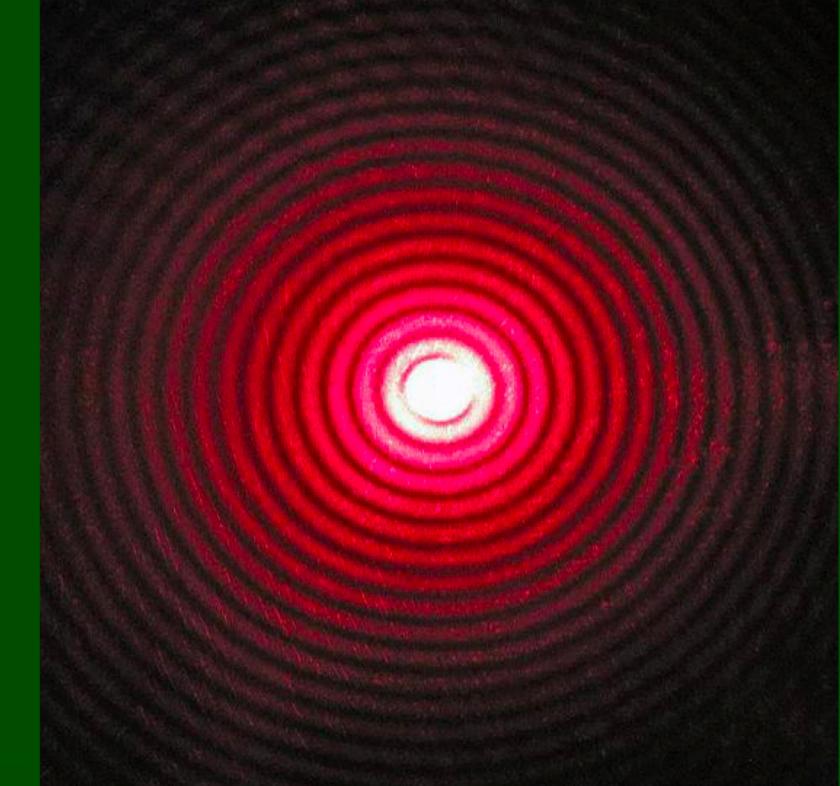




B11 圆孔衍射实验



摘要

衍射是指波遇到障碍物时偏离原来直线传播的物理现象。在经典物理学中，波在穿过狭缝、小孔或圆盘之类的障碍物后会发生不同程度的弯散传播。在实际应用中，衍射方程可以用来分析激光束的发散性质、雷达天线的波束形状以及超声波传感器的视野范围等。

本实验采用He-Ne激光器，扩束镜($f=6.2\text{mm}$)，多孔板，光纤光功率计等仪器观察夫琅禾费圆孔衍射和菲涅尔圆孔衍射光斑。在夫琅禾费衍射实验中，我们选取 0.15mm , 0.3mm , 0.5mm 三种孔径进行实验测量，固定探头到圆孔板的距离，测量主极大和第一暗纹的位置得到艾里斑的半径，并与理论计算值比较。在菲涅尔衍射中，我们选取 1.5mm , 1mm 的孔径进行测量，同理分别测出中心为亮纹和暗纹时的艾里斑半径，用半波带法验证测量的合理性。最后用seelight光学仿真平台仿真上述结果，观察仿真成像，并作出光强分布图。

夫琅和费圆孔衍射

实验现象：亮度不断变亮，其中心一直为亮斑，没有亮暗变化。

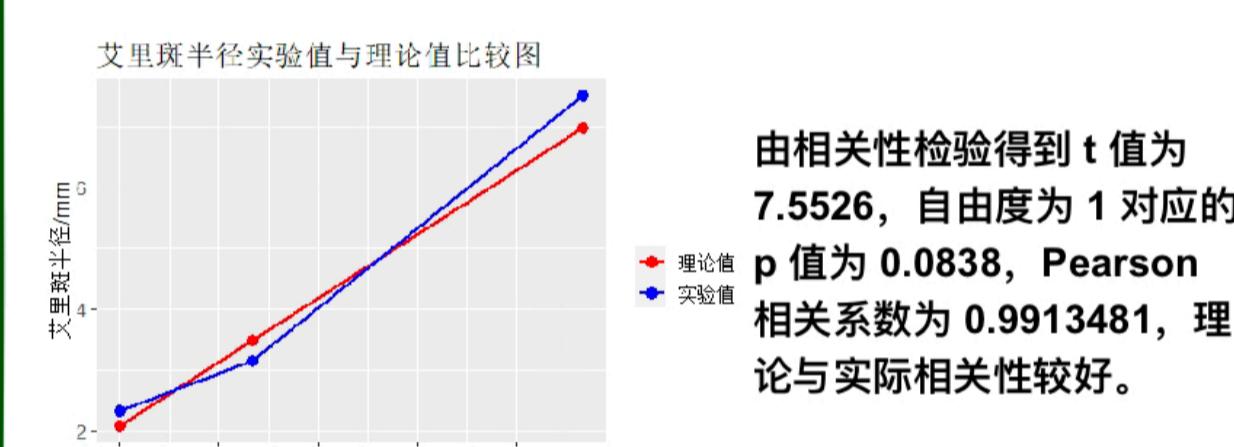
原理解释：由公式可知，艾里斑半径的衍射角度与圆孔半径成反比，所以当小孔半径减小时，直径 D 减小，艾里斑尺寸越来越小，且从激光器发出的光为平行光，在中央明纹处始终相干叠加增强，因此不会有明暗变化。

表 1: 夫琅禾费衍射实验数据

孔径 D/mm	主极大位置/mm	第一暗纹位置/mm	艾里斑半径 R/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

表 2: 艾里斑半径实验值与理论值比较

孔径 D/mm	孔径倒数/mm ⁻¹	理论半径 R ₀ /mm	实验半径 R/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



介绍

1. 夫琅禾费衍射

夫琅禾费衍射，又称远场衍射，是波动衍射的一种。夫琅禾费衍射在场波通过圆孔或狭缝时发生，导致观测到的成像大小有所改变，成因是观测点的远场位置及通过圆孔向外的衍射波有渐趋平面波的性质。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 λ 为光源波长， D 为孔径， l 为圆孔到光探头的距离。

2. 菲涅尔衍射

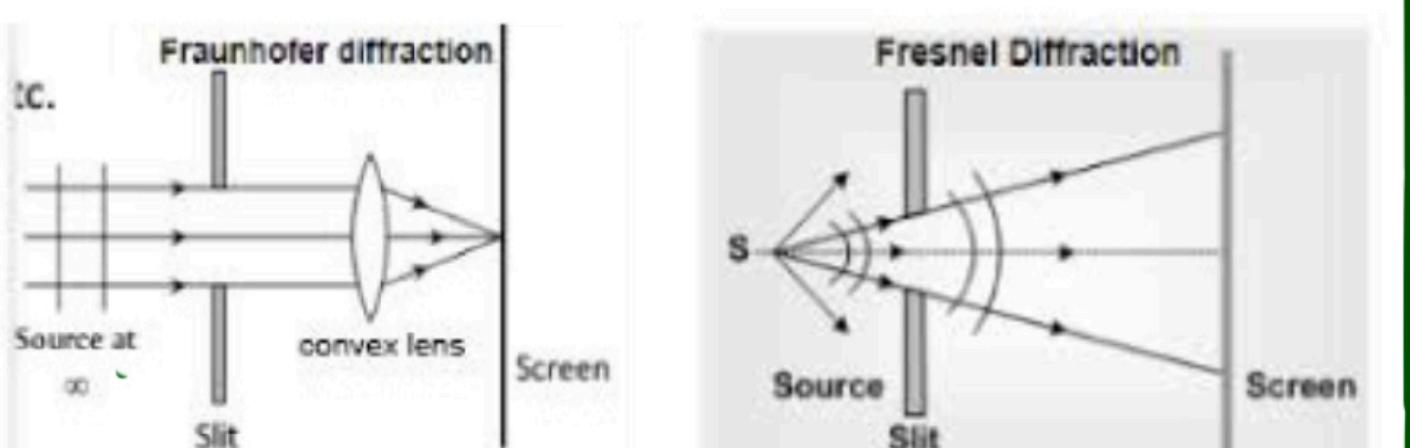
菲涅耳衍射指的是光波在近场区域的衍射，入射光源为非平行光源。夫琅禾费衍射可在菲涅耳衍射的近场距离外观测到，而菲涅耳衍射会同时影响到成像的大小及形状，这时候可以使用平行光束近似。

3. 菲涅尔半波带法

菲涅尔半波带法是处理相干次波迭加的一种简化方法。波前为一系列环形带，且相邻环形带到像点的距离逐个相差半个波长，故称之为半波带。相邻半波带贡献的复振幅相位差为 π ，在自由传播时整个波前在像点产生的振幅是第一个半波带的效果之半。

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 p 、光的波长 λ 以及圆孔和观察屏距离 b 之间的关系为：

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



结论与分析

经统计学分析，两组实验数据均与理论计算值吻合较好。

夫琅和费衍射误差原因有：

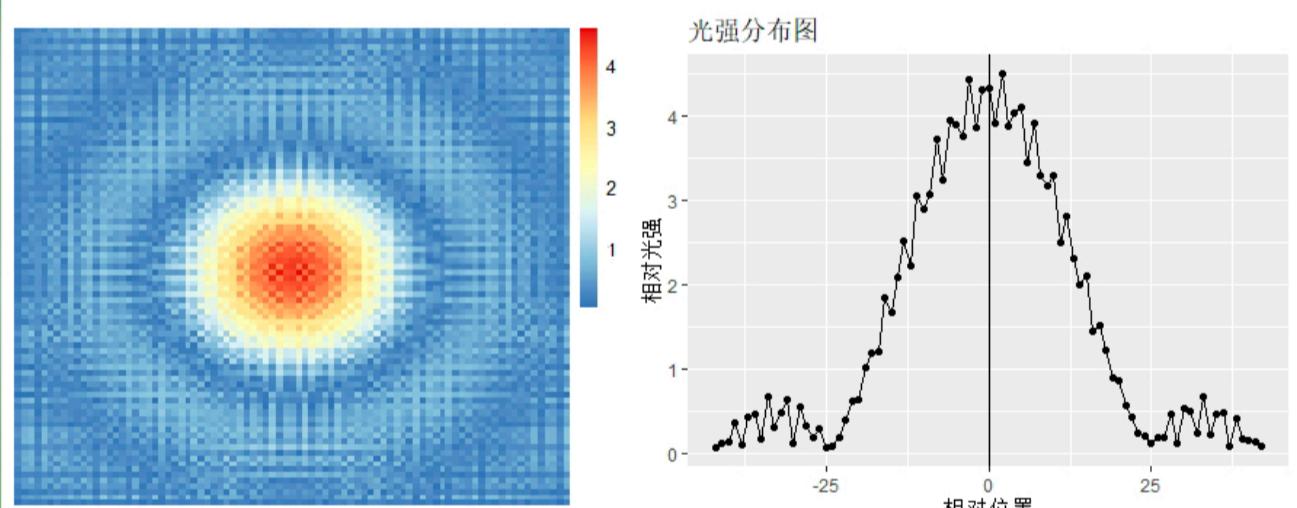
- (1). 距离较近时光斑直径过小不便于观测，肉眼判断中心亮斑和暗斑判断不准确。
- (2). 使用刻度尺测量精度不够，出现误差，且我们组所用刻度尺有断裂现象，增大误差。
- (3). 最亮和最暗的位置无法准确判断，在某个区间中为亮斑，在另一个区间中为暗斑，肉眼无法分析亮度大小。

菲涅尔衍射误差原因有：

- (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。

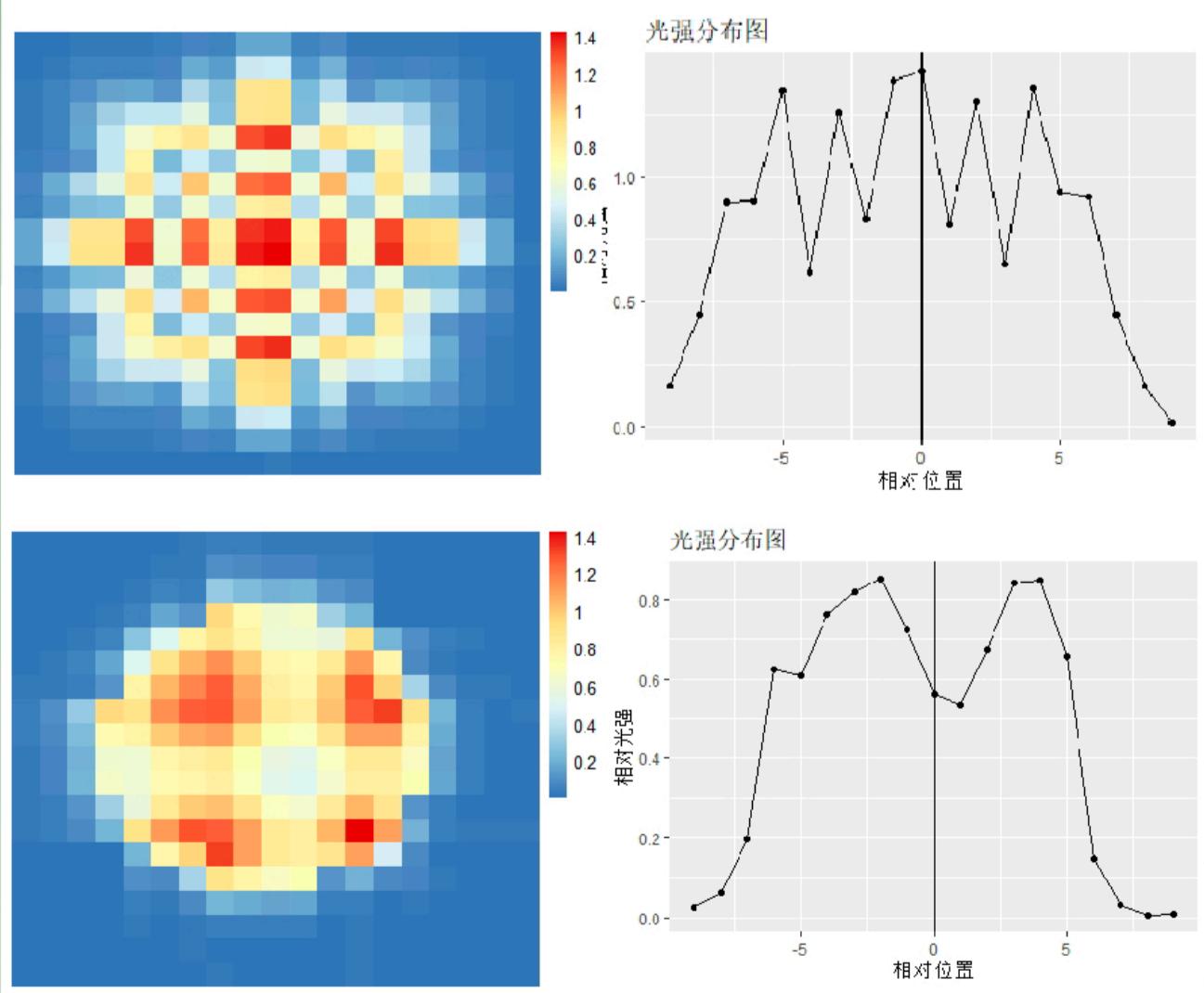
seelight 光学仿真

1. 夫琅和费衍射图样及其光强分布



可以看到清晰的主极大与次极大，且主极大光强远远大于次极大，与理论符合。

2. 菲涅尔衍射图样及其光强分布



可以看到中心亮纹和中心暗纹，且各级光强强度大致相等。