

## 大学物理实验报告

实验名称：

声速测量

学院：理学院      专业：应用物理学    班级：应物 1601

学号：20161413      姓名：谢尘竹      电话：18640451671

实验日期： 2019 年 7 月 16 日

第 二十 周 星期 二 第 五 节

实验室房间号：313

实验组号：14

成绩

指导教师

批阅日期

朱林

2019 年 7 月 16 日

1. 实验目的:

- ①.用共振干涉法和相位比较法测量声速;
- ②.了解压电陶瓷换能器的功能;
- ③.进一步熟悉示波器的使用方法;
- ④.通过用时差法对多种介质的测量,了解声呐技术的原理及其重要的实用意义。

2. 实验器材:

名称	编号	型号	精度
SV6 声速测量组 合仪	17013	SV-DH-7A	
SV6 声速测量专 用信号源			
数位储存示波器	20185765	GES812390	
游标卡尺			

3. 实验原理（请用自己的语音简明扼要地叙述，注意原理图需要画出，测试公式需要写明）

由波动理论得知，声波的传播速度与声波频率和波长入之间的关系为  $v=f \cdot \lambda$ 。

其中，声波频率  $f$  可由产生声波的电信号发生器的振荡频率读出，波长  $\lambda$  则可用共振法和相位比较法进行测量，相乘就可得到声波速度  $v$ 。时差法则是通过测量声音传播一定距离的时间来直接测量声波的传播速度  $v$ 。

## 1. 压电陶瓷换能器

本实验采用压电陶瓷换能器来实现声压和电压之间的转换。在压电陶瓷片的两个底面加上正弦交变电压，它就会按照正弦规律发生纵向伸缩，从而发出超声波。压电陶瓷换能器在声—电转换过程中，保持声、电信号频率  $f$  不变。

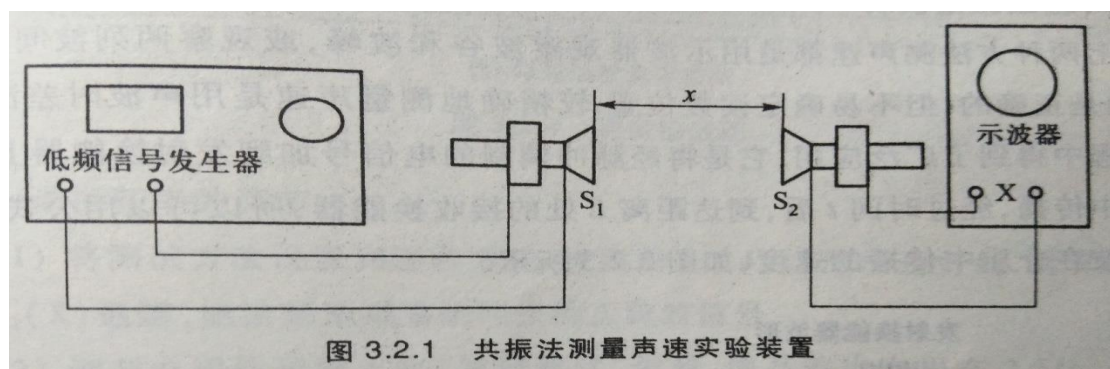
## 2. 共振法测量波长

如图所示，由声源  $S_1$  发出的声波（频率为  $f$ ）经介质（空气）传播到  $S_2$ ， $S_2$  接收声波信号的同时，反射部分声波信号。如果接收面（ $S_1$ ）与发射面（ $S_2$ ）严格平行，入射波即在接收面上垂直反

射，入射波与反射波相干涉形成驻波，且反射面处是位移的波节、声压的波腹。

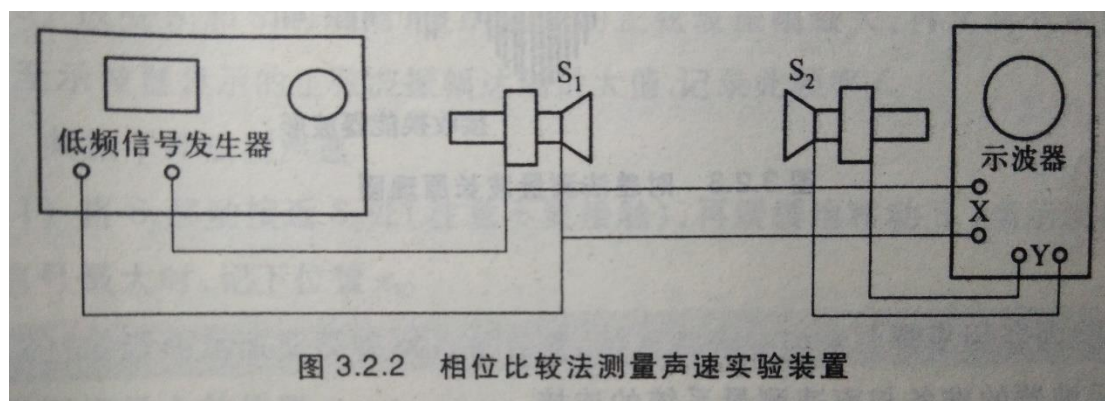
改变接收器与发射源之间的距离  $x$ ，在一系列特定的距离上，空气中出现稳定的驻波共振现象，此时， $x$  等于半波长的整数倍，驻波的幅度达到极大；同时，在接收面上的声压波腹也相应地达到极大值；通过压电转换，产生的电信号的电压值也极大(示波器显示波形的幅值极大)。因此，若保持频率不变，通过测量相邻两次接收信号达到极大值时接收面之间的距离  $\Delta x$ ，即可得到该波的波长  $\lambda (\lambda = 2\Delta x)$ ，并用  $v = f \cdot \lambda$  计算出声速。

$S_1$  作为声波发射器，它把电信号转换为声波信号向空间发射。 $S_2$  是信号接收器，它把接收到的声波信号转换为电信号供观察。其中  $S_1$  是固定的，而  $S_2$  可以左右移动。



### 3.相位比较法测量波长

如图 3.2.2 所示为相位比较法测量声速的实验装置。声源  $S_1$  发出声波后，在其周围形成声场，声场在介质中任一点的振动相位是随着时间变化的，但它与声源振动的相位差  $\Delta\varphi$  不随时间变化。



设声源方程可写为  $y=y_0\cos\omega t$ ，距声源  $x$  处的  $S_2$  接收到的振动为  $y'=y'_0\cos\omega(t-\frac{x}{v})$ ，两处振动的相位差  $\Delta\varphi=\omega\frac{x}{v}$ 。

若将两处的振动分别输入到示波器的 X 轴和 Y 轴，那么当  $x=n\lambda$  时，即  $\Delta\varphi=2n\pi$  时，参数方程对应的合振动是一条斜率为正的直线；当  $x=(2n+1)\frac{\lambda}{2}$  时，即  $\Delta\varphi=(2n+1)\pi$  时，参数方程对应的合振动是一条斜率为负的直线；当  $x$  为其他值时，合振动为椭圆。

移动  $S_2$ ，当合振动为直线的图形的斜率正、负交替变化一次， $S_2$  移动的距离为  $\Delta x=(2n+1)\frac{\lambda}{2}-n\lambda=\frac{\lambda}{2}$ ，则  $\lambda=2\Delta x$ 。

#### 4. 实验内容与步骤

将专用信号源上的“转换开关”置于“kHz”灯亮,将 $S_2$ (接收换能器)转动到 $S_1$ (发射换能器),相隔 2cm 处(两换能器喇叭形平面),不要相碰,开启数字显示表头电源,并“置”0,选择单位“mm”,即可进行测量。

5. 实验记录（注意：单位、有效数字、列表）

一.经计算后的数据

表 1 共振干涉法测量波长记录表

共振频率  $f=38.736\text{ kHz}$ ；室内温度  $t=24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ； $\Delta f=100\text{ Hz}$ ； $\Delta \lambda_{\text{取}}=0.03\text{ mm}$

$x_i/\text{mm}$	$x_{i+5}/\text{mm}$	$(x_{i+5} - x_i)/\text{mm}$	$\lambda_i/\text{mm}$	$\Delta \lambda_i/\text{mm}$
7.70	30.47	22.77	9.108	0.048
12.22	34.86	22.64	9.056	-0.004
16.77	39.38	22.61	9.044	-0.016
21.30	43.87	22.57	9.028	-0.032
25.84	48.48	22.64	9.056	-0.004

表 2 相位比较法测量波长记录表

共振频率  $f=38.736\text{ kHz}$ ；室内温度  $t=24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ； $\Delta f=100\text{ Hz}$ ； $\Delta \lambda_{\text{取}}=0.03\text{ mm}$

$x_i/\text{mm}$	$x_{i+5}/\text{mm}$	$(x_{i+5} - x_i)/\text{mm}$	$\lambda_i/\text{mm}$	$\Delta \lambda_i/\text{mm}$
3.32	25.94	22.62	9.048	-0.001
7.82	30.45	22.63	9.052	0.005
12.35	35.03	22.68	9.072	-0.025
16.88	39.45	22.57	9.028	-0.019
21.39	43.98	22.59	9.036	-0.011

## 二.原始数据

表1 共振法测量波长记录表

共振频率  $f = 38.736 \text{ Hz}$ ; 室内温度  $t = 24^\circ \text{C}$ ;  $\Delta f = 100 \text{ Hz}$ ;  $\Delta \lambda_{\text{仪}} = 0.03 \text{ mm}$

$X_i/\text{mm}$	$X_{i+5}/\text{mm}$	$(X_{i+5} - X_i)/\text{mm}$	$\lambda_i/\text{mm}$	$\Delta \lambda_i/\text{mm}$
7.70	30.47			
12.22	34.86			
16.77	39.38			
21.30	43.87			
25.84	48.48			

表2 用相位比较法测量波长记录表

共振频率  $f = 38.736 \text{ Hz}$ ; 室内温度  $t = 24^\circ \text{C}$ ;  $\Delta f = 100 \text{ Hz}$ ;  $\Delta \lambda_{\text{仪}} = 0.03 \text{ mm}$

$X_i/\text{mm}$	$X_{i+5}/\text{mm}$	$(X_{i+5} - X_i)/\text{mm}$	$\lambda_i/\text{mm}$	$\Delta \lambda_i/\text{mm}$
3.32	25.94			
7.82	30.45			
12.35	35.03			
16.88	39.45			
21.39	43.98			

第14组

表1: 4.98 7.70 12.22 16.77 21.30 25.84 30.47 34.86 39.38 43.87 48.48

初始值 第一次max 第二次 三 四 五 六 七 八 九 十

表2: 0 3.32 7.82 12.35 16.88 21.39 25.94 30.45 35.03 39.45 43.98

才一才一



## 6. 数据处理及误差分析

### 一.共振干涉法

#### 1. 波长 $\lambda$ 的不确定度

①. 超声波波长的平均值:

$$\bar{\lambda}_t = \frac{\sum_{i=1}^5 \lambda_i}{5} = \frac{9.108 + 9.056 + 9.044 + 9.028 + 9.056}{5} = 9.06 \text{ mm}。$$

②. 标准差  $S_\lambda = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (\lambda_i - \bar{\lambda}_t)^2}{5-1}} = 0.03 \text{ mm}。$

③. 平均标准差  $\bar{S}_\lambda = \frac{S_\lambda}{\sqrt{5}} = 0.01 \text{ mm}。$

④. 取置信度  $P=95\%$ ,  $n=5$ , 查表得  $t_p=2.78$ , 则 $\lambda$ 的 A

类不确定度为  $U_{\lambda A} = t_p \bar{S}_\lambda = 0.03 \text{ mm}。$

⑤.  $\lambda$ 的 B 类不确定度  $U_{\lambda B} = \Delta \lambda_{\text{仪}} = 0.03 \text{ mm}。$

⑥.  $\lambda$ 的总不确定度  $U_\lambda = \sqrt{U_{\lambda A}^2 + U_{\lambda B}^2} = 0.04 \text{ mm}。$

⑦.  $\lambda$ 的测量值的结果表示:

(1).  $\lambda = \bar{\lambda}_t \pm U_\lambda = (9.06 \pm 0.04) \text{ mm};$

(2). 相对不确定度  $E_\lambda = \frac{U_\lambda}{\bar{\lambda}_t} \times 100\% = 0.44\%。$

## 2. 频率 $f$ 的不确定度

①.  $f$  的总不确定度  $U_f = 100 \text{ Hz}$ 。

②.  $f$  的结果表示：

(1).  $f = \bar{f} \pm U_f = (38736 \pm 100) \text{ Hz}$ 。

(2). 相对不确定度  $E_f = \frac{U_f}{\bar{f}} \times 100\% = 0.26\%$ 。

## 3. 声速 $v$ 的不确定度

①.  $\bar{v} = \bar{\lambda}_t f = 9.06 \times 38.736 = 350.95 \text{ m/s}$ 。

②. 利用不确定度传递公式  $E_v = \sqrt{E_\lambda^2 + E_f^2}$ ，即

$\frac{U_v}{\bar{v}} = \sqrt{\left(\frac{U_\lambda}{\bar{\lambda}_t}\right)^2 + \left(\frac{U_f}{\bar{f}}\right)^2}$ ，得  $v$  的总不确定度  $U_v =$

$\bar{v} \sqrt{(0.44\%)^2 + (0.26\%)^2} = 350.95 \cdot 0.51\% = 1.79 \text{ m/s}$ 。

③.  $v$  的结果表示：

(1).  $v = \bar{v} \pm U_v = (350.95 \pm 1.79) \text{ Hz}$ 。

(2). 相对不确定度  $E_v = \sqrt{E_\lambda^2 + E_f^2} = 0.51\%$ 。

## 二.相位比较法

### 1.波长 $\lambda$ 的不确定度

①.超声波波长的平均值:

$$\bar{\lambda}_i = \frac{\sum_{i=1}^5 \lambda_i}{5} = \frac{9.048 + 9.052 + 9.072 + 9.028 + 9.036}{5} = 9.05 \text{ mm}.$$

$$\textcircled{2}. \text{标准差 } S_\lambda = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (\lambda_i - \bar{\lambda}_i)^2}{5-1}} = 0.02 \text{ mm}.$$

$$\textcircled{3}. \text{平均标准差 } \bar{S}_\lambda = \frac{S_\lambda}{\sqrt{5}} = 0.01 \text{ mm}.$$

④.取置信度  $P=95\%$ ,  $n=5$ , 查表得  $t_p=2.78$ , 则 $\lambda$ 的 A

类不确定度为  $U_{\lambda A} = t_p \bar{S}_\lambda = 0.03 \text{ mm}$ 。

⑤. $\lambda$ 的 B 类不确定度  $U_{\lambda B} = \Delta \lambda_{\text{仪}} = 0.03 \text{ mm}$ 。

$$\textcircled{6}. \lambda \text{ 的总不确定度 } U_\lambda = \sqrt{U_{\lambda A}^2 + U_{\lambda B}^2} = 0.04 \text{ mm}.$$

⑦. $\lambda$ 的测量值的结果表示:

$$(1). \lambda = \bar{\lambda}_i \pm U_\lambda = (9.05 \pm 0.04) \text{ mm};$$

$$(2). \text{相对不确定度 } E_\lambda = \frac{U_\lambda}{\bar{\lambda}_i} \times 100\% = 0.44\%.$$

## 2. 频率 $f$ 的不确定度

①.  $f$  的总不确定度  $U_f = 100 \text{ Hz}$ 。

②.  $f$  的结果表示：

(1).  $f = \bar{f} \pm U_f = (38736 \pm 100) \text{ Hz}$ 。

(2). 相对不确定度  $E_f = \frac{U_f}{\bar{f}} \times 100\% = 0.26\%$ 。

## 3. 声速 $v$ 的不确定度

①.  $\bar{v} = \bar{\lambda}_t f = 9.05 \times 38.736 = 350.56 \text{ m/s}$ 。

②. 利用不确定度传递公式  $E_v = \sqrt{E_\lambda^2 + E_f^2}$ ，即

$\frac{U_v}{\bar{v}} = \sqrt{\left(\frac{U_\lambda}{\bar{\lambda}_t}\right)^2 + \left(\frac{U_f}{\bar{f}}\right)^2}$ ，得  $v$  的总不确定度  $U_v =$

$\bar{v} \sqrt{(0.44\%)^2 + (0.26\%)^2} = 350.56 \cdot 0.51\% = 1.79 \text{ m/s}$ 。

③.  $v$  的结果表示：

(1).  $v = \bar{v} \pm U_v = (350.56 \pm 1.79) \text{ Hz}$ 。

(2). 相对不确定度  $E_v = \sqrt{E_\lambda^2 + E_f^2} = 0.51\%$ 。

## 7. 思考题及实验小结

### 1. 思考题一

①. 为什么要在谐振频率条件下进行声速测量?

答: 谐振时超声波的发射和接收效率均达到最高。

②. 如何调节和判断测量系统是否处于谐振状态?

答: 保持其他条件不变, 仅仅改变信号发生器的输出频率, 观察接收到得超声波信号幅度, 出现极大值时对应的频率就是谐振频率。

### 2. 思考题二

答: 相同。

以下内容为报告保留内容，请勿填写或删除，否则影响实验成绩

上课时间： 上课地点： 任课教师：
报告得分：  教师留言：
操作得分：  教师留言：
预习得分： 预习情况：