|  |
| --- |
| **《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，则对于右行波和左行波，分别有

如果两束波受限于在和两个端点之间传播，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

因此

则叠加后的振动位移为

即

是驻波，参数

称为振幅。对应的波长，称之为次谐波。这表明当形成驻波时，恰好是的整数倍，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

波节的位置为

相邻的波腹（或波节）的距离为。

1. 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

其中是线上的张力，是弦的线密度，得传播速度

当形成次谐波时，有

令，由此验证之间的关系

1. 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。介质中的纵波波速在恒定温度下不变。则当形成驻波时，恰好是的整数倍，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，那么每当改变，便可以观察到与原来恰好相同的振动模式；那么每当改变，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，弦样品的质量。用钢尺测出弦样品的长度，用螺旋测微计测出弦样品的直径。

计算出弦的线密度为。

表1 线密度测量表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 弦的编号：5 |  |  |  |  |  |
| 测量值 | 504.14±0.01 | 0.386±0.001 | 53.2±0.5 | 1.214±0.01 |  |

|  |
| --- |
| 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，琴码放置于和的地方，此时弦的有效长度为

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

从而得到波速的理论值

可以计算从零开始升高驱动频率，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

对二次谐波，有

对三次谐波，有

表2 次谐波测量波速表（，）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 砝码位置 |  |  |  |  |  |  | 平均值 |  |  |
| 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，测量基波，并将其记录在下表中。绘制曲线并进行线性拟合。由图6得出斜率和截距；还可以修正为，其中

表3 频率和有效长度测量表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 640 | 480 | 320 | 240 | 160 |
|  | 20.2 | 28.8 | 41.7 | 55.0 | 83.9 |
|  | 2.8062 | 2.6812 | 2.5051 | 2.3802 | 2.2041 |
|  | 1.3054 | 1.4594 | 1.6201 | 1.7404 | 1.9238 |

|  |
| --- |
| 图6 和的对数关系图。拟合=，。而的理论值为，的理论值为，考虑到拉力的测量精度其实有限，即不准确，理论与实验符合得较好。 |

由图6可以验证，修正后的。

将琴码放置于和的地方，分别将砝码悬挂于张力杠杆上第1,2,3,4,5格，测量基波，并将其记录在下表中。绘制曲线并进行线性拟合。由图7得出斜率和截距。

表4 频率和张力关系测量表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 砝码位置 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|  | 2.47 | 4.94 | 7.42 | 9.89 | 12.36 |
|  | 23.2 | 33.0 | 39.6 | 46.8 | 51.4 |
|  | 0.3927 | 0.6937 | 0.8704 | 0.9952 | 1.0920 |
|  | 1.3655 | 1.5185 | 1.5977 | 1.6702 | 1.7110 |

|  |
| --- |
| 图7 和的对数关系图。拟合=，。而的理论值为，的理论值为，考虑到拉力的测量精度其实有限，即不准确，理论与实验符合得较好。 |

将琴码放置于和的地方，将砝码悬挂于张力杠杆上第2格。更换不同的弦，测量基波，并将其记录在下表中。（或与小组同学共享实验结果。）绘制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 |
|  | 1.565 | 1.279 | 1.214 | 0.918 | 0.436 |
|  |  |  |  |  |  |
|  | 105.850 | 50.785 | 33.0 | 41.168 | 92.893 |
|  | 2.0247 | 1.7057 | 1.5185 | 1.6146 | 1.9680 |
|  | -2.1409 | -2.5229 | -2.1391 | -2.3429 | -3.0026 |

|  |
| --- |
| 图8 和的对数关系图，11号弦测量误差太大舍去。拟合，。而的理论值为，的理论值为，考虑到拉力的测量精度其实有限，即不准确，理论与实验符合得较好。 |

1. 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；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，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。

（位相法）选择示波器以X-Y模式显示；逐渐增大，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。

室温为25.5℃。利用空气中声速的理论公式

得到声速的理论值为。

用逐差法计算波长，绘制曲线并进行线性拟合。由图9-1，图9-2得出斜率和截距。则波速

表6-1 驻波法空气中声波波长测量表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | 逐差法 |
| 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。

|  |
| --- |
| 图9-1 和的关系图。拟合，从而。 |

表6-2 位相法空气中声波波长测量表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | 逐差法 |
| 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。

|  |
| --- |
| 图9-2 和的关系图。拟合，从而。 |

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。用驻波法测出水中的声波波长，从而得到声速。

表7 位相法水中声波波长测量表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | 逐差法 |
| 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。

|  |
| --- |
| 图12 和的关系图。拟合，从而。 |

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, 而与波长成反比, 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, 否则张力与砝码质量的关系不再成立.

1. 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











