力学

声学

德拜-西尔斯效应

测定超声波在液体中的传播速度

- 观察两种不同光波长度在固有超声频率的衍射图。
- 观察 1 MHz 和 12 MHz 之间的不同超声频率的衍射图。
- 测定相应的声波波长和声波的速度。

UE107055
08/08 JS

基本原理

1922 年，Brillouin 首先预示了光在液体中被超声波衍射的现象。 1932 年，德拜（Debye） 和西尔斯（Sears）以及 Lucas 和 Biquard 都用实验验证了这个结论。这是由超声波产生的折射系数的周期变化所引起的。如果光束通过液体时与超声波的方向垂直，那么这个排列就会担当相位衍射光栅，并依据声速进行传播。它的光栅常数相当于超声波长，并由此取决于声音在介质中的频率和声速。如果在很远的距离外观察这个效应，那么可以忽视相位衍射光栅的移动。

在实验中，垂直定向的发生器将 1 MHz 至 12 MHz 之间的超声波传至待测液体中。单频平行光束在水平方向通过液体，并被相位衍射光栅衍射。衍射图包括几个位于常规距离内的衍射最大值。衍射图的 k-th-order 最大值可以在衍射角 αk 处找到，并定义为：

（1） $\tan\alpha_k = k \cdot \frac{\lambda_L}{\lambda_S}$

λ_L: 光波长， λ_S: 超声波波长

因此，超声波波长 λ_S 可以从衍射最大值之间的间距进行测定。此外，根据以下关系式：

（2） $c = f \cdot \lambda_s$

可以计算液体中的声速，因为超声波的频率 f 也已知。

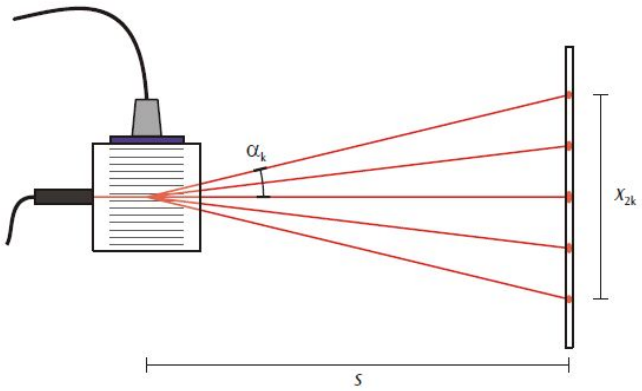

图 1: 图示光在液体中被液体中的超声波所产生的相位衍射光栅衍射的现象（德拜-西尔斯效应）。

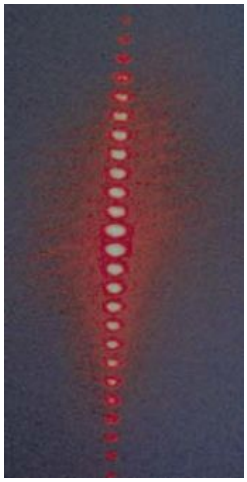

图 2: 因超声波在液体中产生的相位光栅而由光的衍射导致的衍射图

所需仪器

1 超声连续波发生器	U100061
1 实验器皿	U10008
1 用于德拜-西尔斯效应的激光二极管，红色	U10007
1 用于德拜-西尔斯效应的激光二极管，绿色	U10009
1 1 个卷尺，2m	U10073
1 超声波耦合胶	XP999

装置安装

• 在测试容器中加入蒸馏水，并把其放置在距离投影屏约 3 米远的位置。

• 把多频探头垂直安装在测试容器的支架上，并把它与超声波发生器的 PROBE 输出端进行连接(参见图 3)。

• 把红色激光二极管安装在测试容器的激光支架上，并把它与超声波发生器的 LASER 输出端进行连接。

图 3: 因超声波在液体中产生的相位光栅而产生光的衍射的实验装置

实验装置

• 测量多频探头和屏幕之间的距离 s。

• 打开超声波 cw 发生器。

• 打开激光机和多频探头。

• 把频率设定为 1MHz。

• 调节传感器信号的振幅，并使用传感器支架的三个调节螺丝来调节多频探头的方向，从而形成驻波。

• 在屏幕上测量 - kth 和+kth 级次衍射极大值之间的距离 x2k。

• 以 1 MHz 为单位，逐步增加频率至 12 MHz，在各种频率情况下，测量距离 x2k，并确定衍射级次 k。

• 使用绿色激光二极管替换红色激光二极管，并进行相似的测量。

示例测量与评价

s =325 cm

表 1:光波长为λL = 652nm (红色激光)的实验数据

f/MHz	k	X2k/cm	λS/μm
1	9	2.5	1525.7
2	5	2.8	756.8
3	5	4.3	492.8
4	3	3.5	363.3
5	3	4.3	295.7
6	2	3.5	242.2
7	2	4.0	211.9
8	2	4.6	184.3
9	2	5.2	163.0
10	1	2.8	151.4
11	1	3.2	132.4
12	1	3.5	121.1

表 2: 光波长为λL = 532nm (绿色激光)的实验数据

f/MHz	k	X2k/cm	λS/μm
2	5	2.4	720.4
3	4	2.9	477.0
4	3	2.8	370.5
5	2	2.3	300.7
6	2	2.8	247.0
7	2	3.2	216.1
8	2	3.7	186.9
9	2	4.2	164.7
10	2	4.6	150.3
11	1	2.6	133.0
12	1	2.8	123.5

有必要测定超声发生器和用于观察衍射图的屏幕之间的距离 s，以及 -kth 和 +kth 衍射最大值之间的距离 x_{2k} 。通过这两个距离，根据下式可以计算 kth-order 最大值的衍射角 k ：

$$\tan \alpha_k = \frac{x_{2k}}{2 \cdot s}$$

由此得出以下公式，用以确定超声波的波长 λS:

$$\lambda_s = \frac{2 \cdot k \cdot s}{x_{2k}} \cdot \lambda_L$$

使用该公式计算两个表格中右列的声波波长。

图 4 列出的是计算得到的声音波长与超声波频率之间的函数关系。双曲线使用公式(2)计算如下:

$$\lambda_s = \frac{c}{f}$$

$$c = 1482 \frac{m}{s}$$

使用该曲线拟合程序确定的声速 c 与文献数值相符。

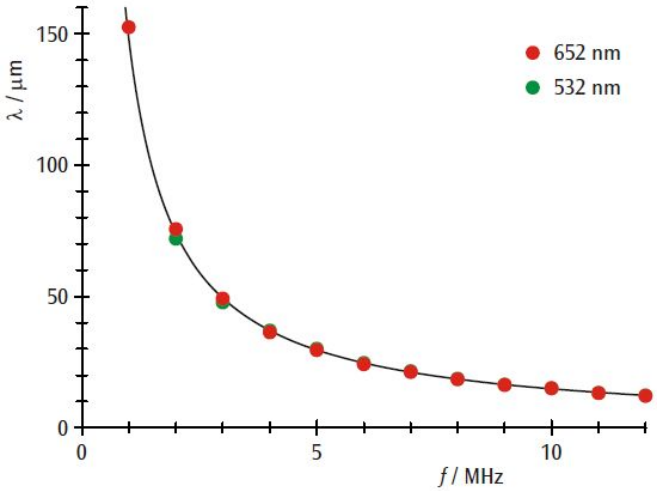

图 4: 水中的声波波长 S ，作为频率 f 的一个函数

3B Scientific GmbH, Rudorffweg 8, 21031 Hamburg, Germany, www.3bscientific.com
© Copyright 2008 3B Scientific GmbH