

## 实验 B11 圆孔衍射实验

### 【数据处理】

#### 1. 夫琅禾费衍射

实验现象：亮度不断变亮，其中心一直为亮斑，没有亮暗变化。

原理解释：由公式可知，艾里斑半径的衍射角度与圆孔半径成反比，所以当小孔半径减小时，直径  $D$  减小，艾里斑尺寸越来越小，且从激光器发出的光为平行光，在中央明纹处始终相干叠加增强，因此不会有明暗变化。

表 1: 夫琅禾费衍射实验数据

孔径 $D/\text{mm}$	主极大位置/ $\text{mm}$	第一暗纹位置/ $\text{mm}$	艾里斑半径 $R/\text{mm}$
0.15	19.786	12.287	7.50
0.3	14.12	10.96	3.16
0.5	9.00	6.67	2.33

本实验光探头离圆孔距离足够远，故使用远场近似，艾里斑半径有理论值：

$$R = 1.22 \frac{\lambda}{D} l$$

其中  $\lambda = 632.8\text{nm}$ ， $l = 67.8\text{cm}$ ，代入得不同孔径下的理论艾里斑半径。

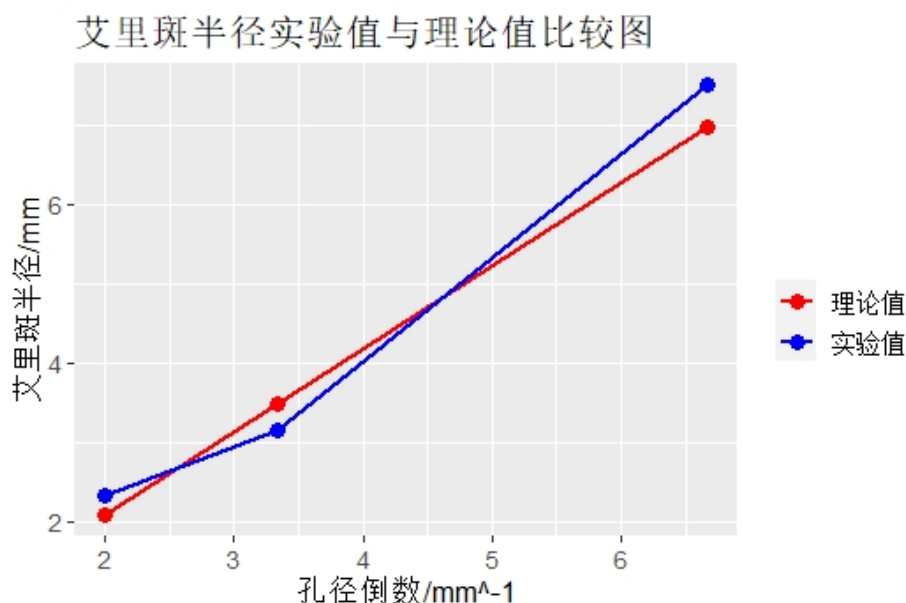
表 2: 艾里斑半径实验值与理论值比较

孔径 $D/\text{mm}$	孔径倒数/ $\text{mm}^{-1}$	理论半径 $R_0/\text{mm}$	实验半径 $R/\text{mm}$	相对误差/%
0.15	6.67	6.98	7.50	7.4
0.3	3.33	3.49	3.16	9.4
0.5	2	2.09	2.33	11.5

由相关性检验得到  $t$  值为 7.5526，自由度为 1 对应的  $p$  值为 0.0838，Pearson 相关系数为 0.9913481，理论与实际相关性较好。

实验过程分析误差原因有：

- (1). 距离较近时光斑直径过小不便于观测，肉眼判断中心亮斑和暗斑判断不准确
- (2). 使用刻度尺测量精度不够，出现误差，且我们组所用刻度尺有断裂现象，增大误差
- (3). 最亮和最暗的位置无法准确判断，在某个区间中为亮斑，在另一个区间中为暗斑，肉眼无法分析亮度大小



## 2. 菲涅尔圆孔衍射

实验现象：初始时光屏距离圆孔板较近，光斑很小，中央亮度很高。随着距离的不断增大，衍射光斑也逐渐增大，光斑中心衍射条纹逐渐清晰，中心光斑随着光屏和圆孔板的距离增大不断交替出现亮-暗-亮-暗的变化。

原理解释：由半波带理论，波前可以分割为一系列环形带，在白屏上某点的合成振幅则为各个半波带振幅的叠加。改变观察屏和圆孔板的距离时候，半波带的数目会发生变化，当半波带数  $k$  为奇数时，屏中央为亮斑； $k$  为偶数时，屏中央为暗斑，所以移动过程中会出现亮-暗-亮-暗的变化。

表 3: 菲涅尔衍射实验数据

孔径 $D/\text{mm}$	亮纹位置/cm	暗纹位置/cm
1.5	81.2	61.3
1	67.9	41.5

\* 圆孔位置为 22.1cm.

通过半波带的计算验证测量的合理性：

完整的菲涅尔波带数目  $k$  与单透镜和圆孔之间的距离  $R$ ，圆孔的半径  $\rho$ 、光的波长  $\lambda$  以及圆孔和观察屏距离  $b$  之间的关系为：

$$k = \frac{\rho^2(R+b)}{\lambda b R} = \frac{\rho^2}{\lambda} \left( \frac{1}{b} + \frac{1}{R} \right)$$

将所得实验结果与理论值比较得：

表 4: 菲涅尔衍射实验值与理论值比较

孔径 D/mm	圆孔到光探头距离/cm	中心点	半波带理论数目	奇偶	相对误差/%
1.5	亮	59.1	40.537	奇	1.31
1.5	暗	39.2	28.913	偶	3.26
1	亮	45.8	18.792	奇	1.09
1	暗	19.4	23.488	偶	2.13

实验过程分析误差原因有：

- (1). 衍射小孔并不是规整的圆孔导致艾里斑并不是标准的圆形，引起测量误差
- (2). 艾里斑与周围的暗条纹并不是严格地泾渭分明，所以测量所得的艾里斑直径比真实值偏差

## 【思考题】

1. 列举可以获得衍射光斑光强分布的方法，并简述其原理。

(1) 一种基于 CCD 相机的多角度电弧光采集方法

电弧等离子体作为一种自发光观测对象，本方法不需要旋转电弧或移动相机的情况下，利用反射镜在  $180^\circ$  范围内角度下发出的电弧光，最后窄带滤光片选取所需波段的光进入到相机中，最终不同角度下的电弧窄带图像呈现在相机感光元件的不同位置上，完成多角度下的特定谱线光强分布采集。其中，中继镜头对电弧进行二次对焦，一定程度上缩短或延长了工业相机的对焦距离，使相机在相同焦距下对不同光程的光都可以清晰成像，且电弧像的大小相同。

(2) 数码相机测量相对光强分布

采用数码相机直接拍摄艾里斑，记多数码相机与艾里斑之间的距离，然后在相同距离下用数码相机拍摄毫米尺的像将艾里斑和毫米尺两张图片进行比对，可以较精确地获得艾里斑直径的数值。采用 Photoshop 或 MatLab 软件编程，根据拍摄图片的灰度还可以获得圆孔衍射光斑相对光强分布的定量数据。

(3) 采用光纤光功率计测量衍射光斑的相对光强分布采用的光纤光功率计的纤芯直径只有  $62.5\mu\text{m}$ ，可测量空间指定点的光强，将功率计输入光纤安装在一维 ( $z$  方向) 平移底座上，光纤指向与光轴平行，并与艾里斑的水平直径处在同一高度。平移输入光纤，记录光功率计读数与水平位置的数值。

## 2. 菲涅尔圆孔衍射和夫琅禾费衍射图像的图样有何异同？

在菲涅尔衍射区，随着观察屏距离的变化，仅考察轴上衍射图样，会出现明暗交替的情况。在夫琅禾费衍射区，随着观察屏距离的变化，衍射图样会在轴上不会出现明暗交替的情况，衍射斑的大小会变化，但形状一直不变，而强度与观察角度有关。

## 3. 在满足远场条件下，狭缝前后也可以不用透镜而获得夫琅禾费衍射图样。请简述远场条件。

远场条件为  $\frac{D^2}{\lambda} \ll 1$ ，其中  $D$  为孔径， $l$  为光屏到圆孔距离， $\lambda$  为光源波长。

## 4. 采用数值计算的方法画出多种圆孔直径、多种圆孔距离下的艾里斑图样。

R 语言作出光强热图：

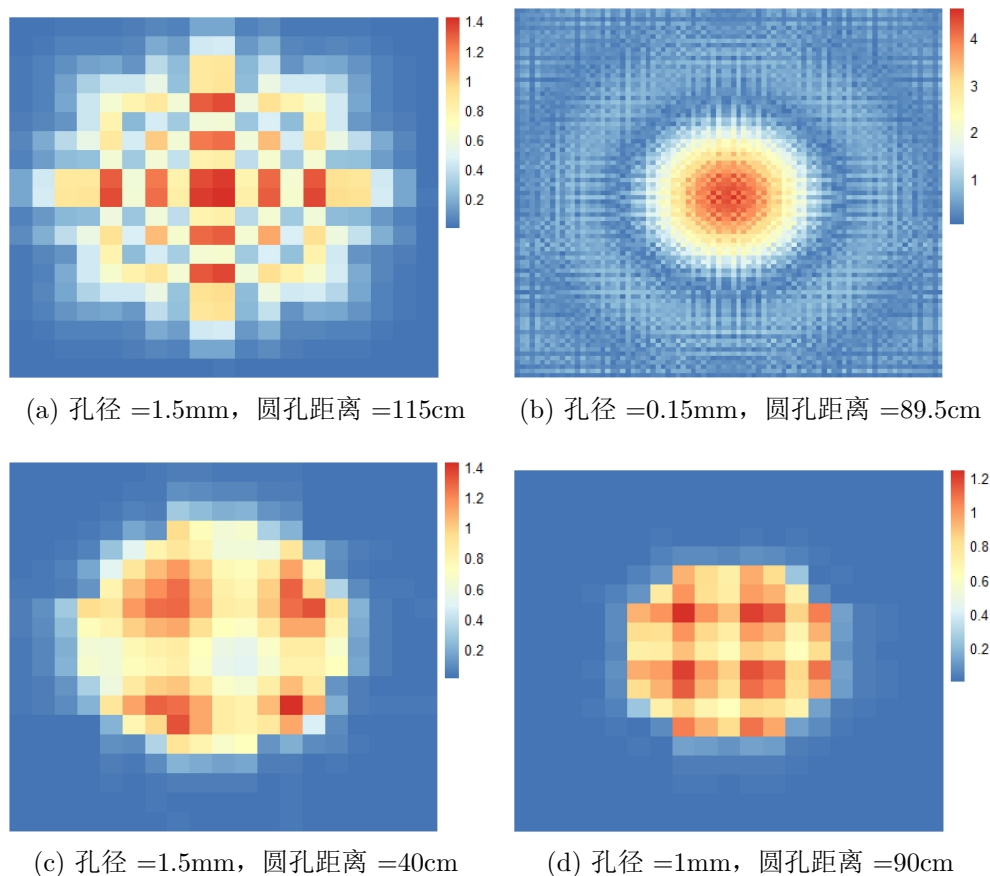


图 1: 艾里斑

将各项基本光学参数按照上述的数据进行设定，并用 Matlab 的 PDE tool 进行处理得到如下图样。

### 1. 当圆孔直径为 0.15mm 时，观察屏和圆孔距离为

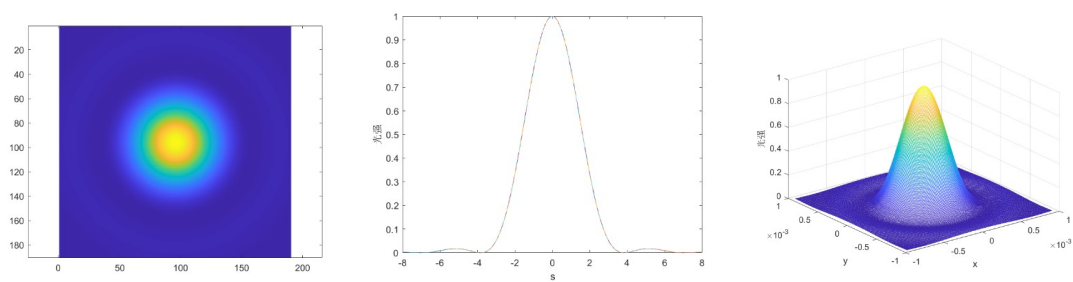


图 2: 0.25m

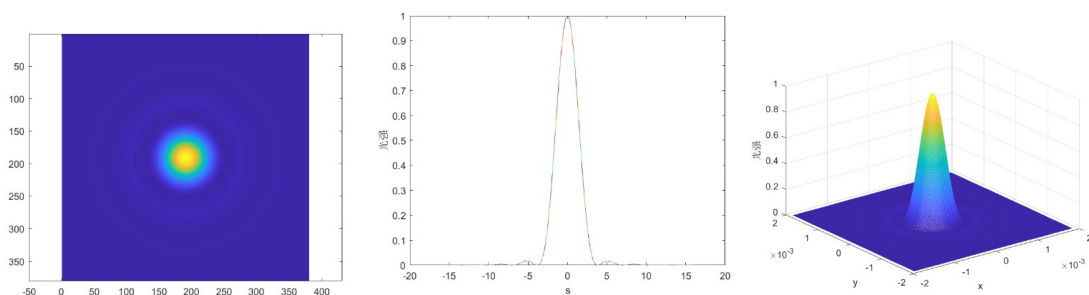


图 3: 0.5m

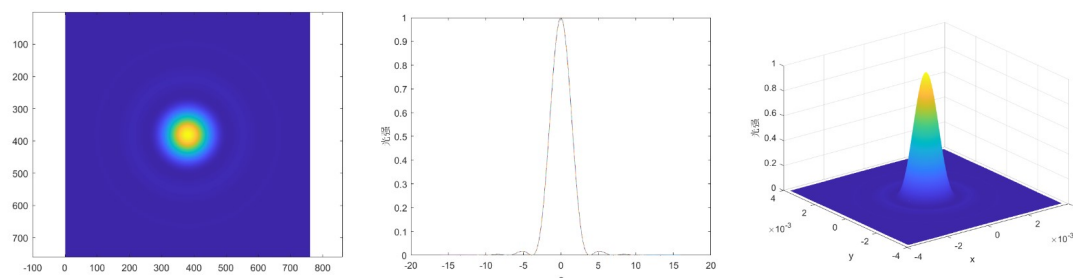


图 4: 1m

2. 当圆孔直径为 0.3mm 时，观察屏和圆孔距离为

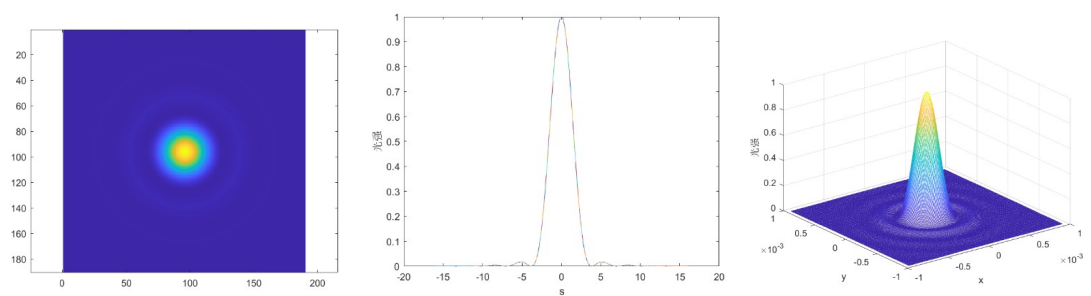


图 5: 0.25m

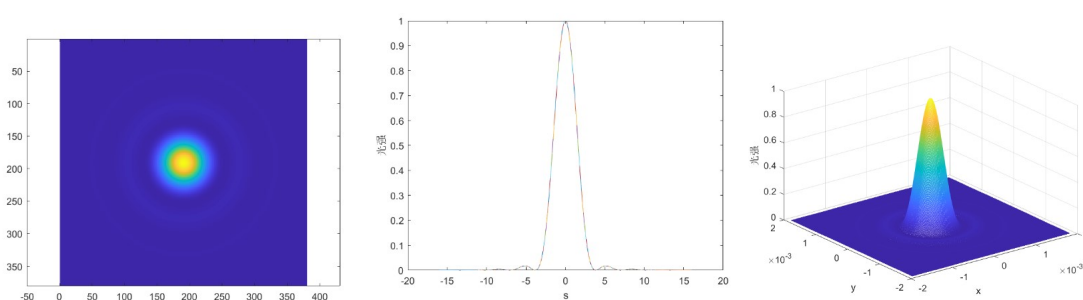


图 6: 0.5m

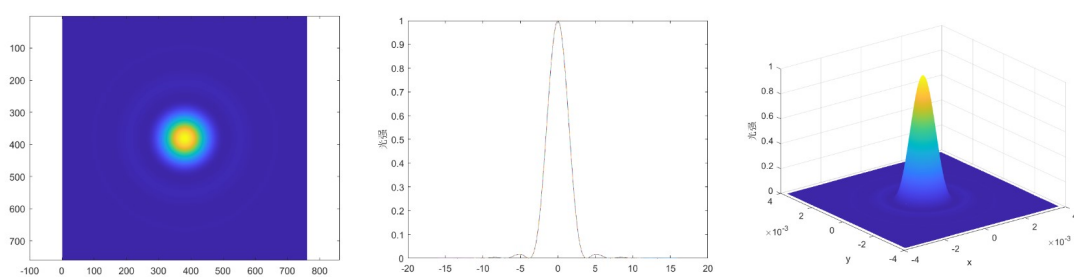


图 7: 1m

3. 当圆孔直径为 0.7mm 时，观察屏和圆孔距离为

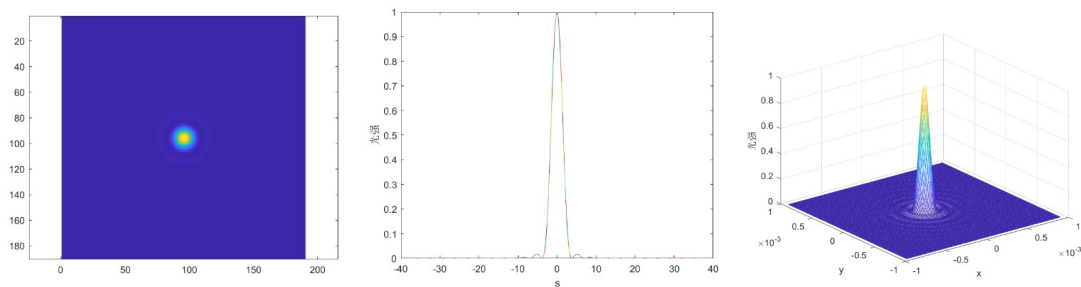


图 8: 0.25m

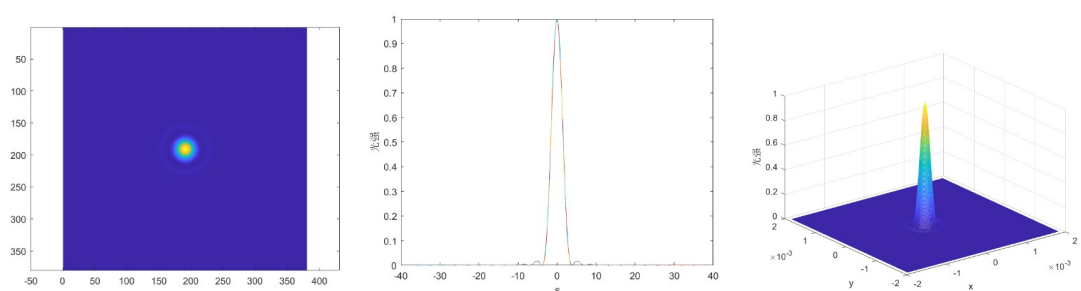


图 9: 0.5m

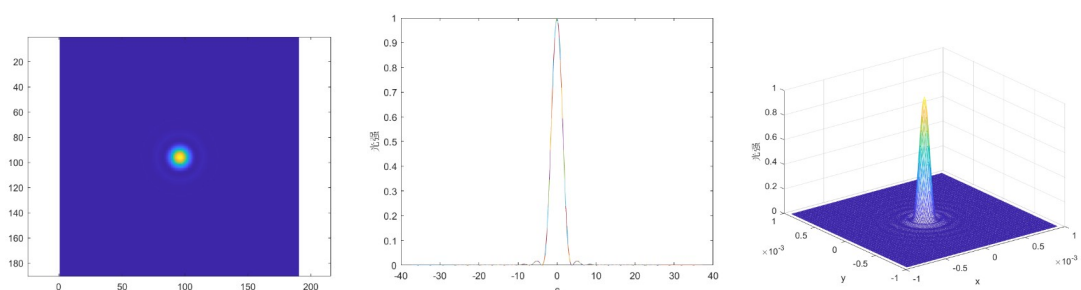


图 10: 1m