

# Lau 效应综合实验

## 实验 1 利用双光栅 Lau 效应测量折射率

1948 年, 法国人 E.Lau 用白光扩展源照明两块相隔一定距离( $Z_0$ )的全同光栅在无穷远处观察到彩色条纹的一种干涉现象, 称为双光栅 Lau 效应。若用单色扩展光源照明上述的两光栅, 则可观察到周期性干涉条纹。利用双光栅 Lau 效应可用于测定透明物体折射率、透镜焦距、光波长、温度等物理量。本实验利用双光栅 Lau 效应测定平板玻璃折射率。

### 【实验目的】

1. 了解双光栅 Lau 效应的原理;
2. 学会双光栅 Lau 效应实验装置的调节方法
3. 学会利用双光栅 Lau 效应测定平板玻璃砖的折射率

### 【仪器用具】

分光计、光栅两片、万向调节架、光栅夹持架 2 个、玻璃砖两块(厚度不同)、游标卡尺

### 【实验原理】

如图 1 所示, 利用单色扩展光源照明两完全相同且相距为:

$$Z_0 = \frac{kd^2}{2\lambda} \quad (1)$$

的光栅(暂不考虑放置在中间玻璃砖), 式中  $k=1, 2, \dots$ ,  $\lambda$  为波长,  $d$  为光栅常数, 在无穷远处或望远镜的物镜焦平面上可观察到清晰的周期性干涉条纹。

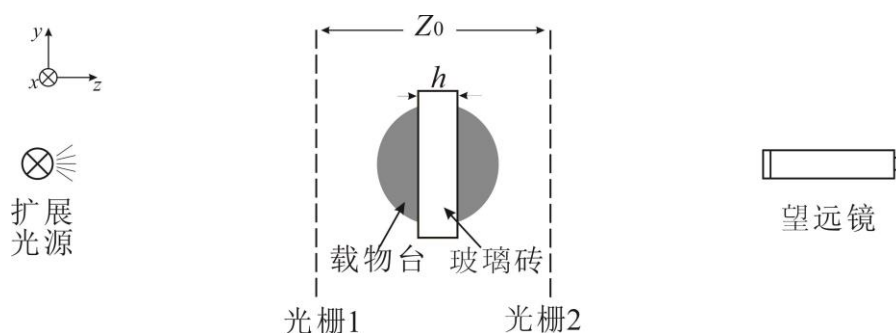


图 1 实验装置示意图

若在两光栅间平行于光栅平面放置透明平板介质(厚度为  $h$ , 折射率为  $n$ ), 只要两光栅

间的光程仍满足(1)式，仍然可观察到周期性干涉条纹。当绕着与光栅刻线平行的  $x$  轴转动平板介质，可在无穷远的接收屏上观察到干涉条纹的平行移动现象。干涉条纹的平移现象可作以下解释：

假设转动平板介质的角度为  $i$ ，则以入射角为  $i$  入射时出射光线与垂直入射的出射光线发生的横向位移  $W$  与入射角  $i$  的关系为：

$$W = h \sin i \left[ 1 - \sqrt{\frac{1 - \sin^2 i}{n^2 - \sin^2 i}} \right] \quad (2)$$

相当于把光栅-1 沿  $y$  方向平移了  $W$  的距离。根据光栅成像原理的 Lau 效应解释，认为无穷远处接收屏(或望远镜物镜焦平面)上的干涉条纹是光栅-1 的像，光栅-2 的作用如同透镜。当然这种作用完全不是几何光学所描述的。这时条纹分布为：

$$I'(x', y') = I' \left( \frac{f}{Z_0} x, \frac{f}{Z_0} y \right) = I \left( \frac{f}{Z_0} x, \frac{f}{Z_0} (y + W) \right) \quad (3)$$

式中  $I$  为平移前某处光强， $I'$  为平移后某处光强， $x, y$  为光栅-1 平面的坐标， $x', y'$  为望远镜物镜焦平面上坐标。若观察屏上某参考点移动整数倍个条纹(条纹间距为  $d'$ )，设移动  $m$  个条纹，则有

$$\begin{aligned} md' &= \frac{f}{Z_0} W \\ W &= m \left( \frac{Z_0}{f} d' \right) = md \end{aligned} \quad (4)$$

由(2)、(4)两式得：

$$md = h \sin i \left[ 1 - \sqrt{\frac{1 - \sin^2 i}{n^2 - \sin^2 i}} \right] \quad (5)$$

由(5)式可知，观察屏上的条纹移动数  $m$  与平板介质的角度转动  $i$  及介质折射率  $n$  有固定关系。

利用上述干涉条纹平移现象可测量介质的折射率。将厚度和折射率分别为  $h_1, n_1$  的光学平板玻璃砖-1 以玻璃面与光栅面平行放置于两光栅间。旋转玻璃砖，观察屏上条纹平移  $m$  条，测量此时玻璃砖所转的角度  $i_1$ ，则

$$md = h_1 \sin i_1 \left[ 1 - \sqrt{\frac{1 - \sin^2 i_1}{n_1^2 - \sin^2 i_1}} \right] \quad (6)$$

取下玻璃砖-1，换上厚度为  $h_2$ 、折射率为  $n_2$  的光学平板玻璃砖-2(玻璃面与光栅面平行放置于两光栅间)，旋转玻璃砖-2，同样观察干涉条纹平移  $m$  个条纹，并记下相应转动角度  $i_2$ ，则

$$md = h_2 \sin i_2 \left[ 1 - \sqrt{\frac{1 - \sin^2 i_2}{n_2^2 - \sin^2 i_2}} \right] \quad (7)$$

由(6)、(7)两式可得：

$$n_2 = \sin i_2 \sqrt{\frac{h_2^2 \cos^2 i_2}{(h_2 \sin i_2 - h_1 P \sin i_1)^2} + 1} \quad (8)$$

式中  $P = 1 - \frac{\cos i_1}{\sqrt{n_1^2 - \sin^2 i_1}}$ 。已知  $h_1, n_1, h_2, i_1, i_2$ ，则可求出玻璃-2 的折射率  $n_2$ 。

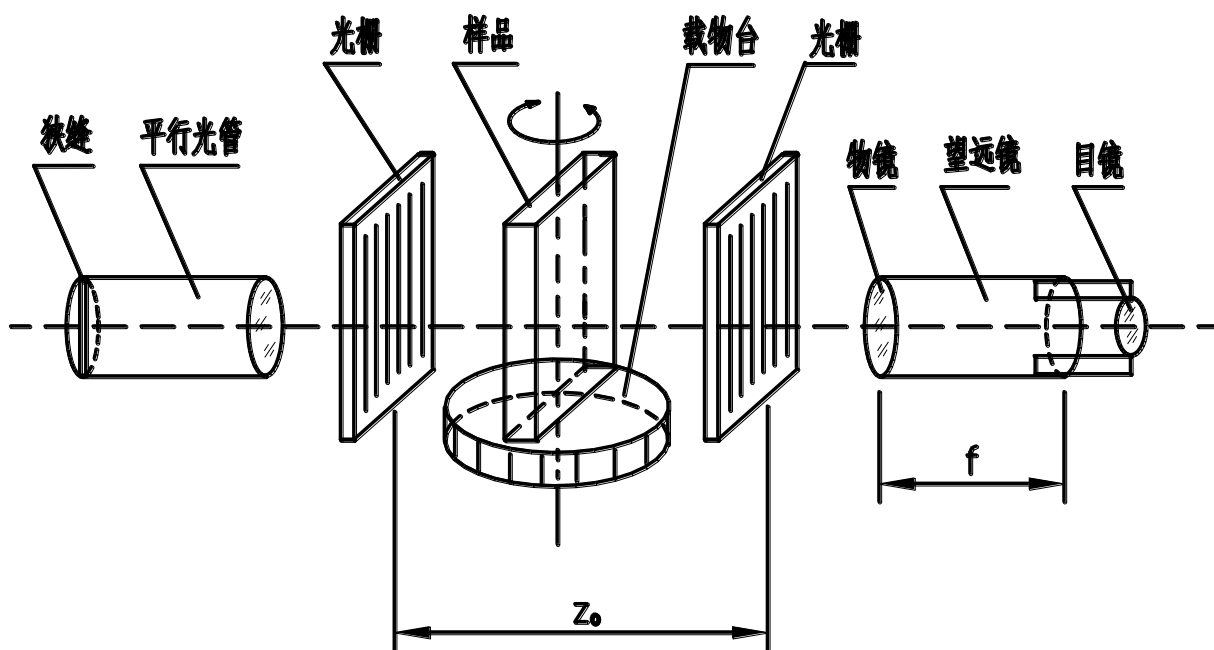


图 2 Lau 效应实验图

### 【实验内容与步骤】

1. 实验实际光路图如图 2 所示，按照分光计的要求调节分光计系统，使其处于可测量状态；

2. 放置光栅-1，调节光栅-1 垂直于分光计的平行光管，且光栅刻线平行于狭缝；当扩展光源的平行光垂直入射到第一个光栅（光栅刻线与平行光管狭缝平行），在望远镜视场中可见几条衍射像。逐渐加宽平行光管的狭缝，视场中的亮线逐渐展宽，成为几个亮带，如图 3 所示。

3. 再放置光栅-2，要求达到与光栅-1 相同的条件，调整两个光栅的间距，当两光栅间距为  $(d^2 / (2\lambda))$  的整数倍时，在视场中第一个光栅的亮带内都会出现干涉条纹，如图 4

所示。

4. 在载物台上放置玻璃砖-1，要求玻璃砖平行于光栅平面，并可观察到清晰的干涉条纹；
5. 旋转载物台，同时计数条纹的平移数目，平移 15 条后停止，求出载物台旋转的角度，即为  $i_1$ ；
6. 取下玻璃砖-1，以同样的方式放置玻璃砖-2，并重复第 5 步，测出  $i_2$ 。
7. 重复步骤 4-6 至少 10 次，画表格记录数据；
8. 利用游标卡尺分别测量两玻璃砖的厚度，并计算玻璃砖 2 的折射率。

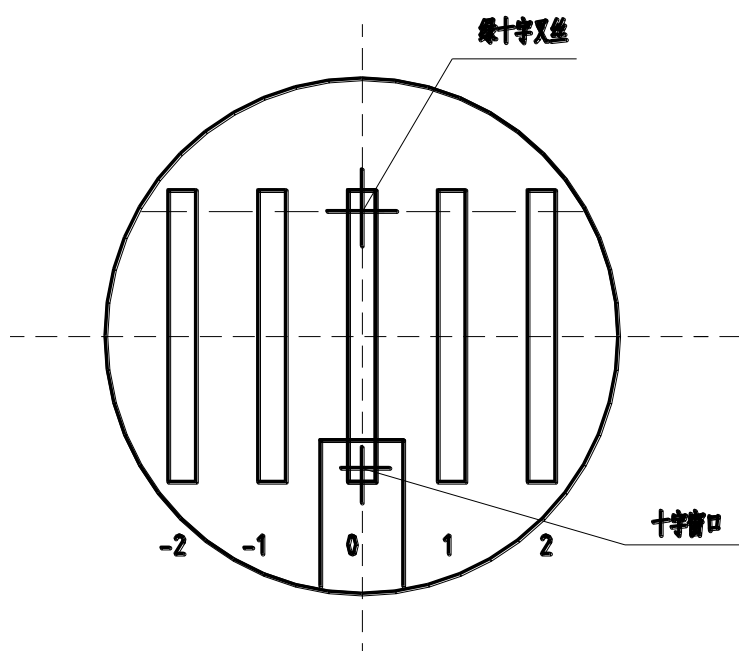


图 3 狭缝对第一光栅的衍射像

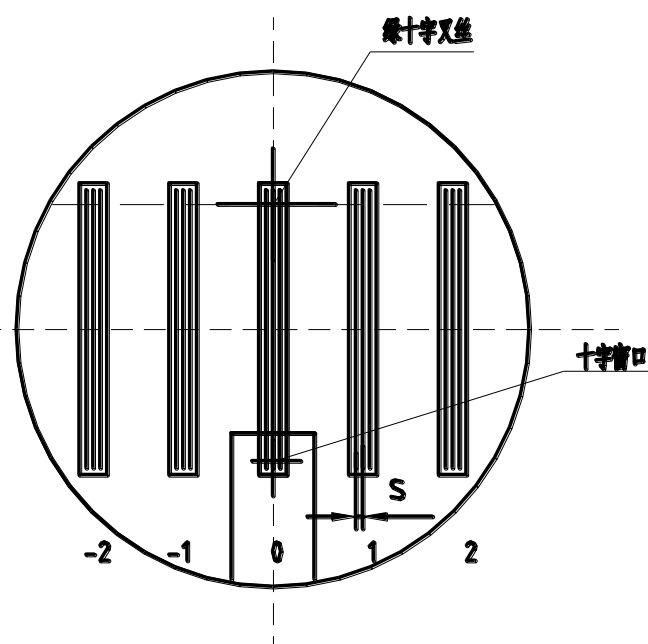


图 4 望远镜视场内看到的 Lau 效应

### 【注意事项】

1. 本实验光栅为定制光栅，实验时一定小心轻放，注意不要用手接触光栅表面，更不要摔在台面或地面上；
2. 实验时玻璃砖的初始位置必须与两光栅平面平行，然后开始旋转，并测量相对旋转角度；
3. 实验中观察到的干涉条纹比较密，因此要反复多次测量，直到  $i_1$ 、 $i_2$  的测量值达到稳定。

## 实验2 利用 Lau 效应测量凸透镜焦距

用扩展单色光源照明两相距一定距离的相同光栅，可观察到周期性干涉条纹，称为双光栅 Lau 效应。利用双光栅 Lau 效应可用于测定透明物体折射率、透镜焦距、光波长、温度等物理量。在实验 1 中，介绍了用 Lau 效应测量折射率，本实验利用该效应测量凸透镜的焦距。

### 【实验目的】

1. 熟悉双光栅 Lau 效应原理；
2. 用 Lau 效应测量透镜焦距

### 【仪器用具】

钠光灯(波长取  $\lambda = 589.3\text{nm}$ )、特制光栅(周期  $d=500\mu\text{m}$ ，占空比 1: 10)两片、望远镜(其物镜为待测凸透镜)、测微目镜、钢尺、光栅夹持架、支杆、支座、磁性表座等

### 【实验原理】

如图 5.16.1 所示，当两光栅的间距满足：

$$z_0 = \frac{\alpha d^2}{\beta \lambda} \quad (1)$$

式中  $\lambda$  为波长， $d$  为光栅常数， $\alpha$  和  $\beta$  是两个互质的整数，可在无穷远处观察的定域的干涉，利用透镜则可在透镜(设焦距为  $f$ )焦平面上观察到清晰的干涉条纹，条纹强度分布为：

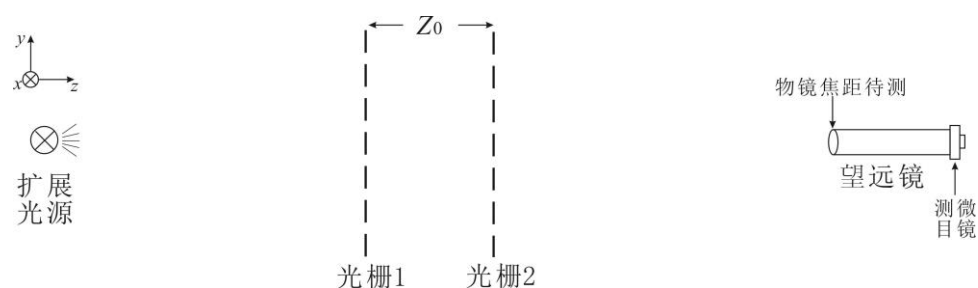


图 1 实验装置示意图

$$I_F(y, \omega) = \begin{cases} \frac{\exp(i\phi)}{f^2} \frac{i_\omega}{\lambda z_0} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} A_n^2 (-1)^n \exp\left[\frac{-i2\pi ny}{fd/(\beta z_0)}\right]; & \alpha\beta \text{ 奇数} \\ \frac{\exp(i\phi)}{f^2} \frac{i_\omega}{\lambda z_0} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} A_n^2 \exp\left[\frac{-i2\pi ny}{fd/(\beta z_0)}\right]; & \alpha\beta \text{ 偶数} \end{cases} \quad (2)$$

式中

$$A_n = \frac{1}{d} \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} t(y_1) \exp\left(-\frac{i2\pi ny_1}{d/\beta}\right) dy_1 \quad (3)$$

其中  $t$  为光栅透过率函数，其函数为：

$$t = \begin{cases} 1 & y_1 \in [md - \frac{a}{2}, md + \frac{a}{2}] \\ 0 & y_1 \in (md - \frac{d}{2}, md - \frac{a}{2}) \cup (md + \frac{a}{2}, md + \frac{d}{2}) \end{cases} \quad (4)$$

式中  $m$  为整数， $a=d/10$ 。

焦平面上干涉条纹的周期为：

$$p = \frac{fd}{\beta z_0} \quad (5)$$

通过测微目镜直接测量焦平面上干涉条纹间距  $p$ ，便可计算出焦距：

$$f = \frac{\beta z_0 p}{d} \quad (6)$$

当  $\alpha$ 、 $\beta$  取 1 时，干涉条纹间距最大，易于测量。

### 【实验内容步骤】

1. 按光路图 1 安装并放置元件，调整光栅-1，光栅-2 的高度和间距，同时移动测微目镜与望远镜物镜间的距离，直至在视野中可以观察到等宽度、等强度亮纹的较清晰的干涉条纹。

2. 反复调节进行，至成像高度锐利且清晰。

3. 将光栅-1 固定，通过望远镜观察干涉条纹，同时调整光栅-2 位置，直至成最锐利且清晰的等强度条纹时即纪录光栅-1 和光栅-2 的位置，并测量干涉条纹的间距，反复操作 10 次，记录结果与表格，并计算焦距值。

4. 利用钢尺，粗略的测量透镜焦距，若 3 中所计算的焦距值与直接测量的焦距值相近(在 1cm 范围内)，则 3 中所测的值为实际焦距值，若差别过大，则 3 中所测值有误，需重新调整后再次测量。

### 实验 3 利用双光栅 Lau 效应测量光波波长

实验 1、2 中分别介绍了利用 Lau 效应测量折射率和凸透镜焦距，本实验利用双光栅 Lau 效应测量光波波长。在双棱镜测光波波长的实验中，对波长微观量的测量转化为几个宏观量的测量，本实验中也是通过几个宏观量的测量来求波长。

#### 【实验目的】

1. 熟悉双光栅 Lau 效应原理；
2. 测量光波波长

#### 【仪器用具】

白光源、干涉滤光片(中心波长待测)、特制光栅(周期  $d=500\mu\text{m}$ ，占空比 1: 10)两片、望远镜、测微目镜、钢尺、光栅夹持架、支杆、支座、磁性表座等

#### 【实验原理】

实验光路如图 1 所示。最初，法国人 E.Lau 观察到双光栅干涉现象两光栅间的距离满足：

$$z_0 = \frac{kd^2}{2\lambda} \quad (1)$$

式中  $k=1,2,\dots$ ， $\lambda$  为波长， $d$  为光栅常数。实际上，式(1)所提供的双光栅干涉条件可以推广为更为普遍的形式：

$$z_0 = \frac{\alpha d^2}{\beta\lambda} \quad (2)$$

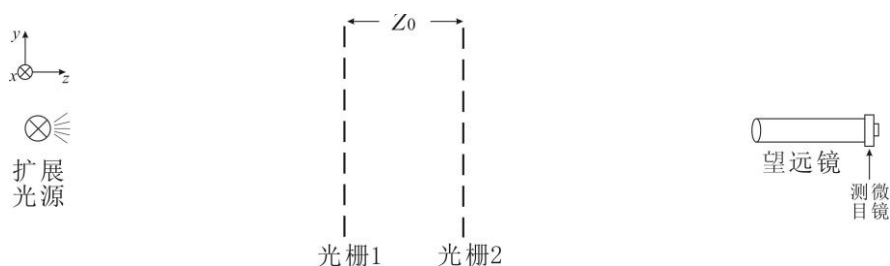


图 5.17.1 实验装置示意图

式中  $\alpha$  和  $\beta$  是两个互质的整数，满足此条件，在透镜焦平面上的光强分布为：

$$I_F(y, \omega) = \begin{cases} \frac{\exp(i\phi)}{f^2} \frac{i_\omega}{\lambda z_0} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} A_n^2 (-1)^n \exp\left[\frac{-i2\pi ny}{fd/(\beta z_0)}\right]; & \alpha\beta \text{ 奇数} \\ \frac{\exp(i\phi)}{f^2} \frac{i_\omega}{\lambda z_0} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} A_n^2 \exp\left[\frac{-i2\pi ny}{fd/(\beta z_0)}\right]; & \alpha\beta \text{ 偶数} \end{cases} \quad (3)$$

上式中

$$A_n = \frac{1}{d} \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} t(y_1) \exp\left(-\frac{i2\pi ny_1}{d/\beta}\right) dy_1 \quad (4)$$

其中  $t$  为光栅透过率函数，其函数为：

$$t = \begin{cases} 1 & y_1 \in [md - \frac{a}{2}, md + \frac{a}{2}] \\ 0 & y_1 \in (md - \frac{d}{2}, md - \frac{a}{2}) \cup (md + \frac{a}{2}, md + \frac{d}{2}) \end{cases} \quad (5)$$

式中  $m$  为整数， $a=d/10$ 。

焦平面上的条纹周期为：

$$D = \frac{fd}{\beta z_0} = \frac{\lambda f}{\alpha d} \quad (6)$$

条纹亮纹的宽度为：

$$w = \frac{2af}{z_0} = \frac{2\beta fa}{\alpha d^2} \quad (7)$$

上式中  $a$  为光栅透光部分的宽度(对于本实验中的光栅， $a = 50\mu\text{m}$ )。亮纹宽度

与条纹周期比值为：

$$\frac{w}{D} = \frac{2\beta a}{d} \quad (8)$$

由(8)式可见  $\beta$  值越小，亮纹越细锐。

综合(2)、以及(6)~(8)等式，我们发现可利用两光栅的间距或条纹的周期来计算入射光波长，但必须在实验中确定  $\alpha$ 、 $\beta$  值。由(6)可以看出  $\alpha$  越小，则屏上的条纹周期大，越便于测量；同时，由(2)式，如果  $\beta$  越小，则光栅的间距也会较大，则测量  $z_0$  值的误差相对会小。

因此，可认为  $\alpha = \beta = 1$  是测量波长的最佳条件。可在测量众多的数据中筛选出符合  $\alpha = \beta = 1$  数据，其步骤如下：

1) 任意调节两光栅的间距，当观察到清晰的条纹后测量条纹周期  $D$  和光栅距离  $z_0$ ，利用(5.17.6)式计算  $\beta$  值，那些可得出  $\beta \sim 1$  的( $D$ ， $z_0$ )的数据对视为有效数据；

2) 在有效数据里面根据  $D$  与  $\alpha$  成反比的关系，确定这些因  $\alpha$  值不同而产生各种  $D$



的最大值，并视为这些值是满足  $\alpha = 1$  这个条件，并利用(2)或(6)式计算  $\lambda$ ；

3) 根据计算出的  $\lambda$ ，若其在可见光波长范围内，则可认为有效，不在范围内，则删除。

### 【实验内容与步骤】

1. 按光路图 1 安装并放置元件，调整光栅-1，光栅-2 的高度和间距，同时移动测微目镜与望远镜物镜间的距离，直至在视野中可以观察到等宽度、等强度亮纹的较清晰的干涉条纹。

2. 反复调节进行，至成像高度锐利且清晰，保持两光栅平面平行。

3. 实验者将光栅-1 固定，通过望远镜观察干涉条纹，同时调整光栅-2 位置，直至成最锐利且清晰的等强度条纹时即纪录光栅-1 和光栅-2 的位置。反复操作多次次，记录结果与表格。

4. 从众多的  $(D, z_0)$  的数据调出符合  $\alpha = \beta = 1$  数据。

5. 在符合  $\alpha = \beta = 1$  两光栅间距值  $z_0$  附近反复测量，求出波长。