

## 10 实验 E-8 测量空气中的声速

姓名: 林纪坤

学号: 2250758

成绩: 100+

合作者:

指导教师:

实验编号: 周三第 7-8 节 C 组 6 号

### 一、实验目的

1. 学习测量空气中声速的原理和方法。
2. 了解压电换能器的功能, 加深对驻波及振动合成等知识的理解。
3. 进一步学习和熟练掌握示波器和信号发生器的使用方法。

### 二、实验原理知识准备与预习自测

1. 什么是超声波?

答: 超声波是一种波长极短的机械波, 频率高于  $20 \text{ kHz}$ , 它必须依靠介质进行传播, 无法存在于真空。可用于清洗、碎石、杀菌消毒等。

2. 声速受到哪些因素的影响? 声速的理论值如何计算? 在工业上有很多应用。

答: 声速受到传播介质的种类及其密度、温度、体积弹性模量等因素的影响。声速理论值可由公式  $v = v_0 \sqrt{\frac{T}{T_0}}$  来计算。

3. 本实验中, 超声波的发射与接收装置是什么?

答: 本实验中, 超声波的发射装置是信号发生器及连接的换能器, 超声波的接收装置是超声波的接收头。

4. 请参考教材,完成共振干涉法和相位比较法的仪器连接方法图(图 10-1、图 10-2)。

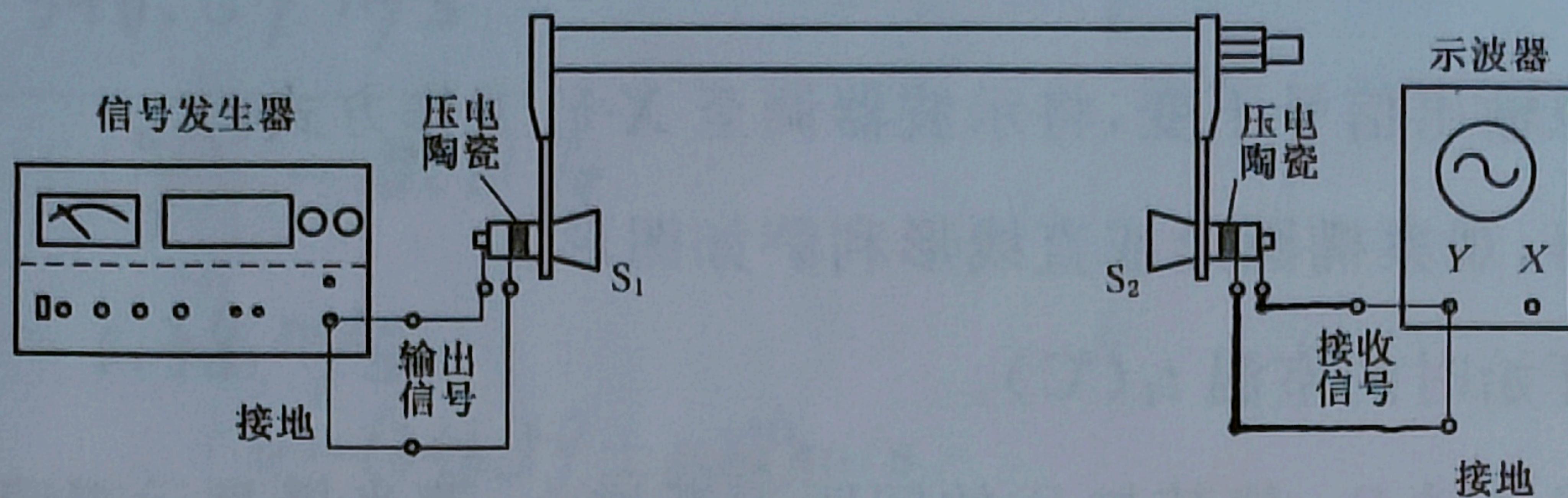


图 10-1 共振干涉法仪器连接图

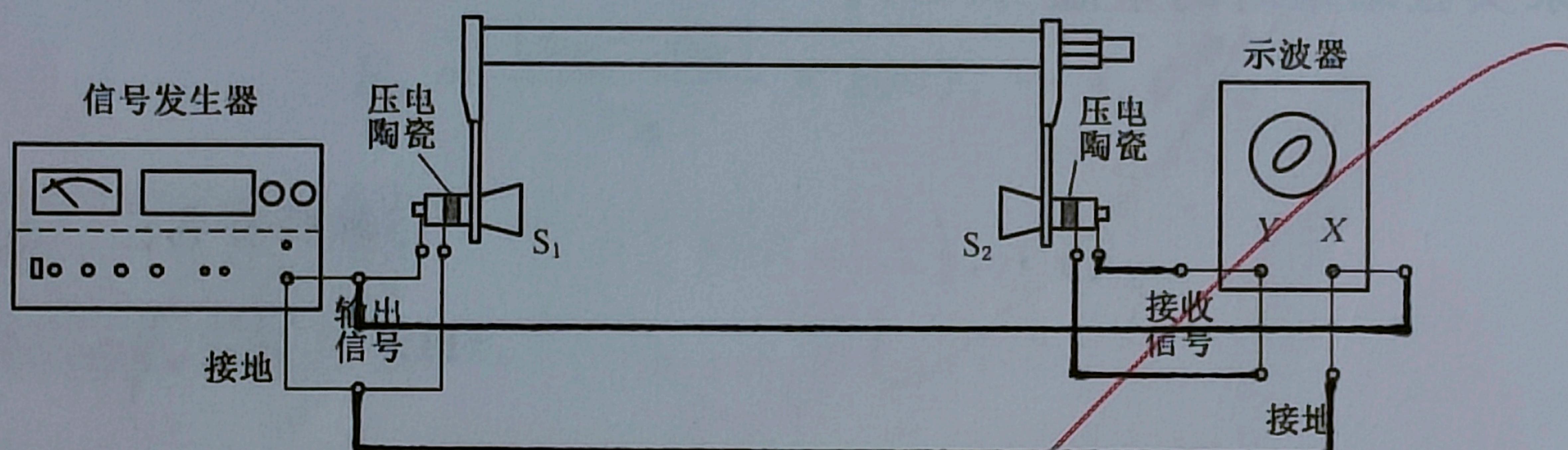


图 10-2 相位比较法仪器连接图

### 三、实验测量步骤

#### 1. 共振干涉法

(1) 仪器连接:首先将信号发生器的输出端与发射端压电换能器  $S_1$  连接,再将接收端换能器  $S_2$  与示波器 CH1 通道连接。

(2) 声速测定仪调节:先将声速测定仪上  $S_1$  与  $S_2$  紧密接触,利用调节螺丝使两个端面完全平行;然后移动  $S_2$ ,使  $S_1$  与  $S_2$  的间距约为 3cm。

(3) 信号源与示波器调节方法:信号转换开关拨向正弦信号,调节“频率波段”选择开关及“频率”旋钮至 35.0~36.0 kHz,输出电压调节至 2~4V 的范围,调节两个换能器之间间距 1~2cm,在谐振频率范围内调节输出频率使显示的信号振幅最大,移动接收器,使显示的正弦波幅值最大,再次调节正弦波信号频率使

(4) 记录实验开始时的室温  $t_1$  ( $^{\circ}$ C)。显示的正弦波幅值最大。

(5) 向右侧缓慢移动  $S_2$ ,使其与  $S_1$  的间距逐渐增大,示波器显示接受端正弦信号的振幅周期性变化。记录每一次信号振幅达极大值时接受端  $S_2$  的位置读数  $L_i$  (mm),连续测 20 次。

(6) 记录实验结束时的室温  $t_2$  (°C)。

## 2. 相位比较法

- (1) 保持信号源输出信号不变, 将示波器调至 X-Y 工作方式。
- (2) 调节示波器, 观察椭圆形或直线形李萨如图形。
- (3) 记录实验开始时的室温  $t_1$  (°C)。
- (4) 向右侧缓慢移动  $S_2$ , 使其与  $S_1$  的间距逐渐增大, 荧光屏显示李萨如图形由直线到椭圆呈周期性变化(图 10-2)。记录每一次图形为斜直线时  $S_2$  的位置读数, 连续测 20 次。
- (5) 记录实验结束时的室温  $t_2$  (°C)。

教师签名:

## 四、实验仪器

主要实验仪器名称	规格型号	仪器误差 $\Delta_{仪}$
示波器	ST16B	
DDS 全数字合成函数发生器	EM32030P	0.01 kHz
游标卡尺		0.02 mm

## 五、实验现象观察与记录

1. 实验中, 通过调节信号源的输出频率使发射换能器产生谐振, 判断其是否产生谐振的条件为

(1) 输出频率在谐振频率范围内;

(2) 示波器上正弦信号振幅达到最大。

2. 实验中, 当接收器移动半个波长的距离, 在共振干涉法测量中观察到的现象为

示波器上正弦信号由极小再变大至极大;

在相位比较法测量中观察到的现象为 李萨如图形由直线变为椭圆, 变为朝向相反的直线, 再变为椭圆, 最后又变为直线。

3. 实验数据记录 家验开始时室温  $t_1=19.3^{\circ}\text{C}$ . 家验结束时室温  $t_2=19.4^{\circ}\text{C}$ .

信号频率  $f=37.55\text{ kHz}$

### 一、共振干涉法测声速数据

$i$	$L_i/\text{mm}$
1	38.84
2	43.46
3	48.04
4	52.64
5	57.26
6	61.94
7	66.60
8	71.18
9	75.88
10	80.42
11	85.00
12	89.60
13	94.22
14	98.80
15	103.44
16	108.02
17	112.74
18	112.28
19	122.06
20	126.58

### 二、相位比较法测声速数据

$i$	$L_i/\text{mm}$
1	94.22
2	98.80
3	103.34
4	107.90
5	112.48
6	117.02
7	121.60
8	126.12
9	130.70
10	135.32
11	140.38
12	144.96
13	149.48
14	154.08
15	158.64
16	163.22
17	167.72
18	172.26
19	176.84
20	181.48

### 三、时差法测声速数据

$i$	$t_i/\mu\text{s}$
1	276
2	308
3	340
4	356
5	396
6	420
7	444
8	488
9	516
10	548
11	574
12	606
13	630
14	660
15	692
16	722
17	748
18	778
19	800
20	830

### 用一组数据计算声速

$$\lambda = (L_{11} - L_1) / 5 \text{ mm} = 9.232 \text{ mm}$$

$$v = \lambda \cdot f = 346.66 \text{ m/s}$$

教师签名:

原始数据记录必须用圆珠笔或钢笔书写;经教师签名才有效。

## 六、实验数据处理

### 1. 计算声速理论值

实验开始时室温:  $t_1 = 19.3^\circ\text{C}$ ; 实验结束时室温:  $t_2 = 19.4^\circ\text{C}$ ;

声速理论值  $v_{\text{理}} = 342.99 \text{ m/s}$ 。

### 2. 共振干涉法

信号频率  $f = 37.55 \text{ kHz}$ 。

表 10-1

共振干涉法测量数据

$i$	$L_i / \text{mm}$	$L_{i+10} / \text{mm}$	逐差法 $\lambda_i = (L_{i+10} - L_i) / 5 / \text{mm}$
1	38.84	85.00	9.232
2	43.46	89.60	9.228
3	48.04	94.22	9.236
4	52.64	98.80	9.232
5	57.26	103.44	9.236
6	61.94	108.02	9.216
7	66.60	112.76	9.232
8	71.18	117.28	9.220
9	75.88	122.06	9.236
10	80.42	126.58	9.232

由上表可得波长的平均值:  $\bar{\lambda} = 9.230 \text{ mm}$

#### (1) 波长的不确定度计算

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n(n-1)}} = 0.002 \text{ mm}$$

$$u_B = \Delta_{\text{仪}} / \sqrt{3} = 0.01 \text{ mm}$$

$$\text{合成不确定度 } u_{\lambda} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0.01 \text{ mm}$$

$$u_{r\lambda} = u_{\lambda} / \bar{\lambda} = 0.11\%$$

#### (2) 频率的不确定度

$$u_f = u_B = \Delta_{\text{仪}} / \sqrt{3} = 0.006 \text{ kHz}$$

$$u_{rf} = u_f / f = 0.016\%$$

### (3) 声速

$$v = \bar{\lambda} \cdot f = 346.59 \text{ m/s}$$

$$u_{rv} = \sqrt{\left(\frac{u_\lambda}{\bar{\lambda}}\right)^2 + \left(\frac{u_f}{f}\right)^2} = 0.11\%$$

$$u_v = u_{rv} \cdot v = 0.38 \text{ m/s}$$

实验结果表达式  $\begin{cases} v = (346.59 \pm 0.38) \text{ m/s} \\ u_{rv} = 0.11\% \end{cases}$

将声速的测量值与理论值进行比较, 可得到百分差:

$$E_0 = \frac{|v_{\text{实}} - v_{\text{理}}|}{v_{\text{理}}} \times 100\% = 1.0\%$$

### 3. 相位比较法

信号频率  $f = 37.55 \text{ kHz}$

表 10-2

相位比较法测量数据

$i$	$L_i / \text{mm}$	$L_{i+10} / \text{mm}$	逐差法 $\lambda_i = (L_{i+10} - L_i) / 5 / \text{mm}$
1	94.22	140.38	9.232
2	98.80	144.96	9.232
3	103.34	149.48	9.228
4	107.90	154.08	9.236
5	112.48	158.64	9.232
6	117.02	163.22	9.240
7	121.60	167.72	9.224
8	126.12	172.26	9.228
9	130.70	176.84	9.228
10	135.32	181.48	9.232

由上表可得波长的平均值为:  $\bar{\lambda} = 9.231 \text{ mm}$

小数点后三位

#### (1) 波长的不确定度

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n(n-1)}} = 0.001 \text{ mm}$$

$$u_B = \Delta_{\text{仪}} / \sqrt{3} = 0.01 \text{ mm}$$

$$\text{合成不确定度 } u_\lambda = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0.01 \text{ mm}$$

$$u_{r\lambda} = u_\lambda / \lambda = 0.11 \%$$

(2) 频率的不确定度

$$u_f = u_B = \Delta_{\text{仪}} / \sqrt{3} = 0.006 \text{ kHz}$$

$$u_{rf} = u_f / f = 0.016 \%$$

(3) 声速:

$$v = \lambda \cdot f = 346.62 \text{ m/s}$$

$$u_{rv} = \sqrt{\left(\frac{u_\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u_f}{f}\right)^2} = 0.11 \%$$

$$u_v = u_{rv} \cdot v = 0.38 \text{ m/s}$$

$$\text{实验结果表达式} \quad \begin{cases} v = (346.62 \pm 0.38) \text{ m/s} \\ u_{rv} = 0.11 \% \end{cases}$$

将声速的测量值与理论值进行比较, 可得到百分差:

$$E_0 = \frac{|v_{\text{实}} - v_{\text{理}}|}{v_{\text{理}}} \times 100\% = 1.1\%$$

## 七、实验分析与讨论 时差法测声速

### 时差法测声速测量数据

i	$t_i / \mu s$	$t_{i+10} / \mu s$	通差法 $\Delta t_i = (t_{i+10} - t_i) / 10 \mu s$
1	276	574	29.8
2	308	606	29.8
3	340	630	29.0
4	356	660	30.4
5	396	692	29.6
6	420	722	30.2
7	444	748	30.4
8	488	778	29.0
9	516	800	28.4
10	548	830	28.2

由上表可得  $\Delta t_{\text{平均}} = 29.5 \mu s$ .

$$\text{声速 } V = \frac{\Delta X}{\Delta T} = 338.98 \text{ m/s}$$

将声速的测量值与理论值进行比较, 可得百分差

$$E_0 = \frac{|V_{\text{实}} - V_{\text{理}}|}{V_{\text{理}}} \times 100\% = 1.2\%$$

信号频率  $f = 37.55 \text{ kHz}$

思考与讨

一、关于数据的处理:用逐差法处理数据的  
充分利用测量数据, 提高实验数据的  
随机误差的影响. 另外也可减小实验中仪器  
对数据取平均的效果, 可及时发现差错或  
规律, 及时纠正或及时总结数据规律.

二、对测量方法的讨论:在共振干涉法中,  
幅为极大时进行测量?

波幅极大时, 发生驻振, 此时两列波相  
消波谷, 可精确测量波长的值(半波长的)

三、本实验误差来源与类别分析、降低误

- 游标卡尺的读数: 偶然误差  
多次测量取平均值 / 逐差法
- 在共振干涉法中, 振幅输出物  
超出显示范围, 否则无法观察  
这样会加大实验误差.

## 八、思考题：

1. 两列波在空间相遇时形成驻波的条件是什么？两压电换能器的发射面  $S_1$  和接收面  $S_2$  为什么要平行？

答：两列波振幅，频率相同，有相同的相位差，在同一直线上沿相反方向传播时叠加形成。换能器发射面发出的声波传至接收面，接收面同时反射部分声波信号。接收面与反射面平行时，入射波即在接收面上垂直反射，入射波与反射波在发射面与接收面间形成驻波。

2. 为什么不单次测量  $\lambda/2$ ，而要进行多次测量？在计算  $\lambda/2$  时，将所测数据首尾相减，再除以  $\lambda/2$  的个数，这种计算方法与分组逐差法比较，哪一种好？

答：单次测量不确定度较高，多次测量可减小实验误差，提高实验精度。逐差法好。前一种计算方法实际中运用了首尾两组的数据，而逐差法用了多组数据，能减小偶然误差，提高实验精度，另外也可减小实验中仪器误差分量，具有对数据取平均的效果。

3. 在共振干涉法中，由压电陶瓷换能器  $S_2$  位于波腹位置时，其接收面上的声压达到极大值。两个相邻波腹（波节）间的距离为半波长  $\lambda/2$ 。实验中可以改为测量波节点位置吗？

答：实验中不可以改为测量波节点位置。

这样会加大实验误差，不易测量，从而导致实验结果不够精确。

4. 相位比较法中，为什么要在李萨如图形呈直线时进行测量？

答：李萨如图形呈直线时易于观测调节从而确定实验值。当相位差为0或 $\pi$ 时，椭圆变为倾斜的直线，直线位置较唯一且更灵敏。相位差每变化 $\pi$ 即距离变化半个波长，直线的斜率变为正或负，这样处理更加精确。

教师签名：