

光的干涉与衍射

(2023 年 10 月)

一、实验目的

1. 观察光的干涉和衍射现象，测量单缝衍射和双缝干涉的光强分布图。
2. 比较单缝衍射和双缝干涉实验现象的不同，加深对物理原理的理解。
3. 学习使用传感器采集数据开展物理实验的方法。

二、实验仪器

光学轨道，高精度单缝衍射狭缝，高精度双缝干涉狭缝，650nm 半导体激光器，线性转换器，高灵敏度光传感器，转动传感器，550 通用接口，计算机（已安装 Capstone 数据采集软件）。

三、实验原理

1. 单缝衍射

当光通过单缝发生衍射时，衍射图案中的最小角度（暗斑）由公式（1）给出：

$$a \sin \theta = m\lambda \quad (m=1,2,3, \dots) \quad (1)$$

其中， a 是缝隙宽度， θ 是从图案中心到最小值的角度， λ 是光的波长， m 是级数（从中心开始计数， $m=1$ 表示第一个最小值， $m=2$ 表示第二个最小值，.....）。

在图 1 中，激光光斑图案显示在计算机上给出的强度与位置关系图正下方。角度 θ 是从单缝中心到第一个最小值处的角度，因此在图中情况下 $m=1$ 。请注意，干涉图案中的中心斑点宽度是其他斑点的两倍，因为 $m=0$ 不是一个最小值。

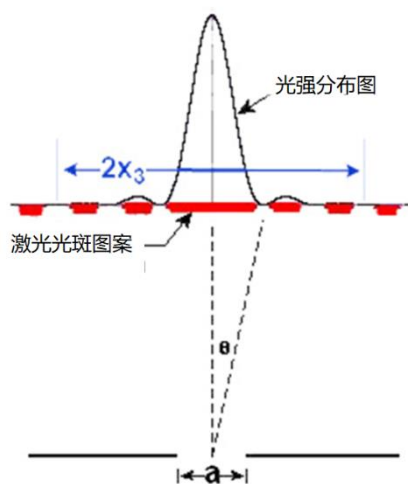


图 1 单缝衍射示意图

由于 θ 是一个非常小的角度，所以

$$\sin\theta \approx \tan\theta = x_m/L \quad (2)$$

其中 x_m 是从中央主极大到中央主极大两侧的第 m 个最小值的距离， L 是从缝隙到屏幕的距离。测量从一侧的第 m 个最小值到另一侧的第 m 个最小值的距离 Δx ($\Delta x = 2x_m$) 比判断图案的中心要容易，因此方程 (2) 变为：

$$\sin\theta \approx \tan\theta = \Delta x / 2L \quad (3)$$

通过尽可能增大 Δx 可以提高测量精度。

缝隙宽度并不是严格等于标称的数值，它有最多 $\pm 0.005 \text{ mm}$ 的加工误差，对于 0.020 mm 的缝隙来说，这是一个 25% 的不确定度。因此，我们不使用缝隙宽度来计算激光波长的数值，而是使用已知的激光波长来计算更准确的缝隙宽度数值。

2. 双缝干涉

当光通过两个缝隙发生干涉时，从干涉图案中的中央最大值（亮斑）到一侧极大值的角度由下式给出：

$$d \sin\theta = n\lambda \quad (n=0,1,2,3, \dots) \quad (4)$$

其中 d 是缝隙间距， θ 是从图案中心到第 n 个最大值的角度， λ 是光的波长， n 是级数（中央最大值为 0，从中心向外计数，一侧第一个极大值为 1，第二个极大值为 2，.....）。

在图 2 中，激光光斑图案显示在计算机上给出的强度与位置关系图正下方。角度 θ 对应从双缝中间到第二个极大值处，因此在图中情况下 $n=2$ 。

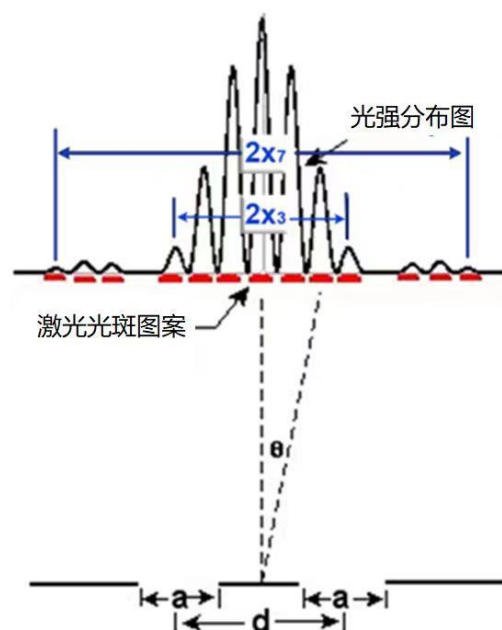


图 2 双缝干涉示意图

与讨论单缝衍射时一样， θ 是一个小角度，方程 (3) 仍然成立，此时 $\Delta x = 2x_n$ 是从中央极大值的一侧第 n 个极大值到另一侧第 n 个极大值的距离， L 是从缝隙到屏幕的距离。由于从一侧的第 n 个极大值到另一侧的第 n 个极大值测量更精确，我们在实验中测量距离 $2x_n$ 。

请注意，双缝干涉图案和单缝衍射图案是叠加的，这就造成双缝干涉的极大值位置和单缝衍射的极小值位置可能重和（参见图 2），这意味着在双缝干涉图案中计数 n 时必须小心，因为单缝衍射的极小值可能会抑制双缝干涉的极大值。

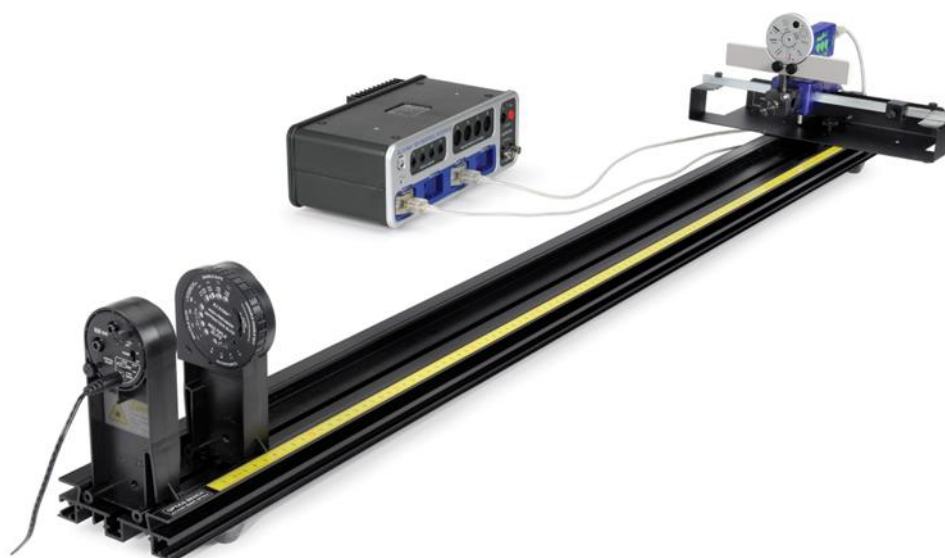


图 3 实验装置

四、仪器介绍

1. 激光器安装在光学台的末端。将高精度单缝衍射狭缝安装在光学导轨上，印刷面朝向激光器，如图 3 中所示。打开激光器背面的电源。注意：绝对不要让激光束直接照射到任何人的眼睛！选择所需的缝隙时，只需将圆盘旋转，直到其卡入位，选择的缝隙将被激光照亮。
2. 转动传感器安装在线性位移台的支架上，线性位移台安装在光学轨道的另一端（参见图 4）。线性位移台臂上装有一个黑色挡块，是转动传感器的限位器，作为测量位置的起始点。光传感器安装在光圈支架上，设置缝隙为 6 号。光传感器应与支架对齐，使其指向光学轨道的方向。
1. 移动光传感器，直到在白色屏幕上的某个位置可以看到光束。使用激光器上的调整螺丝（参见图 5）来调整激光束的左右和上下位置，以使白色屏幕上的图案尽可能明亮。一旦设置了这个位置，查看圆盘上的任何缝隙时就不需要再调整激光束的位置。当你旋转圆盘到新的缝隙时，激光束已经对准。由于缝隙可以轻松卡位，即使在黑暗中也轻松切换到下一个缝隙。

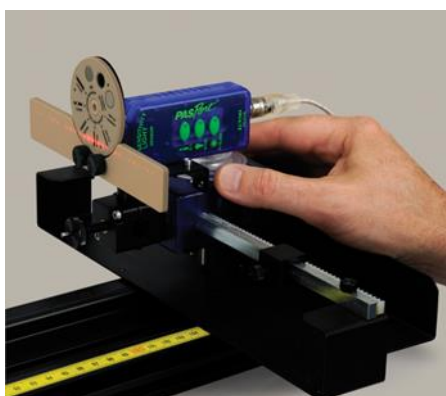


图 4 转动传感器



图 5 调整激光对准

2. 调整激光出射高低角度，使光斑居中于图 6 所示的缝隙上。使用 6 号狭缝。

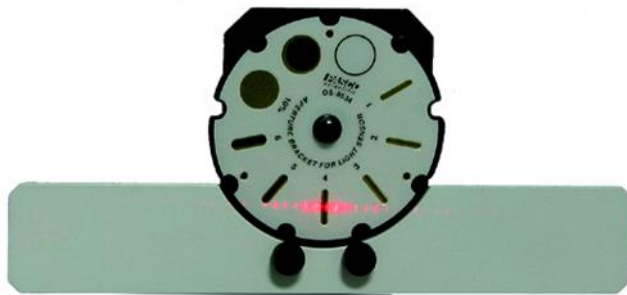


图6 调整激光出射高低角度

3. 通过按下光传感器上的“0-1”按钮可设置为最大灵敏度。如果光强度过高(在图上会出现 100%的平线),则可按下光传感器上的“0-100”按钮将灵敏度降低。
4. 转动传感器和光传感器通过 850 通用接口上的 *PASPORT* 输入端口接入采集卡。
5. 打开计算机,运行 *Capstone* 数据采集软件,单击界面左侧的“硬件设置”按钮,单击转动传感器图标,在硬件设置面板底部标有“旋转运动传感器”的位置右侧,单击齿轮图标,在线性附件行中,单击白色三角形并选择“齿轮与齿轮齿条”,单击“确定”。点击“硬件设置”按钮关闭屏幕。
6. 在 *Capstone* 中,将通用传感器采样率设置为 50Hz。创建一个相对强度与距离的图,横坐标选择“位置”,纵坐标选择“相对光强”。

五、实验内容

(一) 单缝衍射实验

数据采集:

1. 测量缝隙(单缝圆盘前面)到屏幕的距离 L 。读取单缝支架底部指示脚在轨道上的刻度和线性位移台边缘在轨道上的刻度,加上狭缝侧的偏移量 21.0mm 和屏幕侧的偏移量 37.0mm,得到狭缝到屏幕的距离 L ,并做记录。记录激光的波长(印在激光器的背面)。
2. 关掉房间的灯光。
3. 当将单缝旋转到其四个位置之一(0.16 mm、0.08 mm、0.04 mm、0.02 mm)时,观察屏幕上的图案。

回答问题：随着缝隙宽度的减小，图案如何变化？（3 分）。

4. 将单缝圆盘设置为 0.02 mm 的缝隙。
5. 移动光传感器，使转动传感器靠在线性位移器臂上的黑色挡块上。如果开始采集数据时位置都为负数，请单击“硬件设置”并单击旋转运动传感器的属性齿轮，然后选中“更改符号”。
6. 单击“记录”按钮。然后慢慢旋转转动传感器滑轮以扫描光斑。在转动时，用手按住转动传感器转轮的后部，使其不会上下晃动。完成扫描后，单击“停止”。如果有操作失误，只需使用界面底部的“删除上次运行”按钮删除运行，并重新进行扫描。如果光强度达到最大值（100%），请更改光传感器的增益设置并重复运行。单击界面左侧的“数据摘要”。双击“运行 #1”，然后将其重新标记为“0.02 mm”。单击“数据摘要”关闭。
7. 按下光传感器上的“0-100”按钮。
8. 设置 0.04 mm 的单缝，重复上述操作。标记运行为“0.04 mm”。

数据分析：

1. 在计算机上创建如表 1 所示的 Excel 表格文件。

表 1 光的干涉和衍射实验数据

狭缝	a(mm)	d(mm)	m	n	$X_{左}(m)$	$X_{右}(m)$	$\Delta x(m)$	a(nm)	$\lambda(nm)$	$\Delta\lambda/\lambda$
0.02 mm	0.020	0.00								
0.04 mm	0.040	0.00								
0.04a-0.25d (1)	0.040	0.25								
0.04a-0.25d (2)	0.040	0.25								
0.04a-0.50d (1)	0.040	0.50								
0.04a-0.50d (2)	0.040	0.50								

1. 选择 0.02 mm 的运行数据。点击图表工具栏上的“自适应缩放”按钮。忽略中央最大值上的噪声。这主要是因为固态激光器的光束未经很好地准直，导致光束水平扩散。这意味着来自激光器的光束的不同部分以略微不同的角度射向缝隙（从光束的左侧或右侧而不是光束中心），导致到屏幕的路径长度略有不同，并且在图案中会出现一些额外的干涉，但这不会影响最小值的位置。
2. 我们需要扩展垂直刻度以更清晰地看到最小值。点击并拖动垂直刻度以扩展刻度，直到能清晰看到第一个最小值（最靠近中央最大值的）。
3. 点击图表工具栏中的坐标工具。将十字准心拖动到左侧的第一个最小值上。

右键单击坐标工具，然后选择“显示 Delta”，将数值记录在表 1 的 $x_{左}$ 列中。

将 Delta 拖动到右侧的第一个最小值上，将数值记录在表 1 的 $x_{右}$ 列中。计算 Δx 。注意：如果 Delta 值不具有 3 位有效数字，请右键单击坐标工具，进入其属性，将有效数字的数量更改为 3。

4. 根据式 (3) 得到 $\sin \theta$ ，再由式 (1) 求出缝隙宽度 a ，并输入到表 1 中。
5. 针对 0.04 mm 的运行数据，重复步骤 1 至 4。

(二) 双缝干涉实验

数据采集：

1. 注意单缝支架底部的指示脚相对于光学台上的黄色刻度的位置。将单缝支架更换为双缝支架，使指示脚处于相同位置。此时双缝到屏幕的距离与单缝实验时相同。
2. 在光传感器支架上更换缝隙为 2 号，并按下“0-100”按钮。关掉房间的灯光。
3. 当将双缝旋转到四个位置之一($a = 0.04 \text{ mm}$ 、 0.08 mm 和 $d = 0.25 \text{ mm}$ 、 0.50 mm) 时，观察屏幕上的图案。改变不同的缝宽和缝距，观察图案如何变化。

回答问题：当增大双缝间距离时，衍射图案如何变化？（3 分）

4. 将圆盘设置为 $a = 0.04 \text{ mm}$ 和 $d = 0.25 \text{ mm}$ 的位置。
5. 移动转动传感器，使之靠在线性位移器臂上的黑色挡块上。
6. 将光传感器设置为最大灵敏度“0-1”。
7. 单击“记录”按钮。
8. 然后慢慢旋转转动传感器滑轮以扫描光斑。转动速度一定不能过快，否则在极小值处可能数据点过少。在转动时，用手按住转动传感器转轮的后部，使其不会上下晃动。完成扫描后，单击“停止”。如果光强度达到最大值(100%)，请更改光传感器的增益设置并重复运行。单击屏幕左侧的“数据摘要”。双击当前的运行 #1，并将其重新命名为：“0.04a-0.25d”。单击“数据摘要”关闭。
9. 将光传感器支架设置为 1 号缝隙，并按下“0-100”按钮。
10. 设置双缝缝隙宽度为 0.04 mm，缝隙间距为 0.50 mm，重复上述测量操作。标记运行行为“0.04a-0.50d”。

数据分析：

1. 选择“0.04a-0.25d”运行数据。点击“自适应缩放”按钮，图形应该类似于图 7 所示。

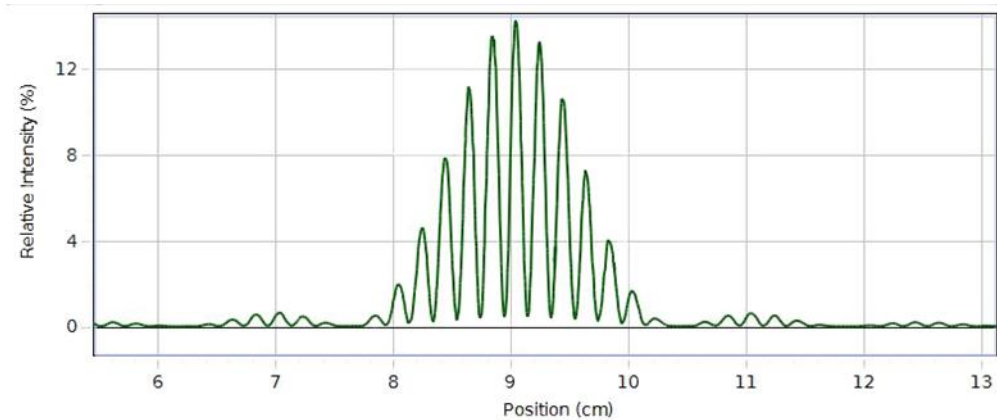


图 7 双缝干涉图形

2. 单击坐标工具（图表工具栏）。右键单击十字准心的中心，选择工具属性，然后将有效数字的位数增加到 4。
3. 需要扩展水平刻度以更清晰地看到最大值。
4. 在中央衍射斑下，选择尽可能靠左的最大值级数。例如，最大值级数 $n=5$ 。请记住，中央最大值是 $n=0$ 。将十字准心拖动到左侧的第 5 个最大值上。右键单击坐标工具，然后选择“显示 Delta”。再将 Delta 拖动到右侧的第 5 个最大值上。将 Delta 位置记录在表 1 的“0.04a-0.25d (1)”行中。如果你选取的最大值级数与 5 不同，请将值输入“n”列。
5. 如果使用较大的 n 值，测量精度将会提高。此时需要扩展垂直刻度以更清晰地看到最大值。点击并拖动垂直轴向上，直到光标所在的峰位于图形顶部附近。
6. 确保你知道光标所在的峰和中心的另一侧相应峰的 n 值。尽量数出尽可能多的 n 值（通常可以判断出单缝衍射图案抑制了多少个双缝峰）。将结果输入到表 1 “0.04a-0.25d (2)”行中。不要忘记将表格中的“n”值更改为使用的数值。
7. 将式 (3) 代入式 (4)，由式 (4) 求出波长，并将其输入到表 1 中，并计算相对不确定度。
8. 选择“0.04a-0.50d”运行数据，重复上述过程。

(三) 比较单缝衍射与双缝干涉图形

选择图上的 0.04mm 运行数据和 0.04a-0.25d 运行数据同时显示。

回答问题：这些图形有何相似之处？（3 分）

回答问题：这些图形有何不同之处？（3 分）

(四) 比较不同缝隙间距的双缝衍射图形

选择图上的 0.04a-0.25d 运行数据和 0.04a-0.50d 运行数据同时显示。

回答问题：这些图形有何相似之处？（3 分）

回答问题：这些图形有何不同之处？（3 分）