

自操作

演示实验

超声光栅实验

0.5 学时



FD-UG-A 超声光栅实验仪使用说明

一、概述

光波在液体介质中传播时被超声波衍射的现象，称为超声致光衍射（亦称声光效应），这种现象是光波与介质中声波相互作用的结果。超声波调制了液体的密度，使原来均匀透明的液体，变成折射率周期变化的“超声光栅”，当光束穿过时，就会产生衍射现象，由此可以准确测量声波在液体中的传播速度。并且，由于激光技术和超声技术的发展，使声光效应得到了广泛的应用。如制成声光调制器和偏转器，可以快速而有效地控制激光束的频率、强度和方向，它在激光技术、光信号处理和集成通讯技术等方面有着非常重要的应用。

由上海复旦天欣科教仪器有限公司生产的FD-UG-A型超声光栅实验仪改变了以往超声光栅在分光仪上完成的传统，将平行光管和望远镜中的各个光学元件独立的放置在光学导轨上，让学生自主调节，这样增加了学生动手能力方面的锻炼，并且将可调狭缝改为光刻狭缝，这样观察到的衍射光谱更加锐细明亮，测量更加准确。

该仪器测量准确度高，实验稳定可靠，适用于高等院校基础物理实验以及近代物理实验。

二、仪器简介



图 1 超声光栅仪器装置

三、技术指标

1. 超声信号源 共振频率约10.000MHz左右，分辨率0.001MHz
2. 光刻狭缝 缝宽：0.04mm，缝长：6mm
3. 透镜 通光孔径： $\phi 28\text{mm}$ ，透镜焦距：157mm
4. 超声池 长度：80mm，宽度：40mm，高度：59mm
5. 测微目镜 测量范围：0—8mm，分辨率：0.01mm

6. 光学导轨 长度：650mm，长度测量分辨率：1mm

四、注意事项

1. 液槽置于载物台上**必须稳定**，在实验过程中应**避免震动**，以使超声在液槽内形成稳定的驻波。导线分布电容的变化会对输出信号频率有影响，因此**不能触碰连接液槽和信号源的导线**。
2. 压电陶瓷片表面与对面的液槽壁表面必须平行，此时才会形成较好的驻波，因此实验时应将液槽的上盖盖平。
3. 压电陶瓷片的共振频率在10MHz左右，在稳定共振时，数字频率计显示的频率应是稳定的，最多只有最末尾有1-2个单位数的变动。
4. **实验时间不宜过长**，因为声波在液体中的传播与液体温度有关，时间过长，液体温度可能有变化。实验时，特别注意不要使频率长时间调在10MHz以上，以免振荡线路过热。
5. **提取液槽应拿两端面，不要触摸两侧表面通光部位，以免污染**，如已有污染，可用酒精清洗干净，或用镜头纸擦净。
6. 实验时液槽中会产生一定的热量，并导致媒质挥发，槽壁可见挥发气体凝聚，一般不影响实验结果，但须注意**若液面下降太多致使压电陶瓷片外露时，应及时补充液体至正常液面线处**。
7. **实验完毕应将被测液体倒出**，不要将压电陶瓷片长时间浸泡在液槽内。
8. 传声媒介在含有杂质时对测量结果影响较大，建议**使用纯净水**（市售饮用纯净水即可）、分析纯酒精、甘油等，对某些有毒副作用的媒质（如苯等），不建议学生实验使用，教师教学或科研需要时，应注意安全。
9. **仪器长时间不用时，请将测微目镜收于原装小木箱中并放置干燥剂。液槽应清洗干净，自然晾干后，妥善放置，不可让灰尘等污物侵入。**

超声光栅实验

【实验目的】

1. 了解超声致光衍射的原理。
2. 练习读数显微镜的使用方法
3. 产生较为清晰、稳定的多级干涉条纹，记录条纹的位置。

【实验原理】

压电陶瓷片（PZT）在高频信号源（频率约 10MHz）所产生的交变电场的作用下，发生周期性的压缩和伸长振动，其在液体中的传播就形成超声波，当一束平面超声波在液体中传播时，其声压使液体分子作周期性变化，液体的局部就会产生周期性的膨胀与压缩，这使得液体的密度在波传播方向上形成周期性分布，促使液体的折射率也做同样分布，形成了所谓疏密波，这种疏密波所形成的密度分布层次结构，就是超声场的图象，此时若有平行光沿垂直于超声波传播方向通过液体时，平行光会被衍射。以上超声场在液体中形成的密度分布层次结构是以行波运动的，为了使实验条件易实现，衍射现象易于稳定观察，实验中是在有限尺寸液槽内形成稳定驻波条件下进行观察，由于驻波振幅可以达到行波振幅的两倍，这样就加剧了液体疏密变化的程度。驻波形成以后，某一时刻 t ，驻波某一节点两边的质点涌向该节点，使该节点附近成为质点密集区，在半个周期以后， $t+T/2$ ，这个节点两边的质点又向左右扩散，使该波节附近成为质点稀疏区，而相邻的两波节附近成为质点密集区。

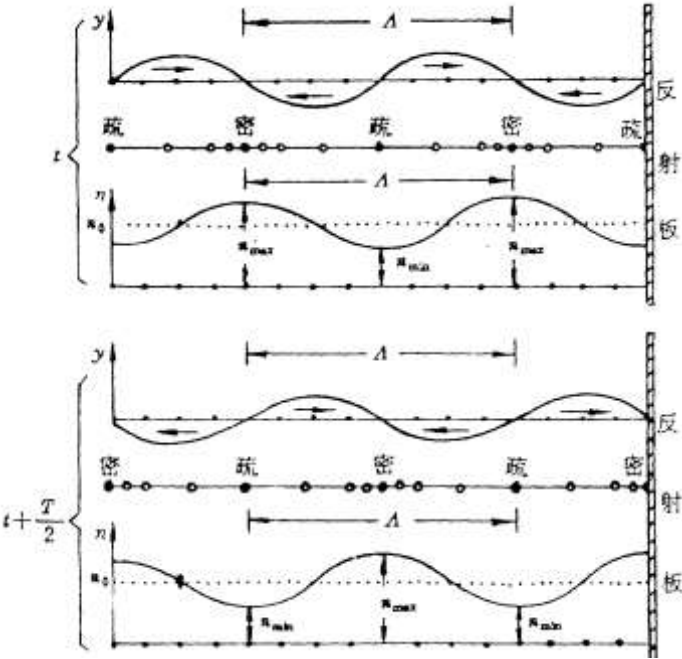


图 1

图 1 为在 t 和 $t+T/2$ (T 为超声振动周期) 两时刻振幅 y 、液体疏密分布和折射率 n 的变化分析。由图 1 可见，超声光栅的性质是，在某一时刻 t ，相邻两个密集区域的距离为 λ ，为液体中传播的行波的波长，而在半个周期以后， $t+T/2$ 。所有这样区域的位置整个漂移了一个距离 $\lambda/2$ ，而在其它时刻，波的现象则完全消失，液体的密度处于均匀状态。超声场形成的层次结构消失，在视觉上是观察不到的，当光线通过超声场时，观察驻波场的结果是，波节为暗条纹（不透光），波腹为亮条纹（透光）。明暗条纹的间距为声波波长

的一半，即为 $\lambda/2$ 。由此我们对由超声场的层次结构所形成的超声光栅性质有了了解。当平行光通过超声光栅时，光线衍射的主极大位置由光栅方程决定。

$$d \sin \phi_k = k\lambda \quad (k=0, 1, 2, \dots) \quad (1)$$

光路图如图 2 所示。

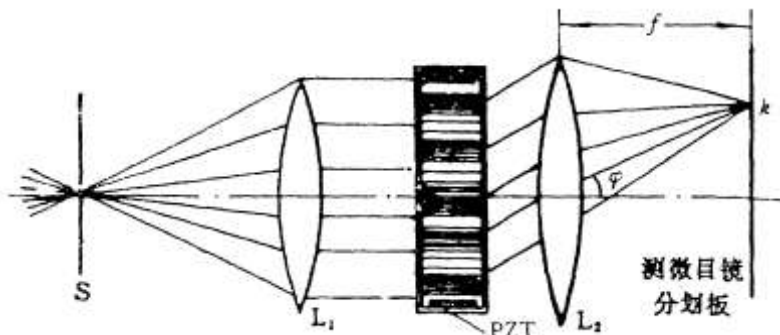


图 2 超声光栅实验光路图

实际上由于 ϕ 角很小，可以认为：

$$\sin \phi_k = l_k / f \quad (2)$$

其中 l_k 为衍射零级光谱线至第 k 级光谱线的距离， f 为 L_2 透镜的焦距，所以超声波的波长

$$d = k\lambda / \sin \phi_k = k\lambda f / l_k \quad (3)$$

超声波在液体中的传播速度：

$$v = \lambda\nu \quad (4)$$

式中 ν 为信号源的振动频率。

【实验仪器】

实验装置主要由控制主机（超声信号源）、低压钠灯、光学导轨、光学狭缝、透镜、超声池、测微目镜以及高频连接线组成。如图 3 所示。

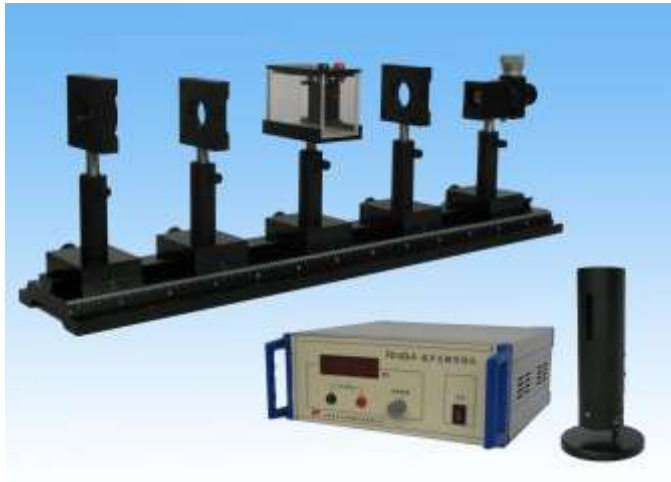


图 3 超声光栅实验装置

【实验过程】

1. 将器件按图 3 放置。低压钠灯于超声光栅试验仪相连。
2. 调节狭缝与透镜 L1 的位置，使狭缝与分光计垂直，狭缝中心法线与透镜 L1 的光轴(即主光轴)重合，且与分光计平行。二者间距为透镜 L1 的焦距（即透镜 L1 射出平行光）。
3. 调节透镜 L2 与测微目镜的高度，使二者光轴与主光轴重合。调焦目镜，使十字丝清晰。
4. 开启电源。调节钠灯位置，使钠灯照射在狭缝上，并且上下均匀，左右对称，光强适宜。
5. 将待测液体（如蒸馏水、乙醇或其他液体）注入液槽，将液槽放置于分光计上，放置时，使液槽两侧表面基本垂直于主光轴。
6. 将高频连接线的一端接入液槽盖板上的接线柱，另一端接入超声光栅仪上的输出端。
7. 调节测微目镜与透镜 L2 的位置。使目镜中能观察到清晰的衍射条纹。
8. 前后移动液槽，从目镜中观察条纹间距是否改变，若是，则改变透镜 L1 的位置，直到条纹间距不变。
9. 微调超声光栅仪上的调频旋钮，使信号源频率与压电陶瓷片谐振频率相同，此时，衍射光谱的级次会显著增多且谱线更为明亮。微转液槽，使射于液槽的平行光束垂直于液槽，同时观察视场内的衍射光谱亮度及对称性。重复上述操作，直到从目镜中观察到清晰而对称稳定的 2 - 4 级衍射条纹为止。
10. 利用测微目镜逐级测量各谱线位置读数，测量时单向转动测微目镜鼓轮，以消除转动部件的螺

纹间隙产生的空程误差（例如：从 - 3、…、0、…、+3）。

11. 自拟数据表格，记录各级各谱线的位置读数，计算各谱线衍射条纹平均间距，并计算液体中的声速 V 。

【实验数据】（注：以下数据不作为仪器验收标准，仅供实验时参考）

单色光源波长 $\lambda = (589.3 \pm 0.3) \text{ nm}$

透镜 L2 焦距 $f = (157.0 \pm 0.4) \text{ mm}$

被测液体 普通水

液体温度 $t = 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$V_t = V_0 + \alpha(t - t_0) = 1497 + 2.5 \times (12 - 25) = 1464 \text{ m/s}$$

信号频率 $\nu = 9.130 \text{ MHz}$

表 1. 衍射级次 k 和衍射谱线位置

k	L_k	$L_{ k } - L_{ k -1} \text{ (mm)}$	$(L_{ k } - L_{ k -2})/2 \text{ (mm)}$	$(L_{ k } - L_{ k -3})/3 \text{ (mm)}$
-3	1.547	0.583	0.585	0.584
-2	2.130	0.586	0.584	
-1	2.716	0.582		
0	3.298			
1	3.883	0.585		
2	4.499	0.616	0.601	
3	5.069	0.570	0.593	0.590

$$\begin{aligned}\Delta L_k &= \frac{1}{12} \sum [L_{|k|} - L_{|k|-1} + (L_{|k|} - L_{|k|-2})/2 + (L_{|k|} - L_{|k|-3})/3] \\ &= \frac{1}{12} (0.583 + 0.586 + \dots + 0.584 + 0.590) \\ &= 0.588 \text{ (mm)}\end{aligned}$$

$$V = \frac{\lambda f \nu}{\Delta L_k} = \frac{589.3 \times 10^{-9} \times 157.0 \times 10^{-3} \times 9.130 \times 10^6}{0.588 \times 10^{-3}} = 1437 \text{ (m/s)}$$

$$E = \frac{|V_t - V|}{V_t} \times 100\% = \frac{|1464 - 1437|}{1464} \times 100\% = 1.8\%$$

【注意事项】

1. 调节个器件时，注意保持其同高共轴。

【思考题】

1. 为什么声光器件可相当于相位光栅？
2. 怎样判断平行光束垂直入射到超生光栅面？怎样判断压电陶瓷片处于共振状态？
3. 从实验数据去检验声光衍射条件是否满足。

【参考资料】

1. 沈元华，陆申龙．基础物理实验．北京：高等教育出版社．2003. 275—281
2. 光学手册．陕西科技出版社．1986. P. 1089

【附录】

纯净液体中的声速

液体名称	温度 $t_0 / ^\circ\text{C}$	速度 $V_0 (m/s)$	$\alpha (m/s \cdot ^\circ\text{C})$
苯胺	20	1656	- 4. 6
丙酮	20	1192	- 5. 5
苯	20	1326	- 5. 2
海水	17	1510 - 1550	/
普通水	15	1497	2. 5
甘油	20	1923	- 1. 8
煤油	34	1295	/
甲醇	20	1123	- 3. 3
乙醇	20	1180	- 3. 6

表中 α 为温度系数，对于其他温度时的声速可近似按公式 $V_t = V_0 + \alpha(t - t_0)$ 计算。



上海复旦天欣科教仪器有限公司

FD-UG-A 型超声光栅实验仪

装 箱 清 单

您购买的产品与装箱清单中是否符合，请验收。

日期： 年 月 日

编号	名称	数量	备注
1	超声光栅实验主机	壹台	
2	低压钠灯	壹台	
3	光学导轨	壹根	
4	滑块	伍个	
5	狭缝转盘	壹个	
6	透镜	贰个	焦距约 157mm
7	测微目镜	壹个	配固定架
8	超声池	壹个	
9	超声池架	壹个	

10	高频连接线	壹根	
11	钠灯连接线	壹根	
12	主机电源线	壹根	
13	仪器使用说明	壹份	
14	合格证	壹份	
15	装箱清单	壹份	使用说明内
16			