

《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

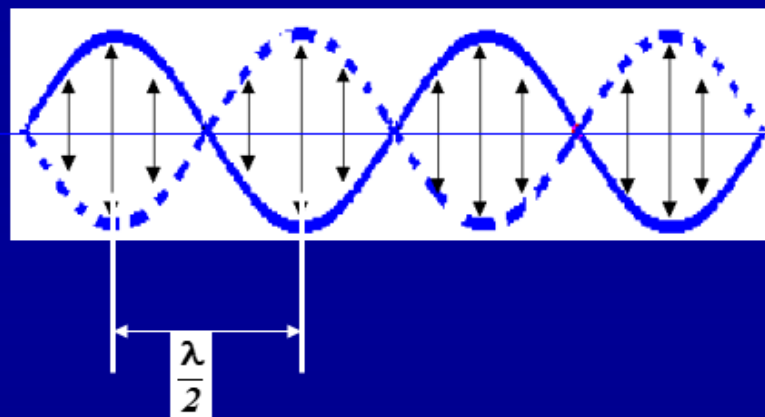
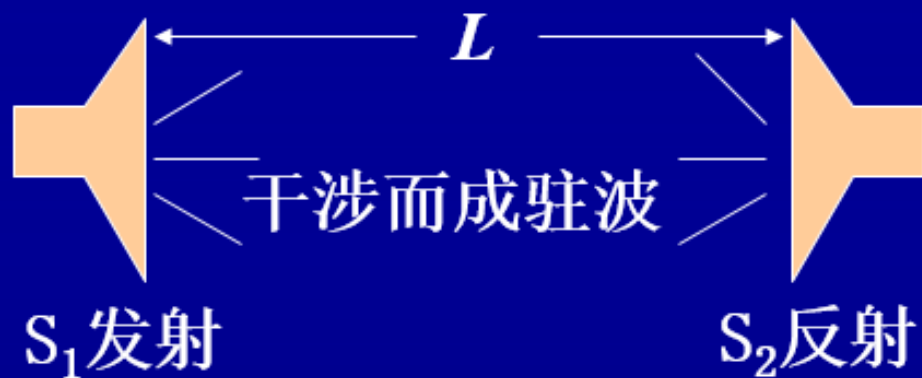
实验原理

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

$$v = f \lambda$$

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

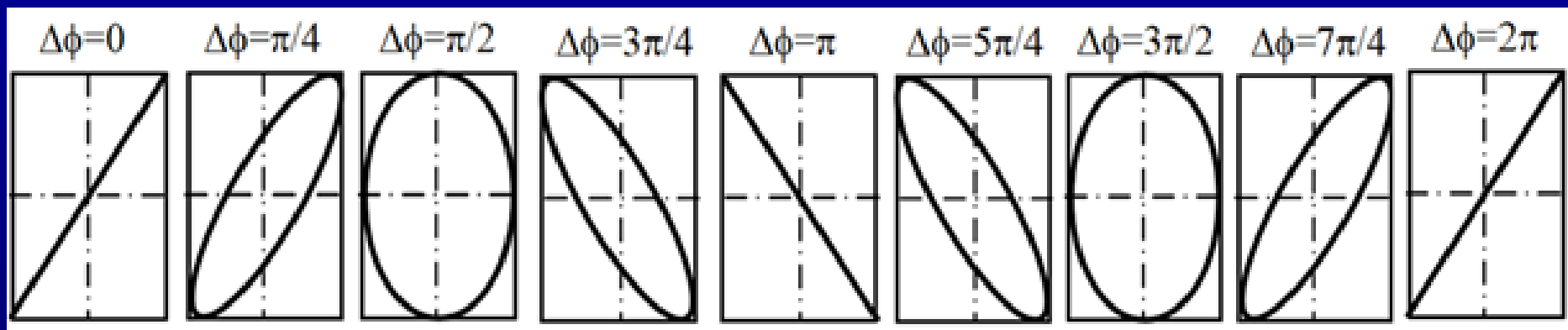


思路：电信号转化为声信号，发射超声波与反射超声波叠加形成驻波，空气质点相邻位移最强（最弱）距离为半波长。声压同样形成驻波，声压相邻波腹或波节间的距离也为半波长。实际中测量声压转化的电信号（示波器）。

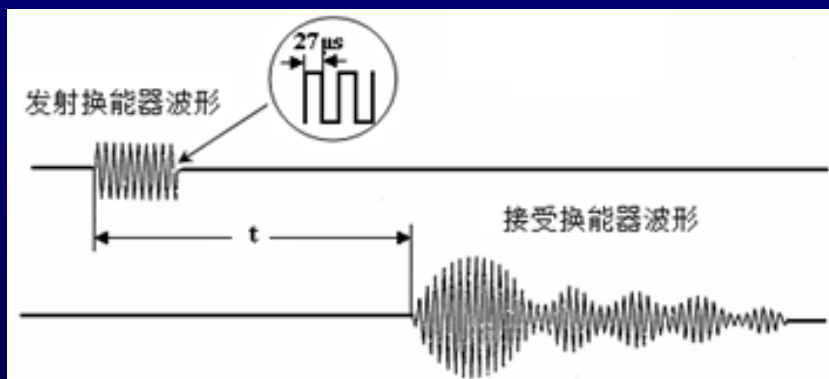
实验内容1：超声声速测量

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：

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

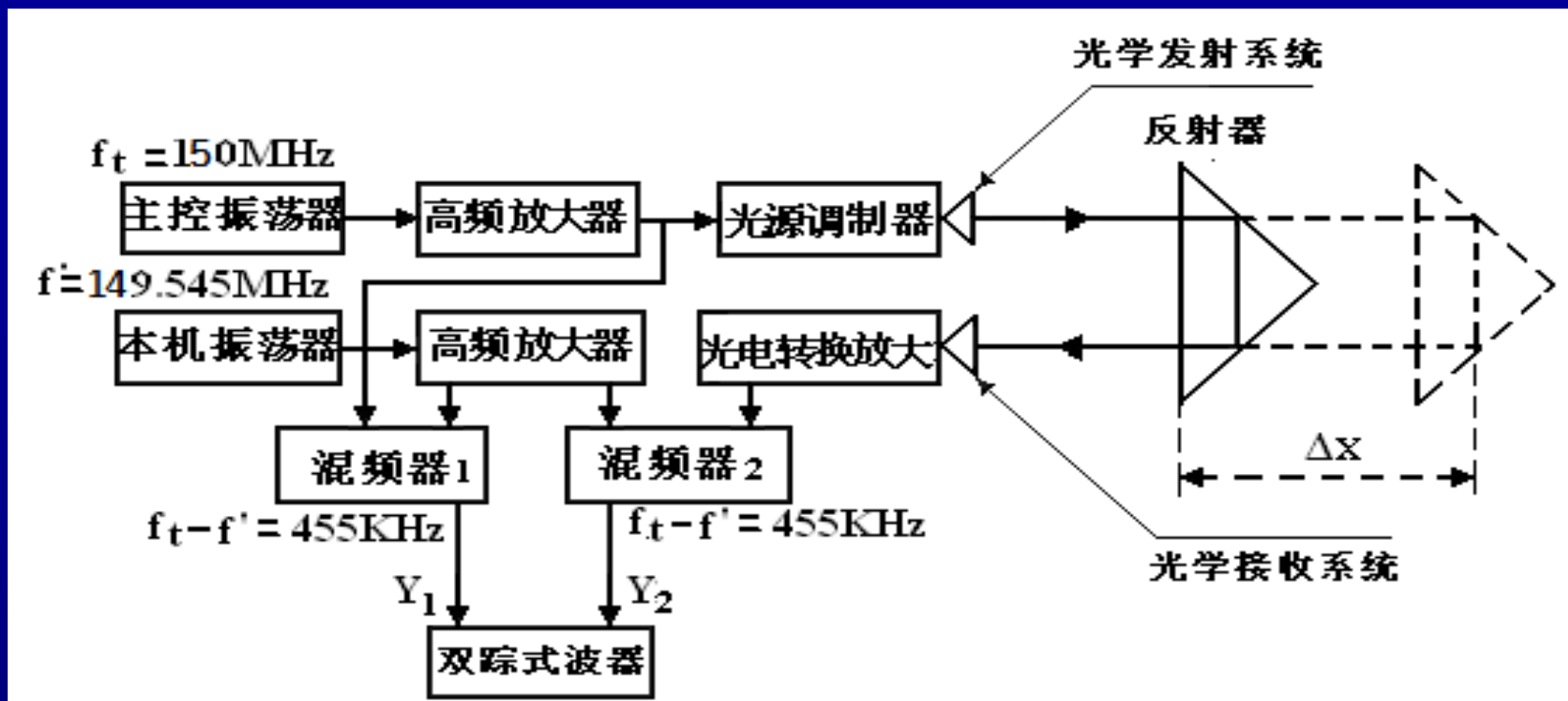
传播方向上 x_1 和 x_2 位相差：

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

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



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

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

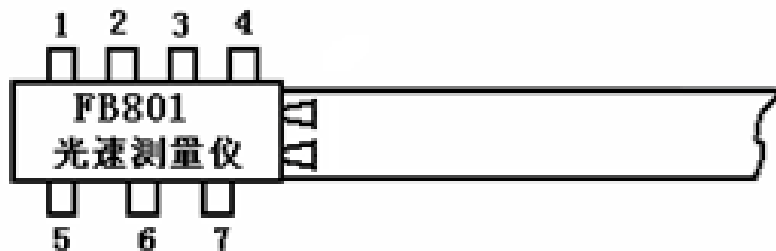
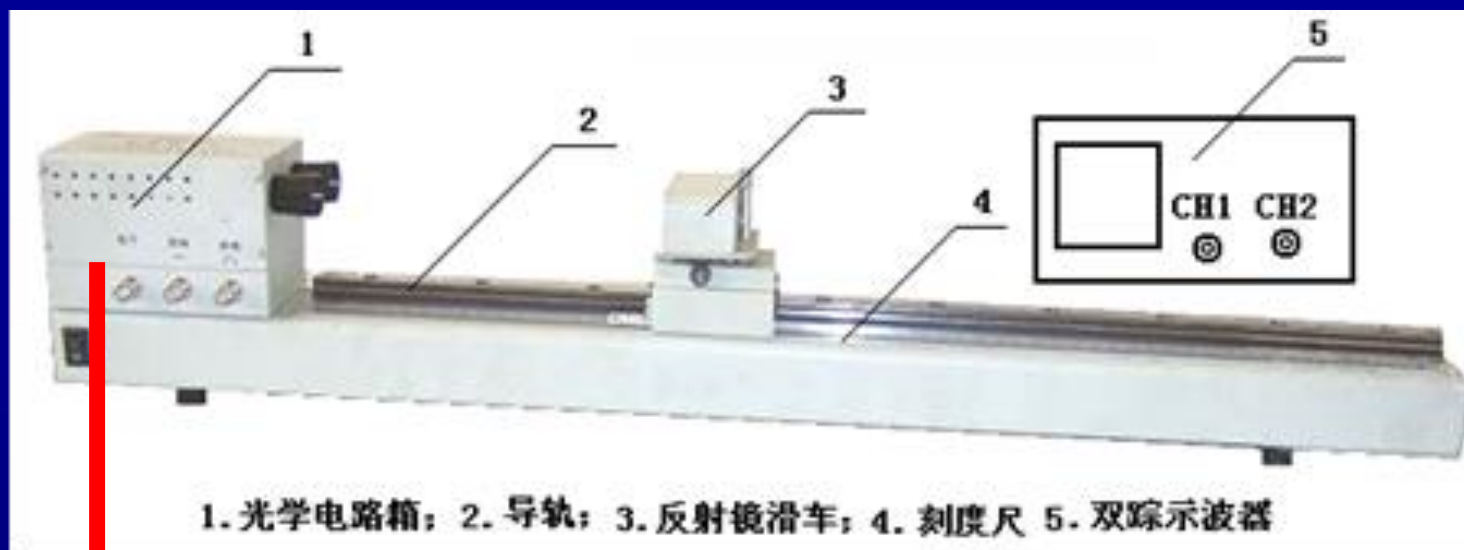


$$\lambda_t = \frac{T}{\Delta t} 2\Delta x$$

示波器被测信号在水平时间轴移动距离 Δt ，得到被测信号与基准信号位相差：

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 Δx

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 (μs)			

表 2-2 参考点在水平时间轴移动距离 Δt 以及滑块移动距离 Δx （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 Δt (μs)			
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 Δx (mm)			
$\Delta x/\Delta t$ (mm / μs)			

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 Δx

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 Δx (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 Δl ，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 Δl ，计算水中的声速。评估半波长 Δl 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 Δx 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