

## 注意事项

每次实验上课前请完成实验预习题，扫描下方二维码即可进入填写实验预习题。预习题截止时间为上课前，上课前没有完成预习题的同学将没有预习分数。



实验课堂上请注意以下事项：

- (1) 不了解如何进行实验时请咨询老师。
- (2) 不要用手直接触摸光学镜片表面。
- (3) 实验中请不要到其他人实验台拿取元件，若自己实验台实验器材出现问题，请及时通知老师。
- (4) 双光栅 Lau 效应实验中需注意光栅安装要牢固，避免掉落损坏。不要手拿万向节整体离开实验台。
- (5) 每次实验需要完成的具体内容以当堂老师为准，实验报告上交方式请咨询当堂教师。

实验课结束后一个星期内，请扫描实验室门口张贴的二维码，进入并完成实验课后题。

双光栅实验课后题：



## 双光栅 Lau 效应应用实验

1948 年法国科学家 Ernst Lau 用扩展光源照射前后平行放置的两个具有相同光栅常数的衍射光栅，在后方观察到了明暗相间的高对比度条纹，该现象之后被称为 Lau 效应。这种非相干光源照明引起的干涉现象被证明与 1836 年发现的单光栅自成像 Talbot 效应有着深刻的联系。1979 年 Jahns 和 Lohmann 运用几何光学和标量衍射理论解释了 Lau 效应中的光强分布，此后 1981 年 Sudol 和 Thompson 给出了部分相干光衍射理论的解释，1982 年 Swanson 和 Leith 又基于双光栅衍射干涉模型对 Lau 效应和双光栅成像进行了解释。在国内也有利用杨氏干涉模型对 Lau 效应给出了解释和分析。

Lau 效应可以产生高对比度明暗相间条纹，以此为基础可以构建多种实验和表征方法，如测量折射率、透镜焦距、光源波长、表面形貌表征、光学编码和微振动测量等。

### 待研究的问题：

1. 在分光计上观察透射式衍射光栅的衍射现象并测量光栅常数。
2. 在分光计平台上组装 Lau 效应实验并用比较法测量平行板玻璃折射率。
3. 利用双光栅 Lau 效应实验测量透镜焦距。

### 实验原理：

#### 1. 衍射光栅

衍射光栅是一种周期性结构的光学装置，它能够调制入射光的相位、振幅等属性，使透过它的光发生衍射、干涉。

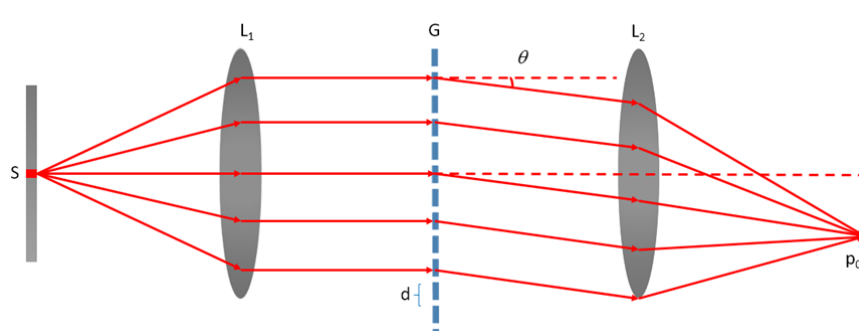


图 1 光栅衍射光路图

如图 1 所示 S 为位于透镜  $L_1$  物方焦平面上的狭缝光源，G 为透射式衍射光栅，d 为光栅常数即衍射光栅两相邻刻线间的距离，自  $L_1$  射出的平行光垂直的

入射光栅 G，经光栅衍射后的衍射光通过透镜 L<sub>2</sub> 会聚在其焦平面上的 P<sub>0</sub> 点。衍射亮纹的位置可以通过夫琅禾费衍射理论得到：

$$d \sin \theta = m \lambda \quad (m = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm n) \quad (1)$$

利用基础光学实验仪器分光计来构建色散分光光路如图 2 所示可以方便测量通过衍射角  $\theta$  来计算光栅常数 d。

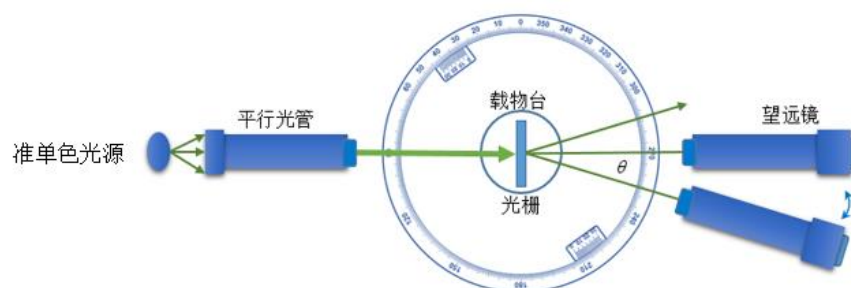


图 2 使用分光计测量光栅衍射角示意图

## 2. 分光计平台上组装 Lau 效应实验并用比较法测量平行板玻璃折射率

如图 3 所示 G1 和 G2 是两相互平行前后放置具有相同光栅常数的衍射光栅，当用扩展光源从 G1 前方照射时，在无穷远处观察或使用透镜在焦面上可以观察到干涉条纹的光学现象被称为 Lau 效应。

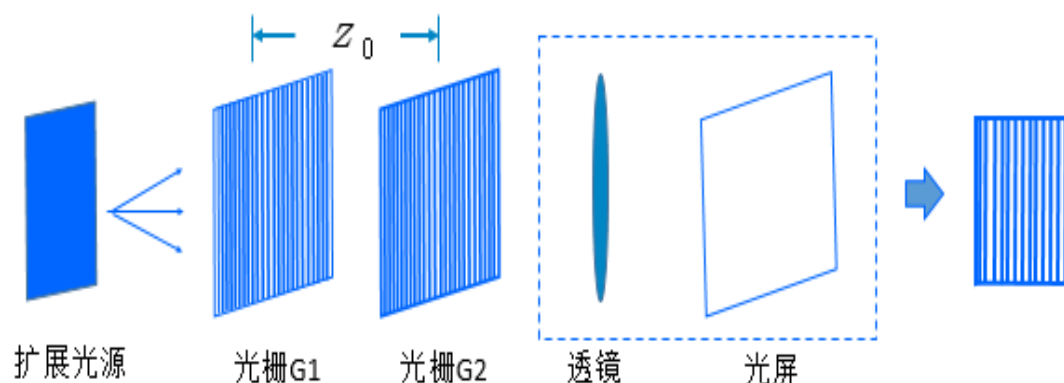


图 3 双光栅 Lau 效应原理图

利用双光栅干涉衍射原理分析 Lau 效应过程，可以得到干涉条纹最清晰时两光栅间距应满足：

$$Z_0 = k \Delta^2 / 2 \lambda \quad k=1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

上式中  $Z_0$  是两光栅间距， $\Delta$  是光栅常数， $\lambda$  是光源波长，当两光栅间距满足 (2) 式时，光栅后干涉条纹最清楚。

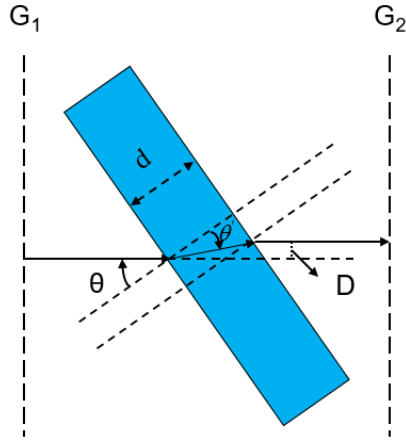


图 4 Lau 效应双光栅间平板玻璃旋转示意图

如图 4 所示在 Lau 效应的双光栅 G1 和 G2 之间插入透明的平行板玻璃，当平行板玻璃绕在自身平面内且与光栅刻线方向平行的轴转动时，双光栅后 Lau 效应干涉条纹将会随之移动。根据 Lau 效应和光栅成像原理，平板玻璃样品厚度为  $d$ 、折射率为  $n$  置于两光栅间，转动平板玻璃样品时由几何光学关系可得：

$$D = d \sin \theta \left[ 1 - \left( \frac{1 - \sin^2 \theta}{n^2 - \sin^2 \theta} \right)^{1/2} \right] \quad (3)$$

上式中  $D$  为平行板玻璃转动所引起的光线偏移量，如果用光栅 G2 对光栅 G1 成像的观点分析 Lau 效应过程， $D$  也可以认为是透明平行板玻璃旋转引起的光栅 G1 位移量。

随着样品的转动，透镜焦面附近的光屏上观察到的干涉条纹会同步移动，从光栅成像的角度考虑，若透镜焦距为  $f$ ，条纹间距为  $s$  且光屏上移动  $m$  个条纹时有：

$$D = \frac{z_0}{f} m s \quad (4)$$

$$\Delta = \frac{z_0}{f} s \quad (5)$$

由 (3), (4), (5) 式可得：

$$m \Delta = d \sin \theta \left[ 1 - \left( \frac{1 - \sin^2 \theta}{n^2 - \sin^2 \theta} \right)^{1/2} \right] \quad (6)$$

若在实验中使用标准样品和待测样品两块透明平行板玻璃对照测量，标准样品的折射率为已知，待测样品折射率未知待测，实验中只需测量光屏上条纹移动数一定 (建议  $m=10$ ) 时样品的转动角度  $\theta$ ，测出标准样品和待测样品的厚度，联

立两块样品的(6)式消去  $m$  和  $\Delta$  后带入已知参数和测量量即可求得待测样品的折射率。

2. 利用双光栅 Lau 效应实验测量透镜焦距

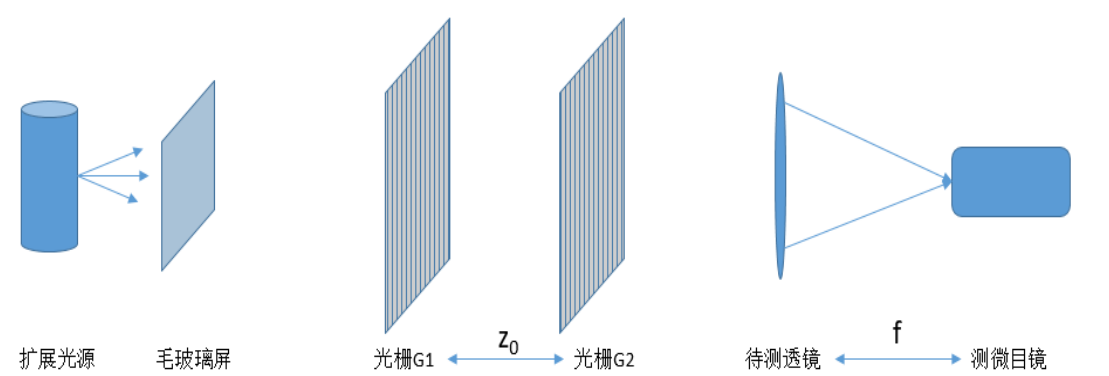


图 5 基于 Lau 效应实验测量透镜焦距原理图

在如图 5 所示光路中，若使用成像透镜可以将无穷远出的 Lau 效应条纹成像在透镜后焦平面上。根据(5)式有：

$$f = \frac{s \cdot z_0}{\Delta} \tag{7}$$

可见只需在实验中测量得到双光栅间距  $z_0$  和 Lau 效应条纹间距  $s$ ，在已知光栅常数的情况下，即可由(7)计算待测成像透镜焦距。

实验装置：

透射式黑白光栅两块(20gr/mm)，分光计，钠光灯 ( $\lambda=589.3\text{nm}$ )，万向节及固定支架两套，待测样品一块，标准样品一块( $n=1.5263$ )，螺旋测微器，刻度尺，测微目镜，实验装置如图 5 所示。

实验内容：

1. 基础内容

利用万向节将衍射光栅吊放在分光计载物台中央，平行光管方向与光栅面垂直，利用分光计测量钠光灯的衍射角，利用公式（1）计算光栅常数。

表 1 实验测量衍射角数据表格

角位置	1 级亮纹		-1 级亮纹	
	左游标	右游标	左游标	右游标
角位置	1 级亮纹		1 级亮纹	
	左游标	右游标	左游标	右游标

--	--	--	--	--

观察光栅的缺级现象，分析并给出实验所用光栅的占空比。

### 2. 提升内容

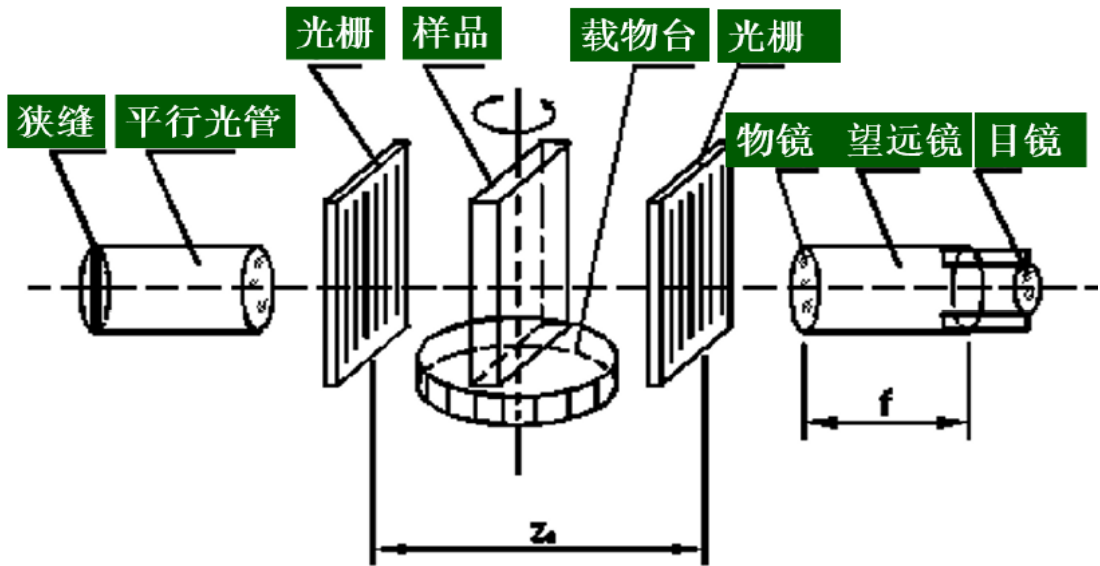


图 6 分光计上双光栅 Lau 效应实验装置图

分光计可以用于精确测量平板玻璃样品转动角度，如图 6 所示，使用分光计和万向节时可以搭建合理的实验平台测量条纹移动时的样品转角。组装透明平行板玻璃折射率测量装置。采用比较法测量并计算待测样品折射率。

建议：由于空间的限制，两光栅间距  $z_0$  取值 5~10cm 之间较为合适。

实验中分别测量相对初始位置条纹移动 10 条时，标准样品和待测样品的入射角，各测量三次，填入表 1。

表 1 实验测量入射角数据表格

次数	标准样品				待测样品			
	三次入射角 ( $\theta$ )				三次入射角 ( $\theta_1$ )			
	初始位置		末态位置		初始位置		末态位置	
1								
2								
3								
平均								

分别测量标准样品厚度  $d$  和待测样品的厚度  $d_1$ 。推导待测样品折射率的计算公式，将测量的入射角代入公式计算待测样品折射率。

### 3. 进阶内容（选作）

(1) 改变光栅 G1 和 G2 间距为分别为 5cm 和 10cm，观察此时 Lau 效应条

纹，对比两种条件下干涉条纹宽度，完成测量一次实验数据，分析两种间距下条纹的形貌对实验系统误差的影响。

(2). 分别计算待测样品 1 的厚度及入射角的 A 类不确定度 ( $n=3$ , 置信概率  $P=95\%$ )

#### 4. 高阶内容(选作)

按图 3 所示, 使用钠光灯作为扩展光源, 将分光计阿贝目镜更换为测微目镜, 使用刻度尺测量 Lau 效应条纹对比度最高时的两光栅间距  $z_0$ , 使用测微目镜测量 Lau 效应条纹间距  $s$ , 利用公式 (7) 计算透镜焦距。

#### 参考资料:

1. E. Lau, Ann. Phys. 6, 417, 1948.
2. J. Jahns and A. W. Lohmann, Opt. Commun. 28, 263, 1979.
3. R. Sudol and B. J. Thompson, Appl. Opt. 20, 1107, 1981.
4. G. J. Swanson and E. N. Leith J. Opt. Soc. Am 72, 552, 1982
5. 巫颐秀 林一鸣 光栅成像与 Lau 效应 物理学报 35, 6, 1986
6. 刘立人 平面物体的 Lau 效应理论 光学学报 6, 9, 1986
7. Xu, De-Qin Song, Xin-Bing Wang, Hai-Bo OPTICS LETTERS 38 14 2013
8. Turlapov, A Tonyushkin, A Sleator, T PHYSICAL REVIEW A 71, 4, 2005