

声速测量

大学物理实验

概述

对于机械波、声波、光波和电磁波而言，当波源和观察者（或接收器）之间发生相对运动，或者波源、观察者不动而传播介质运动时，或者波源、观察者、传播介质都在运动时，观察者接收到的波的频率和发出的波的频率不相同的现象，称为多普勒效应。

多普勒效应在核物理，天文学、工程技术，交通管理，医疗诊断等方面有十分广泛的应用。如用于卫星测速、光谱仪、多普勒雷达，多普勒彩色超声诊断仪等。



一、实验目的

- 1、用多普勒效应测量空气中的声速
- 2、相位法测量声速

二、实验原理

在x一维方向传播的声波的数学表达式为：

$$A = A_0 \cos\left(2\pi ft - \frac{2\pi}{\lambda}x + \varphi\right) \quad v = \lambda f$$

1、声波的多普勒效应

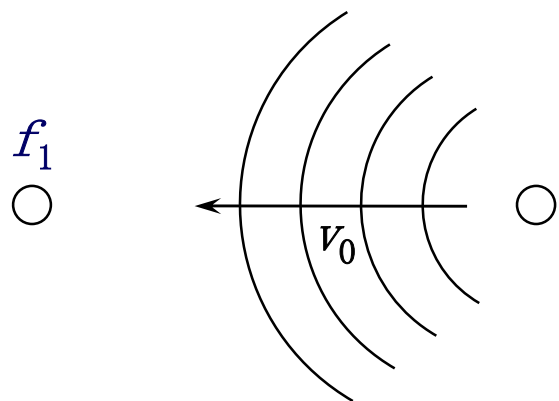
声源、介质不动，接收器运动速度为 v_r ，可得接收器接收到的频率：

$$f_r = \left(1 + \frac{v_r}{v_0}\right)f = (1 + M_r)f$$

其中 v_r 为接收器运动的速度， v_0 为声波的运动速度。向着声源运动时 v_r （或 M_r ）为正，反之为负。

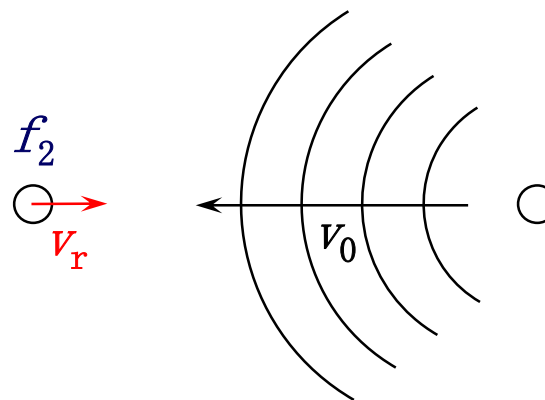


二、实验原理



接收器、声源静止

$$f_1 = \frac{n_1}{\Delta t}$$



接收器运动、声源静止

$$f_2 = \frac{n_2}{\Delta t}$$

$$n_2 = n_1 + \frac{v_r \Delta t}{\lambda} \quad v_0 = \lambda f_1$$

一般情况

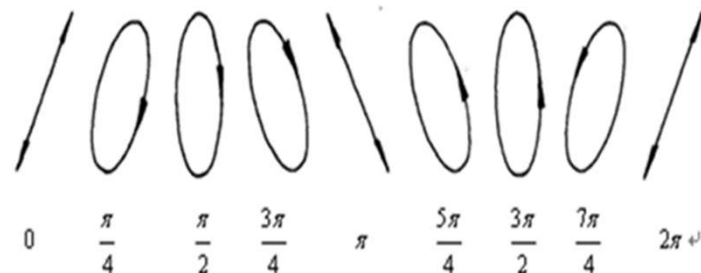
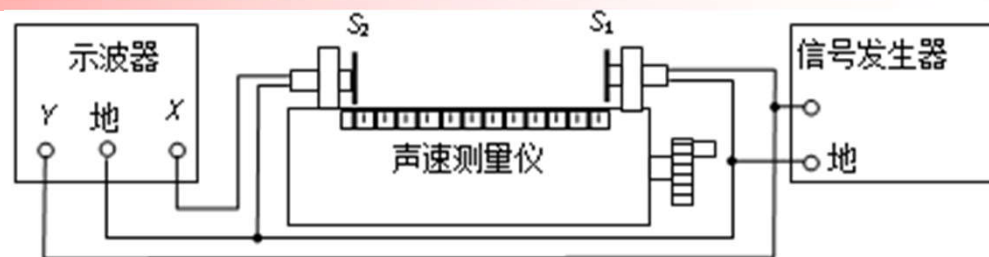
$$f_2 = f_1 + \frac{v_r f_1}{v_0} = \left(1 + \frac{v_r}{v_0}\right) f_1 \rightarrow \left(1 + \frac{v_r + v_s}{v_0 - v_s}\right) f_1 = \left(\frac{v_0 + v_r}{v_0 - v_s}\right) f_1$$



二、实验原理

2、相位法原理

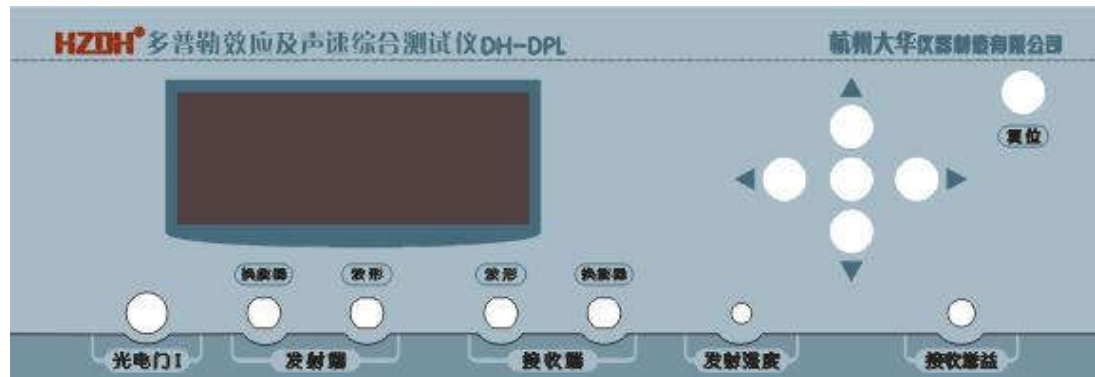
发射波为 S_1 ，接收波为 S_2 ，两束波频率相同，分别输入示波器的X和Y通道，即可看见频率比为1:1的李萨如图形。



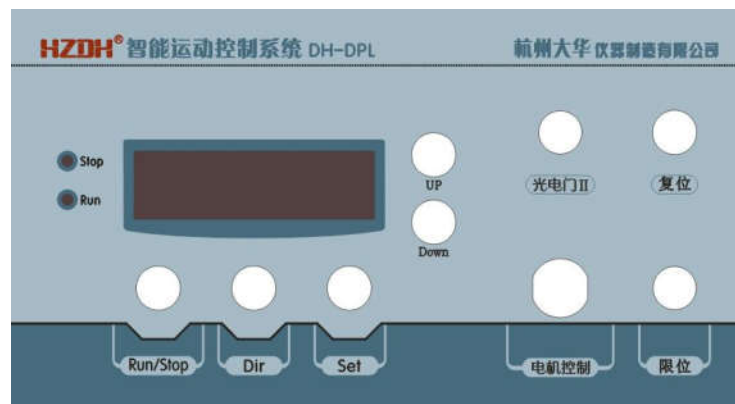
$$\begin{cases} x = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \\ y = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2) \end{cases} \quad \frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1)$$

改变发射器和接收器之间的距离，相位差发生变化，即可观察到李萨如图形的变化。相位差变化 2π ，则距离改变 λ 。

三、实验仪器

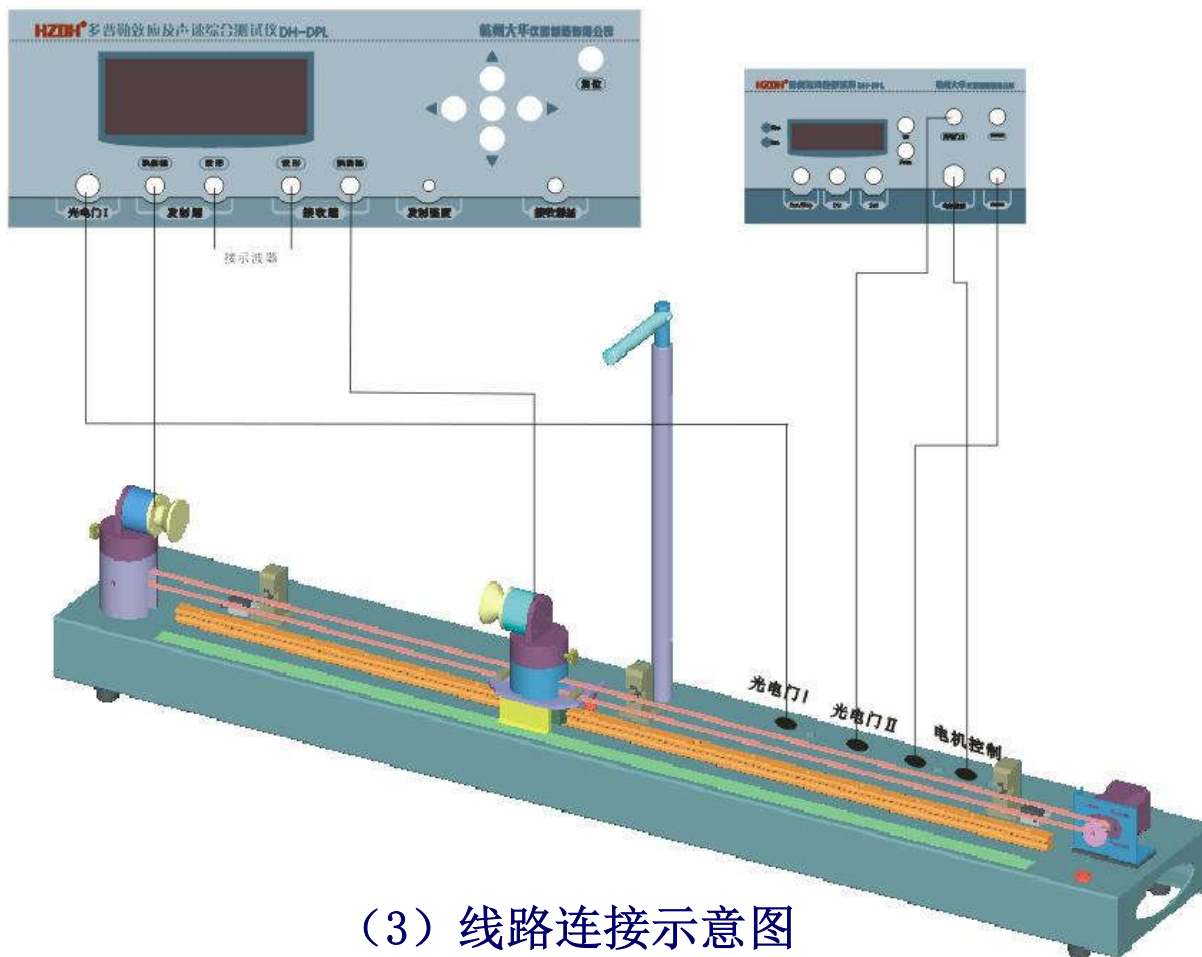


(1) 主测试仪面板图



(2) 智能运动控制面板图

三、实验仪器



(3) 线路连接示意图

注意：

- 1、使用时，应避免信号源的功率输出端短路。
- 2、注意仪器部件的正确安装、线路正确连接。
- 3、仪器的运动部分是由步进电机驱动的精密系统，严禁运行过程中人为阻碍小车的运动。
- 4、注意避免传动系统的同步带受外力拉伸或人为损坏。
- 5、小车不允许在导轨两侧的限位位置外侧运行，意外触发行程开关后要先切断测试架上的电机开关，接着把小车移动到导轨中央位置后再接通电机开关并且按一下复位键即可。

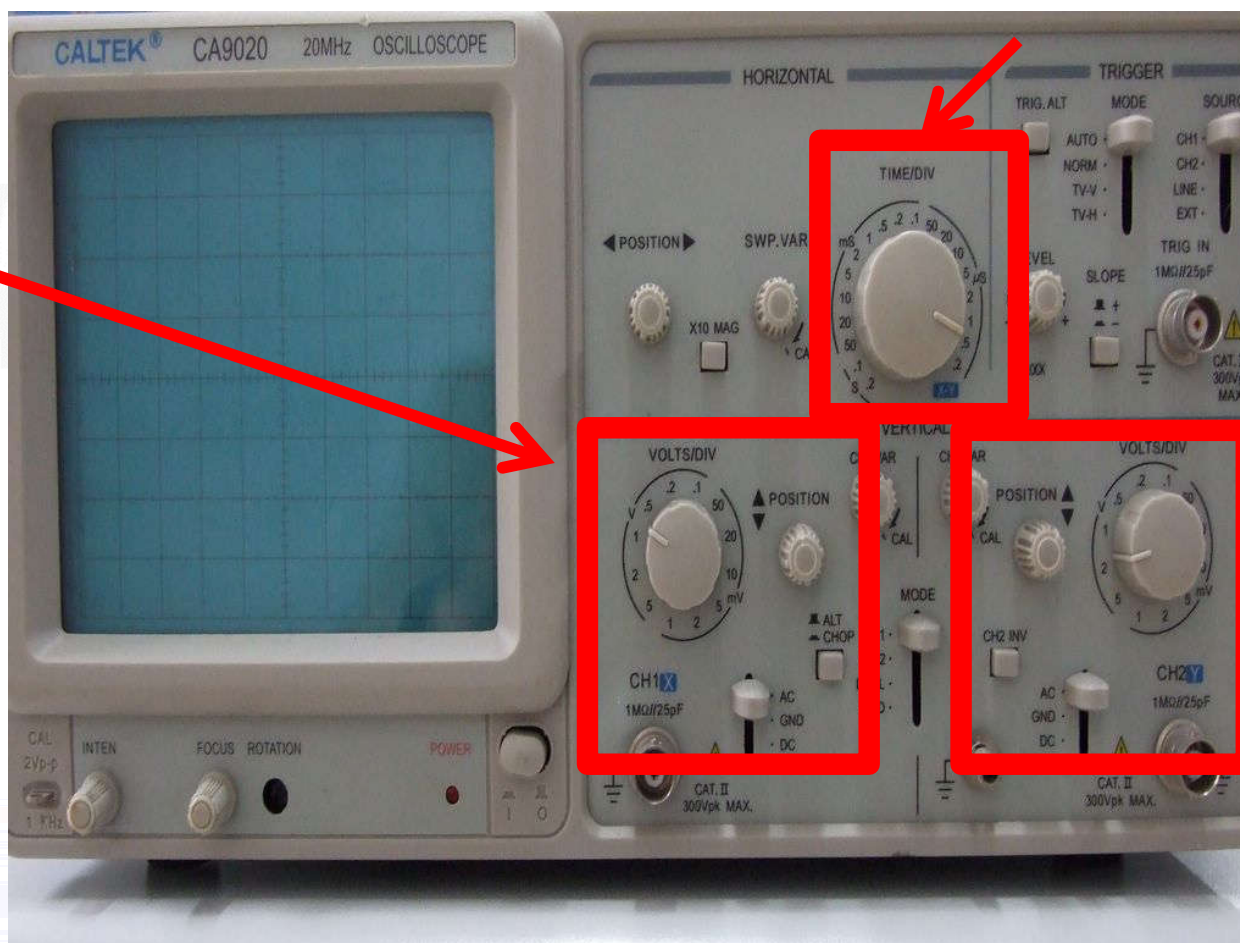
三、实验仪器

示波器的使用

“TIME/DIV”：水平扫描速度旋钮。扫描速度从 $0.2\mu\text{s}/\text{div}$ 到 $0.5\text{s}/\text{div}$ 共20档。当设置到X-Y位置时，示波器可工作在X-Y方式。

垂直轴操作部分
CH1 通道

垂直轴操作部分
CH2 通道



四、实验内容与步骤

* 多普勒法

换能器谐振频 $f = 37730\text{Hz}$ ，声源、介质不动，接收器运动速度为 v_r 。

$$f_r = \left(1 + \frac{v_r}{v_0}\right) f \quad v_0 = \frac{f}{f_r - f} v_r = \left| \frac{f}{\Delta f} \right| v_r$$

切换到“动态测量”，设定小车速度，使小车在限位区间内正或反运行，记下测量频率和源频率之差 Δf 正和 Δf 反，以及智能运动控制系统给出的小车速度 v_r 。



四 实验内容和步骤

实验步骤:

换能器谐振频 $f=37730\text{Hz}$ 附近

- 1、按图（3）接线。2、接受换能器移动到导轨最右端；把实验仪超声波发射强度和接受增益调到最大。
- 3、进入“多普勒效应实验”子菜单，切换到“设置源频率”后，按“▶”“◀”键增减信号频率，一次变化 10Hz ；用示波器观察接收换能器波形的幅度是否达到最大值，该值对应的超声波频率即为换能器的谐振频率。



四 实验内容和步骤

4、谐振频率调好后，“动态测量”，我们可以看到画面中换能器的接受频率（测量频率）和发射源频率是相等的，而且改变接受换能器的位置，该测量频率和发射频率始终是相等的，证明调谐成功。

5、切换到“瞬态测量”，设定小车速度，使小车在限位区间内正或反运行，记下测量频率 $f_{\text{正}}$ 和 $f_{\text{反}}$ ，以及智能运动控制系统给出的小车速度 V_r 。

四 实验内容和步骤

6、测量与记录

Vr (m/s)	f _正	f _反	$\Delta f_{\text{正}}(\text{Hz})$	$\Delta f_{\text{反}}(\text{Hz})$	$\Delta f = (\Delta f_{\text{正}} + \Delta f_{\text{反}})/2$	$u = f \times V_r / \Delta f$ (m/s)	

四、实验内容与步骤

数据处理:

$$\bar{\nu} = \frac{\nu_1 + \nu_2 + \nu_3 + \nu_4 + \nu_5}{5}$$

$$\Delta = \frac{\bar{\nu} - \nu_0}{\nu_0} \times 100\%$$

注意：由于系统的测频精度为1Hz，所以低速测量时，多普勒效应的相对误差较大。



四 实验内容和步骤

* 相位法

换能器谐振频率 $f=37730\text{Hz}$ 附近

实验步骤:

- 1、按照例1的实验步骤1~4进行操作，使调谐成功。
。
- 2、切换到“多普勒效应实验”画面进行实验，关闭导轨电源。



四 实验内容和步骤

3、将示波器打到“X-Y”方式，手动转动步进电机上的滚花帽使载接收换能器的小车缓慢移动，使李萨如图显示一条斜线，记录下此位置 L_{i-1} ，再向前或者向后（必须是一个方向）移动距离，使观察到的波形又回到前面所说的斜线，这时接收波的相位变化 2π ，记录此时的位置 L_i 。即可求得声波波长：

$$\lambda_i = |L_i - L_{i-1}|。$$



四、实验内容与步骤

数据记录与处理(逐差法):

单位:

L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6

$$\overline{3\lambda} = \frac{(L_4 - L_1) + (L_5 - L_2) + (L_6 - L_3)}{3} \quad \overline{v} = \overline{\lambda} f \quad \Delta = \frac{\overline{v} - v_0}{v_0} \times 100\%$$



思考题：

1. 实验中如何测量压电陶瓷的共振频率？
2. 在相位比较法中，如何调出直线或是椭圆的图形？
3. 用“相位比较法”测声速时，为什么只有当李萨如图为直线时才读数？