

# 弦上驻波实验实验报告

2200011477 李昊润 六组 7 号

2024 年 6 月 7 日

## 1 数据及处理

### 1.1 弦线线密度的测量数据及结果

测量数据：弦直径  $D = 1.005 \text{ mm}$ ，弦长  $l = 540.0 \text{ mm}$ ，质量  $m = 3.16 \text{ g}$ 。

计算得线密度：

$$\rho = \frac{m}{l} = 5.85 \times 10^{-3} \text{ kg/m.}$$

在此阶段还测量了砝码的质量： $M = 999.94 \text{ g} \approx 1000 \text{ g}$ ，可以认为在误差范围内砝码的质量为  $1000 \text{ g}$ 。

### 1.2 $f - n$ 关系

实验条件：弦线有效长度  $L = 60.00 \text{ cm}$ ，悬挂位置张力  $T = 3Mg$ 。

表 1:  $f - n$  关系的测量结果

驻波波腹个数 $n$	1	2	3	4	5
共振频率 $f_{\text{res}}/\text{Hz}$	58.68	121.6	183.1	245.0	308.6
原始频率 $f_d/\text{Hz}$	58.68	121.6	183.1	245.0	308.6

最小二乘法拟合得到  $f_{\text{res}} = a + bn$  (见图 1)，有

$$b = 62.324 \text{ Hz}, \quad r = 0.99998.$$

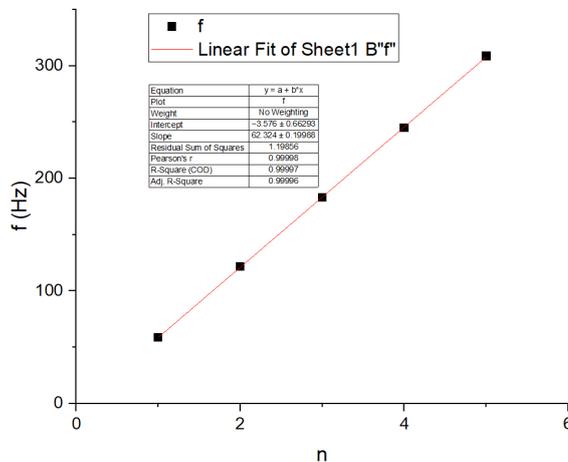


图 1:  $f - n$  关系图

由图 1 可知，共振频率  $f_{\text{res}}$  与  $n$  近似为正比例关系，可以据此计算弦线上横波的传播速度：

$$v = f\lambda = b \cdot 2L = 74.7888 \text{ m/s.}$$

误差分析：我们认为示波器读数的允差带来的误差可忽略， $v$  的误差仅来自于拟合和  $L$  的长度：

$$\text{来自拟合: } \sigma_b = b\sqrt{\frac{1/r^2 - 1}{n - 2}} = 0.7 \text{ Hz,}$$

$$\text{来自 } L: \sigma_L = \frac{\epsilon_L}{\sqrt{3}} = 1.2 \times 10^{-4} \text{ m.}$$

$$\text{合成: } \sigma_v = \sqrt{(2L\sigma_b)^2 + (2b\sigma_L)^2} = 0.08 \text{ m/s.}$$

综上，波速为

$$v \pm \sigma_v = (74.79 \pm 0.08) \text{ m/s.}$$

一开始驱动频率与共振频率相差较大时，弦线的振幅很小，波形也不稳定。随着驱动频率逐渐接近共振频率时，弦线的振幅逐渐增大，波形也逐渐趋近于稳定的正弦波形。当看到波形为正弦、振幅达到极大值且保持稳定时，即发生了共振。

### 1.3 $f - T$ 关系

实验条件：弦线有效长度  $L = 60.00 \text{ cm}$ 。

表 2:  $f - T$  关系的测量结果

张力 $T/Mg$	1	2	3	4	5
基频 $f_0/\text{Hz}$	35.84	48.40	58.68	67.75	75.52
原频 $f_d/\text{Hz}$	35.84	48.40	58.68	67.75	75.52

最小二乘法拟合得到  $\ln f - \ln T$  (见图 2) 和  $f^2 - T$  (见图 3) 关系图：

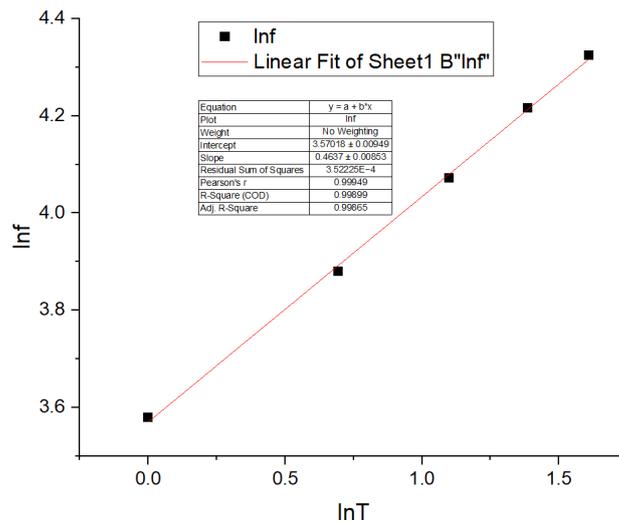


图 2:  $\ln f - \ln T$  关系图

$\ln f - \ln T$  关系图考察的是基频对数和张力对数的线性关系，进而通过其斜率考察基频和张力的幂次关系，由图 2 可知基频  $f$  与  $\sqrt{T}$  约为正比例关系。

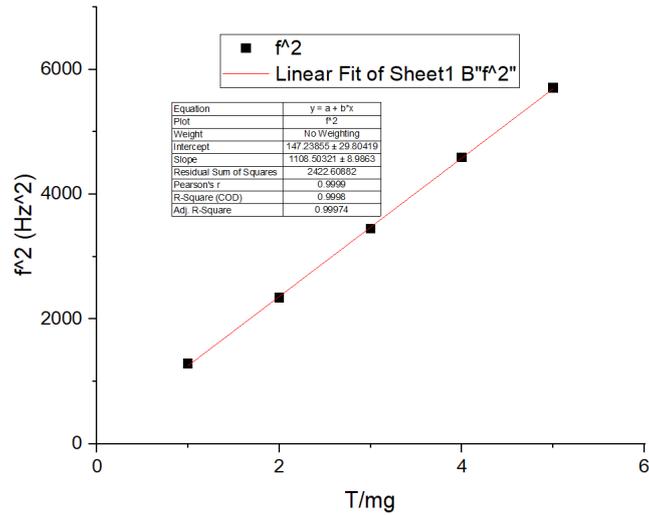


图 3:  $f - T$  关系图

$f^2 - T$  关系图考察的是基频平方和张力的线性关系，通过相关系数  $r = 0.9999$  可知  $f^2$  与  $T$  基本为正比例关系。

$f^2 - T$  关系图与  $f - \sqrt{T}$  关系图的不同之处在于，此实验中的  $T$  具有一定的误差，在  $f^2 - T$  关系图中，相当于对于直线沿  $T$  方向平移一段距离，对于拟合带来的误差较小；但是在  $f - \sqrt{T}$  关系图中影响比较复杂，对于拟合带来的误差较大。

根据拟合得到的斜率和公式  $f_0^2 = \frac{F_T}{4L^2 \rho_l}$  计算得到线密度为：

$$\rho_l = 6.27 \times 10^{-3} \text{ kg/m.}$$

说明实验中的误差较大，可能的误差来源见下面的 2 分析与讨论。

#### 1.4 $f - L$ 关系

实验条件：悬挂位置张力  $T = 3Mg$ 。

表 3:  $f - L$  关系的测量结果

长度 $L/\text{cm}$	60.00	52.00	45.00	38.00	30.00
基频 $f_0/\text{Hz}$	59.60	67.75	78.61	94.51	119.0
原频 $f_d/\text{Hz}$	59.60	67.75	78.61	94.51	119.0

最小二乘法拟合得到  $\ln f - \ln L$  (见图 4) 和  $f - L^{-1}$  (见图 5) 关系图：

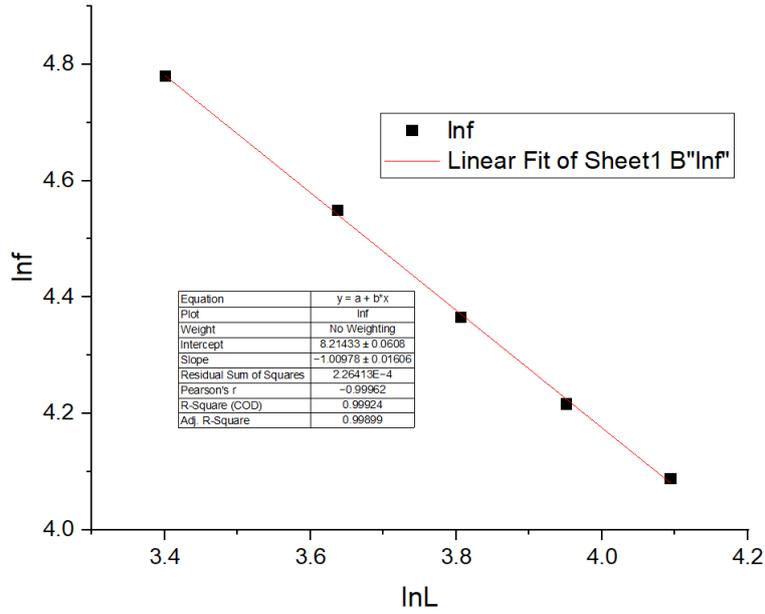


图 4:  $\ln f - \ln L$  关系图

$\ln f - \ln L$  关系图考察的是基频对数和有效长度对数的线性关系，进而通过其斜率考察基频和张力的幂次关系，由图 2 可知基频  $f$  与  $L^{-1}$  约为正比例关系。

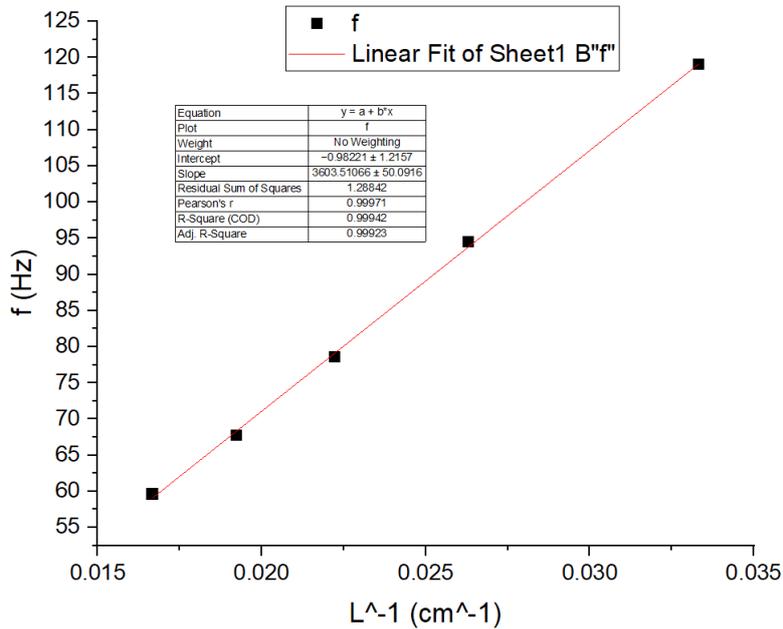


图 5:  $f - L^{-1}$  关系图

$f - L^{-1}$  关系图考察的是基频平方和有效长度倒数的线性关系，通过相关系数  $r = 0.99971$  可知  $f$  与  $L^{-1}$  基本为正比例关系，即  $f$  与  $L$  基本为反比例关系。

## 2 分析与讨论

### 2.1 主要误差来源

主要误差来自于：

1. 张力  $T$  实际情况下会比理论值小一点。
2. 弦线有效长度  $L$  和弦长  $l$  的测量存在误差。
3. 探测线圈和驱动线圈之间存在互感，会导致示波器中的波形产生畸变。

### 2.2 倍频现象

因为用到的是 7 号仪器，所以不存在探测到的频率是驱动频率的两倍的倍频现象，但是仍在实验中调节频率接近共振频率的过程中观察到了振幅先增大后震荡衰减的现象独特现象，应为一个带有阻尼的拍的现象。

### 2.3 小振动条件

本实验中设置的信号发生器的输出信号尽可能小（小于  $10 V_{\text{rms}}$ ），小振动条件满足的程度很高，对于实验结果的影响较小。

## 3 收获与感想

因为本次实验中用到的仪器的弦高度较低，对于有效弦长的固定较差，老师前来用加了一套支撑架垫高的方法尽可能解决了这个问题，让我直观地感受到了实验中的对于问题的解决的高效性和便利性。

而关于共振频率的确定的微调过程，令我更加深刻地认识到了实验工作的严谨细致、一丝不苟，希望我能够在今后的实验中，学习和体会前辈物理学家进行物理实验的精神与思想，能够真切益于我的物理学学习甚至生活之中。