

反邮箱: 004

机械学院 2017 年级 机械专业 4 班 姓名 王祥 成绩 9.3

实验日期: _____ 学号 301720174 同组实验者 _____

实验题目: 超声光栅 ①

一、实验目的

1. 3 解声光效应的原理及超声光栅的形成机制和特点。
2. 利用光栅超声测量原理测超声波速度。

二、实验仪器

数字显示高频信号源, 压电陶瓷片, 液槽, 平行光管, 阿贝式准直望远镜, 测微目镜, 高压汞灯。

压电陶瓷片(PZT)在高频功率信号源(频率约10MHz)交变电场作用下,发生周期性的压缩和伸长,这种高频振动在介质中的传播就是超声波。信号源是一个晶体管自激振荡器。PZT片与可变电容器并联构成LC振荡回路的电容部分,电感L是一个螺旋线圈,通过晶体管的正反馈电路的作用,能够产生和维持等幅振荡,调整面板上的电容器可以改变振荡频率。

三、实验原理

超声波是纵波,在盛有液体的玻璃液槽(图48-1)中传播时,液体被周期性的压缩和稀疏,其密度会发生周期性的变化,形成疏密波。稀疏作用会使液体密度减小,折射率减小,压缩作用会使液体密度增大,折射率增大,因此液体密度的周期变化,必然导致其折射率也呈周期变化。如果超声波被反射,在一定条件下可形成驻波,从而加剧介质的疏密变化。某时刻,纵驻波的任一波节两边成为质点密集区,而相邻的波节处为质点稀疏区;半个周期后,这个波节点附近的质点,又向两边散开,变成稀疏区,相邻波节处变为密集区。稀疏作用使介质折射率减小,而压缩作用使介质折射率增大(图48-2)单色平行光垂直着垂直于超声波传播方向通过槽中液体时,在液槽内距离等于超声波波长 λ 的任意两点处,液体的密度相同,

天津大学物理实验报告

附 页

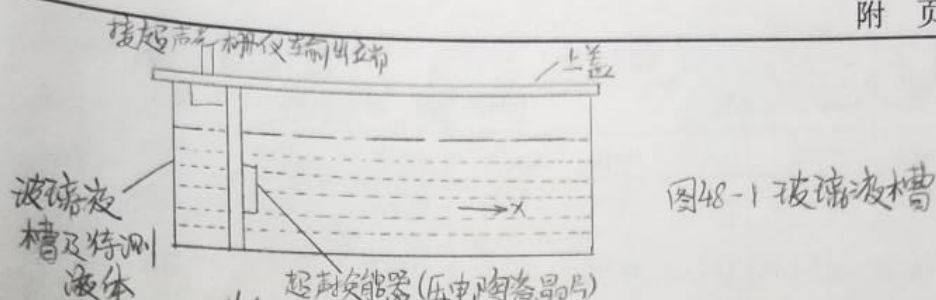


图48-1 玻璃液槽

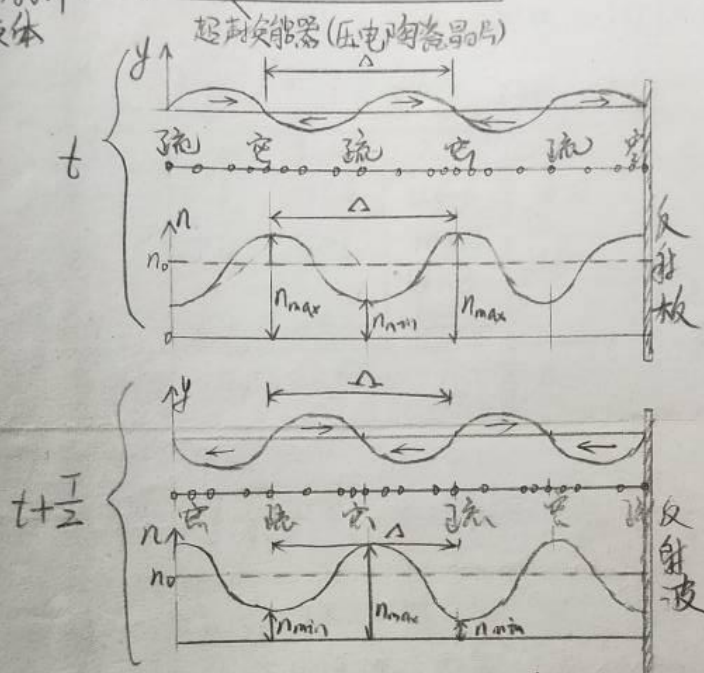


图48-2 在两个相隔半周期的时刻，液体的疏密分布和折射率的变化

折射率也相等，且超声波的波长很短，只要槽足够宽，槽中液体就像超声的实验自光路(如图48-3所示)的一个衍射光栅。图中声波的波长 Δ 即相当于光栅常量，根据光栅方程，衍射的主极大(光谱角)由下式决定：

$$\Delta \sin \theta_k = K\lambda, K=0,1,2 \quad (48-1)$$

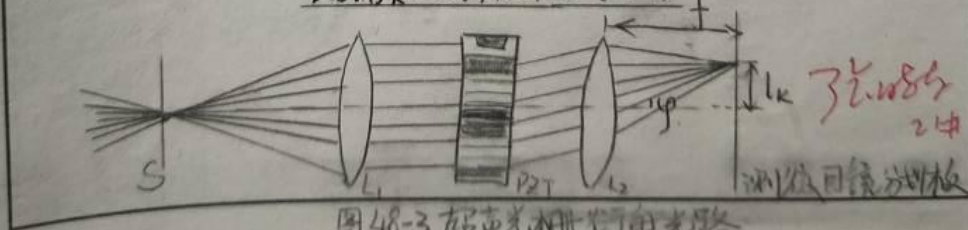


图48-3 超声光栅衍射光路

天津大学物理实验报告

机械学院 2017 年级 机械专业 4 班 姓名王祥 成绩

实验日期: 学号 201701174 同组实验者

实验题目: 超声光栅 ②

超声的实验光路如 48-3 所示, 实际上因 φ 角很小, 可以认为

$$\sin \varphi_k = l_k / f \quad (48-2)$$

其中, l_k 为光栅衍射零级至第 k 级光谱的距离, f 为透镜的焦距, 所以超声波波长为:

$$\lambda = k\lambda / \sin \varphi_k = k\lambda f / l_k \quad (48-3)$$

超声波在液体中传播的速度

$$c = \lambda \nu \quad (48-4)$$

式中, ν 是高频功率信号源与压电陶瓷的共振频率。

四. 实验步骤

1. 仪器调节

- (1) 参照实验 36 “分光计的调节与使用”调节望远镜与平行光管。
- (2) 参照图 48-3 的光路图, 将盛有酒精及压电陶瓷片的液槽置于载物台上, 并将望远镜的阿贝目镜更换成测微目镜, 调节目镜, 使其分划板及平行光管的狭缝像竖直清晰且消除视差。
- (3) 将压电陶瓷片连接于高频信号上, 仔细调节频率和液槽方位, 应在目镜视野中出现左右对称而清晰的三级衍射光谱。

2. 测量酒精中的声速

- (1) 用测微目镜依次测出黄光光谱中蓝、绿、黄各三级衍射的位置。
- (2) 记录信号源的频率和实验室给出的透镜焦距及黄光谱各谱线波长值。根据式 (48-3)、式 (48-4) 计算超声波在酒精中的声速, 并与公认值 (1168 m/s) 比较。

3. 测量超声波在水中的声速

- (1) 断开压电陶瓷片电源, 用吹风机吹干陶瓷片。
- (2) 更换水槽, 用上述测量要求测出超声波在水中的声速。

天津大学物理实验报告

附 页

五 数据表格与数据处理

表 1 水中超声波声速测量

~~声速~~ $v = 1480 \text{ m/s}$

| | x_3/mm | x_2/mm | x_1/mm | x_1'/mm | x_2'/mm | x_3'/mm | l_1/mm | l_2/mm | l_3/mm |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 黄 | 6.030 | 5.175 | 4.573 | 3.280 | 2.765 | 2.242 | 0.647 | 1.205 | 1.894 |
| 绿 | 5.860 | 5.035 | 4.415 | 3.150 | 2.550 | 1.885 | 0.633 | 1.243 | 1.988 |
| 蓝 | 5.430 | 4.795 | 4.227 | 3.042 | 2.460 | 1.705 | 0.618 | 1.168 | 1.863 |

| | $\Delta_1/\mu\text{m}$ | $\Delta_2/\mu\text{m}$ | $\Delta_3/\mu\text{m}$ | $\bar{\Delta}/\mu\text{m}$ | $C(\Delta, \bar{\Delta})/\text{m/s}$ | 其中 $v = 10.48 \text{ MHz}$ |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---|
| 黄 | 151.6 | 162.8 | 155.4 | 156.6 | 156.6 | $\lambda_{\text{黄}} = 577.0 \text{ nm}$ |
| 绿 | 146.7 | 149.4 | 140.1 | 145.4 141.3 | 1480 | $\lambda_{\text{绿}} = 546.1 \text{ nm}$ |
| 蓝 | 119.9 | 126.9 | 119.3 | 122.0 | | $\lambda_{\text{蓝}} = 435.8 \text{ nm}$ $f = 170 \text{ nm}$ |

$$l_i = \frac{1}{2}(x_i - x_i'), \quad \Delta_i = v \lambda f / l_i, \quad \bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i$$

不确定度计算:

$$S_{\bar{\Delta}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{9 \times 8}} = 5.29 \mu\text{m}$$

$$n=9 \text{ 时}, t_{0.95} = 2.31$$

$$\text{故 } \Delta A = U_{\Delta A} = t_{0.95} \cdot S_{\bar{\Delta}} = 12.2 \mu\text{m}$$

$$U_1 = U_{2B} = \Delta = 0.02 \text{ MHz (单次测量)}$$

$$U_r = \frac{U_c}{C} = \sqrt{\left(\frac{U_{\Delta}}{\bar{\Delta}}\right)^2 + \left(\frac{U_1}{v}\right)^2} = 0.086 = 8.6\%$$

$$\text{故 } U_c = C \cdot 8.6\% = 127.28 \text{ m/s}$$

$$\text{故 } C_{\text{测}} = (1480 \pm 127.28) \text{ m/s} \quad (P=95\%)$$

$$U_r = \frac{U_c}{C} \times 100\% = 8.6\%$$

后接酒精中的声速测量

天津大学物理实验报告

机械学院 2017 年级 机械专业 4 班 姓名 王祥 成绩

实验日期: 学号 307201714 同组实验者

实验题目: 超声光栅 ③

表 2 酒精中超声波速测量

其中 $\nu = 10.25 \text{ MHz}$

| | x_0/mm | x_1/mm | x_2/mm | x_3/mm | x_4/mm | x_5/mm | l_1/mm | l_2/mm | l_3/mm |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 黄 | 8.875 | 8.131 | 7.375 | 5.883 | 5.200 | 4.528 | 0.746 | 1.466 | 2.174 |
| 绿 | 8.750 | 8.030 | 7.228 | 5.662 | 5.112 4.853 | 4.082 | 0.783 | 1.589 | 2.384 |
| 蓝 | 8.395 | 7.823 | 7.113 | 5.548 | 5.140 4.740 | 3.940 | 0.783 | 1.542 | 2.228 |

| | $\Delta_1/\mu\text{m}$ | $\Delta_2/\mu\text{m}$ | $\Delta_3/\mu\text{m}$ | $\bar{\Delta}/\mu\text{m}$ | $c=(\bar{\Delta} \cdot \nu)/(\text{m/s})$ |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|---|
| 黄 | 131.5 | 133.8 | 135.4 | | |
| 绿 | 118.6 | 116.8 | 119.3 | 116.2 | 1191 |
| 蓝 | 94.6 | 96.1 | 99.8 | | |

不确定度计算

$$S_{\bar{\Delta}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{9 \times 8}} = 5.36 \mu\text{m}$$

$$\text{故 } u_{\bar{\Delta}} = t_{0.95} S_{\bar{\Delta}} = 5.36 \times 2.31 = 12.4 \mu\text{m}$$

$$u_{\nu} = 0.02 \text{ MHz}$$

$$u_r = \frac{u_c}{c} = \sqrt{\left(\frac{u_{\bar{\Delta}}}{\bar{\Delta}}\right)^2 + \left(\frac{u_{\nu}}{\nu}\right)^2} = 0.107 = 10.7\%$$

$$\text{故 } u_c = c \cdot 10.7\% = 127.44 \text{ m/s}$$

$$\text{故 } C_{\text{测}} = (1191 \pm 127.44) \text{ m/s} \quad (P=95\%)$$

$$u_r = \frac{u_c}{c} \times 100\% = 10.7\%$$

天津大学物理实验报告

附 页

六、结果分析和讨论

总的来说,我觉得本次实验,我所得到的实验^(数据)有明显的误差。光谱中由外到内为黄绿蓝,按正常思路可以想象,实验数据中同一级的 k ,应按照黄、绿、蓝的顺序递减。然而实验所得数据并非如此。不过数据处理结果所得的 C_1 与理论值之间的差距非常小,实验又算是较成功的。

计算不确定度后,可以明显发现不确定度还是有些大的,个人观点,实验者读数在本实验中还是有些误差影响的。光学实验,对于多数眼睛近视,甚至是正常视力的同学都是一项对眼睛疲劳抗疲劳的挑战,多次实验者,实验中途就有在眼睛痛的问题。如何改善光学实验的这一弊端值得思考。是否可以借助计算机解决人眼读数困难,人眼疲劳?提高数据的降低实验的不确定度。