

# 《物理实验》注意事项

■上课期间，不得使用手机(ipad、笔记本电脑等)以及任何自带资料，违者第一次扣10分，第二次本次实验计0分。

■手机静音或关机后放书包里，书包和水杯按要求统一放置在指定位置。

■每次课3小时，不得迟到，不得早退。

■按要求独立完成实验内容，规范记录实验数据。

■实验结束，整理仪器及配件，保持整洁。

■实验完成后1周内提交报告。

桌上仅放：

预习报告

空白数据记录纸

必要文具或计算器

**注意：实验桌上打印的讲义和ppt，均不得带走。**

如不慎带走，请及时归还（原教室或213室）

物理实验教学中心



Huazhong University of Science & Technology

华中科技大学

# 声速光速的测量

(物理实验中心 305#)

## 【实验目的】

1. 了解超声波发射和接收的工作原理
2. 掌握共振干涉法和相位比较法测量超声声速的方法
3. 了解光的调制和差频的一般原理及基本技术
4. 测定光在空气中的传播速度

# 实验内容1：超声声速测量

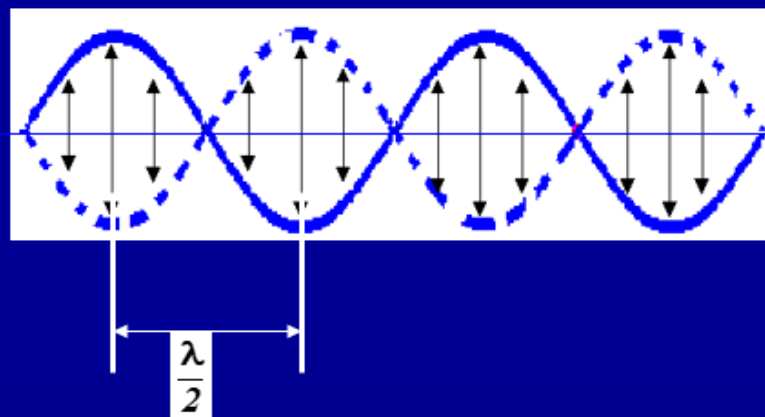
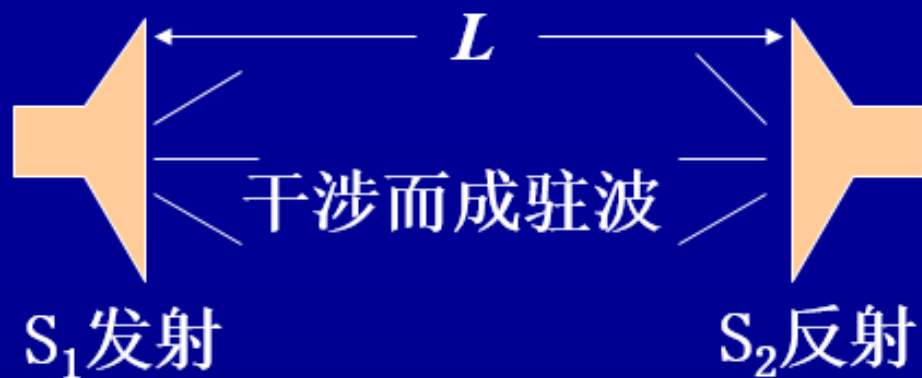
## 实验原理

超声波发射：超声换能器逆压电效应

超声波接收：超声换能器正压电效应

$$v = f \lambda$$

$$v = \frac{L}{t}$$

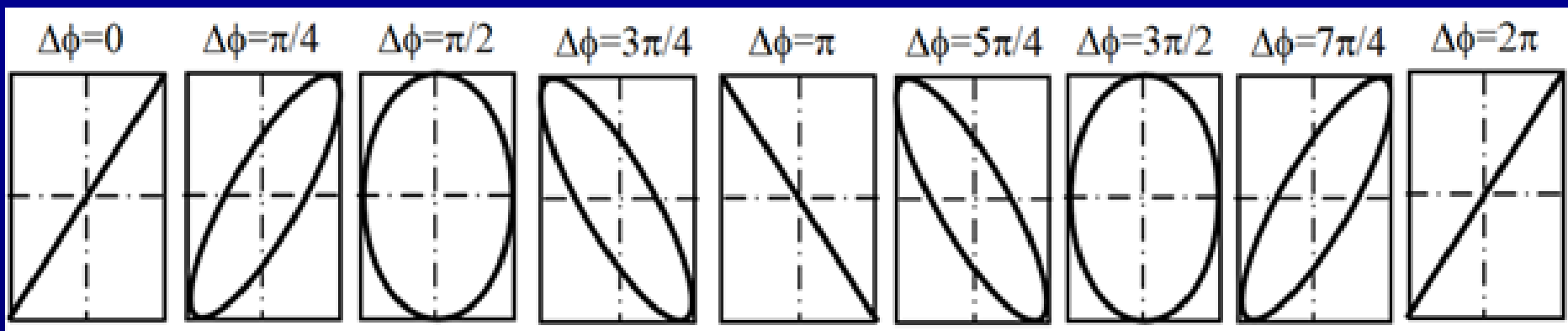


思路：电信号转化为声信号，发射超声波与反射超声波叠加形成驻波，空气质点相邻位移最强（最弱）距离为半波长。声压同样形成驻波，声压相邻波腹或波节间的距离也为半波长。实际中测量声压转化的电信号（示波器）。

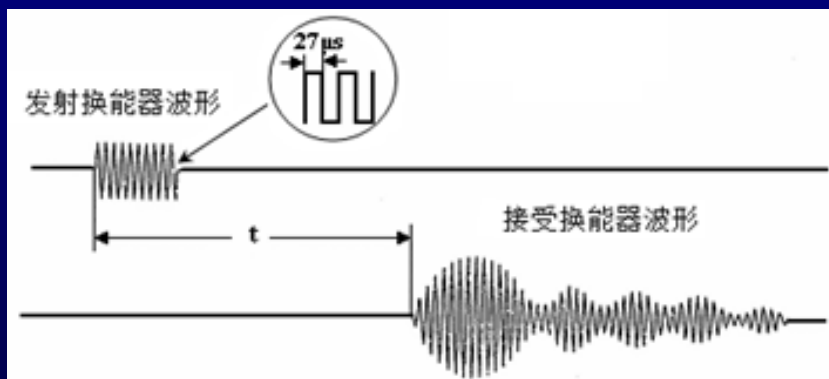
## 实验内容1：超声声速测量

共振干涉法：改变接收端换能器位置，观察接收端电信号的周期性变化，测量出现相邻波腹时换能器移动的距离。

相位比较法：发射端与接收端电信号的合成-李萨如图形



时差法：



脉冲电信号转为声信号，声波在介质中传播，经过 $T$ 时间后到达接收换能器，得到声速 $v=L/T$



# 实验内容1：超声声速测量

## 实验仪器



# 实验内容1：超声声速测量

## 实验步骤

### 1. 谐振频率调节

示波器通道切换为CH1：调节信号源【发射强度】，波形电压峰峰值 $V_{pp}$ 在1-2V左右  
示波器通道切换为CH2：调节频率观察信号强度变化，强度最大对应的频率为谐振频率

### 2. 空气中共振干涉法

远移接收换能器S2，CH2接收信号最大时，记录换能器S2位置，12组数据

### 3. 水中相位比较法（示波器X—Y模式）：

远移接收换能器S2，图形直线时，包括正负斜率情况，记录换能器S2位置，12组数据

### 4. 时差法（选做）：远移换能器S2（每次等间距20mm），记录时间 $t_i$ ，12组数据

信号源【发射波形】接示波器CH1  
信号源【发射S1】接声速测试仪【发射】  
声速测试仪【接收】接示波器CH2

表 1-1 共振干涉法、相位比较法数据记录

测量次数	1	2	3	4	5	6
空气中共振法(mm)						
水中相位法(mm)						
测量次数	7	8	9	10	11	12
空气中共振法(mm)						
水中相位法(mm)						

$f_{\text{空气}} =$  \_\_\_\_\_ Hz;  $f_{\text{水}} =$  \_\_\_\_\_ Hz; 环境室温  $t =$  \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$

## 实验内容 2：光速测量

### 实验原理

$$v = f \lambda$$

单色光受频率 $f_t$ 的正弦波调制，传播方向的强度：

$$I = I_0 \left[ 1 + m \cos 2\pi f_t \left( t - \frac{x}{c} \right) \right]$$

传播方向上 $x_1$ 和 $x_2$ 位相差：

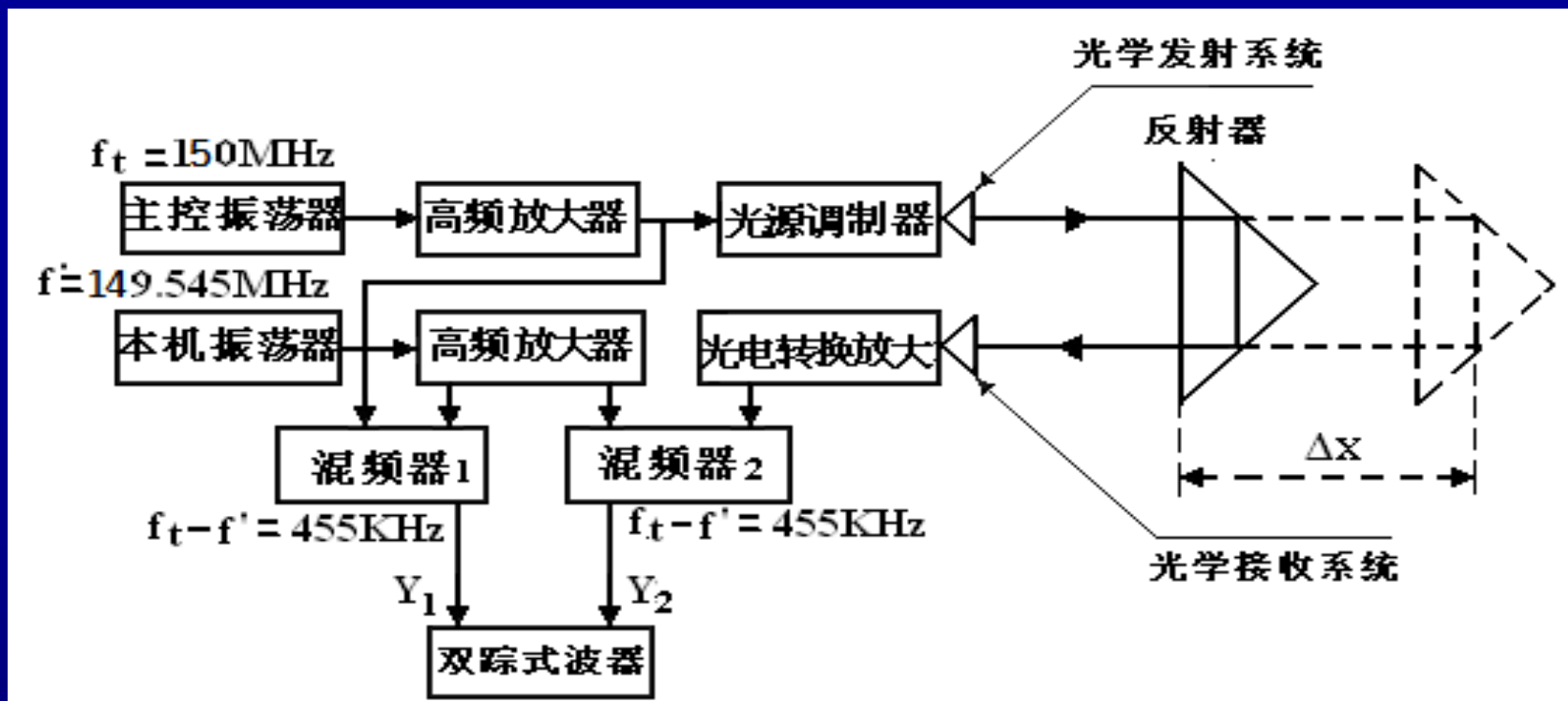
$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{2\pi}{\lambda_t} (x_2 - x_1)$$

调制波频率150MHz（普通示波器无法响应）

差频法：高频信号降为中、低频信号，且差频后得到的低频信号和原高频信号具有相同的位相差



## 实验内容 2：光速测量



$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_t} 2\Delta x$$

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T} 2\pi$$

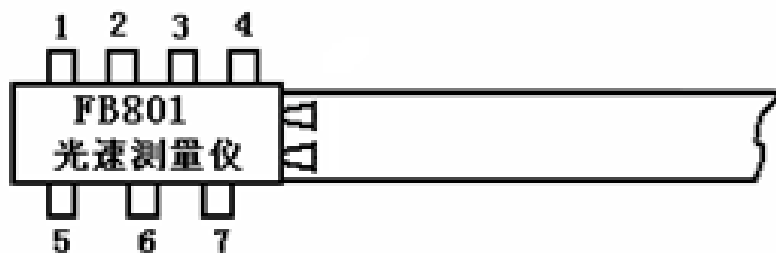
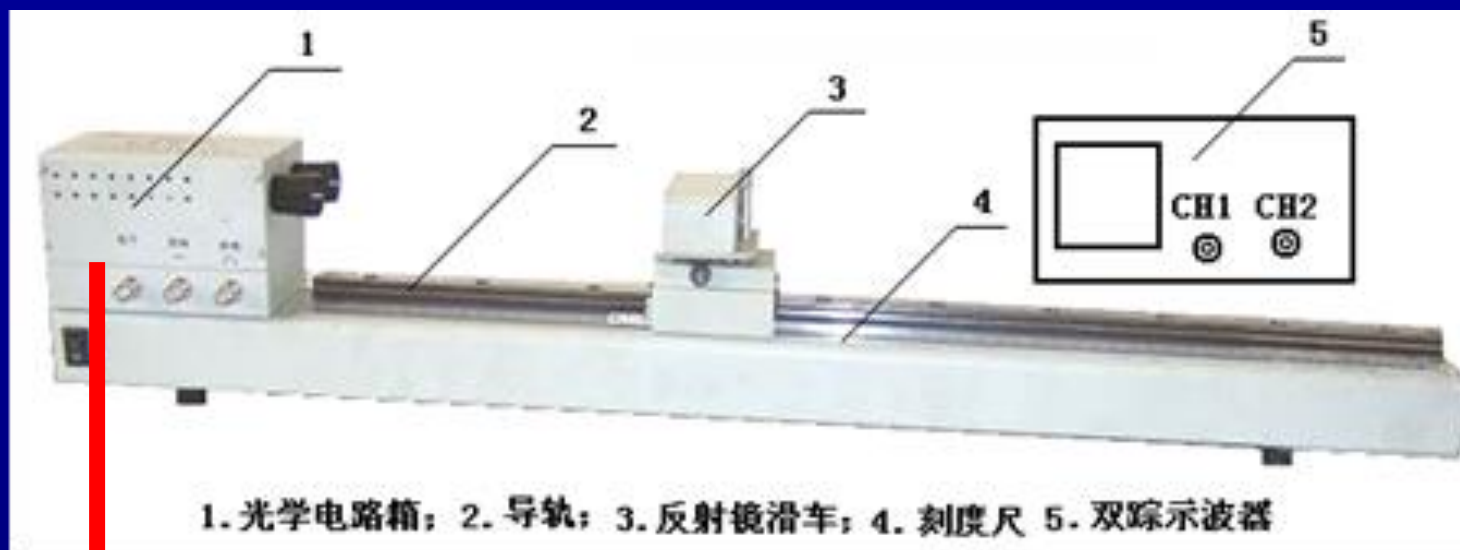
示波器被测信号在水平时间轴移动距离 $\Delta t$ ，得到被测信号与基准信号位相差：



$$\lambda_t = \frac{T}{\Delta t} 2\Delta x$$

## 实验内容 2：光速测量

### 实验仪器



1. 测频 2. 调制 3. 基准 (正弦波) 4. 基准 (方波)  
5. 电平 6. 测相 (正弦波) 7. 测相 (方波)

# 实验内容 2：光速测量

## 实验步骤

### 1. 相位法测量光速（正弦波）

- （1）光速测量仪【基准】接示波器CH1，【测相】接示波器CH2
- （2）测量CH1（或CH2）正弦波的周期T（时间测量处于校准状态）
- （3）移动反射镜滑块，测量CH2（测相信号）的相位变化  
CH2波形某参考点移动2-5个方格，读取滑块距离移动 $\Delta x$

表 2-1 差频后波形的周期测量（水平偏转因子  $0.5\mu\text{s}/\text{DIV}$ ，选择不同参考点）

测量次数	1	2	3
相邻参考点间距（格子数）			
周期 $T$ ( $\mu\text{s}$ )			

表 2-2 参考点在水平时间轴移动距离 $\Delta t$  以及滑块移动距离 $\Delta x$ （水平偏转因子  $0.2\mu\text{s}/\text{DIV}$ ）

测量次数	1	2	3
参考点移动（方格数）			
参考点水平移动距离 $\Delta t$ ( $\mu\text{s}$ )			
反射镜滑块初始位置 $x_1$ (mm)			
反射镜滑块结束位置 $x_2$ (mm)			
反射镜滑块距离 $\Delta x$ (mm)			
$\Delta x/\Delta t$ (mm / $\mu\text{s}$ )			

## 实验内容 2：光速测量

### 实验步骤

#### 2. 李萨如图形测光速（正弦波）【示波器X-Y模式】

移动反射镜滑块，观察合成图像为斜直线；继续移动，合成图像为斜率相反的直线，滑块移动的距离即为四分之一波长

表 2-3 反射镜滑块移动的距离 $\Delta x$

测量次数	1	2	3
反射镜滑块初始位置 $x_1$ (mm)			
反射镜滑块结束位置 $x_2$ (mm)			
反射镜滑块距离 $\Delta x$ (mm)			

#### 3. 选做：相位法测量光速（方波）

# 【数据处理】（原始数据报告上作表）

## 声速测量

**共振干涉法：**逐差法计算半波长 $\Delta l$ ，计算空气中的声速。计算室温 $t$ 时空气中声速的理论值，与实验值比较，计算绝对误差和相对误差。

**相位比较法：**逐差法计算半波长 $\Delta l$ ，计算水中的声速。评估半波长 $\Delta l$ 的A类不确定度（置信概率取95%），要求过程完整。

## 光速测量

**相位差法：**计算差频后波形的周期测量结果的平均值；计算 $\Delta x/\Delta t$ 的平均值，根据调制波频率，计算空气中光速，给出相对误差和绝对误差。

**李萨如图形法：**计算 $\Delta x$ 的平均值，根据调制波频率，计算空气中光速，给出相对误差和绝对误差。

# 【注意事项】

## 声速测量

- 注意实验安全，动作轻柔
- 两换能器不能触碰，测量开始时初始间隔：3~5cm
- 测量时调节鼓轮向同一方向转动
- 实验完毕，收拾仪器，严禁将声速测试仪浸泡在水中

## 光速测量

- 光速测量仪属于精密仪器，操作时用力均匀，不可用力过猛
- 不可用手触摸反射器表面