

干涉法测微小量

一、实验简介

光的干涉现象表明了光的波动的性质，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，不论何种干涉，相邻干涉条纹（亮纹或暗纹）的光程差的改变量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，可以得到以光的波长为单位的光程差。

利用光的等厚干涉可以测量光的波长，检验表面的平面度，球面度，光洁度，以及精确测量长度，角度和微小形变等。

二、实验原理

牛顿环法测曲率半径实验原理：

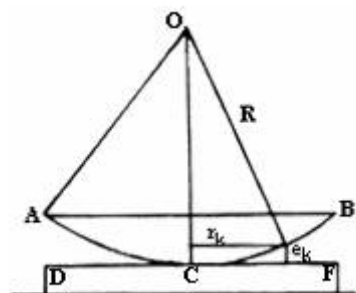


图 1

如图所示，在平板玻璃面 DCF 上放一个曲率半径很大的平凸透镜 ACB，C 点为接触点，这样在 ACB 和 DCF 之间，形成一层厚度不均匀的空气薄膜，单色光从上方垂直入射到透镜上，透过透镜，近似垂直地入射于空气膜。分别从膜的上下表面反射的两条光线来自同一条入射光线，它们满足相干条件并在膜的上表面相遇而产生干涉，干涉后的强度由相遇的两条光线的光程差决定，由图可见，二者的光程差 Δ' 等于膜厚度 e 的两倍，即 $\Delta' = 2e$

此外，当光在空气膜的上表面反射时，是从光密媒质射向光疏媒质，反射光不发生相位突变，而在下表面反射时，则会发生相位突变，即在反射点处，反

射光的相位与入射光的相位之间相差 π ，与之对应的光程差为 $\lambda/2$ ，所以相干的两条光线还具有 $\lambda/2$ 的附加光程差，总的光程差为

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

当 Δ 满足条件

$$\Delta = k\lambda, \quad (k = 1, 2, 3 \dots) \quad (2)$$

时，发生相长干涉，出现第 k 级亮纹，而当

$$\Delta = (2k + 1)\lambda/2, \quad (k = 1, 2, 3 \dots) \quad (3)$$

时，发生相消干涉，出现第 k 级暗纹。因为同一级条纹对应着相同的膜厚，所以干涉条纹是一组等厚度线。可以想见，干涉条纹是一组以 C 点为中心的同心圆，这就是所谓的牛顿环。

如图所示，设第 k 级条纹的半径为 r_k ，对应的膜厚度为 e_k ，则

$$R^2 = (R - e_k)^2 + r_k^2 \quad (4)$$

在实验中， R 的大小为几厘米到几米，而 e_k 的数量级为几微米到毫米，所以 $R \gg e_k$ ， e_k^2 相对于 $2Re_k$ 是一个小量，可以忽略，所以上式可以简化为

$$r_k^2 = 2Re_k \quad (5)$$

如果 r_k 是第 k 级暗条纹的半径，由式 (1) 和 (3) 可得

$$e_k = k\lambda/2 \quad (6)$$

代入式 (5) 得透镜曲率半径的计算公式

$$R = r_k^2 / k\lambda \quad (7)$$

对给定的装置， R 为常数，暗纹半径

$$r_k = \sqrt{\lambda k R} \quad (8)$$

和级数 k 的平方根成正比，即随着 k 的增大，条纹越来越细。

同理，如果 r_k 是第 k 级明纹，则由式 (1) 和 (2) 得

$$e_k = (k - \frac{1}{2}) \frac{\lambda}{2} \quad (9)$$

代入式 (5)，可以算出

$$R = \frac{2r_k^2}{(2k-1)\lambda} \quad (10)$$

由式（8）和（10）可见，只要测出暗纹半径（或明纹半径），数出对应的级数 k ，即可算出 R 。

在实验中，暗纹位置更容易确定，所以我们选用式（8）来进行计算。

在实际问题中，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。这样一来，干涉环的圆心就很难确定， r_k 就很难测准，而且在接触处，到底包含了几级条纹也难以知道，这样级数 k 也无法确定，所以公式（8）不能直接用于实验测量。

在实验中，我们选择两个离中心较远的暗环，假定他们的级数为 m 和 n ，测出它们的直径 $d_m = 2r_m$ ， $d_n = 2r_n$ ，则由式（8）有

$$d_m^2 = m \times 4\lambda R$$

$$d_n^2 = n \times 4\lambda R$$

由此得出

$$R = \frac{d_m^2 - d_n^2}{4(m-n)\lambda} \quad (11)$$

从这个公式可以看出，只要我们准确地测出某两条暗纹的直径，准确地数出级数 m 和 n 之差 $(m-n)$ （不必确定圆心也不必确定具体级数 m 和 n ），即可求得曲率半径 R 。

尖劈测细丝直径实验原理：

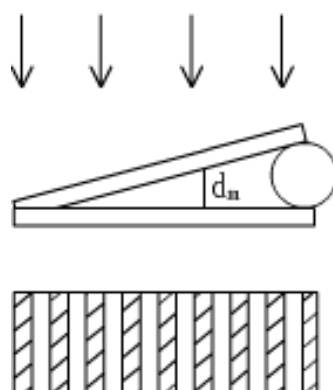


图 2

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层厚度不均匀的空气劈尖。单色光从上方垂直入射到透镜上，透过透镜，近似垂直地入射于空气劈尖时，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。

由于从劈尖的上下表面反射的两条光线来自同一条入射光线，它们满足相干条件并在劈尖的上表面相遇而产生干涉，干涉后的强度由相遇的两条光线的光程差决定，由图可见，二者的光程差 Δ' 等于劈尖厚度 d_n 的两倍，即 $\Delta' = 2d_n$

此外，当光在空气劈尖的上表面反射时，是从光密媒质射向光疏媒质，反射光不发生相位突变，而在下表面反射时，则会发生相位突变，即在反射点处，反射光的相位与入射光的相位之间相差 π ，与之对应的光程差为 $\lambda/2$ ，所以相干的两条光线还具有 $\lambda/2$ 的附加光程差，总的光程差为

$$\Delta = \Delta' + \lambda/2 = 2d_n + \lambda/2 \quad (1)$$

当光程差 Δ 为半波长的奇数倍时为暗纹，若第 n 级暗纹处空气劈尖的厚度为 d_n ，则有

$$\begin{aligned} \Delta &= 2d_n + \lambda/2 = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}, \quad (n = 1, 2, 3 \dots) \\ d_n &= n\frac{\lambda}{2} \end{aligned} \quad (2)$$

由（2）式可知， $n = 0$ 时， $d_0 = 0$ ，即在两玻璃片交线处为零级暗条纹。如果在细丝处呈现 $n = N$ 级条纹，则待测细丝直径为

$$d = N\frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

但是，由于玻璃接触处所到的压力引起了局部的弹性形变，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 n 。为此，我们将（3）式作一些变化，由于干涉条纹是均匀分布的，测量 m 个条纹的长度为 Δl ， $k=m/\Delta l$ 为单位长度的干涉条纹数， L 为劈尖两玻璃片交线处到夹细丝处的总长度，则总条纹数 $N=kL$ ，有

$$d = L\frac{m}{\Delta l}\frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

可见我们测得单位长度的干涉条纹数 k 和总长度 L ，就可用（4）式计算细丝的直径。

在实验中，我们在劈尖玻璃面上选择三个不同的部分，测出 $m=20$ 条暗纹的总长度 Δl_1 、 Δl_2 、 Δl_3 ，求其平均值 Δl 及单位长度的干涉条纹数 $k = \frac{20}{\Delta l}$ 。

测三次两玻璃片交线处到夹细丝处的总长度 L_1 、 L_2 、 L_3 ，并求其平均值 L 。由（4）式，求得细丝的直径

$$d = N \frac{\lambda}{2} = Lk \frac{\lambda}{2} = L \frac{m \lambda}{\Delta l 2} \quad (5)$$

三、实验内容

牛顿环法测曲率半径

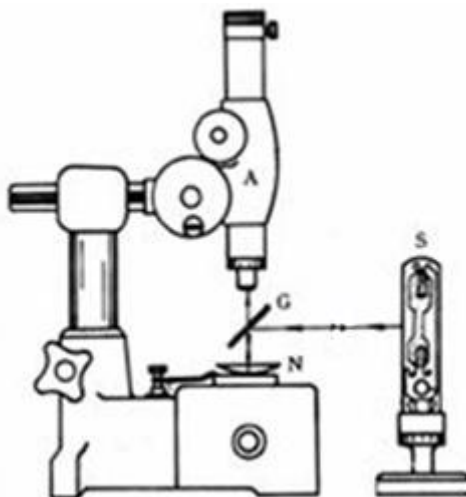


图 3

A 读数显微镜, G 分束板, N 牛顿环, S 钠光灯

本实验的主要内容为利用干涉法测量平凸透镜的曲率半径。

1. 观察牛顿环。

(1) 将牛顿环按图 3 所示放置在读数显微镜镜筒和分束板下方, 调节分束板的角度, 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, 使显微镜镜筒下降到接近牛顿环仪然后缓慢上升, 直到观察到干涉条纹, 再微调分束板角度和显微镜, 使条纹清晰。

2. 测牛顿环半径。

(1) 使显微镜十字叉丝交点和牛顿环中心重合, 并使水平方向的叉丝和标尺平行 (与显微镜移动方向平行)。

(2) 转动显微镜微调鼓轮, 使显微镜沿一个方向移动, 同时数出十字叉丝竖丝移过的暗环数, 直到竖丝与第 45 环相切为止。记录标尺读数。

(3) 反向转动鼓轮, 当竖丝与第 40 环相切时, 记录读数显微镜上的位置读数, 然后继续转动鼓轮, 使竖丝依次与第 35、30、25、20、15、10、5 环相切, 顺次记下读数。

(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、35、40 环相切时的读数。

3. 利用逐差法处理得到的数据, 计算牛顿环半径 R。

劈尖测细丝直径

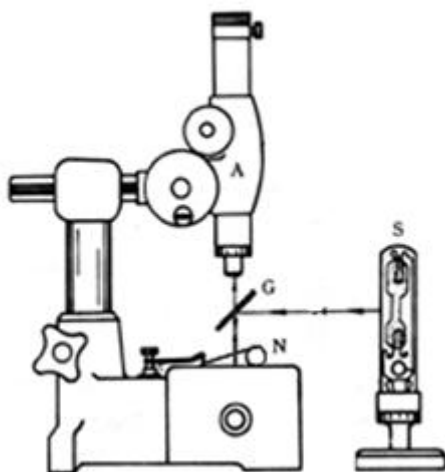


图 4

A 读数显微镜, G 分束板, N 劈尖, S 钠光灯

本实验的主要内容为利用干涉法测量细丝的直径。

1. 观察干涉条纹。

(1) 将劈尖按图 4 所示放置在读数显微镜镜筒和分束板下方, 调节分束板的角度, 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, 使显微镜镜筒下降到接近劈尖然后缓慢上升, 直到观察到干涉条纹, 再微调分束板角度和显微镜, 使条纹清晰。

2. 测量。

(1) 使显微镜的十字叉丝的竖直丝与尖劈玻璃交线重合, 并使水平叉丝与显微镜镜筒移动方向平行。

(2) 在尖劈玻璃面的三个不同部分, 测出 20 条暗纹的总长度, 测 3 组求平均值。重复测量两玻璃片交线到细丝的长度 3 次并求平均值。

(3) 按公式计算细丝直径。

实验仪器

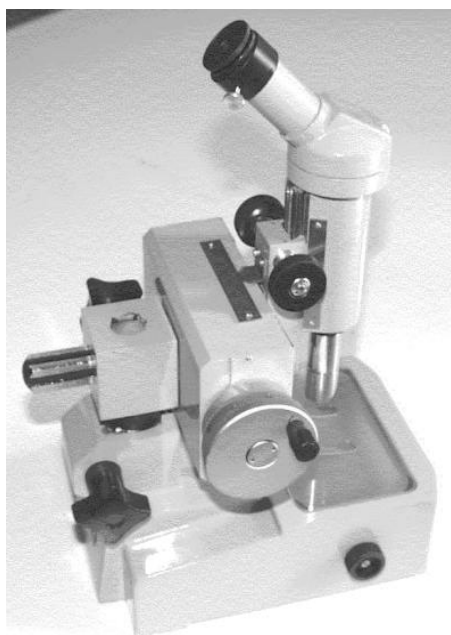
牛顿环法测曲率半径实验的主要仪器有:

读数显微镜, 钠光源, 牛顿环

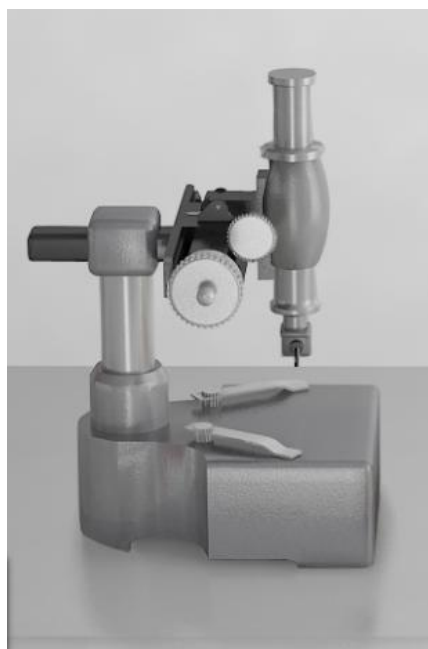
用劈尖测细丝直径实验的主要仪器有:

读数显微镜, 钠光源, 尖劈

读数显微镜:



(读数显微镜的实物照片)



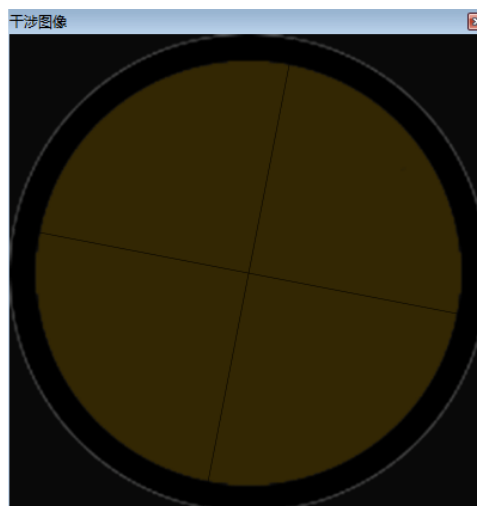
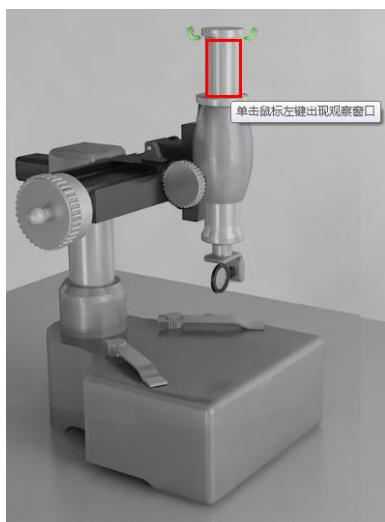
(实验中的读数显微镜)

双击实验桌上读数显微镜小图标可弹出读数显微镜的大窗体。从而调节读数显微镜。



(实验中的放大的读数显微镜)

点击读数显微镜的目镜区域，弹出显微镜的观察窗口。



点击目镜旁边的两个箭头图标，可调节(顺时针或逆时针)目镜窗口中十字叉丝的方向。



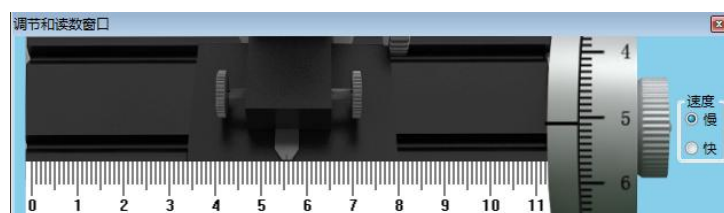
点击放大的显微镜中的调焦手轮，可调节镜筒的高度。



点击放大的显微镜中的分束板，可调节分束板的角。



点击放大的显微镜中的微调鼓轮，可弹出微调标尺窗口。



在标尺窗口，可通过选择“慢”或“快”来调节转轮的旋转速度。

Na 光源：



(钠光灯的实物照片)



(实验中的钠光灯)

点击钠光灯的电源按钮可打开或关闭钠光灯。

牛顿环仪：

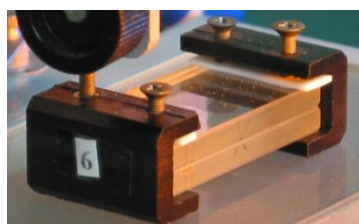


(牛顿环的实物照片)



(实验中的牛顿环)

尖劈



(劈尖的实物照片)



(实验中的劈尖)

四、实验指导

实验重点、难点：

1. 牛顿环及尖劈产生干涉图像的干涉原理。
2. 读数显微镜的调节；

3. 干涉条纹的测量。

操作指导：

界面的右上角的功能显示框:当在普通实验状态下,显示实验实际用时、记录数据按钮、结束操作按钮;在考试状态下,显示考试所剩时间的倒计时、记录数据按钮、结束操作按钮、显示试卷按钮(考试状态下显示)。

右上角工具箱:各种使用工具,如计算器等。

右上角 help 和关闭按钮: help 可以打开帮助文件,关闭按钮功能就是关闭实验。

实验仪器栏:存放实验所需的仪器,可以点击其中的仪器拖放至桌面,鼠标触及到仪器,实验信息提示栏会显示仪器的相关信息;仪器使用完后,则不允许拖动仪器栏中的仪器了。

提示信息栏:显示实验过程中的仪器信息,实验内容信息,仪器功能按钮信息等相关信息,按 F1 键可以获得更多帮助信息。

实验内容栏:显示实验名称和实验内容信息(多个实验内容依次列出),当前实验内容显示为黄色,其他实验内容为蓝色;可以通过单击实验内容进行实验内容之间的切换。切换至新的实验内容后,实验桌上的仪器会重新按照当前实验内容进行初始化。

牛顿环法测平凸透镜曲率半径

一、主窗口：



二、正式开始实验：

(1) 开始实验后，从实验台上将牛顿环拖至显微镜的载物台上。



(2) 打开钠光灯。



(3) 读数显微镜的调节。

双击桌面上读数显微镜小图标，弹出读数显微镜的调节窗体，可以单击调焦旋钮来调节镜筒的高度，单击分束板来调节分束板的度数，单击目镜旁边的箭头调节十字叉丝线的方向，单击显微镜的微调鼓轮可弹出标尺窗口，单击载物台上的牛顿环，可调节牛顿环在载物台的位置。



(4) 调节完成后。



(调节完成后的显微镜)



(调节完成后的干涉图像)

(5) 保存数据，单击记录数据按钮弹出记录数据页面。

实验数据表格

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

牛顿环公式适用

实验室提供的显微镜，钠光灯(波长:589nm)、牛顿环。请测量牛顿环的曲率半径R。将测量实验数据填入表格内。

调整并确定牛顿环在显微镜载物台的位置，然后开始测量实验数据。注意在以后的数据测量过程中，请勿再次调整牛顿环在载物台的位置。

实验测量结果记录下表:

环数	第5环	第10环	第15环	第20环	第25环	第30环	第35环	第40环
左(读数mm)								
右(读数mm)								

根据以上测量的值来计算得出如下数据:

牛顿环的曲率半径值R(m) _____

B类不确定度 _____

关闭

用劈尖测细丝直径

一、主窗口:



二、正式开始实验:

(1) 开始实验后, 从实验台上将劈尖拖至显微镜的载物台上。



(2) 打开钠光灯。



(3) 读数显微镜的调节。

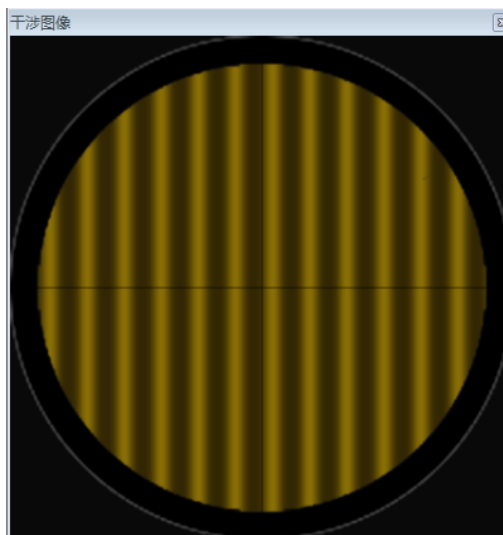
双击桌面上读数显微镜小图标，弹出读数显微镜的调节窗体，可以单击调焦旋钮来调节镜筒的高度，单击分束板来调节分束板的度数，单击目镜旁边的箭头调节十字叉丝线的方向，单击显微镜的微调鼓轮可弹出标尺窗口，单击载物台上的尖劈，可调节尖劈在载物台的位置。



(4) 调节完成后。



(调节完成后的显微镜)



(调节完成后的干涉图像)

(5) 保存数据，单击记录数据按钮弹出记录数据页面。

实验数据表格

$$L \cdot \frac{20}{\Delta l} \cdot \frac{\lambda}{2}$$

干涉法测微小量公式适用。

实验室提供的显微镜，钠光灯(波长:589nm)、尖劈。请测量尖劈中的细丝直径。将测量实验数据填入表格内。

调整并确定尖劈在显微镜载物台的位置，然后开始测量实验数据。注意在以后的数据测量过程中，请勿再次调整尖劈在载物台的位置。

实验测量结果记录下表：

序号	1	2	3
20条暗条纹的宽度			

根据以上测值的值来计算得出牛顿环的曲率半径。

计算尖劈中细丝的直径值D _____

B类不确定度 _____

关闭

五、思考题：

- 1 牛顿环的中心级次是多少？是亮斑还是暗斑？
- 2 为什么说在牛顿环或劈尖实验中测量的干涉条纹数越多，测量的精度越高？
- 3 在牛顿环实验中，试用最小二乘法处理数据。

六、参考书目：

1. 《大学物理实验》第一册，吴泳华, 霍剑青 浦其荣主编，高等教育出版社，2001 年

