

弦上驻波实验

第 10 组 9 号甘城屹

一、实验数据和现象

1. 测量弦线线密度的实验数据；

m_0/g	l/mm	$\mu/\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$
1.52	787.0	1.93×10^{-3}

2. 对同一弦线、固定有效长度和张力的研究共振频率与驻波波腹个数的关系，记录弦线从起振到共振的实验现象；

$$L=60\text{cm}, T=3\text{mg}$$

n	$f_{\text{signal}}/\text{Hz}$	f_n/Hz
1	52.7	105.2
2	105.3	212.3
3	158.4	318.4
4	211.4	423.7
5	265.2	530.9

实验现象：示波器上波形逐渐变得明显，振幅变大，直到共振时，示波器上波的振幅最大，且弦的振动最明显，也能听到弦周围空气振动发出的声响。

3. 对同一弦线、固定有效长度，研究共振频率（基频）与弦线张力关系的测量数据；

$$L=60\text{cm}, n=1$$

T/N	$f_{\text{signal}}/\text{Hz}$	f_n/Hz
--------------	-------------------------------	-----------------

9.8	32.4	64.9
19.6	43.5	86.8
29.4	52.6	105
39.2	60.4	121.3
49	67.5	134.9

4. 对同一弦线、固定张力，研究共振频率（基频）与弦线有效长度关系的测量数据：

$$T = 3mg = 29.4N, n = 3$$

L/cm	f_{signal}/Hz	f_n/Hz
30	105.9	210
36	88.3	176
42	75.7	151
48	66.1	132.2
54	58.5	117.3
60	53	106

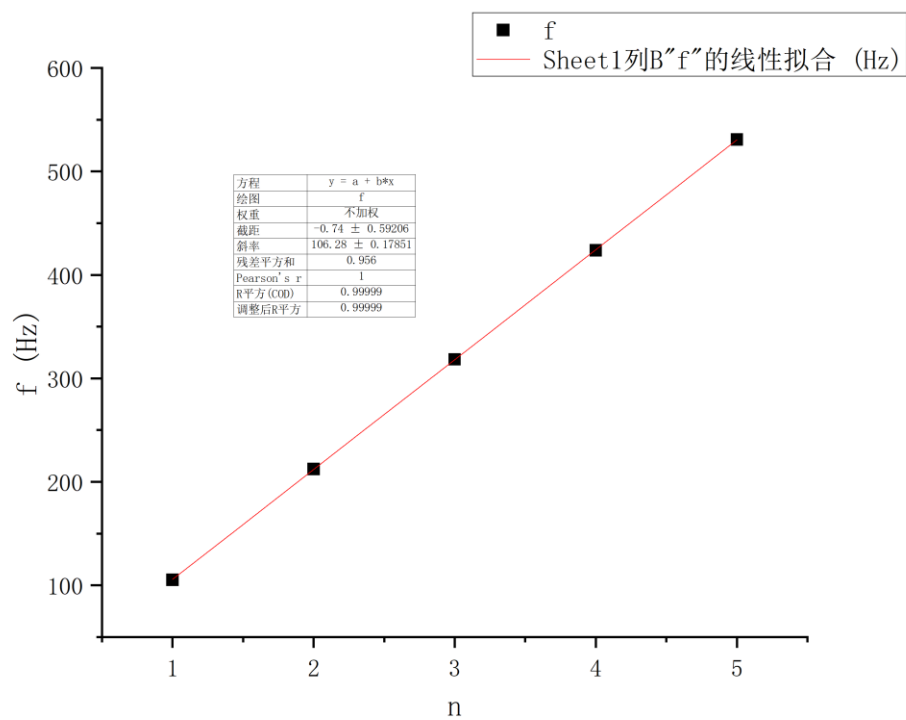
二、实验数据和现象的分析、处理和结论

1. 分析总结如何确定判断弦线共振的判据：

弦音计装置上先只摆放 detector，用手拨动弦线观察示波器上显示的频率，再用此频率乘以 n 除以 2 得到信号源频率的大概值，再放上 driver，微调信号源频率，观察到示波器上 detector 接收到的振幅由小变大再变小（期间每调一次就用手碰一下弦防止假共振），则振幅最大处弦线共振（n=1, 2 时弦线上下振动明显且伴有声音）。

2. 利用共振频率与驻波波腹个数关系的测量数据，给出弦线上横波传播速度的测量结

果；



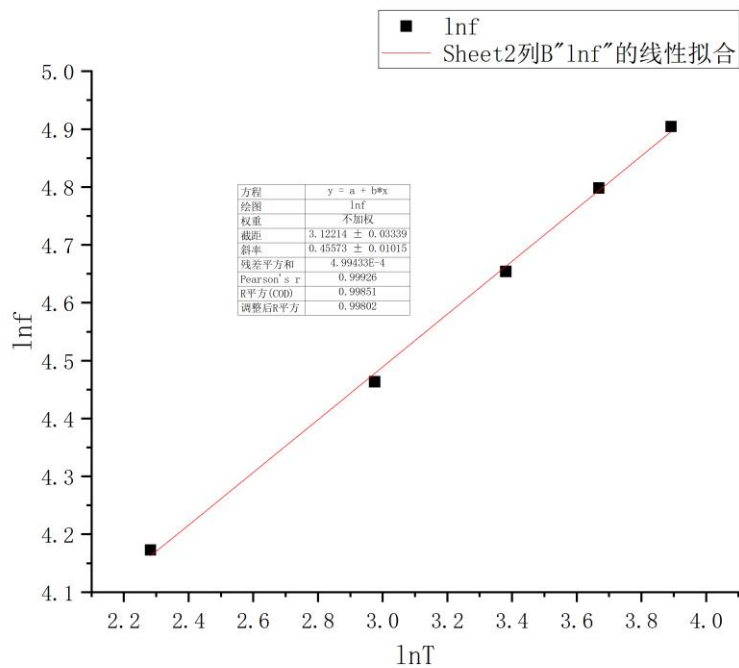
拟合得 $k = 106.28\text{Hz}$ ，结合公式 $f = n \frac{v}{2L}$ ，

$$v = 2Lk = 2 \times 0.60\text{m} \times 106.28\text{Hz} = 127.5\text{m/s}$$

3. 作图并用最小二乘法作直线拟合，研究共振频率与弦线张力及有效长度的指数关系，给出结论；

(1) 共振频率与弦线张力

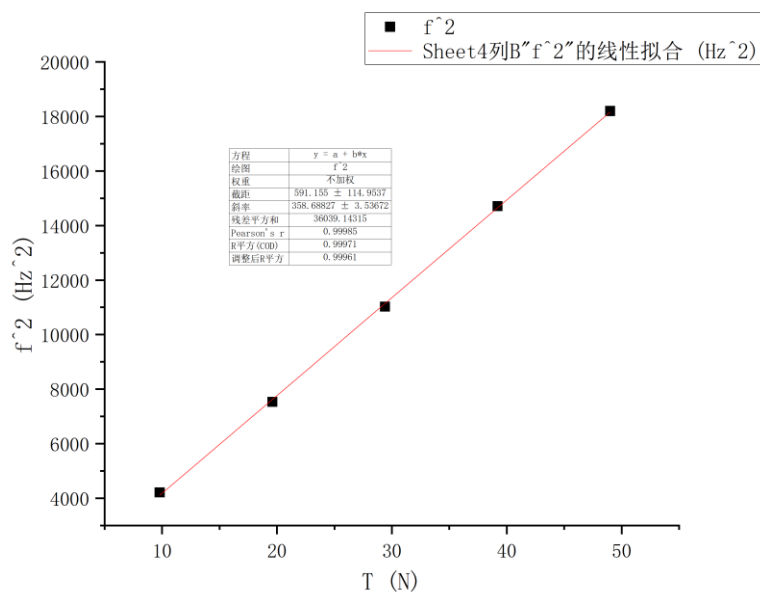
① $\ln f - \ln T$:



由拟合结果可知： $\ln f$ 与 $\ln T$ 线性相关，斜率大约为 0.5，即

$$f \propto T^{1/2}$$

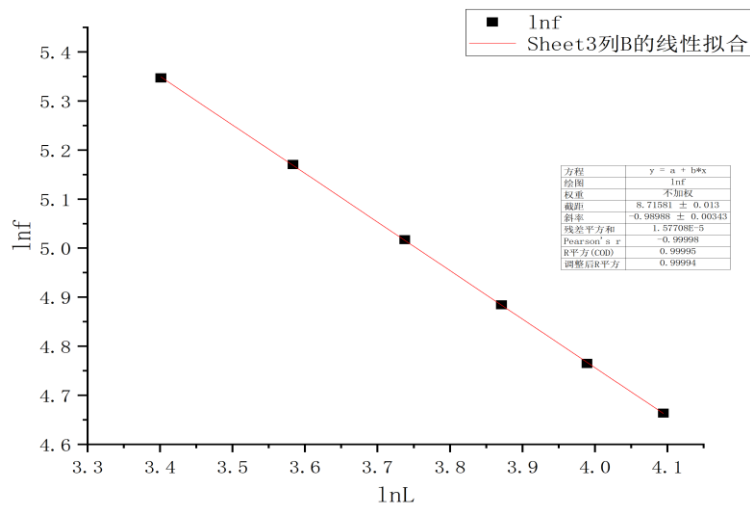
② $f^2 - T$:



由拟合结果可知： $f(\text{Hz})^2 = 358.69(T(\text{N}) + 2.285)$

(2) 共振频率与弦线张力及有效长度

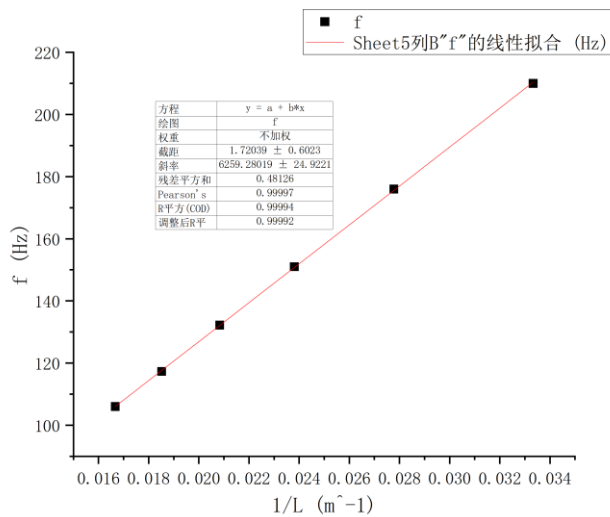
① $\ln f - \ln L$:



由图可得： $\ln f$ 与 $\ln L$ 线性相关，斜率大约为-1，即

$$f \propto L^{-1}$$

② $f - L^{-1}$:



由拟合结果可知： $f(\text{Hz}) = \frac{6259.28}{L(\text{cm})} + 1.72039$

(3)根据 (1) (2), 综合可得:

$$f \propto \frac{\sqrt{T}}{L}$$

三、进一步分析与讨论

1. 波速测量结果的误差分析:

由二. 1. 的拟合结果: $\frac{\sigma_k}{k} = \frac{0.17851}{106.28}$, 结合公式 $v = 2kL$:

$$\frac{\sigma_v}{v} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_L}{L}\right)^2} = 1.68 \times 10^{-3}$$

$$\sigma_v = 0.2m/s$$

$$v = (127.5 \pm 0.2)m/s$$

2. 对拉力 T 的系统误差的分析:

$$T = 3mg \text{ 的条件下, 波速 } v \text{ 的理论值为 } v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{29.4N}{1.93 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot m^{-1}}} = 123.42m/s$$

超出了 1 中列出的偶然误差的范围, 说明拉力存在系统误差。

(1) 由公式 $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ 及 $v = 127.5m/s$ 的测量结果, 对应的拉力大小应为:

$$T' = \mu v^2 = 1.93 \times 10^{-3} \times 127.5^2 = 31.37N$$

$$\text{说明系统误差 } \Delta T = T' - T = (31.4 - 29.4)N = 2N$$

(2) 由二. 3. (1) 中 $f^2 - T$ 图像给出的拟合结果 $f(Hz)^2 = 358.69(T(N) + 2.285)$

$$\text{可知系统误差 } \Delta T = 2.285N$$

以上两种方式得到的 T 的系统误差得到了较好的吻合, 说明拉力 T 的确存在约为两牛顿的系统误差

四. 收获与总结

1. 本实验中共振频率与弦线拉力及有效长度的指数关系与理论值存在一定误差，并非准确的 0.5 与 -1，但考虑到精度问题，可以忽略。
2. 实验过程中判断共振时一定要用手碰一下弦以防假共振而增大实验误差
3. detector 尽量放在波腹处从而使示波器上波形更加明显
4. 设置信号源频率时一定要注意单位是 Hz 而不是 kHz，否则在示波器上无法观察到想要的图像