

《基础物理实验》实验报告

实验名称 弦上驻波及介质中声速测量 指导教师 吴天涯
姓 名 陈苏 学号 2022K8009906009 分班分组及座号 1-03-5 号 (例: 1-04-5 号)
实验日期 2023 年 10 月 30 日 实验地点 教学楼 721 调课/补课 ☐ 是 成绩评定 _____

实验目的

1. 观察两端固定的弦上的驻波现象，学习弦线达到共振和形成稳定驻波的条件；
2. 观察弦上驻波的振动情况，测定弦上横波的传播速度；
3. 确定弦上谐波的频率与弦线有效长度，张力及弦密度之间的关系；
4. 用对数法和最小二乘法对共振频率与张力关系的实验结果作线性拟合；
5. 学习利用驻波法和相位法测定介质中的波长，计算超声波在空气中和水中的传播速率。

实验仪器

1. 测量工具：钢直尺（最小分度 0.5mm），千分尺（最小分度 0.01mm），弦音计配尺（量程 810mm，最小分度 1mm），电子天平（测量砝码质量用，最小分度 0.01g），电子天平（测量弦线样品质量用，最小分度 0.001g），温度计（精度 0.1℃）；
2. XY-A 型弦音实验仪；
3. SW-2 型声速测量仪；
4. RIGOL-MSO2302A 双踪示波器，RIGOL-DG1022U 信号发生器；

实验原理

1. 驻波的形成原理

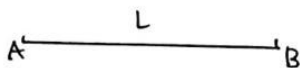


图 1 驻波形成原理图

如图所示，对于在某介质中传播的行波（可以是横波或者纵波），设振动的位移为 $u(x, t)$ ，则对于右行波和左行波，分别有

$$u_1 = A \cos(\omega t - kx + \varphi_1)$$

$$u_2 = B \cos(\omega t + kx + \varphi_2)$$

如果两束波受限于在 $x = 0$ 和 $x = L$ 两个端点之间传播，那么端点处的叠加位移恒为零。也就是说，两束波即互为反射波，则

$$A \cos(\omega t + \varphi_1) + B \cos(\omega t + \varphi_2) = 0$$

$$A \cos(\omega t - kL + \varphi_1) + B \cos(\omega t + kL + \varphi_2) = 0$$

因此

$$A = B$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = (2n - 1)\pi, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

$$kL = m\pi, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

则叠加后的振动位移 $u = u_1 + u_2$ 为

$$u = A \cos\left(kx + \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right) \cos\left(\omega t + \frac{\varphi_2 + \varphi_1}{2}\right)$$

即

$$u = 2A \sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right) \sin(\omega t)$$

是驻波，参数

$$2A \sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right)$$

称为振幅。对应的波长 $\lambda_n = 2L/n$ ，称之为 n 次谐波。这表明当形成驻波时， L 恰好是 $\lambda/2$ 的整数倍，且两束波之间有半波损失。特别地，一次谐波又叫做基波。振幅恒为零的点称为波节，振幅极大的点称为波腹。可以计算，波腹的位置为

$$x = \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3\lambda}{2}, 2\lambda, \frac{5\lambda}{2}, \dots$$

波节的位置为

$$x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \frac{7\lambda}{4}, \frac{9\lambda}{4}, \dots$$

相邻的波腹（或波节）的距离为 $\lambda/2$ 。

2. 弦音计与弦上的横波

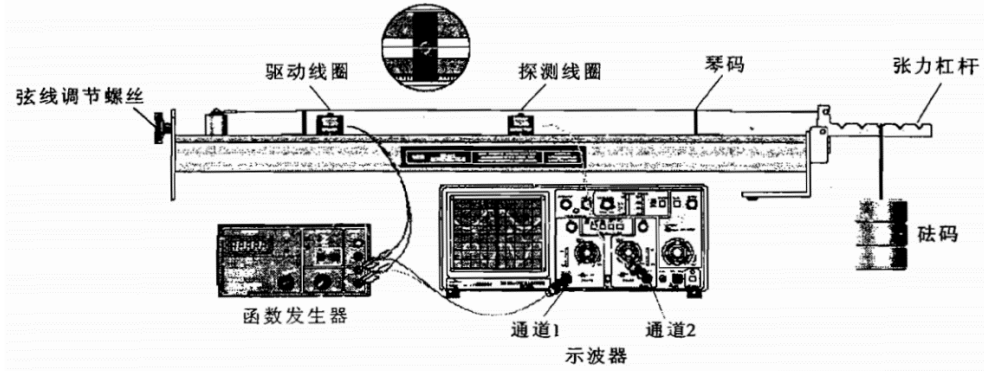


图 2 弦音计原理图

如图所示，弦音计由固定的吉他弦，驱动线圈和探测线圈组成，其后部的张力杠杆可以悬挂砝码来对弦施加拉力。驱动线圈通过信号发生器输入的交变信号使弦振动，探测线圈连接示波器，对弦线的振动进行观察。

由弦上横波的波动方程

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{T}{\mu} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0$$

其中 T 是线上的张力， μ 是弦的线密度，得传播速度

$$v = f/\lambda = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

当形成 n 次谐波时，有

$$f = v/\lambda_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

令 $n = 1$ ，由此验证 f, L, T 之间的关系

$$\log f_1 = -\log L + (\log v - \log 2)$$

$$\log f_1 = -\log L + \left(\frac{1}{2} \log T - \frac{1}{2} \log \mu - \log 2\right)$$

3. 介质中的纵波

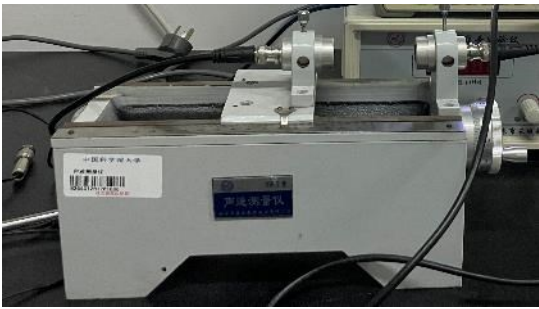


图 3 纵波观测装置实物图

如图所示，观测装置一端的换能器通过信号发生器输入的交变信号在介质中产生振动，另一端的换能器连接示波器，对介质中的振动进行观察。介质中的纵波波速 v 在恒定温度下不变。则当形成驻波时， L 恰好是 $\lambda/2$ 的整数倍，且两端的恰好是波节，即声压最大的点。当形成驻波时，两端振动的相位相同或相差 π ，那么每当 L 改变 λ ，便可以观察到与原来恰好相同的振动模式；那么每当 L 改变 $\lambda/2$ ，便可以观察到与原来恰好相反的振动模式。

实验步骤与实验数据

1. 弦上驻波的测量

先用标准砝码校准电子天平，然后测出砝码的质量 m ，弦样品的质量 m_0 。用钢尺测出弦样品的长度 l_0 ，用螺旋测微计测出弦样品的直径 d 。

计算出弦的线密度为 $\mu = m_0/l_0$ 。

表 1 线密度测量表

弦的编号：5	m/g	m_0/g	l_0/mm	d/mm	$\mu/(kg \cdot m^{-1})$
测量值	504.14 ± 0.01	0.386 ± 0.001	53.2 ± 0.5	1.214 ± 0.01	$(7.26 \pm 0.07) \times 10^{-3}$

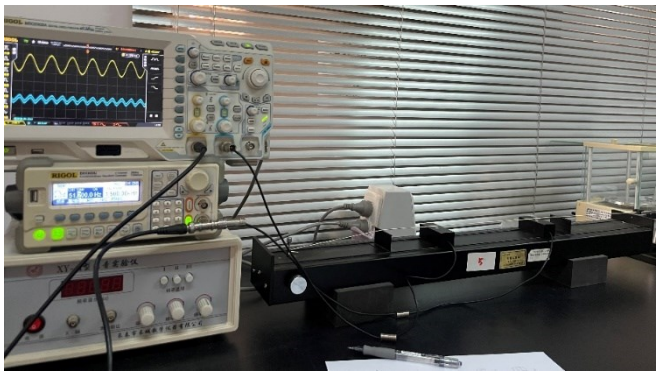


图 4 弦上驻波装置图



图 5 弦上驻波波节和波腹实测图

如图所示，将弦的两端固定，琴码放置于 $x_1 = 150\text{mm}$ 和 $x_2 = 650\text{mm}$ 的地方，此时弦的有效长度为

$$L = x_2 - x_1$$

将驱动线圈放在弦的下方，连接信号发生器 CH1 输出和示波器 CH1 输入；探测线圈连接示波器 CH2 输入。

分别将砝码悬挂于张力杠杆上第 2,3,4 格，调整张力杠杆高度使之水平。此时由近似关系

$$T = \frac{1}{2}xmg, \quad x = 2,3,4$$

从而得到波速的理论值

$$v_0 = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

可以计算从零开始升高驱动频率 f ，观察示波器上的波形变化。当 CH2 的振幅稳定且达到极大值时即出现驻波，从弦的振动情况判断是几次谐波，并将其记录在下表中。

对基波（一次谐波），有

$$v_1 = 2Lf_1$$

对二次谐波，有

$$v_2 = Lf_2$$

对三次谐波，有

$$v_3 = \frac{2}{3}Lf_3$$

表 2 n 次谐波测量波速表（ $L = 500\text{mm}$ ， $g = 9.80665\text{m/s}^2$ ）

砝码 位置 x	f_1/Hz	$v_1/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	f_2/Hz	$v_2/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	f_3/Hz	$v_3/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	平均值 $v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$T = \frac{xmg}{2}$ /N	$v_0/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
2	25.8	25.8	51.7	25.9	78.5	26.2	26.0	4.94	26.1
3	31.7	31.7	63.5	31.8	95.8	31.9	31.8	7.42	32.0
4	37.3	37.3	74.6	37.3	112.1	37.4	37.3	9.89	36.9

将砝码悬挂于张力杠杆的第 2 格，改变弦的有效长度 L ，测量基波 f_1 ，并将其记录在下表中。绘制 $\log f_1 - \log L$ 曲线并进行线性拟合。由图 6 得出斜率 k 和截距 b ；还可以修正 $T = xmg/2$ 为 $T = xmg/n$ ，其中

$$n = \frac{mg}{2\mu \cdot 10^{2b-6}}$$

表 3 频率和有效长度测量表

L/mm	640	480	320	240	160
f_1/Hz	20.2	28.8	41.7	55.0	83.9
$\log L$	2.8062	2.6812	2.5051	2.3802	2.2041
$\log f_1$	1.3054	1.4594	1.6201	1.7404	1.9238

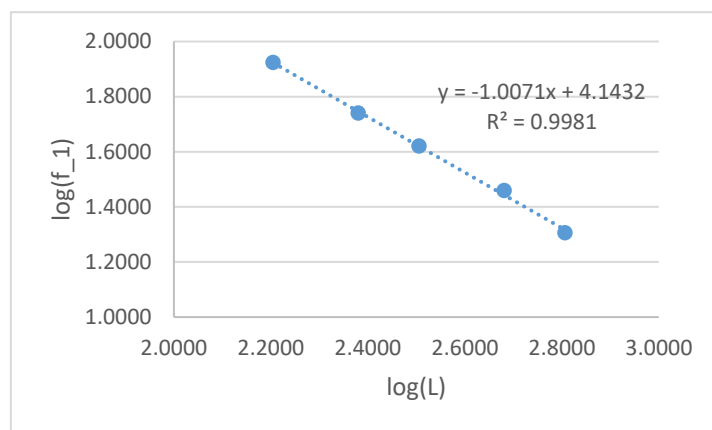


图 6 f_1 和 L 的对数关系图。拟合 $k = -1.0071$ ， $b = 4.1432$ 。而 k 的理论值为 -1 ， b 的理论值为 $\log v - \log 2 + 3 = 4.1156$ ，考虑到拉力的测量精度其实有限，即 b 不准确，理论与实验符合得较好。

由图 6 可以验证 $v_1 \propto L f_1$ ，修正后的 $n = 1.76$ 。

将琴码放置于 $x_1 = 200\text{mm}$ 和 $x_2 = 600\text{mm}$ 的地方，分别将砝码悬挂于张力杠杆上第 1,2,3,4,5 格，测量基波 f_1 ，并将其记录在下表中。绘制 $\log f_1 - \log T$ 曲线并进行线性拟合。由图 7 得出斜率 k 和截距 b 。

表 4 频率和张力的关系测量表

砝码位置	1	2	3	4	5
T/N	2.47	4.94	7.42	9.89	12.36
f_1/Hz	23.2	33.0	39.6	46.8	51.4
$\log T$	0.3927	0.6937	0.8704	0.9952	1.0920
$\log f_1$	1.3655	1.5185	1.5977	1.6702	1.7110

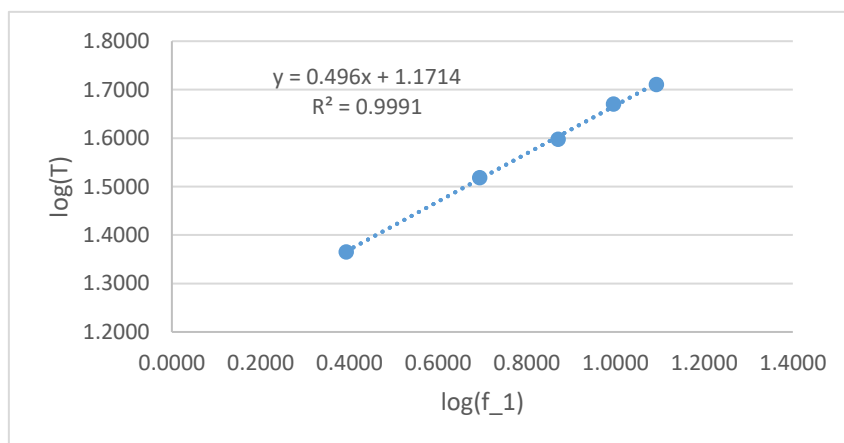


图 7 f_1 和 T 的对数关系图。拟合 $k = 0.496$ ， $b = 1.1714$ 。而 k 的理论值为 $1/2$ ， b 的理论值为 $-\log \sqrt{\mu} - \log L - \log 2 = 1.1664$ ，考虑到拉力的测量精度其实有限，即 k 不准确，理论与实验符合得较好。

将琴码放置于 $x_1 = 200\text{mm}$ 和 $x_2 = 600\text{mm}$ 的地方，将砝码悬挂于张力杠杆上第 2 格。更换不同的弦，测量基波 f_1 ，并将其记录在下表中。（或与小组同学共享实验结果。）绘制 $\log f_1 - \log \mu$ 曲线并进行线性拟合。

表 5 频率和线密度数据测量表

弦编号	11 (舍去)	7	5	10	2
d/mm	1.565	1.279	1.214	0.918	0.436
$\mu/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-1})$	7.23×10^{-3}	3.0×10^{-3}	7.26×10^{-3}	4.54×10^{-3}	9.94×10^{-4}
f_1/Hz	105.850	50.785	33.0	41.168	92.893
$\log \mu$	2.0247	1.7057	1.5185	1.6146	1.9680
$\log f_1$	-2.1409	-2.5229	-2.1391	-2.3429	-3.0026

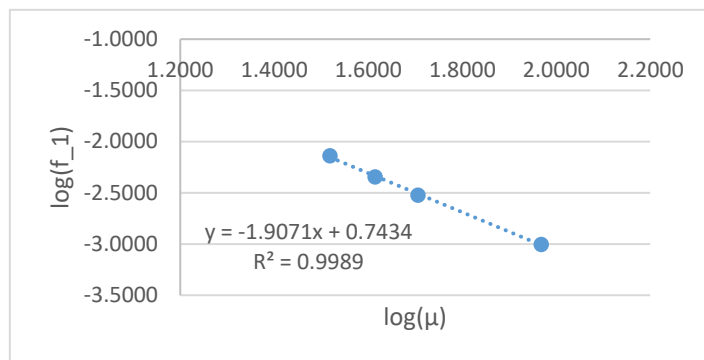


图 8 f_1 和 μ 的对数关系图，11 号弦测量误差太大舍去。拟合 $k = -1.9071$ ， $b = 0.7434$ 。而 k 的理论值为 -2 ， b 的理论值为 $\log T - 2\log L - 2\log 2 = 0.8875$ ，考虑到拉力的测量精度其实有限，即 b 不准确，理论与实验符合得较好。

2. 测量介质中超声波的波速

将实验装置一端换能器连接信号发生器 CH1 输出和示波器 CH2 输入，输入频率 $f = 40\text{kHz}$ ；另一端换能器连接示波器 CH1 输入。

（驻波法）选择示波器以 Y-T 模式显示；逐渐增大 L ，观察示波器上 CH1 的波形，发现其随着距离增大而周期性变化。每当 CH2 振幅达到最大值时产生驻波，记录下此时仪器示数与序号 i 。

（位相法）选择示波器以 X-Y 模式显示；逐渐增大 L ，观察 CH1 和 CH2 的李萨如图形，发现其随着距离增大而周期性变化的一个椭圆曲线。当李萨如图形的椭圆曲线退化为一 条直线，CH1 和 CH2 相位相同或相反，此时产生驻波，记录下此时仪器示数与序号 i 。

室温为 25.5°C 。利用空气中声速的理论公式

$$v = 331.45 \times \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}}$$

得到声速的理论值为 $v = 346.6\text{m/s}$ 。

用逐差法计算波长 $\lambda/2$ ，绘制 L_i-i 曲线并进行线性拟合。由图 9-1，图 9-2 得出斜率 k 和截距 b 。则波速

$$v = \lambda f$$

表 6-1 驻波法空气中声波波长测量表

i	L_i/mm	逐差法 $\lambda/2 = (L_{i+5} - L_i)/5$
1	32.920	4.262
2	36.500	4.440
3	40.810	4.534
4	45.460	4.464
5	49.610	4.490
6	54.230	逐差法平均值 4.438 ± 0.09
7	58.700	
8	63.480	
9	67.780	
10	72.060	

由逐差法得 $v = (355 \pm 8)\text{m/s}$ 。

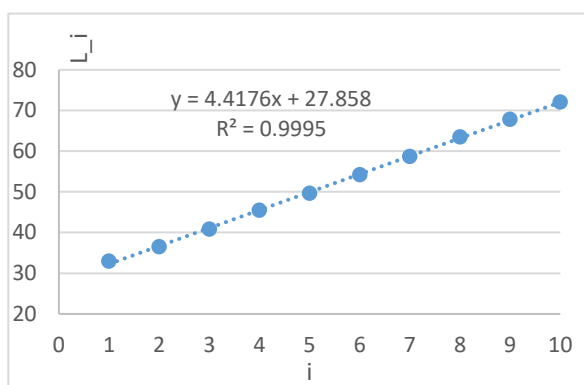


图 9-1 L_i 和 i 的关系图。拟合 $k = \lambda/2 = 4.42 \pm 0.03$ ，从而 $v = (353 \pm 3)\text{m/s}$ 。

表 6-2 位相法空气中声波波长测量表

i	L_i/mm	逐差法 $\lambda/2 = (L_{i+5} - L_i)/5$
1	31.348	4.420
2	35.764	4.412
3	40.252	4.404
4	44.654	4.411
5	49.060	4.418
6	53.448	逐差法平均值 4.413 ± 0.006
7	57.824	
8	62.270	
9	66.708	
10	71.148	

由逐差法得 $v = (353.0 \pm 0.5)\text{m/s}$ 。

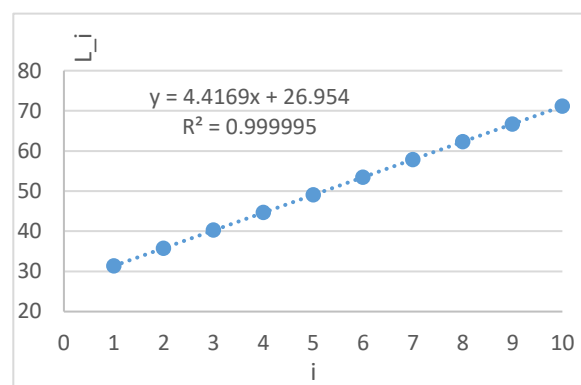


图 9-2 L_i 和 i 的关系图。拟合 $k = \lambda/2 = 4.417 \pm 0.004$ ，从而 $v = (353.4 \pm 0.3)\text{m/s}$ 。

观察到的李萨如图形如图所示。

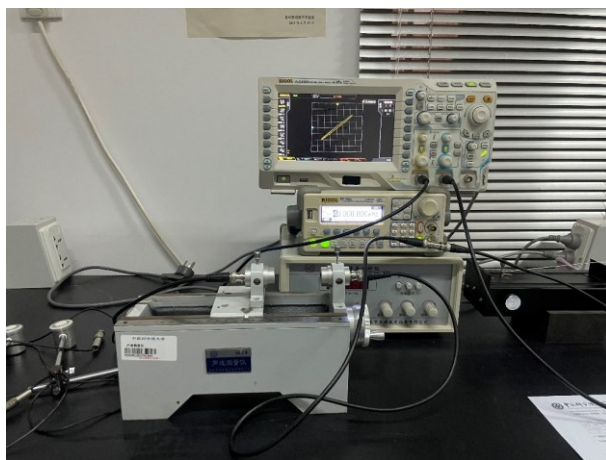


图 10 空气中位相法的李萨如图形和装置示意图

将换能器放入水中，输入频率 $f = 1.7\text{MHz}$ 。用驻波法测出水中的声波波长 $\lambda/2$ ，从而得到声速。

表 7 位相法水中声波波长测量表

i	L_i/mm	逐差法 $\lambda/2 = (L_{i+5} - L_i)/5$
1	53.136	0.434
2	53.528	0.445
3	53.970	0.455
4	54.390	0.456
5	54.830	0.465
6	55.304	逐差法平均值 0.451 ± 0.011
7	55.752	
8	56.244	
9	56.672	
10	57.154	

由逐差法得 $v = (1.53 \pm 0.04) \times 10^3 \text{m/s}$ 。

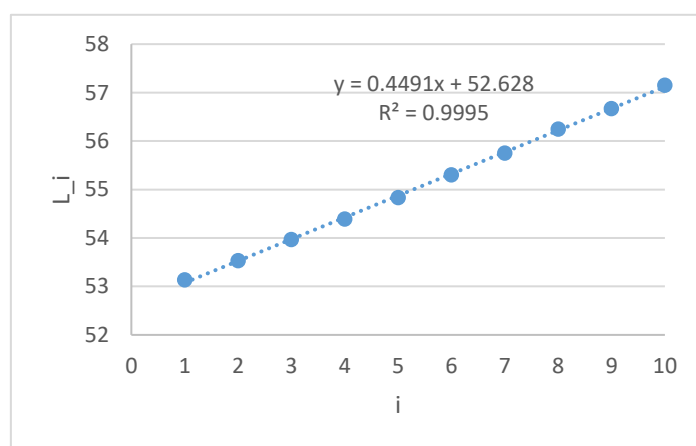


图 12 L_i 和 i 的关系图。拟合 $k = \lambda/2 = 0.449 \pm 0.004$ ，从而 $v = (1.526 \pm 0.014) \times 10^3 \text{m/s}$ 。

观察到的李萨如图形如图所示。

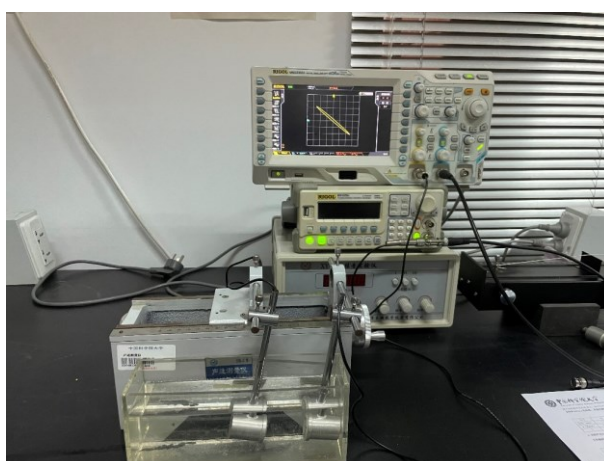


图 10 水中位相法的李萨如图形和装置示意图

实验结论

1. 弦上驻波实验

在实验中我们还测量了弦线的直径，但在实验过程中发现谐振频率 f 的值与之没有直接关系。由于倍频被定义为能够产生整数个波节的频率，有效长度为半波长的整数倍，而 f 与波长 λ 成反比，还可以通过测量更高次谐波来检验他们的关系。另外做该实验时，需注意每次更换砝码位置时都需要重新调节水平，否则张力 T 与砝码质量的关系不再成立。

2. 测量介质中的声速

在本次实验中，声速的测量值与实验值有较大的误差，除了水中杂质和波动，还有两个换能器没有完全对准，使得当距离改变时，接收端的最大振幅也在变化；以及水中驻波波长很短，仪器灵敏度不足以精确测量的问题。观察到振幅的最大值与相位差的零值点并不重合，这可能是介质中的摩擦等因素造成的。

实验中测得的波速偏大，可能是因为气温和水温偏高，以及由于实验仪器长时间工作，导致装置产生积热。

附录——预习报告和实验数据记录表

陈苏 2022K8009906009 10.30



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

基础物理实验预习报告

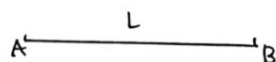
实验名称: 驻波实验

姓名: 陈苏 学号: 2022K8009906009 组号: 1-03-5

实验日期: 2023年10月30日 实验地点: 教学楼 721.

实验原理

1. 驻波的形成原理.



如图所示, 在固定端点 A, B 中间是介质, 中间存在两列传播方向相反的行波 u_1, u_2 :

$$u_1 = A \cos(\omega t - kx + \varphi_1),$$

$$u_2 = B \cos(\omega t + kx + \varphi_2).$$

由于端点处叠加振幅为零. 要求 $A=B$, 即 u_2 是 u_1 的反射波. 设介质中的波速恒为

$$v = \frac{\omega}{k},$$

那么两列波叠加后的振幅为

$$u_1 + u_2 = 2A \cos\left(kx + \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right) \cos\left(\omega t + \frac{\varphi_2 + \varphi_1}{2}\right)$$

形成了驻波. 其波腹是振幅极大的点, 即当

$$\left|\cos\left(kx + \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right)\right| = 1$$

时, 振幅有极大值 $2A$; 波节是振幅为零的点, 即当

$$\left|\cos\left(kx + \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right)\right| = 0$$

时, 振幅为 0. 从上面可以解出波腹的位置

$$x = \frac{n\lambda}{2} - \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2k}, \quad n=0, \pm 1, \pm 2 \dots$$

和波节的位置

$$x = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{2} - \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2k}, \quad n=0, \pm 1, \pm 2 \dots$$

相邻波腹、波节之间的距离都是 $\frac{\lambda}{2}$, 即半波长。

而固定点 A, B 处一定是波节, 即有

$$\cos\left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right) = 0,$$

$$\cos\left(kL + \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right) = 0$$

得到驻波的条件 $kL = n\pi$, 即 $\lambda = \frac{2L}{n}$, 以及 $\varphi_2 - \varphi_1 = (2n+1)\pi$.

即形成驻波时 L 的长度一定是 $\lambda/2$ 的整数倍, 且形成驻波的两列波振幅相同, 且在端点处出现半波损失 (因为 $\varphi_2 - \varphi_1 = (2n+1)\pi$, 对应半个波长的相位差.)

2. 弦振动与弦的共振.

由上可知在形成驻波时, 入射波和反射波出现相位差 π , 且此时对应半波长

$$\lambda = \frac{2L}{n}.$$

则 $f = v/\lambda = \frac{nv}{2L}$ 是驻波频率. 当驻波频率与弦的共振频率相同时,

弦发生共振现象, 对应的共振频率即为

$$f_n = \frac{nv}{2L}.$$

由弦上横波的波动方程

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{T}{\mu} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0,$$

其中 T 是弦的张力, μ 是弦的线密度.

因此波速为

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}.$$

代入即得



中国科学院大学

University of Chinese Academy of Sciences

$$f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

在弦音计上, 通入改变 A 端的输入频率 (驱动线圈频率) 和张力 (和杆上砝码的质量) 即可得出验证 f, λ, T 之间的关系.

3. 介质中波速与相位法

由上可知, 当出现驻波时, $L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$, 且 $\varphi_1 - \varphi_2 = (2n+1)\pi$.

因此对于介质中的纵波, 由于其波节处压强最大, 可以通过测量波节处的位置数强或者相位差来判断.

将 A、B 处的波节接入李萨如图形, 则每与其长度 L 改变 $\frac{\lambda}{2}$, A、B 处的相位也改变 π . 相应地可以求出波长和对应的波速.

预习题.

1. 弦音计的作注意事项.

- (1) 琴砣 (或砣为线圈) 不能距离太近, 否则共振现象难以识别;
- (2) 张力和杆重保持水平, 保证张力等于砝码重量.
- (3) 测量弦的质量时可以用其他弦, 不要直接取下弦音计上的.
- (4) 信号发生器产生基波时要注意观察, 减少非线性现象的发生.

2. 如何利用信号发生器产生驻波? 如何用于测量弦的波频率?

将信号发生器连接琴弦下方的波振架即使弦振动 (连上通电即可)
用手波器一端连接信号发生器, 一端连接琴弦上的持测线圈.
(CH1) (CH2)

当发生共振 (或驻波) 时, 用 Measure 功能就可以测出稳定的振幅频率.

3. 为什么琴弦上会产生驻波? 若要观察应满足什么条件?

琴弦的两端是固定的, 在上面稳定传播的波与它的反射波干涉形成驻波, 驻波的频率满足 $f_n = \frac{nv}{2L}$.

因此若要观察到, 即应有驱动频率 $f = \frac{nv}{2L}$, ($v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$)

此时 L 恰好为半波长 $\frac{\lambda}{2}$ 的整数倍.

4. 测量声速的两种方法.

(1) 弦上的驻波.

将信号发生器连接线圈做振源, 示波器连接探测线圈. 在张力和杆提供张力 $T = mg$ 下, 逐渐升高驱动频率.

此时由 $f = \frac{nv}{2L}$, 会从最低的基波开始, 逐渐地测出各谐波频率. 特别地, 当 f 恰好是共振频率时振幅达到最大. 即有 $v = \frac{2L}{n} f$.

(2) 介质中的驻波.

将信号发生器连接一端换能器, 示波器连接两端. 这时在介质中的驻波满足 $L = n\frac{\lambda}{2}$. 逐渐改变 L , 当两端的相位差改变 π , 或者声压最大(即振幅), L 改变 $\frac{\lambda}{2}$. 即有 $v = \lambda f$.



基础物理实验原始数据记录

实验名称 弦上驻波及介质中声速测量 地点 教学楼 721
学生姓名 陈苏 学号 2022K8009906009 分班分组座号 1-03-5 号 (例: 1-04-5 号)
实验日期 2023 年 10 月 30 日 成绩评定 教师签字 王 21/12

1. 线密度测试

表 1. 线密度测试

弦号	质量 (g)	长度 (mm)	直径 (mm)	线密度 (Kg/m)
5	0.386	53.2	0.548 ^{-0.006}	7.26 × 10 ⁻³

2. 波速的测量

将琴码放在 150mm 和 650mm 的地方, 将砝码放在第 2~4 格, 测基频 f_1 , 倍频 f_2, f_3 ,
计算波速的实验值 ($v = \lambda f$); 根据 $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, $T = \frac{1}{2} nmg$ 计算波速的理论值。 $\rightarrow v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \dots$

【用手机拍一张波节的相片, 作为实验记录】

砝码质量: 504.14g

L = 500 mm

$v = \lambda f$ $v = \frac{\lambda f}{2}$ 表 2. 波速的测试

砝码位置	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_3 (Hz)	波速 ($v = \lambda f$)	张力 (T)	波速 $v = \sqrt{T/\mu}$
3	31.7	63.5	95.8		7.42 N	32.0
4	37.3	74.6	112.1		9.90 N	36.9
2	25.8	51.7	78.5		4.94 N	26.1

3. 频率和有效长度的关系

在上述实验中, 砝码放在第 2 格, 改变有效长度, 测试频率 f_1 的变化。

表 3. 频率和有效长度的关系

L	640 mm	480 mm	320 mm	240 mm	160 mm
f_1	20.2	28.8	41.7	55.0	83.9

4. 频率和张力的关系

固定有效长度 $L=400$ mm, 将琴码放在 200mm 和 600mm 的地方, 然后将砝码放在 1-5 格时, 测频率 f_1 。

【绘制 $\ln f - \ln T$ 的曲线, 并进行线性拟合, 对比斜率和截距的拟合值和理论值】

表 4. 频率和张力的关系

位置	1	2	3	4	5
T					
f_1	11.6 ^{23.2}	16.5 ^{33.0}	19.8 ^{39.6}	23.4 ^{46.8}	25.7 ^{51.4}

5. 频率和线密度的关系

固定有效长度 $L=400$ mm, 将琴码放在 200mm 和 600mm 的地方, 将砝码放在第 2 格,



测不同粗细琴弦的基频 f_1 ，也可以共享其它同学的实验数据。

【绘制 $\ln f - \ln \mu$ 的曲线，并进行线性拟合，对比斜率和截距的拟合值和理论值。】

表 5. 频率和线密度的关系

弦号	7	10	2	11	5
直径 (mm)	1.279	0.918	0.436	1.565	1.214
μ (Kg/m)	3.0×10^{-3}	4.54×10^{-3}	9.94×10^{-4}	7.23×10^{-3}	7.26×10^{-3}
f_1	50.785	41.168	92.893	105.850	33.0

6. 测超声波在空气和水中的波速。

【存储相位法测试时的屏幕图片，作为实验记录】

表 6. 空气中超声波波速的测试

$f = 40.00 \text{ kHz}$, 室温 $t = 25.5^\circ \text{C}$, $V_{\text{理论值}} = \text{_____} \text{ m/s}$				
i	驻波法 L_i (mm)	λ_i	位相法 L_i (mm)	λ_i
1	32.920		31.348	
2	36.500		35.764	
3	40.810		40.252	
4	45.460		44.654	
5	49.610		49.060	
6	54.230		53.448	
7	58.700		57.824	
8	63.480		62.270	
9	67.780		66.708	
10	72.060		71.148	
测量结果: $v = \text{_____} \text{ m/s}$		测量结果: $v = \text{_____} \text{ m/s}$		

表 7. 水中超声波波速的测试

方法 $\frac{\lambda}{2}$, $f = 1.7 \text{ MHz}$, 室温 $t = 25.5^\circ \text{C}$		
i	刻度值 L_i (mm)	λ_i
1	53.136	
2	53.528	
3	53.970	
4	54.390	
5	54.830	
6	55.304	
7	55.752	
8	56.244	
9	56.672	
10	57.154	
测量结果: v (实验值) = $\text{_____} \text{ m/s}$		