

示波器及其应用实验

冯4

一、预习思考题：

1. 灵敏度微调旋钮位置：

必须处于“校准位置”，否则可以上下左右移动，无法准确读数

2. 声速测量中两个共振分别是什么？

① 以压电陶瓷为敏感元件做成的电声换能器 (S_1 发送声波, S_2 接收声波) 当电信号加在 S_1 电端时, 换能器端面产生机械振动并在空气中激发声波, 当声波传递到 S_2 表面时激发起 S_2 端面的振动, 换能器两个端面发出相同频率的声波。

②. S_1 发出的声波传播到接收器后, 在激发起 S_2 振动的同时又被 S_2 端面所反射。

声波将在两平行平面往返反射 可以认为这是一个以两端刚性平面为界的空气柱的振动。

3. 振幅法测量声速主要利用哪种共振？各共振位置间有什么关系？

主要利用声波在两个平面之间往返反射, 认为这是一个以两端刚性平面为界的空气柱的振动问题, 受迫振动空气柱满足共振条件: $L_0 = n \frac{\lambda}{2}$

(L_0 为空气柱有效长度, λ 为波长, n 为正整数)

88

二、数据处理

1. 校准测量：

校准信号 $U_{pp} = 2V$ $f = 1kHz$.

Y轴灵敏度	0.5 (V/div)		1 (V/div)		2 (V/div)	
	Y轴格数 div	k (V/div)	Y格数div	k (V/div)	Y格数div	k (V/div)
Y轴微调校准位	4	0.5	2	1	1	2





其中 $k = \frac{U_{pp}}{Y_{轴格数}}$

2. 观察各种波形并测量正弦波信号电压与周期。

	Y灵敏度 (V/div)	Y格数 (div)	X灵敏度	X格数 (div)	测量结果			
					U_{pp}/V	U_e/V	T/s	f/Hz
$f = 200kHz$ $A = 2V$	1V	4	1ms	4.9	4	1.414	4.8×10^{-6}	204kHz
$f = 500Hz$ $A = 6V$	2	6	0.5ms	4	12	4.243	2×10^{-3}	500Hz

有效值 $U_e = (\frac{U_{pp}}{2.5})$ $f = \frac{1}{T}$

3. 李萨育图测量正弦信号频率

图形	f_x (kHz)	f_y (kHz)	水平点数 n_x	垂直点数 n_y	f_y/f_x	$n_x:n_y$
	2	2	2	2	1:1	1:1
	4	2	2	4	1:2	1:2
	6	2	2	6	1:3	1:3
	2	3	6	4	3:2	3:2

4. 声速测量 (振幅法)

每点记录一次 $t = 20.03^\circ\text{C}$ 起始时 $f = 35.879\text{ kHz}$ 结束时 $f = 35.884\text{ kHz}$

位置	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7	l_8	l_9	l_{10}
读数 (mm)	80.520	87.531	92.365	97.215	102.071	106.771	111.742	116.548	121.259	125.969

以位置角标 $(1, 2, \dots, 10)$ 为 x ，读数为 y 作一元线性回归：设 $y = bx + a$ 则 $b = \frac{\Delta}{\lambda}$

$$\bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 5.5 \quad \bar{y} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} y_i = 104.1991 \text{ (mm)}$$

$$b = \frac{\bar{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\bar{x}^2 - \bar{x}} = \frac{573.09 - 613.81}{30.25 - 38.5} = 4.93535 \text{ (mm)} \quad \text{则 } \lambda = 2b = 9.8707 \text{ (mm)}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 104.1991 - 4.93535 \times 5.5 = 77.0547 \text{ (mm)}$$

$$r = \frac{\bar{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\bar{x}^2 - \bar{x})(\bar{y}^2 - \bar{y})}} = \frac{613.81 - 573.09}{\sqrt{(38.5 - 30.25)(11058.7 - 10887.4)}} = 0.999169$$

不确定度： $U_a(b) = b \sqrt{\frac{1}{n-2} \left(\frac{1}{r^2} - 1 \right)} = 4.935 \times \sqrt{\frac{1}{10-2} \left(\frac{1}{0.999169^2} - 1 \right)} = 0.07116 \text{ (mm)}$

由仪器误差 $U_{b1}(b) = \frac{\Delta b_1(\Delta l)}{\sqrt{3}} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 2.887 \times 10^{-3} \text{ mm}$; $U_{b2}(b) = \frac{\Delta b_2(\Delta f)}{\sqrt{3}} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.0577 \text{ mm}$

故 $U(b) = \sqrt{U_a^2(b) + U_{b1}^2(b) + U_{b2}^2(b)} = \sqrt{0.07116^2 + (0.002887)^2 + (0.0577)^2} = 0.0916 \text{ mm}$

则 $U(\lambda) = 2U(b) = 0.183 \text{ mm}$

故最终结果为 $\lambda \pm U(\lambda) = (9.9 \pm 0.2) \text{ mm}$

有 $f_0 = \frac{1}{2}(f_1 + f_2) = 35.8815 \text{ kHz}$ $\Delta f = \frac{f_2 - f_1}{2} = 0.0025 \text{ kHz}$

故 $U_b(f) = \frac{\Delta f}{\sqrt{3}} = 1.44 \times 10^{-3} \text{ (kHz)}$ $U_a(f) = \sqrt{\frac{(f_2 - f_1)^2 + (f_1 - f_0)^2}{2 \times (2-1)}} = 0.0025 \text{ kHz}$

$\therefore U(f) = \sqrt{U_a^2(f) + U_b^2(f)} = 2.89 \times 10^{-3} \text{ (kHz)}$

故最终表达为 $f \pm U(f) = (35.882 \pm 0.003) \text{ kHz}$

∴ 声速 $v = \lambda f = 354.1735 \text{ (m/s)}$

由 $v = \lambda f$ 得 $\Delta v = \sqrt{\left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f}{f}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0.183}{9.877}\right)^2 + \left(\frac{2.89 \times 10^3}{35.885}\right)^2} = 0.01854$

∴ $\Delta(v) = 6.266 \text{ (m/s)}$

故声速表示为 $v \pm \Delta(v) = (354 \pm 6) \text{ m/s}$

理论值 $v_{理} = v_0 \sqrt{1 + \frac{\Delta}{v_0}} = 331.45 \times \sqrt{1 + \frac{20.03}{273.15}} = 343.4 \text{ (m/s)}$

相对误差 $\Delta = |v_{理} - v| / v_{理} = 3.1\%$ 可见实验结果尚可。

5. 相位法测声速 (选做) 每点记录一次 $t = 20.03^\circ\text{C}$ $f_{初} = 35.907 \text{ kHz}$ $f_{末} = 35.911 \text{ kHz}$

位置	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7	l_8	l_9	l_{10}
读数 (mm)	49.85	54.175	58.991	63.785	68.496	73.442	78.349	83.191	88.141	92.863

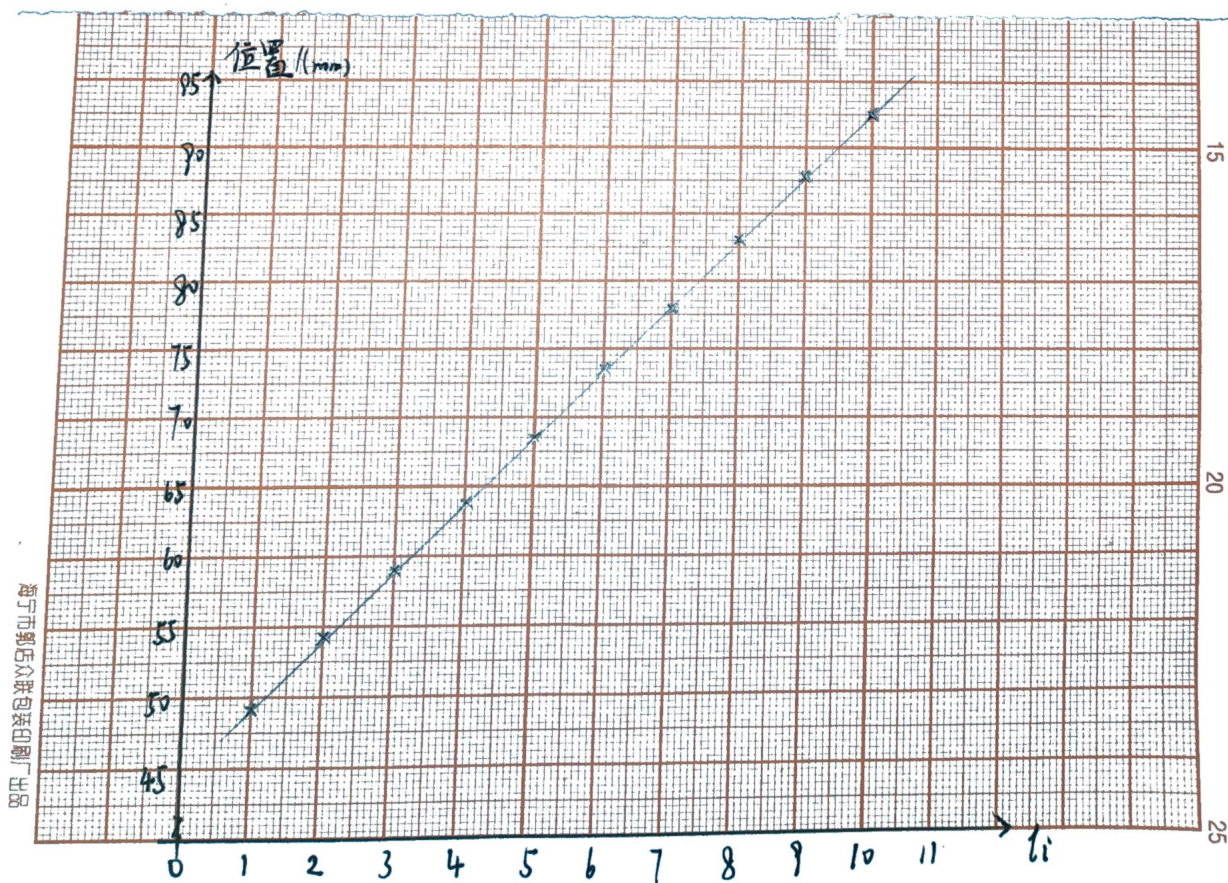
做图见坐标纸

在直线上选取两点 $(1.2, 50)$ $(9.5, 90)$ (非原始数据)

故 $\lambda = \frac{(90 - 50)}{9.5 - 1.2} \times 2 = 9.639 \text{ mm}$ 又 $f_0 = \frac{f_{初} + f_{末}}{2} = 35.909 \text{ kHz}$

∴ $v = \lambda f_0 = 346.127 \text{ m/s}$ $v_{理} \text{ 同上} = 343.4 \text{ (m/s)}$

相对误差 $= \frac{|v_{理} - v|}{v_{理}} = 0.79\%$ 可见实验结果很好。



课后思考题

(1) 示波器观测周期为 0.2ms 正弦电压, 若在荧光屏上呈现 3 个完整周期

扫描电压周期 $T = 0.2 \times 3 = 0.6\text{ms}$



(a)

$$f_y : f_x = 1 : 2$$

$$f_y : f_x = 1 : 1$$

$$f_y : f_x = 1 : 3$$

因为 $f_y : f_x = n_x : n_y$ 所以数出图形与 x, y 轴的交点即可求出结果.

校准信号

$$U_{pp} = 2V \quad f = 1kHz$$

Y灵敏度

0.5 V/div

1 V/div

2 V/div

Y格数

K

Y格数

K

Y格数

K

4

0.5

2

1

1

2

1.8

其它信号

Y灵敏度

Y格数

X灵敏度

X格数

U_{pp}/V

Ue/V

T/ms

f/kHz

$$f = 2kHz$$

$$A = 2V$$

1V

4

1ms

4.9

4

1.41

$$f = 5MHz$$

$$A = 6V$$

2

V

6

0.5ms

4

12

4.24

1.8

李彦如:

f_x/kHz

f_y

n_x

n_y

$f_y:f_x$

$n_x:n_y$

0

2

2

2

2

1:1

1:1

8

4

2

2

4

1:2

1:2

8

6

2

2

6

1:3

1:3

8

2

3

6

4

3:2

3:2

1.8

李彦如:

$$t = 20.03^{\circ}C$$

$$f_1 = 35.879 kHz$$

$$f_2 = 35.884 kHz$$

X/mm

l₁

l₂

l₃

l₄

l₅

l₆

l₇

l₈

l₉

l₁₀

82.520

87.531

92.365

97.215

102.071

106.771

111.742

116.348

121.259

125.969

1.8

$$t = 20.03^{\circ}C$$

$$f_1 = 35.907 kHz$$

$$f_2 = 35.911 kHz$$

李彦如:

l₁

l₂

l₃

l₄

l₅

l₆

l₇

l₈

l₉

l₁₀

49.195

54.175

58.991

63.795

68.496

73.442

78.349

83.191

88.141

92.823

1.8

X/mm

1kHz