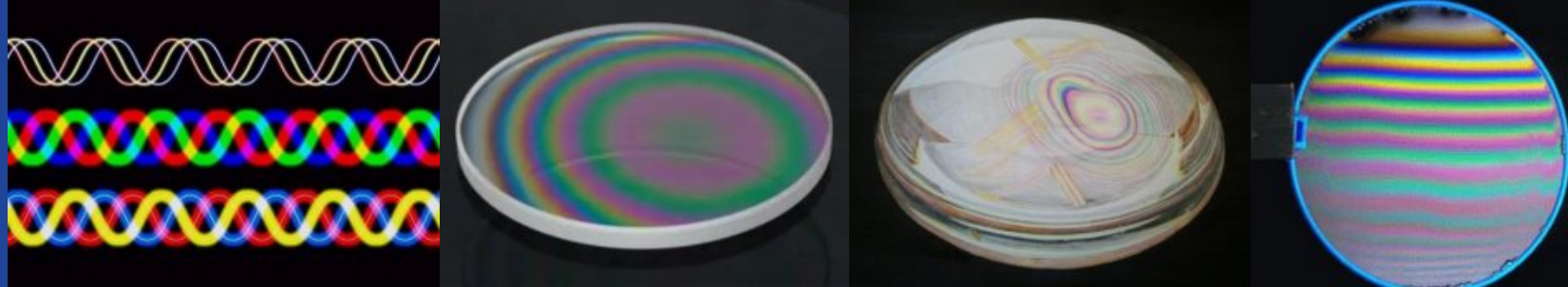
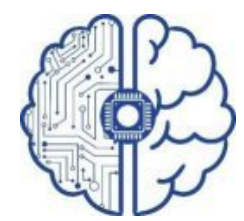


大学物理实验

Physical Experiment of College



# 牛顿环等厚干涉实验



致知在格物，物格而后知至。——《礼记·大学》



**球来香袖依稀暖，酒凸觥心泛滟光。**

——唐·杜牧《羊栏浦夜陪宴会》

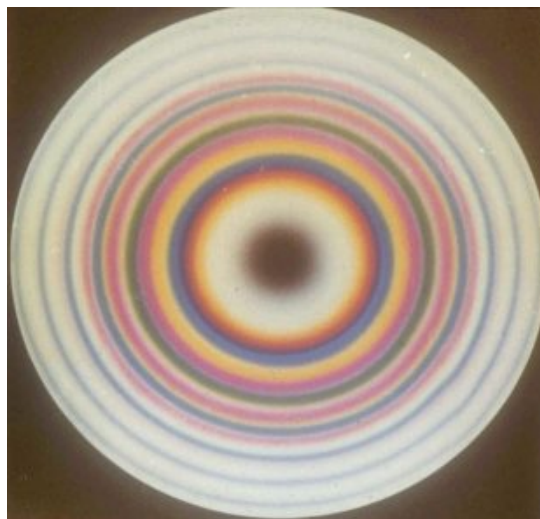
# 牛顿与牛顿环

**1675年**，牛顿在制作天文望远镜时，偶然将一个望远镜的物镜放在平板玻璃上，首次发现了“牛顿环”。

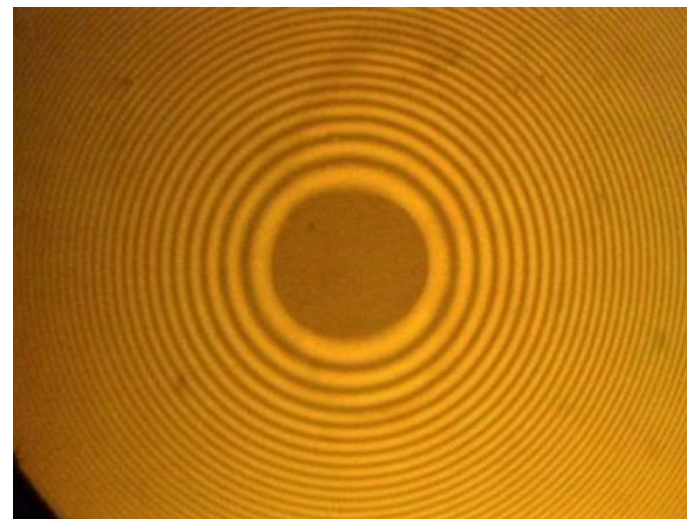
用**白光照射**，接触点出现明暗相间的**同心彩色圆环**；用**单色光照射**，则出现明暗相间的**单色圆环**。这是由于光的干涉造成的，此光学现象被称为“牛顿环”，它是一种**薄膜等厚干涉**。



牛顿 ( 1643-1727 )

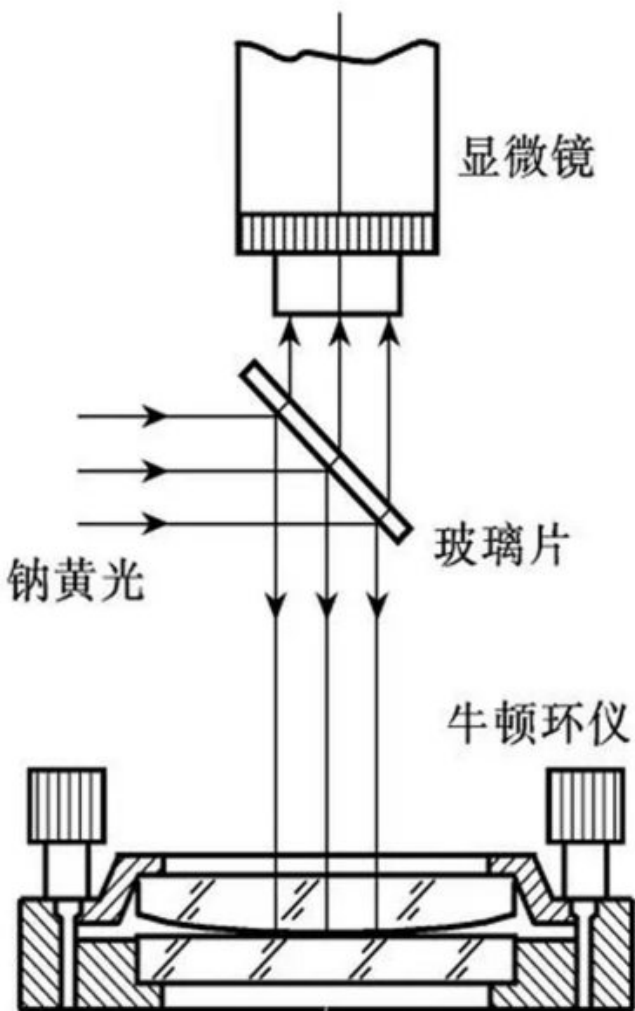


白光牛顿环



单色光牛顿环

# 名词解释



## ●等厚干涉

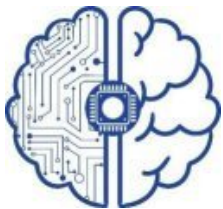
平行光照射到薄介质上，介质上下表面反射的光会在表面处发生干涉。介质厚度相等处的两束反射光有相同的相位差，即具有相同的干涉光强度，这就是等厚干涉。牛顿环和劈尖干涉都属于光的等厚干涉现象。

## ●半波损失

波从波疏介质射向波密介质时，反射波在离开反射点时的振动方向相对于入射波到达入射点时的振动相反；或者说，反射波相对于入射波相位突变 $\pi$ ，这种现象叫做半波损失。

## ●空气薄膜

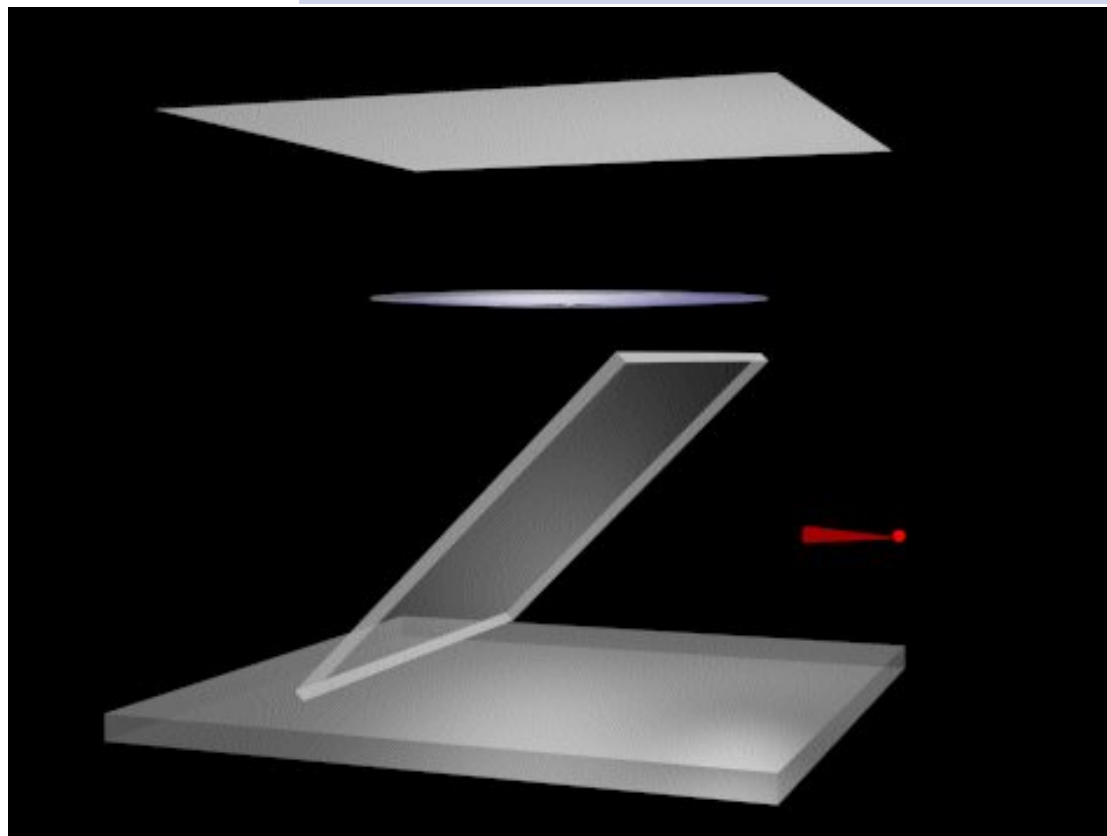
将曲率半径相当大的平凸透镜放在平板玻璃上，在两者之间就会形成一个厚度随直径变化的空气层，称为“空气薄膜”。薄膜等厚干涉条纹是明暗相间的同心圆环，该干涉条纹最早被牛顿发现，故称“牛顿环”。



# 一、实验目的

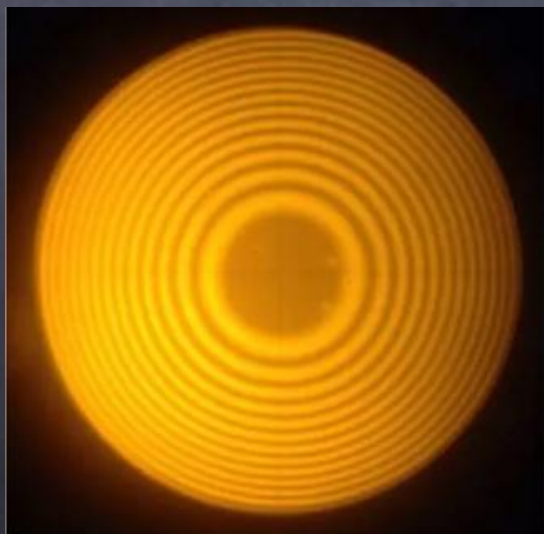
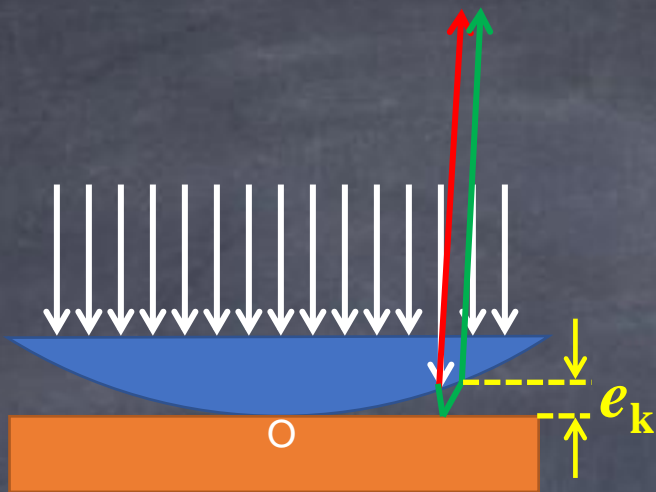
- (1) 观察等厚干涉图像，加深对光的波动性的认识。
- (2) 熟悉读数显微镜的使用技巧和注意事项。
- (3) 掌握牛顿环测量透镜曲率半径的方法。
- (4) 学会分别用逐差法和图解法处理数据。
- (5) 进一步掌握不确定度计算和修约规则。

《牛顿环等厚干涉实验》动态演示：



## 二、实验原理

物理  
角度



两束反射光的光程差：

$$\delta = 2e_k + \lambda/2$$

相干光的干涉规律：

$$\delta = \begin{cases} 2k \lambda/2 & \text{明纹} \\ (2k+1) \lambda/2 & \text{暗纹} \end{cases}$$

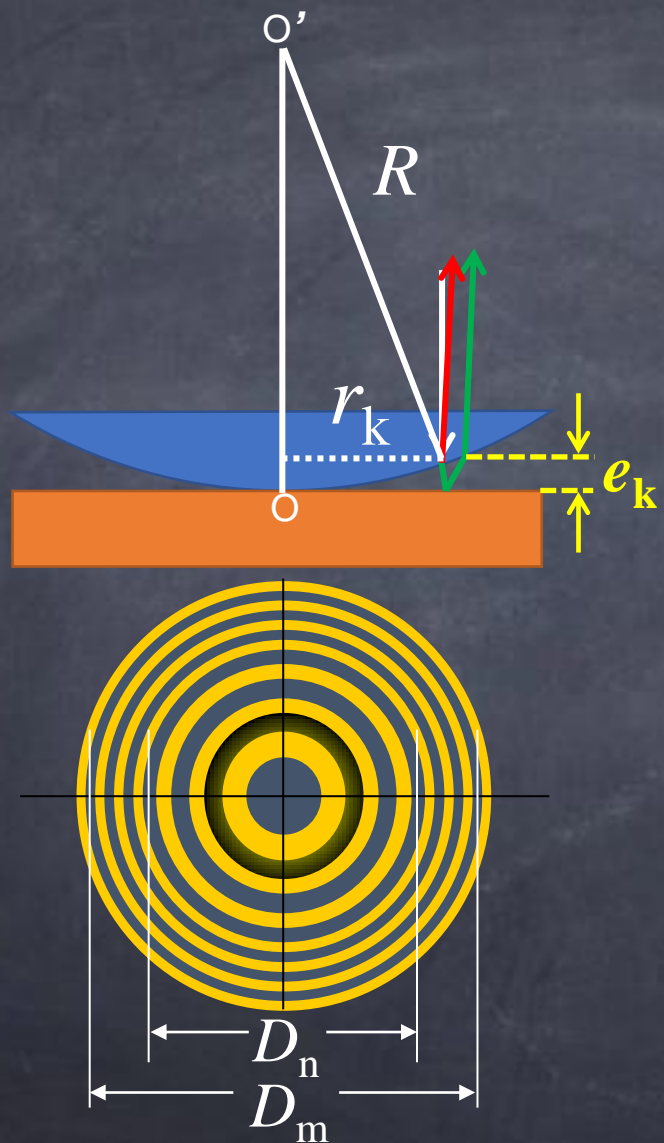
本实验中的牛顿环为暗纹，则有：

$$2e_k + \lambda/2 = (2k+1) \lambda/2$$

可得： $e_k = k \lambda/2$

## 二、实验原理

数学角度



直角三角形中的勾股定理：

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

由于  $R \gg e_k$ ，忽略二阶小量  $e_k^2$ ，可得：

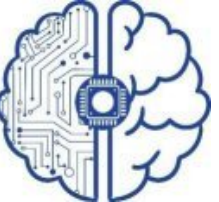
$$r_k^2 = 2Re_k = 2R k \lambda / 2 = R\lambda \cdot k$$

牛顿环中第  $k$  个暗环的直径为  $D_k$ ，有：

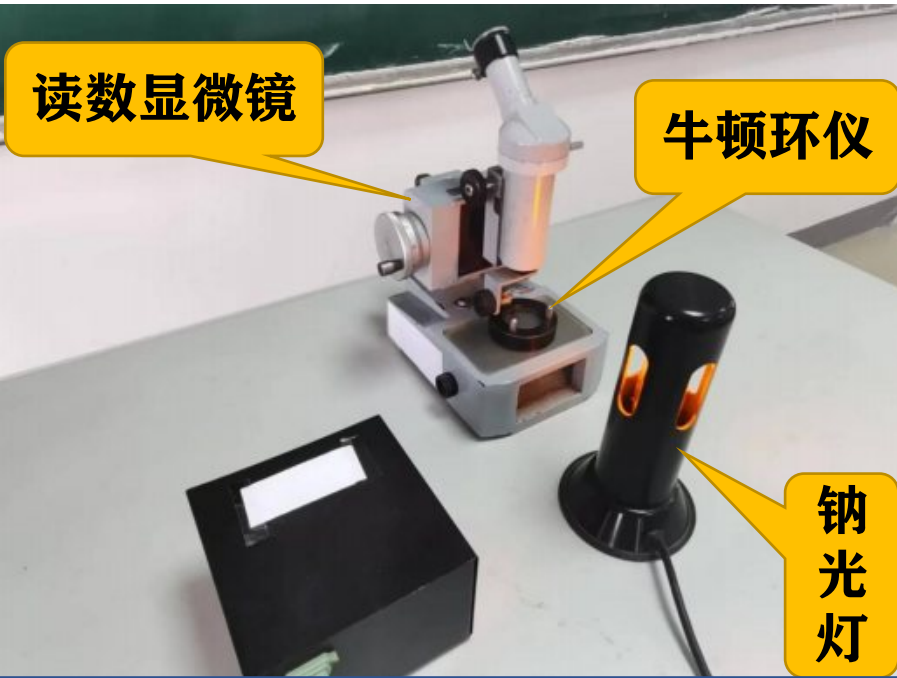
$$D_k^2 = (2r_k)^2 = 4R\lambda k \quad (k=0,1,2,3,\dots)$$

牛顿环第  $m$ 、 $n$  个暗环的直径为  $D_m$ 、 $D_n$ ，得：

透镜曲率半径  $R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda}$



# 三、实验仪器



读数方法：  
先读主尺，主尺精度为1mm；测微鼓轮转一圈，显微镜镜筒移动1mm；测微鼓轮共有100刻度，每一刻度表示0.01mm；测微鼓轮还需估读到以毫米为单位的千分位。



牛顿环仪

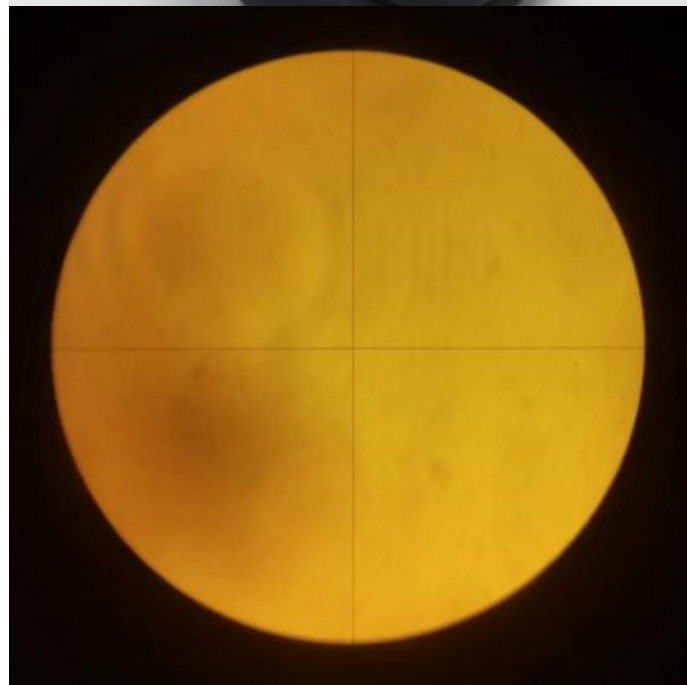
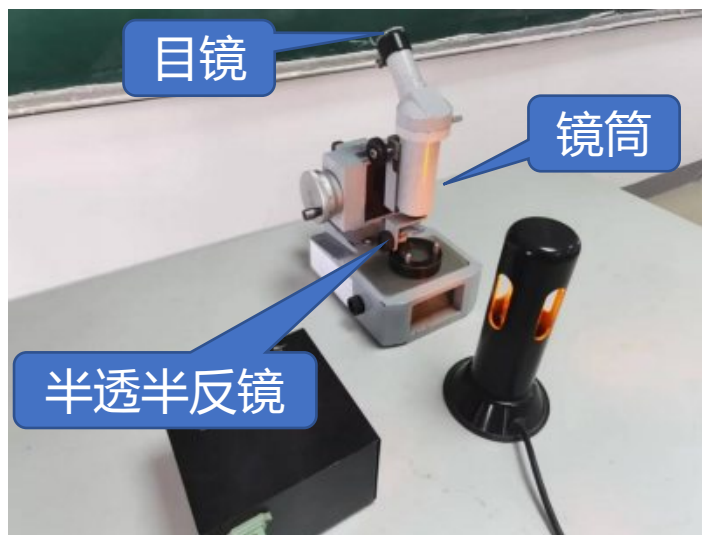




## 四、实验操作

### 第一步：准备及基础调节工作。

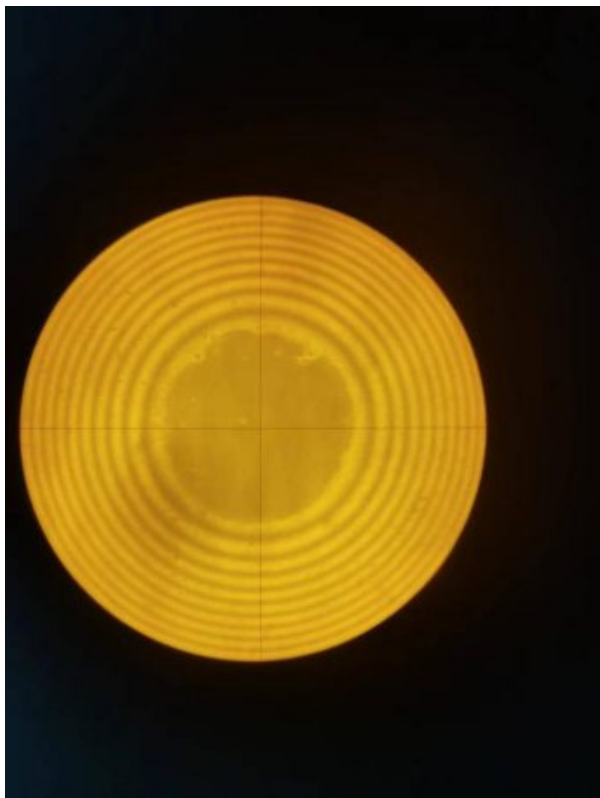
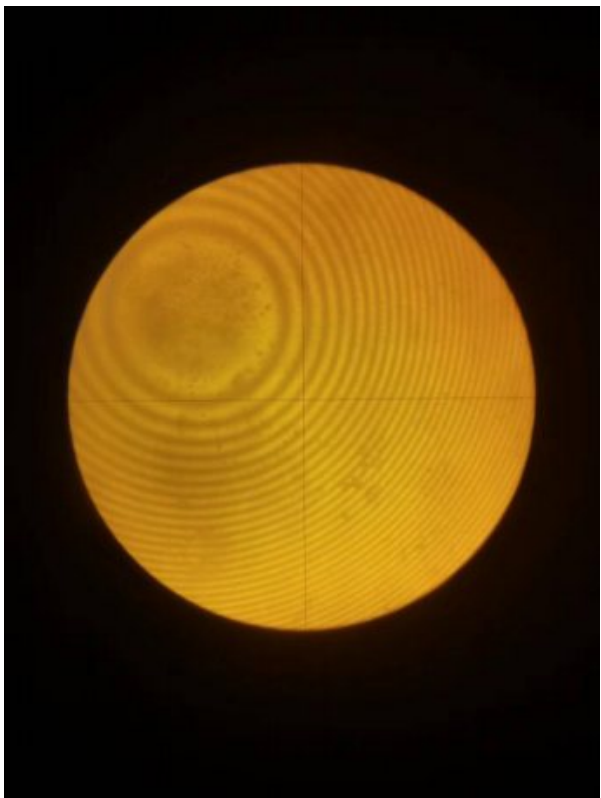
- ①预热钠光灯**5分钟**以上，使其稳定后，靠近、正对显微镜镜筒；
- ②调节牛顿环仪的三个螺钉，使其接触点O位于中央，在日光下通过肉眼就能看到牛顿环仪上出现了**彩色同心圆环**的状态即为最佳，然后将牛顿环仪置于载物台上、显微镜镜筒的正下方；
- ③调节显微镜的目镜，使分划板上的**十字叉丝**清晰；
- ④转动45°半透半反镜的旋钮，找到最好位置，使显微镜视场出现**最明亮的黄色**。



## 四、实验操作

### 第二步：调出牛顿环干涉图像。

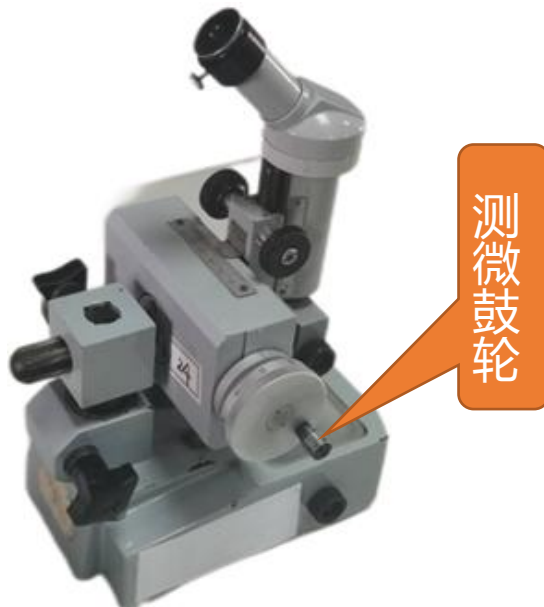
- ①双手旋转物镜**调焦手轮**，使镜筒由低处缓缓上升，边上升边观察，直至显微镜视场中看到清晰的**环状暗条纹**；
- ②微微挪动载物台上的**牛顿环仪**，使牛顿环干涉图像处于**视场正中央**，即视场中的牛顿环圆心与十字叉丝原点重合。



## 四、实验操作

### 第三步：测量圆环直径。

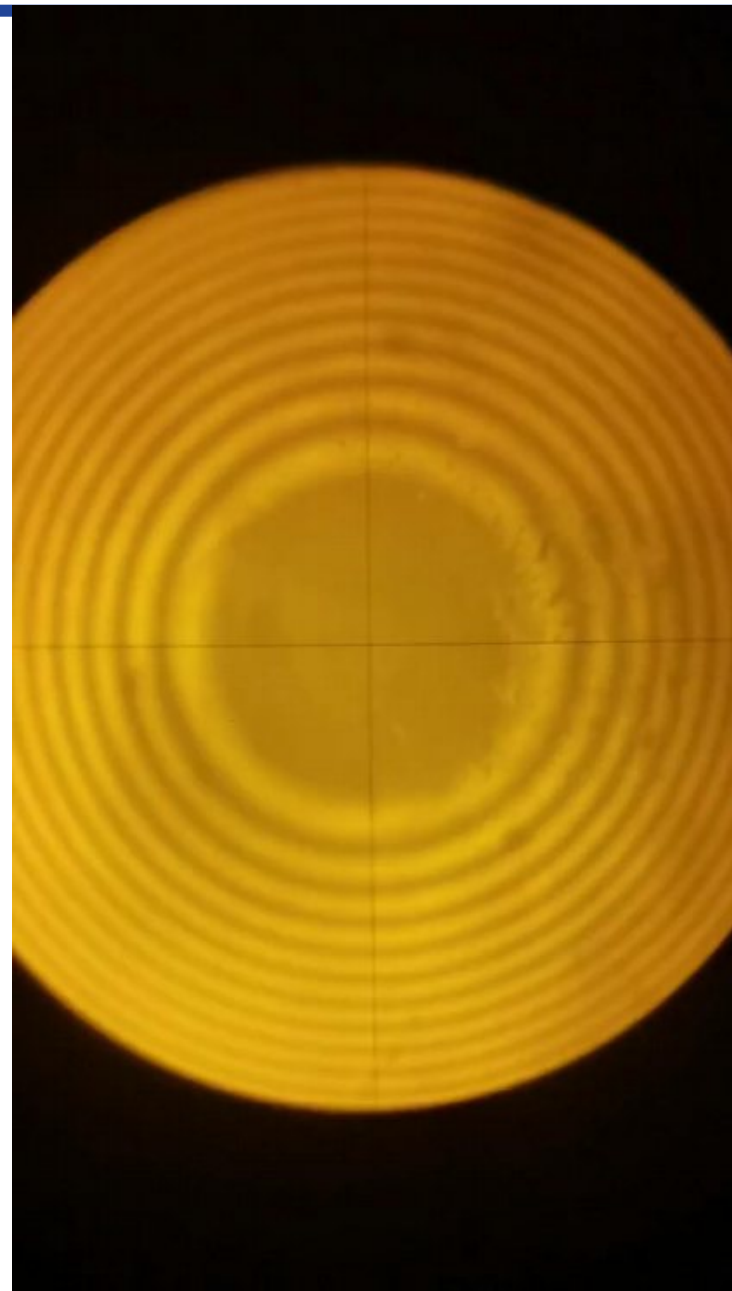
①朝一个方向持续转动**测微鼓轮**，为**避免空程差**，从牛顿环中心暗斑开始数到第35暗环，然后反转鼓轮退回到第30暗环，使十字叉丝竖线对齐暗环线条的中央，记下此时位置读数 $x_{30}$ ；



②继续缓慢转动测微鼓轮，使十字叉丝竖线依次对齐第25、20、15、10、5暗环线条的中央，记下位置读数 $x_{25}$ 、 $x_{20}$ 、 $x_{15}$ 、 $x_{10}$ 、 $x_5$ ；

③继续缓慢转动测微鼓轮，使十字叉丝原点越过牛顿环中心暗斑，向另一方向平移并依次记录下第5、10、15、20、25、30条暗环的位置读数 $x_5'$ 、 $x_{10}'$ 、 $x_{15}'$ 、 $x_{20}'$ 、 $x_{25}'$ 、 $x_{30}'$ ；

④第 $k$ 个圆环的直径即为 $D_k = |x_k - x_k'|$



# 五、数据处理

## (1) 牛顿环等厚干涉实验数据记录表格。

环的级数 $k$ (左)	30	25	20	15	10	5
位置读数 $x_k$ (mm)						
环的级数 $k$ (右)	30	25	20	15	10	5
位置读数 $x_k'$ (mm)						
环的直径 (mm) $D_k =  x_k - x_k' $						
$D_k^2 / \text{mm}^2$						
$D_m^2 - D_n^2 / \text{mm}^2$						
$\bar{R} / \text{mm}$						

# 五、数据处理

## (2) 逐差法处理实验数据：不确定度计算、修约。

透镜曲率半径计算与不确定度评定：

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

这里， $m-n$ 取15， $\lambda=589.30$  nm

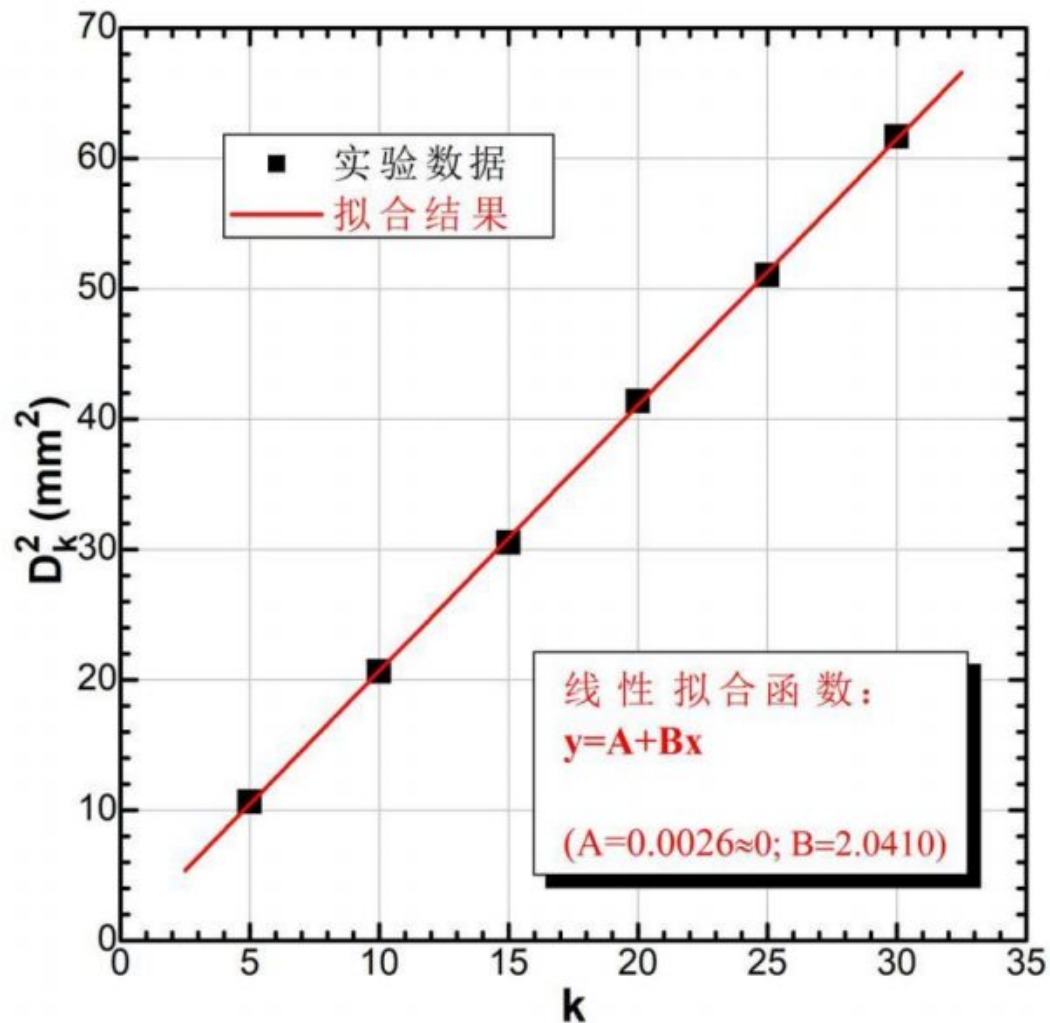
$$U_R = \bar{R} \sqrt{\left(\frac{U_\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{U_{mn}}{m-n}\right)^2 + \left(\frac{U_{D_m^2 - D_n^2}}{D_m^2 - D_n^2}\right)^2}$$

这里， $U_\lambda=0.3$  nm， $U_{mn}=0.2$ ， $D_m^2 - D_n^2$ 只计算A类不确定度

$$R = \bar{R} \pm U_R \quad (\text{注意修约规则})$$

# 五、数据处理

## (3)图解法处理实验数据：计算透镜曲率半径。



示例：基于关系式  $D_k^2 = 4R\lambda k$ ，  
 作  $D_k^2 \sim k$  图，由线性拟合得  
 透镜曲率半径

$$\begin{aligned}
 R &= \text{直线斜率} / 4\lambda \\
 &= 2.0410 / (4 \times 589.30) \times 10^6 \text{mm} \\
 &= \mathbf{866 \text{mm}}
 \end{aligned}$$

直线的截距近似为0，说明实验数据可靠、误差很小，观察到的实验现象真实、有效。

## 六、问题思考

- 有时牛顿环中央是一亮斑，试进行理论分析，并推导此时的曲率半径计算公式。
- 有时牛顿环的干涉图像一半清晰一半不清晰，或者出现了椭圆环，这是何原因？  
实验时该如何改进？

