

北京邮电大学  
物理实验报告

实验名称 声速的测量

实验目的：

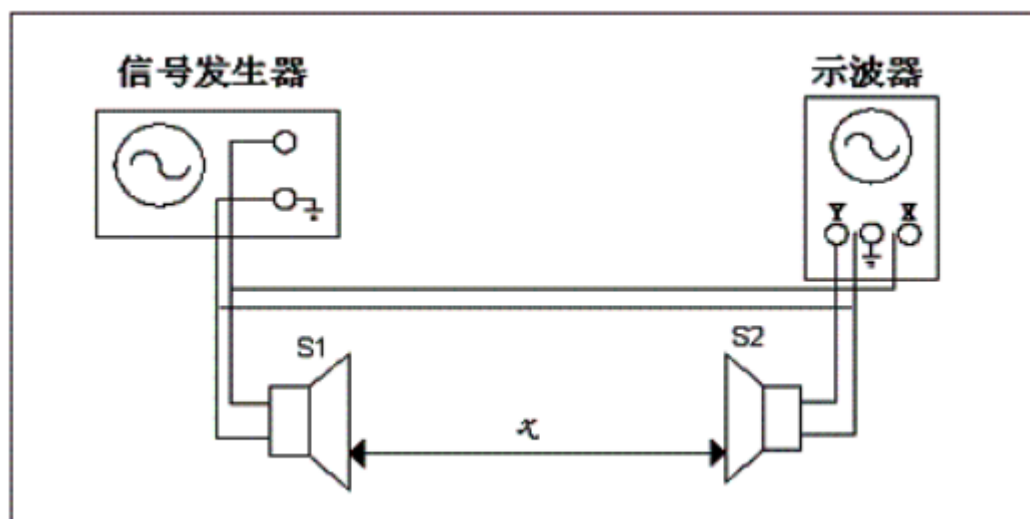
1. 学会用不同的方法测定空气中的声速
2. 掌握数字式信号发生器、示波器、声速测量仪等的使用方法
3. 学会用逐差法处理测量结果，并对结果的不确定度进行分析

实验原理与操作步骤[基本物理思想、实验设计原理、物理公式及其意义、电路图（光路图）等；主要操作步骤]

一、实验原理：

由波动理论可知，波速与波长、频率有如下关系： $v = f\lambda$ ，只要知道频率和波长就可以求出波速。

本实验通过低频信号发生器控制换能器，信号发生器的输出频率就是声波频率。声波的波长用驻波法(共振干涉法)和行波法（相位比较法）测量。下图是超声波测声速实验装置图。



1. 驻波法测波长

由声源发出的平面波经前方的平面反射后，入射波与反射波叠加，它们波动方程分别是：

$$y_1 = A \cos 2\pi \left( ft - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (1)$$

$$y_2 = A \cos 2\pi \left( ft + \frac{x}{\lambda} + \pi \right) \quad (2)$$

叠加后合成波为：

$$y = (2A \cos 2\pi X/\lambda) \cos 2\pi ft \quad (3)$$

各点振幅最大，称为波腹，对应的位置：

$$X = \pm n\lambda/2 \quad (4)$$

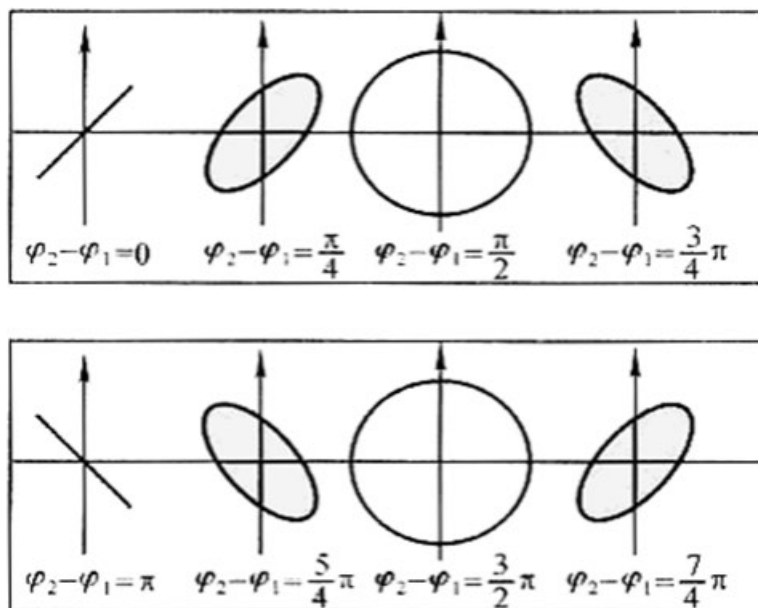
各点振幅最小，称为波节，对应的位置：

$$X = \pm(2n + 1)\lambda/4 \quad (5)$$

因此只要测得相邻两波腹（或波节）的位置 $X_n$ 、 $X_{n-1}$ 即可得波长。

## 2. 相位比较法测波长

从换能器 S1 发出的超声波到达接收器 S2，所以在同一时刻 S1 与 S2 处的波有一相位差： $\varphi = 2\pi x/\lambda$ ，其中 $\lambda$ 是波长， $x$ 为 S1 和 S2 之间距离。因为  $x$  改变一个波长时，相位差就改变 $2\pi$ 。利用李萨如图形就可以测得超声波的波长。



## 逐差法处理数据

逐差法是为提高实验数据的利用率，减小了随机误差的影响，另外也可减小了实验中仪器误差分量，因此是一种常用的数据处理方法。逐差法是针对自变量等量变化，因变量也做等量变化时，所测得有序数据等间隔相减后取其逐差平均值得到的结果。其优点是充分利用了测量数据，具有对数据取平均的效果，可及时发现差错或数据的分布规律，及时纠正或及时总结数据规律。它也是物理实验中处理数据常用的一种方法。由误差理论可知，多次测量的算术平均值为最近真值，一般在连续测量等间隔数据时，常把数据分成两组，逐次求差再算平均值，这样得到的结果就保持了多次测量的优点。但应注意，只有在连续测量的自变量为等间隔变化，相应两个因变量之差均匀的情况下，才可用逐差法处理数据。

设：本次共测量了  $2n$  次，则 $\Delta\bar{X}$ 为：

$$\Delta\bar{X} = \sum_{k=1}^n (X_{n+k} - X_n) / n^2$$

这样就很容易计算出 $\Delta\bar{X}$ 。

## 二、操作步骤：

<b>1. 驻波法测波长和声速</b>
(1) 按驻波法测声速原理，正确连线。
(2) 信号发生器调节，选择超声波频率，约 35KHZ，选择合适的波幅，输入正弦波。
(3) 调整信号发生器谐振频率，移动尺的游标（接收换能转换器 S2 固定其上）使换能转换器 S2 和 S1 端面距离 5cm 左右，调节低频信号发生器输出的正弦幅度，同时调整接收端的示波器，使示波器屏幕上有适当的信号幅度，然后移动游标尺寻找信号幅度最强的位置，找到后，调节信号发生器的输出频率，使示波器上的信号幅度最大，微调输出频率，使示波器的信号幅度最大。可适当调节 v/tiv 旋钮，以寻找本系统的准确的谐振频率 f。
(4) 调节移动尺，观察示波器的信号幅度变化，了解波的干涉。
(5) 测量数据，从出现两次半波长（示波器上显示信号幅度最大处（波幅处））为起点，记下读数，缓慢增加移动磁鼓的位置，依次记录下每次信号幅度最大时移动磁鼓的位置 $X_1, X_2 \dots X_{10}$ 共 10 个值。再缓慢地减少间距 $X$ ，记录下次出现信号幅度最大时移动磁鼓的位置 $X_{11}, X_{12}, \dots X_{20}$ 共 10 个值。两次取得平均值。用逐差法处理数据，计算出波长。
(6) 利用公式： $v = f\lambda$ ，计算声速。
<b>2. 相位比较法测波长和声速</b>
(1) 按相位法测声速原理，正确连线。
(2) 信号发生器调节，选择超声波频率，约 35KHZ，选择合适的波幅，输入正弦波。
(3) 调整信号发生器谐振频率，移动尺的游标（接收换能转换器 S2 固定其上）使换能转换器 S2 和 S1 端面距离 5cm 左右，调节低频信号发生器输出的正弦幅度，同时调整接收端的示波器，使示波器屏幕上有适当的信号幅度，然后移动游标尺寻找信号幅度最强的位置，找到后，调节信号发生器的输出频率，使示波器上的信号幅度最大，微调输出频率，使示波器的信号幅度最大。可适当调节 v/tiv 旋钮，以寻找本系统的准确的谐振频率 f。
(4) 调节示波器使屏上出现李萨如图形，缓慢调节移动尺，增加或减少移动尺间距（改变两输入波的相位差），屏幕反复出现李萨如图形，每移动半个波长就会出现直线图形。
(5) 测量数据，从屏上直线出现为起点，缓慢增加移动磁鼓的位置，依次记录下屏上每次出现直线时所对应的 $X_1, X_2 \dots X_{10}$ 共 10 个值。再缓慢地减少间距 $X$ ，记录下次出现直线时所对应的 $X_{11}, X_{12}, \dots X_{20}$ 共 10 个值。两次取得平均值。用逐差法处理数据，计算出波长。
(6) 利用公式： $v = f\lambda$ ，计算声速。
<b>实验仪器名称：</b>
<u>示波器、信号发生器和声速仪</u>

实验数据处理与分析[实验数据计算、不确定公式推导与计算、结果表示、误差分析、结果讨论]

一、 用相位比较法测量空气中的声速。

寻找换能器的共振频率： 35100.0

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x(\text{mm})$	43.45	48.27	53.10	57.96	62.77	67.60	72.38	77.26	82.09	86.93	91.76	96.58

实验过程截图 1 张贴至此处



二、 用驻波法测量空气中的声速。

寻找换能器的共振频率： 35200.0

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x(\text{mm})$	50.84	55.71	60.48	65.33	70.20	74.99	79.90	84.73	89.62	94.43	99.26	104.12

实验过程截图 1 张贴至此处（必须含“实验进行时间”以及用户名）



#### 四、数据处理要求

1. 列表用逐差法分别计算驻波法和相位比较法测量的声速；

驻波法			f(Hz)		35200.0			
k	$X_k(\text{mm})$	k+6	$X_{k+6}(\text{mm})$	$X_{k+6}-X_k(\text{mm})$	$\lambda/2(\text{mm})$	$\lambda(\text{mm})$	$v(\text{m/s})$	
1	50.84	7	79.90	29.06	4.85	9.70	341.3	
2	55.71	8	84.73	29.02				
3	60.48	9	89.62	29.14				
4	65.33	10	94.43	29.10				
5	70.20	11	99.26	29.06				
6	74.99	12	104.12	29.13				

相位比较法			f(Hz)		35100.0			
k	$X_k(\text{mm})$	k+6	$X_{k+6}(\text{mm})$	$X_{k+6}-X_k(\text{mm})$	$\lambda/2(\text{mm})$	$\lambda(\text{mm})$	$v(\text{m/s})$	
1	43.45	7	72.38	28.93	4.83	9.66	339.0	
2	48.27	8	77.26	28.99				
3	53.10	9	82.09	28.99				
4	57.96	10	86.93	28.97				
5	62.77	11	91.76	28.99				
6	67.60	12	96.58	28.98				

2. 计算两种方法测量声速的不确定度以及最后结果的完整表达式（忽略所有仪器误差）；写出相位比较法不确定度计算公式的推导和计算过程；

### 驻波法

- 对于 $\lambda$ ,

$$s(\lambda) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{6-1}} = 0.0157mm$$

当 $n=6$ 时,  $t_{0.95}/\sqrt{n} \approx 1$ , 则 $u(\lambda) = s(\lambda) = 0.0157mm$

- 对于 $f$ ,

$$u(f) = 0$$

- 对于 $v = \lambda f \rightarrow \ln v = \ln \lambda + \ln f$ ,

$$u(v) = v \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{\lambda}\right)^2 u^2(\lambda) + \left(\frac{1}{f}\right)^2 u^2(f)} = \frac{vu(\lambda)}{\lambda} = \frac{341.3 \times 0.0157}{9.70} \approx 0.6 m/s$$

- $v = (341.3 \pm 0.6) m/s$

### 相位比较法

- 对于 $\lambda$ ,

$$s(\lambda) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{6-1}} = 0.0073mm$$

当 $n=6$ 时,  $t_{0.95}/\sqrt{n} \approx 1$ , 则 $u(\lambda) = s(\lambda) = 0.0073mm$

- 对于 $f$ ,

$$u(f) = 0$$

- 对于 $v = \lambda f \rightarrow \ln v = \ln \lambda + \ln f$ ,

$$u(v) = v \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{\lambda}\right)^2 u^2(\lambda) + \left(\frac{1}{f}\right)^2 u^2(f)} = \frac{vu(\lambda)}{\lambda} = \frac{339.0 \times 0.0073}{9.66} \approx 0.3 m/s$$

- $v = (339.0 \pm 0.3) m/s$

## 五、思考题

1. 调整信号的频率和移动接收换能器的位置（振幅法）都是为了使接收换能器的输出达到极大，并且都被称为共振，它们是一回事吗？

不是。调整频率达到共振是指探头的谐振频率，使探头有最大输出功率。移动接收换能器的位置达到共振是使超声波在两探头间形成驻波。

2. 实验中，能否固定发射器与接收器之间的距离，利用改变频率测声速？

不可行。因为只有改变频率  $f$ ，而且当声波频率接近换能器的固有频率的时候，才能引起共振，观测到明显的振动，由于换能器的固有频率是一个定值，若谐振很小，就无法确定  $\lambda$ ，从而无法得到声速。

3. 利用目前的仪器设备可以实现对移动距离的测量吗？

可以。有数显位移传感器