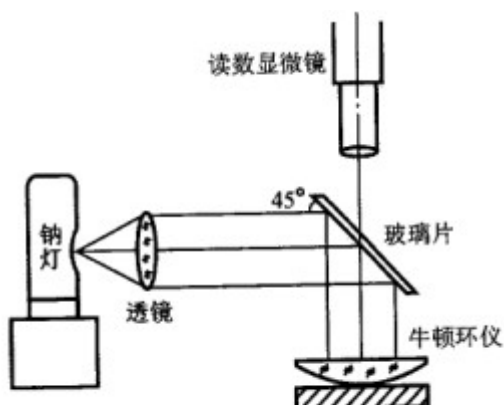


图 7.2.1-5 观测牛顿环实验装置图

实验内容

1. 测平凸透镜的曲率半径

(1) 观察牛顿环

- 1) 将牛顿环仪按图 7.2.1-5 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。
- 2) 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，直到观察到干涉条纹，再微调玻璃片角度及显微镜，使条纹更清楚。

(2) 测牛顿环直径

- 1) 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）。
- 2) 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。
- 3) 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 。
- 4) 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} 、 d'_{30} 。

两次将牛顿环装置转过 120 度，重复上述测量，共测得三组数据。

(3) 处理数据

第 30 环的直径 $D_{30} = |d_{30} - d'_{30}|$ ，求出其平均值。同理，可求出 D_{25} 、 D_{20} ... D_5 。再利用式 (7)

和逐差的办法计算出平凸透镜的曲率半径 R 。推导不确定度传递公式，求出 R 的不确定度。

2. 测细丝直径

(1) 观察干涉条纹

将劈尖盒放在曾放置牛顿环的位置，同前法调节，观察到干涉条纹，使条纹最清晰。

(2) 测量

- 1) 调整显微镜及劈尖盒的位置，当转动测微鼓轮使镜筒移动时，十字叉丝的竖丝要保持与条纹平行。
- 2) 在劈尖玻璃面的三个不同部分，测出 20 条暗纹的总长度 Δl ，测三次求其平均值及单位长度的干涉条纹数 $n = \frac{20}{\Delta l}$ 。
- 3) 测劈尖两玻璃片交线处到夹细线处的总长度 L ，测三次，求平均值。
- 4) 由式 (8)，求细丝直径

$$d = N \cdot \frac{\lambda}{2} = L \cdot n \cdot \frac{\lambda}{2} = L \cdot \frac{20}{\Delta l} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (9)$$

3. 检查玻璃表面面形并作定性分析

在标准表面和受检表面正式接触前，必须先用酒精清洗，再用抗静电的小刷子把清洗之后残余的灰尘小粒刷去。待测玻璃放在黑绒上，受检表面要朝上，再轻轻放上平面平晶。在单色光或水银灯垂直照射下观察干涉条纹的形状，判断被检表面的面形。如果看不到干涉条纹，主要原因是两接触表面不清洁，还附有灰尘微粒所至，应再进行清洁处理。

平面平晶属高精度光学元件，注意使用规则。

思考题

1. 参看图 7.2.1-6，从空气膜上下表面反射的光线相遇在 D 处发生相干，其光程差为 $\Delta = AB + BC + CD - AD + \frac{\lambda}{2}$ ，为什么式 (1) 写 $\Delta = 2\delta + \frac{\lambda}{2}$ ？

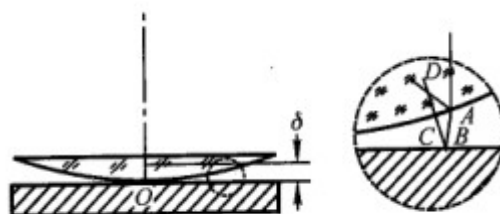


图 7.2.1-6 相干光的程差

2. 牛顿环的中心级次是多少？是亮斑还是暗斑？你实验用的牛顿环中心是亮还是暗？为什么？
3. 为什么说在牛顿环和劈尖实验中测量的干涉条纹数越多，测量的精度越高？