

## 用 CCD 成像系统观测双棱镜干涉实验

采用分波阵面的方法，可以获得相干光源，双棱镜颇具有代表性。虽然在激光出现之后，设法获得相干光源的工作已不如早期那样的重要，但双棱镜干涉在实验构思及装置调整等问题上仍然具有重要意义。

### 【实验目的】

1. 了解双棱镜干涉装置及光路调整方法；
2. 观察双棱镜干涉现象并用它测量光波波长；
3. 利用 CCD 成像系统观测双棱镜干涉条纹，学习对 CCD 成像系统进行长度单位定标。

### 【实验原理】

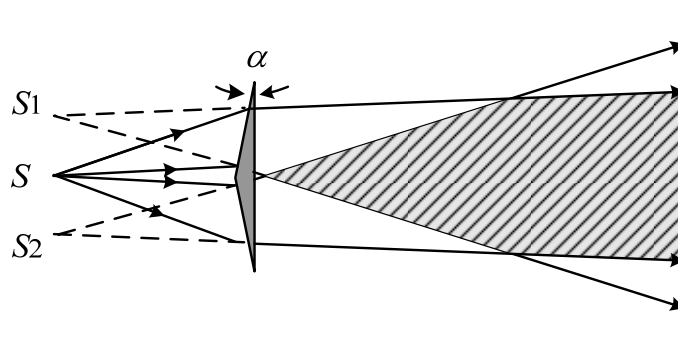


图 1 双棱镜干涉原理图

### 1. 双棱镜干涉原理

双棱镜可看作是由两个折射棱角  $\alpha$  很小（小于  $1^\circ$ ）的直角棱镜底边相接而成。借助于双棱镜可使从光源  $S$  发出的光的波阵面沿两个不同方向传播。相当于虚光源  $S_1$  及  $S_2$  发出的两束相干光。在两束光交迭空间的任何位置上将有干涉发生，在该区域内可以接受并观察到干涉条纹。

双棱镜干涉条纹间距的计算方法，与杨氏双缝干涉的计算方法相同。在图 2 中，若  $S_1$  和  $S_2$  之间的距离为  $d$ ， $S$  至观察屏的距离为  $D$ （当用测微目镜代替屏进行观察时，则为  $S$  至目镜的可动分划板间的距离）， $P_0$  为屏上与  $S_1$  及  $S_2$  等距离的点，在该点处两束光波的光程差也为零，因而两波相互加强而成零级的亮条纹。在  $P_0$  点的两边还排列着明暗相间的干涉条纹。

设  $S_1$  和  $S_2$  到屏上距  $P_0$  点的距离为  $x_k$  的  $P_k$  点的光程差为  $\delta$ ，当  $D \gg d$ 、 $D \gg x$  时，有

$$\delta = \frac{x_k}{D} d \quad (1)$$

根据相干条件，当光程差  $\delta$  满足：

$\delta = \pm 2k(\frac{\lambda}{2})$  时，即在  $x = \pm \frac{D}{d}k\lambda$  处 ( $k=0, 1, 2 \dots$ )，产生亮条纹；

$\delta = \pm(2k-1)(\frac{\lambda}{2})$  时，即在  $x = \pm \frac{D}{d}(2k-1)$  ( $k=1, 2 \dots$ )，产生暗条纹。

这样，两相邻亮条纹的距离为

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{D}{d} \lambda \quad (2)$$

如果测得  $D$ ， $d$  及  $\Delta x$  便可由 (2) 式求出  $\lambda$  值。

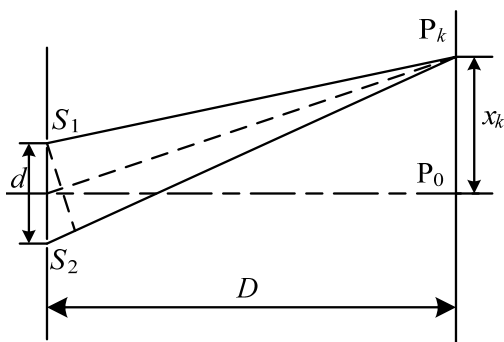


图2 几何关系图

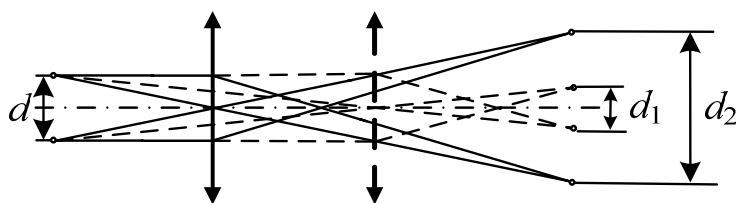


图3 凸透镜共轭法光路

## 2. 测量两虚光源之间的距离

$D$  是两虚光源之间的距离，因而不能用直接的比较方法测得，但它们相当于两个发光点，它们之间的距离可用透镜成像的规律进行测量，常用的方法有物距像距法（略）和共轭法。

由图 3 可得， $d$  为两虚光源时间的距离。如果物屏与像屏的距离  $D$  保持不变且大于 4 倍透镜焦距，移动辅助透镜，在屏上可获得一大、一小两次清晰的像（两个虚光源的像），分别用  $d_1$  和  $d_2$  代表两次成像时两虚光源的间距，则

$$d = \sqrt{d_1 \times d_2} \quad (3)$$

### 【实验内容】

#### 一. 用 CCD 做为观测工具

##### (一) 双棱镜干涉

#### 1. 调节

(1) 实验在光具座上进行，各光学元件及仪器可按图 4 放置，按同轴等高的要求调整各元件；

要求：调节激光器至激光光束准直，调整扩束镜至出射光斑准直。

- (2) 利用观察屏，观察干涉条纹，调整棱镜至干涉条纹成垂直状态；
- (3) 缓慢调节观察屏与双棱镜间的距离，观察干涉条纹疏密程度的变化，找出变化规律，并加以解释。
- (4) 借助辅助透镜，利用透镜共轭法成像原理，使两虚光源在 CCD 上能成两次像（保证扩束镜和双棱镜位置与拍摄干涉条纹时位置不变，why?）；

要求：两次成像要清晰。如果光太强请考虑如何减小光强至拍摄到最佳的图像。

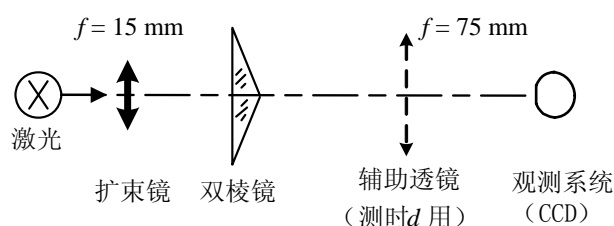


图 4 用激光为光源的双棱镜干涉光路

提醒：如果光路调整时不能用呈两次像从而不能用共轭法测定  $d$  时，请选用物距像距法测量  $d$ 。由于辅助透镜为一组透镜组，测量前请先给出该透镜的光心，要求给出光路图和计算公式。

## 2. 测量

- (1) 用 CCD 代替观察屏，调整双棱镜和 CCD 之间的距离，至显示屏上能观察到清晰、垂直的干涉条纹，拍摄此条纹并保存为 bmp 格式；
- (2) 利用测量软件测量出干涉条纹间的间距（像素），测量三次；
- (3) 记录此时扩束镜及 CCD 的所在位置，同时记录实验室提供各元件偏离轴心的修正值；
- (4) 利用透镜共轭法成像原理，使两虚光源在 CCD 上能成两次清晰像，拍摄该清晰像，保存格式为 bmp。
- (5) 利用测量软件测量出两虚光源像之间的距离（像素），测量三次；

### (二) 定标

利用软件所测的实验数据，其长度单位都为像素，在实际运用中需将像元换算成 mm 单位。因此须通过定标求出 1mm 所对应的像素；

1. 利用透镜共轭成像原理测量定标系数  $k$ （像素/mm）；
2. 采用钠灯为光源，定标尺为一玻璃质地的毫米尺；
3. 实验过程中保证 CCD 与定标尺间距不变，仔细调节辅助透镜至显示器上能呈现出两次清晰的标尺像；
4. 利用软件测出两次标尺像宽度。根据透镜共轭成像原理狭缝实际缝宽，计算出 1mm 所对应的像素的平均值（狭缝像应取上、中和下三个部位取值）。
5. 利用公式（2）计算出激光的波长。

### 【注意事项】

1. 不可直接用手触摸光学元件，可用专用清洁用品；

2. 激光在没有扩束前，眼睛不得直视，以免损伤眼睛；
3. 实验开始前，请仔细阅读实验室提供的微机使用方法。

**【思考题】**

1. 由于辅助透镜为一组透镜组，测量前请先给出该透镜的光心，要求给出光路图和计算公式。
2. 实验过程中，你是如何判断虚光源的，为什么？
3. 利用激光为光源时，光源的确切位置在何处？你是如何测量  $D$  的？请给出光路图？
4. 若实验时光源改成白炽灯，将会看到怎样的干涉条纹？请分析。