
目 录

引言	2
1. MATLAB 仿真的优越性	2
2. 光波干涉	2
2.1 双缝干涉	2
2.1.1 理论基础	2
2.1.2 双缝干涉仿真	3
3. 光波衍射	3
3.1 单狭缝的夫琅禾费衍射	4
3.1.1 理论基础	4
3.1.2 单狭缝的夫琅禾费衍射仿真	4
3.2 一维光栅衍射	5
3.2.1 理论基础	5
3.2.2 一维光栅衍射仿真	6
4. 结语	6
参考文献	7
附 录	8

引言

光是人类以及各种生物生活不可或缺的最普遍的要素之一,关于光的认识现在已经有了准确的答案,光是一种电磁波,它具有波粒二象性。关于光的波动性,早在 19 世纪,托马斯·杨和菲涅尔从实验和理论上建立起来一套比较完整的理论。自从 40 多年前有了激光之后,使许多技术得到了更精密的测量和控制。在大学物理教学中能够体现光的波动性质的有:光的干涉、光的衍射和光的偏振,能够体现光的波动性的实验有:双缝干涉实验、圆孔衍射实验、单缝衍射实验、光栅衍射实验、光的偏振实验、马吕斯定律的验证和测定玻璃的布儒斯特角。本文从波动光学的基本原理出发,以 MATLAB 为工具,验证光的波动性。

1. MATLAB 仿真的优越性

如今,在教学和科研中,使用 MATLAB 进行计算机模拟正越来越被重视。分析讨论了夫琅禾费衍射以及双光束、多缝和牛顿环的干涉等理论,用 MATLAB 编写出相应程序后,进行了计算机模拟,这有助于理解和研究衍射和干涉理论。

光的波动性常常表现为干涉、衍射、偏振等现象。虽然关于这些现象的描述及其阐述有好多,但是未能配以精彩的直观形象图形。运用 MATLAB 获得模拟图形,将定性的语言描述和抽象的数学表示变为生动直观的表现,可以进一步分析和描述有关波动光学现象和规律等理论,促进科研的发展和提高教学水平。

2. 光波干涉

干涉是指因波的叠加而引起强度相长或相消的现象。有分波面、分振幅和分振动面三种干涉类型。

2.1 双缝干涉

2.1.1 理论基础

平行的单色光投射到一个有两条狭缝的挡板上,狭缝相距很近,平行光的光波会同时传到狭缝,它们就成了两个振动情况总是相同的波源称为相干波源,它们发出的光在挡板后面的空间相互叠加,就发生了干涉现象,此现象称为双缝干涉。

双光束干涉,有分波面类型的杨氏干涉、劳埃镜干涉、菲涅耳双棱镜和双面镜干涉等,还有分振幅类型的麦克耳孙干涉等。图 2-1 是双缝干涉装置,是分波阵面的双光束干涉的典型实例。下面分析它的干涉原理与干涉条纹特点。

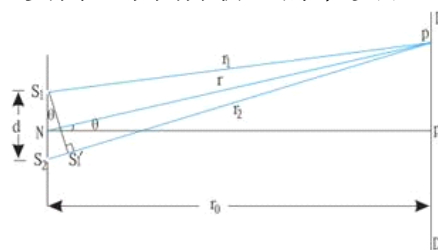


图 2-1 双缝干涉

明、暗纹的位置由两束光的光程差 Δ 决定

$$\Delta = d \sin \theta = d \frac{x}{r_0} = \begin{cases} k\lambda & (k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots) \text{ 明纹} \\ (2k + 1) \frac{\lambda}{2} & (k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots) \text{ 暗纹} \end{cases} \quad (2-1)$$

屏上条纹间距

$$\Delta x = \frac{r_0}{d} \lambda \quad (2-2)$$

其干涉条纹的特点条纹形状为一组与狭缝平行、等间隔的直线。

屏上干涉条纹强度分布为

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos\left(d \frac{x}{r_0}\right) \quad (2-3)$$

2.1.2 双缝干涉仿真

屏幕宽度为 16π ，单边能容纳8条亮纹，仿真精度为 π 的万分之一时，得到结果如图 2-2 所示，可见明暗相间的条纹，这与式 (2-1) 描述结果相符合。

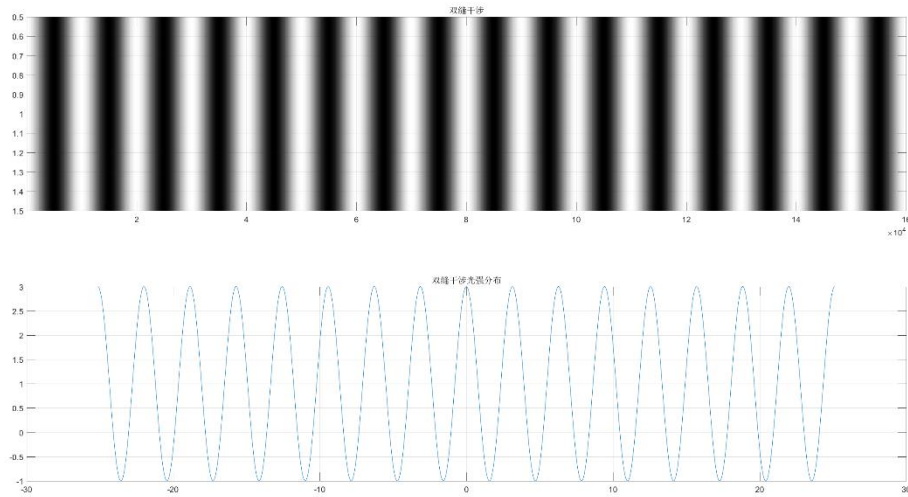


图 2-2 双缝干涉图样和其光强分布

3. 光波衍射

凡是不能用反射或折射予以解释的光偏离直线传播的现象，称为光的衍射。通常所研究的是具有各种形状的障碍物的衍射，将这些障碍物称作屏。入射波前在什么方向受到限制，衍射图样就沿该方向扩展，受限制愈严重，在该方向上的扩展也愈厉害。

按光源、衍射屏和接收屏三者之间的相对位置，可将衍射现象分为两种类型：

(1) 光源和接收屏或二者之一距离衍射屏为有限远时，所观察到的衍射称为菲涅耳衍射。菲涅耳衍射图样是带有衍射条纹的衍射孔的投影像。

(2) 光源和接收屏距离都在无穷远或相当于无穷远，在衍射孔上的入射波

及其在各个方向的衍射波都可看成平面波，所观察到的衍射称为夫琅禾费衍射。夫琅禾费衍射的图样是带衍射条纹的光源的投影像，与衍射孔的形状很少相似或者完全不相似。

3.1 单狭缝的夫琅禾费衍射

3.1.1 理论基础

单色点光源 L 发出的球面波照射具有开孔 S_0 的衍射屏后，衍射场中任一点 P 的光振幅可表示为

$$\tilde{E}(p) = \frac{1}{i\lambda} \iint_{S_0} \tilde{E}(Q) \cdot \frac{e^{-ikr}}{r} \cdot \frac{\cos \theta_0 + \cos \theta}{2} ds \quad (2-4)$$

式(1-4)即为菲涅耳——基尔霍夫衍射出积分公式。式中 θ_0 和 θ 分别为 L 到 Q 的矢径和 Q 点到 P 点的矢径与 Q 点处面元 ds 的法线之间的夹角，如图 3-1 所示。

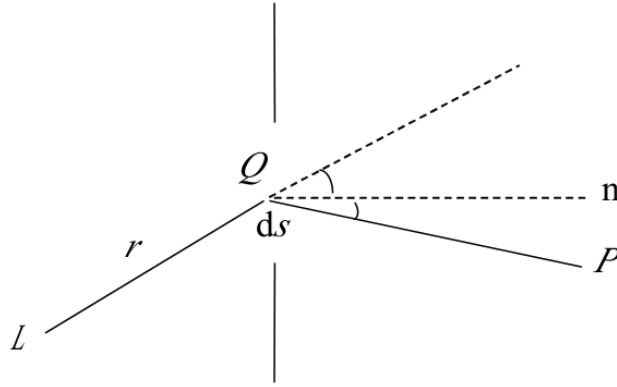


图 3-1 点光源 L 对衍射场中 P 点的作用

在图 3-1 中，取坐标系 O_{XYZ} 的原点在狭缝中心， Z 轴沿系统的光轴， Y 轴沿狭缝的长方向， X 轴沿狭缝的宽方向。一般而言，当狭缝的长度 b 较宽度 a 大得多的情况下，衍射图样基本上只沿与狭缝垂直的方向扩展。因此，计算接收屏上的夫琅禾费衍射场时，只需考虑 X 轴方向的光振动的复振幅分布，即将它们作为一维问题处理。

将入射波前经 BB' 缝露出部分分为许多平行于缝长方向的等宽窄条带 ds ，各带发出的衍射角为 θ 方向的次波经 L_2 会聚于接收屏上的 P 点，因而 L_2 像方焦面上的一点是与一个衍射方向相对应的。在缝内距原点为 X 的 Q 处，取一宽为 dx 的窄条带作为积分面元，即 $ds = b dx$ ，它到 P 点的光程为 r ，按照菲涅耳——基尔霍夫公式， P 点的光场为式(2-4)。

3.1.2 单狭缝的夫琅禾费衍射仿真

屏幕宽度为 16π ，单边能容纳13条亮纹，仿真精度为 π 的万分之一时，得到结果如图 3-2 所示，可见主级大条纹和次级大条纹，这与式(2-4)描述相符合。

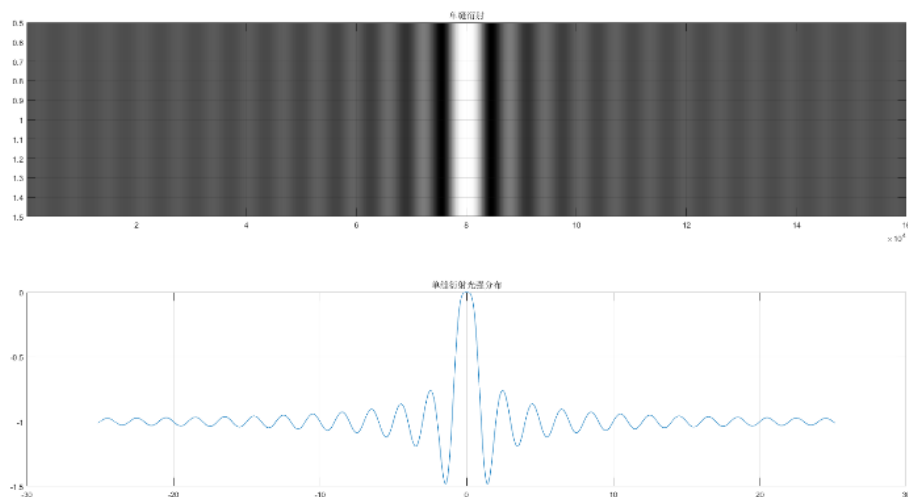


图 3-2 单缝衍射图样和其光强分布

3.2 一维光栅衍射

3.2.1 理论基础

有大量等宽度，等间距的平行狭缝组成的光学系统称为衍射光栅。单缝宽度 a 和刻痕宽度 b 之和称为光栅常数 $d = a + b$ 。观察到的实验现象中衍射图样的强度分布具有如下一些特征：

(1) 与单缝衍射图样相比，多缝衍射的图样中出现一系列新的强度最大值和最小值，其中那些较强的亮线称为主最大，较弱的亮线叫做次最大。

(2) 主最大的位置与缝数 N 无关，但它们的宽度随 N 的增大而减小，其强度正比于 N^2 。

(3) 相邻主最大之间有 $N - 1$ 条暗纹和 $N - 2$ 个次最大。

(4) 强度分布中保留了单缝衍射的因子，那就是曲线的包迹与单缝衍射强度曲线一样。

光栅衍射条纹，理应是单缝衍射和缝间干涉的共同结果。

设光栅有 N 条狭缝，透镜焦距为 f' ，理论分析可以得到，夫琅禾费衍射的光屏上任意一点 P 的光强为

$$\frac{I_p}{I_0} = \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{\sin N\beta}{\sin \beta} \right)^2 \quad (2-5)$$

式中

$$\beta = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}$$

上式的前一部分与单缝衍射的强度相同，它来源于单缝衍射，是整个衍射图样的轮廓，称为单缝衍射因子。后一部分分数可改写如下：因为 $d \sin \theta = \delta$ 为相

邻两缝对应点到达观察点的光程差（如图所示），这个光程差所引起的相位差为

$$\varphi = \frac{2\pi d \sin \theta}{\lambda} = 2\beta$$

式（2-5）的分数部分来源于缝间干涉，叫做缝间干涉因子，可写为

$$\frac{\sin^2 N\beta}{\sin^2 \beta} = \frac{\sin^2 \left(\frac{1}{2} N\varphi \right)}{\sin^2 \left(\frac{1}{2} \varphi \right)} \quad (2-6)$$

可见，光栅衍射的光强是单缝衍射因子和缝间干涉因子的乘积，即是单缝衍射因子对干涉主最大起调制作用。

3.2.2 一维光栅衍射仿真

屏幕宽度为 $a = 8\pi$ ，光栅常数 $d = 10000$ ， $N = 4$ ，得到结果如图 3-3 所示，可见结果为单缝衍射调制双缝干涉的情形，这与式（2-5）和式（2-6）描述结果相符合。

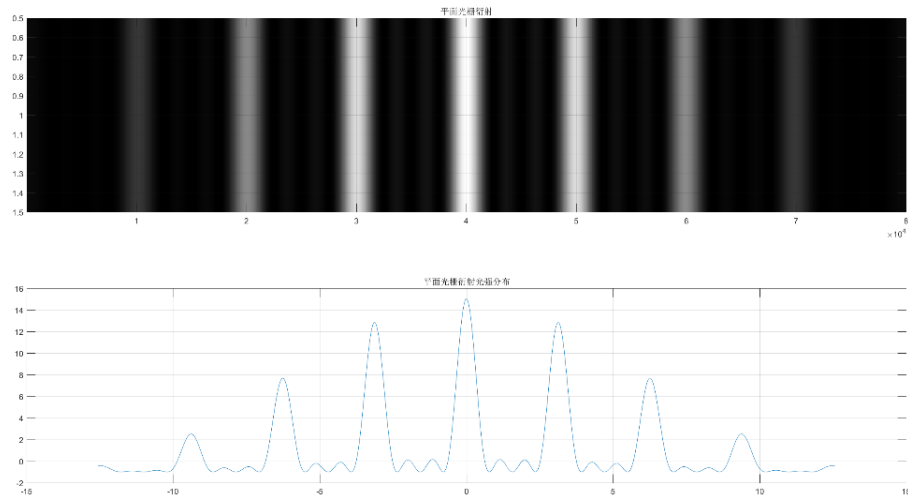


图 3-3 一维光栅衍射图样和其光强分布

4. 结语

本文从 MATLAB 出发，介绍了使用计算机进行光学实验模拟的过程。在光学理论课学习中，从决定干涉和衍射条纹形成的根本性因素光程差出发，对具有代表性的 3 个光学实验进行了理论分析以及 MATLAB 仿真。利用 MATLAB 仿真光学实验，编程简单易学，仿真效果形象逼真，使学生加深了对知识的理解，丰富了学习手段。

参考文献

- [1] 闻新. MATLAB 科学图形构建基础应用(6.X) (第一版) [M]. 北京: 科学出版社, 2002。
- [2] 胡守信. 基于 MATLAB 的数学实验(第一版)[M].北京: 科学出版社, 2004.
- [3] 陈扬. MATLAB6.X 图形编程与图像处理(第一版)[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2002.
- [4] 姚启钧. 光学教程 (第三版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [5] 郭永康. 光学 (第一版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [6] 郁道银, 谈恒英. 工程光学(第二版) [M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.

附 录

双缝干涉代码

```
clc;clear;close all;
a=-8*pi : 0.0001*pi : 8*pi;
P=1-sin(2*a).^2./sin(a).^2;
figure();
subplot(212);
plot(a,P);
title('双缝干涉光强分布');
lgray=zeros(256,3);
grid on;
for i=0:255
    lgray(i+1,:)=(255-i)/255;
end
subplot(211);
imagesc(P);
title('双缝干涉');
colormap(lgray);
grid on;
```

单缝衍射代码

```
clc;clear;close all;
a=-8*pi : 0.0001*pi : 8*pi;
P=(1-sinc(a)).^2;
figure();
subplot(212);
plot(a,-P);
title('单缝衍射光强分布');
lgray=zeros(256,3);
grid on;
for i=0:255
    lgray(i+1,:)=(255-i)/255;
end
subplot(211);
```

```
imagesc(P);  
title('单缝衍射');  
colormap(lgray);  
grid on;
```

一维光栅衍射代码

```
clc;clear;close all;  
d=-4*pi : 0.0001*pi : 4*pi;  
b=d./15;  
N=4;  
P=1-(sinc(b).*sin(N*d)./sin(d)).^2;  
%当要求 P 的曲线分布图时  
% P=(sinc(b).*sin(4*d)./sin(d)).^2;  
figure();  
subplot(212);  
plot(d,-P);  
title('平面光栅衍射光强分布');  
lgray=zeros(100,3);  
grid on;  
for i=0:255  
    lgray(i+1,:)=(255-i)/255;  
end  
subplot(211);  
imagesc(P);  
title('平面光栅衍射');  
colormap(lgray);  
grid on;
```