合肥工業大學
Hefei University of Technology

声速的测定

一、实验导入

- 声波是一种在弹性媒质中传播的机械波，频率低于20Hz的声波称为次声波；频率在 20Hz－ 20kHz的声波可以被人听到，称为可闻声波；频率在20kHz以上的声波称为超声波。
- 超声波在介质中的传播速度是一个基本物理量，超声技术日趋广泛应用。
- 超声测距、超声清洗、超声探伤、超声检查、超声美容等。




二、实验目的

1. 加深对共振、驻波等理论知识的理解。

2. 学会用共振干涉法、相位比较法测量声速。

3. 能设计实验方案，完成实验的测量任务。

4. 了解超声波技术的应用（超声悬浮等）。

三、实验原理

1. 超声波的产生和接收

- 发射和接收超声波的器件：压电陶瓷。
- 压电陶瓷具有**正压电效应**和**逆压电效应**。
- 在发射压电陶瓷上加交变电压，则产生纵向机械振动，产生超声波（逆压电效应）.

  电 ⟶ 声

- 接收压电陶瓷接收到超声波后，产生电信号。（正压电效应）.

  声 ⟶ 电

- 压电陶瓷有一个**谐振频率**f_0（如40kHz），当输入电信号的频率等于谐振频率 f_0时，压电陶瓷产生振动或信号最大。

三、实验原理

2. 声速测量方法

利用公式 $v=f\lambda$ 来测量超声波在空气中的传播速度。

其中f为声波在媒质中传播的频率，λ为波长。

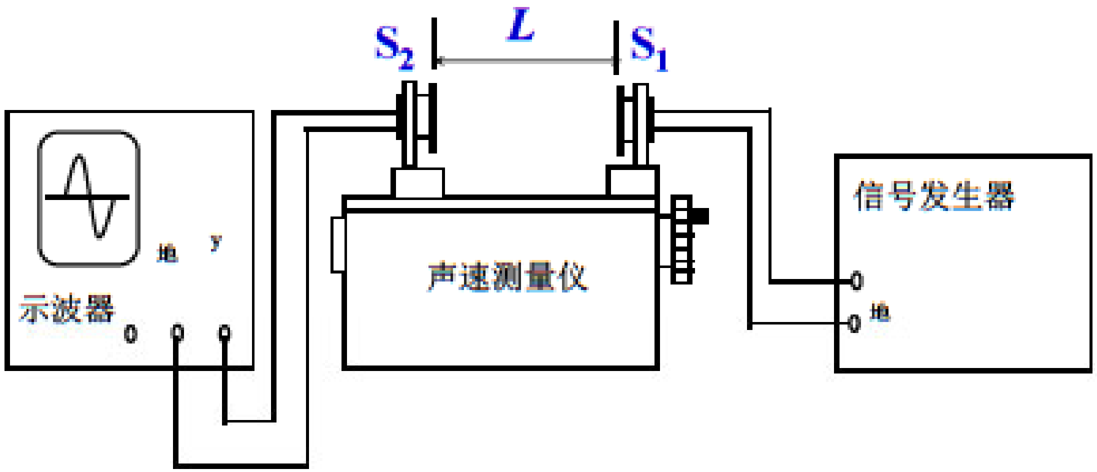
- 声波频率 f 测量方法：利用共振使信号发生器的输出频率等于压电陶瓷器本身固有频率，然后直接由信号发生器读出。

- 声波波长 λ 测量方法：利用共振干涉法和相位比较法来测量超声波的波长。

三、实验原理

3. 波长λ 的测量方法

（1）共振干涉（驻波）法



实验装置接线图

- S_1作为超声源（发射头），低频信号发生器输出的正弦交变电压信号接到换能器S_1上，使S_1发出一列平面波。
- S_2作为超声波接收器，把接收到的声压转换成交变的正弦电压信号后，从示波器CH2接口输入观察。
- 当S_1和S_2之间的距离 L 满足下式：

$L= n\lambda/2$ （n=1、2..）时，**形成驻波。**

三、实验原理

- S_2在接收超声波的同时还反射一部分超声波。由S_1发出的超声波和由S_2反射的超声波在S_1和S_2之间产生定域干涉，而形成驻波。

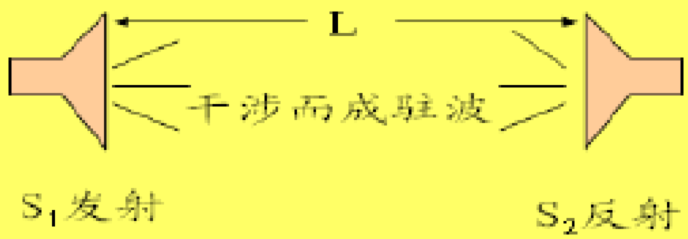
产生驻波的条件： $L = k\dfrac{\lambda}{2}$

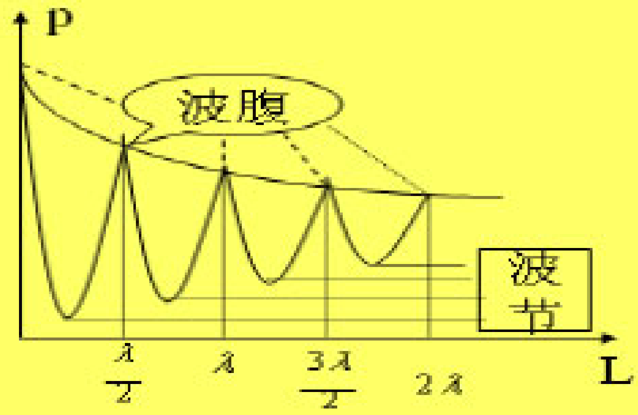
驻波方程：

$$Y = Y_1 + Y_2 = (2A\cos 2\pi\frac{x}{\lambda})\cos\omega t$$

$$x = (2k+1)\frac{\lambda}{4} \quad \text{波节}$$

$$x = k\frac{\lambda}{2} \quad \text{波腹}$$

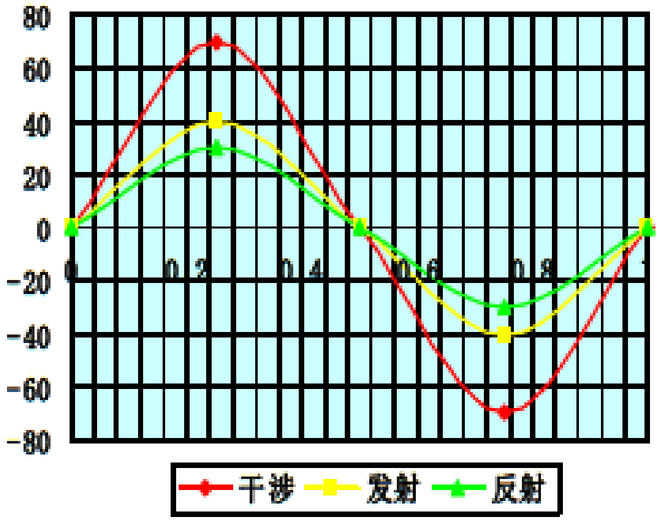




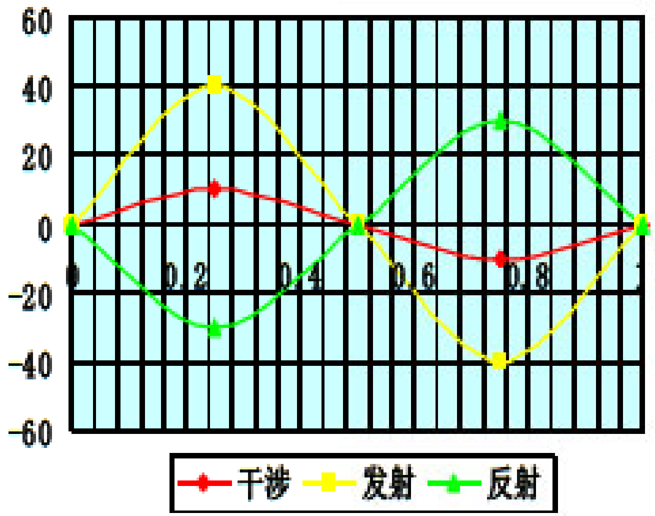
S_2表面声压与其位置的关系

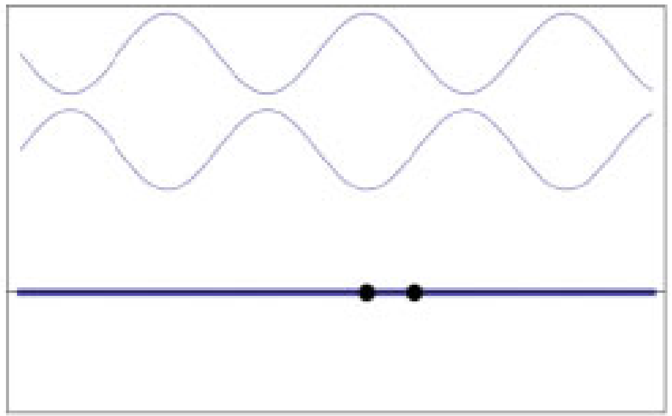
三、实验原理

波腹处的驻波



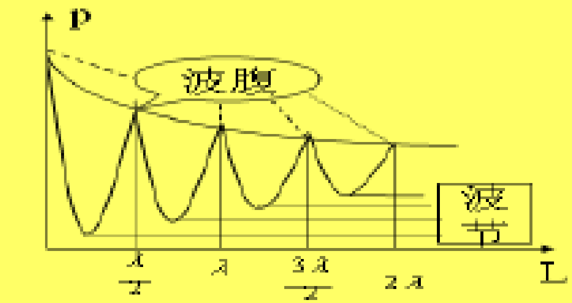
波节处的驻波





结论：每两个相邻波腹（波节）间的距离为 $\lambda/2$

三、实验原理



S_2表面声压与其位置的关系

- 对某一特定波长，将相继出现一系列共振态，任意两个相邻共振态之间，S_2的移动位移为：

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = (k+1)\frac{\lambda}{2} - k\frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2}$$

- 所以当S_1和S_2之间的距离 L 连续改变时，示波器上的信号幅度每一次周期性变化，相当于S_1和S_2之间的距离改变了 $\frac{\lambda}{2}$ 。此距离可由游标卡尺测得，频率f由信号发生器读出。

根据波速公式： $v = \lambda \cdot f$ 可以求得声速。

三、实验原理

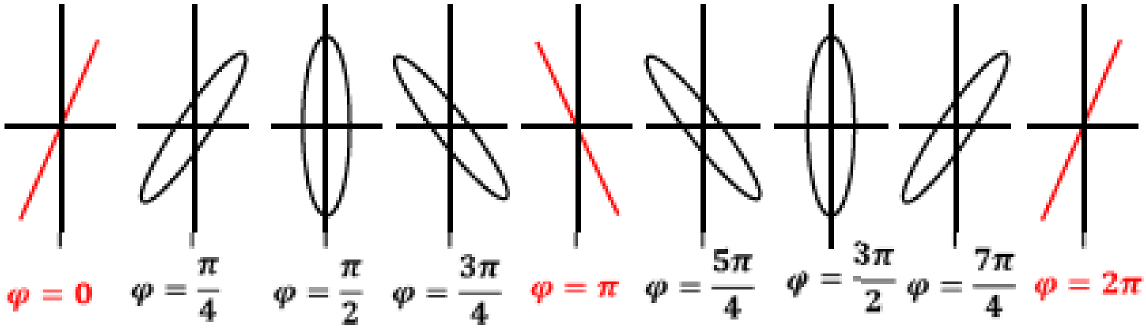
2.相位比较法

- 置示波器功能于X−Y方式。当S_1发出的平面超声波通过媒质到达接收器S_2时，在发射波和接收波之间产生位相差：

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 = 2\pi\frac{L}{\lambda}$$

- 改变S_1和S_2之间的距离L，相当于改变了$\Delta\phi$，屏幕上的图形也随之不断变化。当李萨如图形由斜率为正的直线变为斜率为负的直线时：

$$\Delta\phi = \pi, \quad \Delta L = \lambda/2$$



相位差与李萨如图形

发射器：$x = A_1\cos(\omega t + \varphi_1)$

接收器：$y = A_2\cos(\omega t + \varphi_2)$

合成振动方程为（椭圆）：

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1A_2}\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin y^2(\varphi_2 - \varphi_1)$$

当$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 0$，椭圆呈直线：$y = \frac{A_2}{A_1}x$

当$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \pi$，椭圆呈直线：$y = -\frac{A_2}{A_1}x$

四、实验内容

1. 共振干涉（驻波）法

f_0=　　　(kHz)

n	0	1	2	3	4	5	6	7
X_i(mm)								

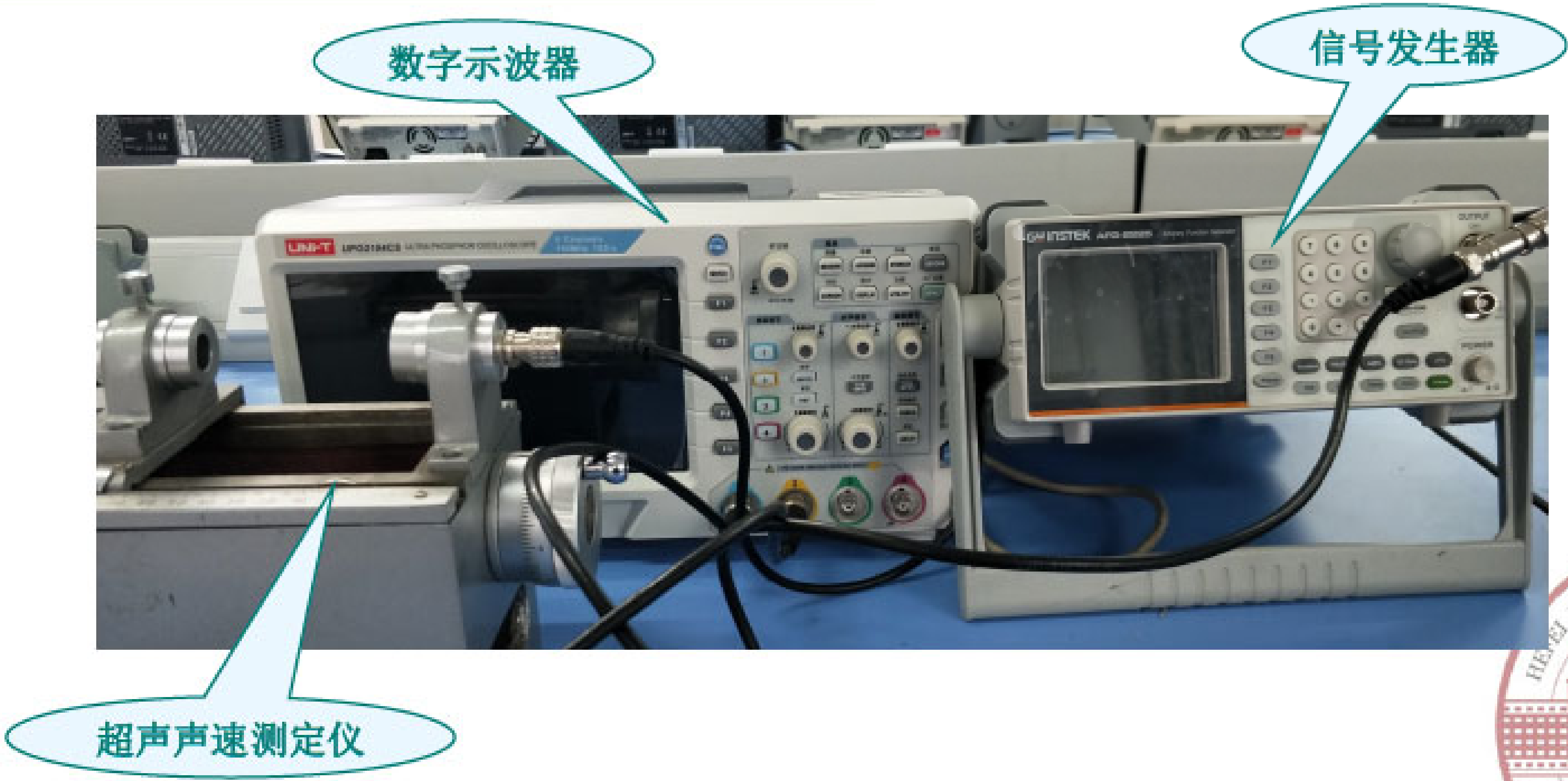
2. 相位比较法

f_0=　　　(kHz)

n	0	1	2	3	4	5	6	7
X_i(mm)								

注意：测微鼓轮须一个方向转动，避免空程误差！

五、实验仪器



六、实验操作

1. 正确连线

示波器模式切换：

display → F_2 → 共振干涉法：选择“YT”模式；相位比较法：选择“XY”模式

（1）共振干涉（驻波）法

a. 声速测定仪S_1与信号发生器CH1通道连接，S_2与示波器“2”通道连接， “2” 键要按下；

b. 示波器选择“YT”模式。

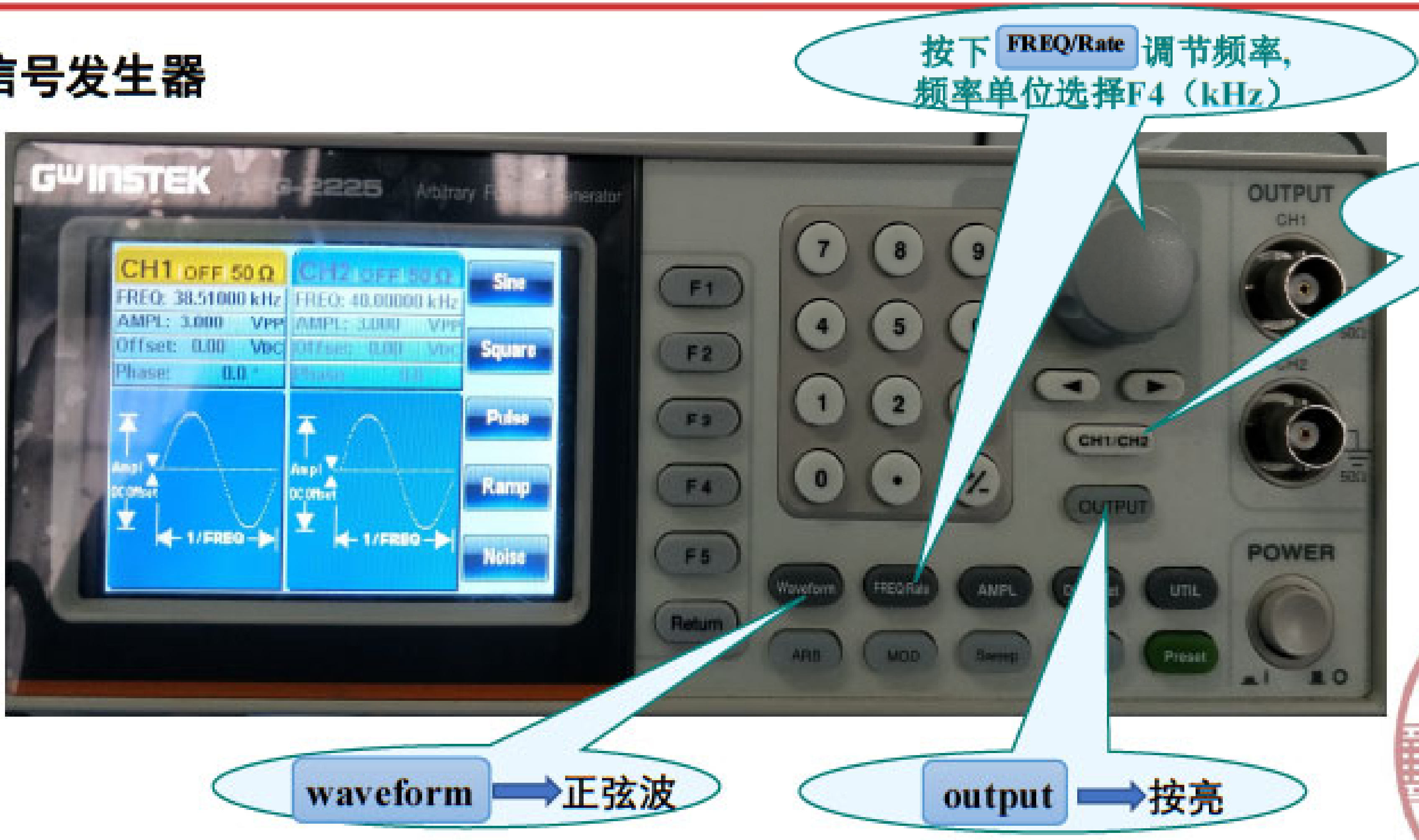
（2）相位比较法

a. 声速测定仪S_1与信号发生器CH1通道连接，同时与与示波器“1”通道连接，
S_2与示波器“2”通道连接；

b. 示波器选择“XY（1&2）”模式。

六、实验操作

- **信号发生器**


按下 FREQ/Rate 调节频率，
频率单位选择F4（kHz）
根据实际选
CH1或CH2
waveform → 正弦波
output → 按亮
GW INSTEK
CH1 OFF 50Ω
FREQ: 38.51000 kHz
AMPL: 3.000 VPP
Offset: 0.00 VDC
Phase: 0.0 °
Sine
Square
Pulse
Ramp
Noise
F1
F2
F3
F4
F5
Return
Waveform
FREQ/Rate
AMPL
UTIL
ARB
MOD
Sweep
Preset
CH1/CH2
OUTPUT
POWER

六、实验操作

- 数字示波器


display
“2”健按亮
调节时间轴
（10μs左右）
“1”通道连接S_1
“2”通道连接S_2
UNI-T
UPO2104CS ULTRA PHOSPHOR OSCILLOSCOPE
MENU
F1
F2
F3
F4
F5
1
2
3
4

六、实验操作

2. 调出共振频率

驻波振幅要达到最大，需满足：

（1）S_1和S_2之间的距离 $= k\dfrac{\lambda}{2}$，（驻波态）

（2）给驻波系统所加的频率与驻波的固有频率相等，（共振态）

调节方法：

（1）在共振频率 f_0（40kHz）附近调节声速仪鼓轮改变S_1和S_2之间的距离L，使得正弦波振幅最大；

（2）在此基础上再细微调节信号发生器上的输出频率，使得正弦波振幅最大，此时的频率即共振频率f_0。

六、实验操作

注意：测微鼓轮须一个方向转动，避免空程误差！

3. 共振干涉法测声速

a. 示波器选择“YT”模式；

b. 在共振频率条件下，调节声速仪距离调节鼓轮改变S_1和S_2之间的距离L，当示波器上的正弦波振幅最大时记录S_2的位置，连续记录8组数据。

4. 相位比较法测声速

a.示波器选择“XY”模式；

b. 在共振频率条件下，调节声速仪距离调节鼓轮改变S_1和S_2之间的距离L，当示波器上出现45°和135°斜线时记录S_2的位置，连续记录8组数据。

注意：S_2的位置由主尺刻度、手轮的位置决定。手轮与丝杆相连上分为100分格，每转一周，接收器平移1mm，故手轮每一小格为0.01mm，可估到0.001mm。

七、数据处理要求

1. 共振干涉法和相位比较法都要用逐差法计算ΔL，

再求出波长 $\lambda=2\Delta L$，和声速 $v=\lambda\cdot f_0$。

2. 声速测量值与理论值比较，求出相对不确定度。

- **声波在理想气体中的传播过程，可以认为是绝热过程.**
- **若同时考虑空气中温度的影响，声速可表示为：**

$$v_0 \approx 331.45\sqrt{1+\frac{t}{273.16}} \quad (m/s)$$

其中t为室温，单位为℃，计算实验环境条件下声速的理论值。

七、数据处理要求

$$\overline{\lambda}=2\overline{\Delta L}=2\times\frac{(L_5-L_1)+(L_6-L_2)+(L_7-L_3)+(L_8-L_4)}{4\times 4}$$

$$\sigma_{\overline{\Delta L}}=\sqrt{\frac{(\Delta L_1-\overline{\Delta L})^2+(\Delta L_2-\overline{\Delta L})^2+(\Delta L_3-\overline{\Delta L})^2+(\Delta L_4-\overline{\Delta L})^2+(\Delta L_5-\overline{\Delta L})^2+(\Delta L_6-\overline{\Delta L})^2+(\Delta L_7-\overline{\Delta L})^2}{6\times 7}}$$

$$\sigma_{仪}=\frac{\Delta_{仪}}{\sqrt{3}}=\frac{0.01}{2\sqrt{3}}(mm) \qquad \sigma_{\Delta L}=\sqrt{\sigma_{\overline{\Delta L}}{}^2+\sigma_{仪}{}^2} \qquad \sigma_{\lambda}=\frac{d\lambda}{d(\Delta L)}\cdot\sigma_{\Delta L}=2\sigma_{\Delta L}$$

由$V=f\cdot\lambda$，$\dfrac{\partial V}{\partial f}=0$得：$\sigma_v=\sqrt{\left(\dfrac{\partial V}{\partial f}\sigma_f\right)^2+\left(\dfrac{\partial V}{\partial \lambda}\sigma_\lambda\right)^2}=\dfrac{\partial V}{\partial \lambda}\cdot\sigma_\lambda$

$\overline{V}=f\cdot\overline{\lambda}$

测量结果：$\begin{cases} V=\overline{V}\pm\sigma_V \\ E_v=\dfrac{\sigma_V}{\overline{V}}\times 100\% \end{cases}$