

# 《普通物理实验》实验报告

实验名称 弦上驻波实验 实验日期 2024 年 3 月 22 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 106

## 第一部分 数据及处理

### 1 弦线密度的测量数据及结果

- 弦线直径使用外径千分尺测量结果  $d = (1.061 \pm 0.004)mm$
- 样品直径使用外径千分尺测量结果  $d = (1.068 \pm 0.004)mm$
- 样品长度使用毫米钢尺测量结果  $l = (0.6735 \pm 0.0005)m$   
注意: 由于样品拉不直, 测量结果有较大不确定度, 但是经计算对结果影响不大
- 样品质量使用电子天平测量结果  $m = (4.54 \pm 0.02)g$
- 弦线密度计算结果  $\rho = \frac{m}{l} = (6.74 \pm 0.03) \times 10^{-3}kg/m$

### 2 对同一弦线、固定有效长度和张力, 测量共振频率与驻波波腹个数的关系, 并测定波速。记录弦线从起振到共振的实验现象, 总结判定弦线达到共振的判据

- 估计基频约为 60Hz
- 砝码质量使用电子天平测量结果  $m = (1000.71 \pm 0.02)g$
- 有效长度, 即弦线两固定点之间的距离为  $L = (60.00 \pm 0.1)cm$
- 把系统调水平, 弦线上张力为  $T = 3mg = 9.80m/s^2 \times 3 \times 1000.71 = (29.42 \pm 0.01)N$
- 根据理论公式计算,

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho}} = (66.07 \pm 0.15)m/s$$

表 1: 共振频率与驻波波腹个数的关系测量数据表

n	f(信号源)/Hz	f(驻波)/Hz	f(驻波)/f(信号源)
1	30.41	60.38	1.986
2	61.12	120.7	1.975
3	91.91	183.8	2.000
4	122.7	245.0	1.997
5	153.3	306.4	1.999

# 《普通物理实验》实验报告

实验名称 弦上驻波实验 实验日期 2024 年 3 月 22 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 106

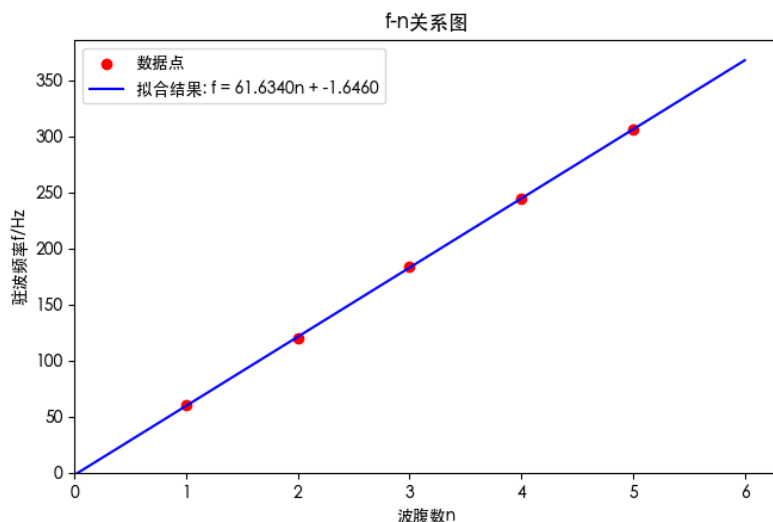


图 1: 共振频率与驻波波腹个数的关系测量数图

拟合得到的结果是:

$$f = kn + b \quad (1)$$

$$r = 0.999982 \quad (2)$$

$$\sigma_k = \sqrt{(1/r^2 - 1)/(n - 2)}k = 0.2Hz \quad (3)$$

$$k = (61.6 \pm 0.2)Hz \quad (4)$$

$$b = -1.646Hz \quad (5)$$

由于  $f = \frac{v}{2L}n$ ,

$$v = 2kL = (73.92 \pm 0.27)m/s$$

$$\rho = T/v^2 = (5.38 \pm 0.02)10^{-3}kg/m$$

1. 实验现象和判据: 开始施加周期性的外力后, 弦线开始以外力的频率进行小幅振动。频率接近弦线的某个固有频率时, 观察到输出信号迅速增大, 同时弦线发出明显的单频声音, 从侧面观察可以看见弦线的振幅增大, 出现明显且稳定的共振现象, 当振幅较大时, 可以观察到明显的波腹波节。当输出信号的稳定值达到极值, 弦线的振幅最大最稳定时, 达到共振。
2. 对比两个方法算出的波速, 其结果大致相近, 其差异主要是由于弦线样品无法拉直导致第一种方法测得的结果  $\rho$  偏大产生的误差。
3. 对比测得的驻波和信号源频率比, 几乎都在 2.000 附近, 与理论符合, 而一定的误差也说明生成波形的激发器发出的并非理想的正弦信号

# 《普通物理实验》实验报告

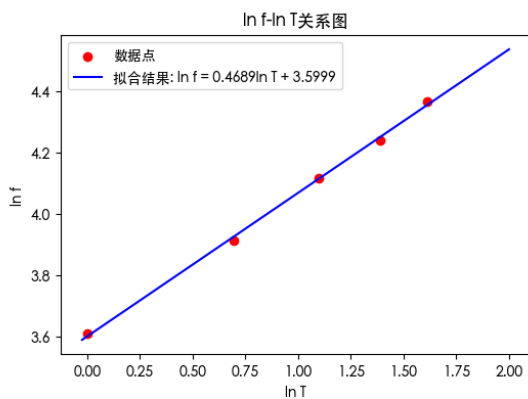
实验名称 弦上驻波实验 实验日期 2024 年 3 月 22 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 106

## 3 对同一弦线、固定有效长度、改变张力测量共振基频

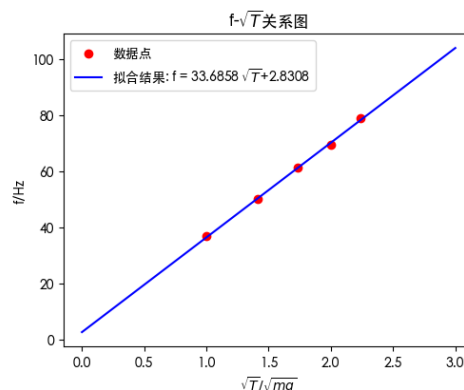
1. 砝码质量使用电子天平测量结果  $m = (1000.71 \pm 0.02)g$
2. 固定有效长度,即弦线两固定点之间的距离为  $L = (60.00 \pm 0.1)cm$
3. 把系统调水平,一单位弦线上张力为  $T = mg = 9.80m/s^2 \times 1000.71 = (9.81 \pm 0.01)N$
4. 固定测量的波腹数为  $n=1$ , 即测量基频

表 2: 基频与弦线张力关系测量数据表

张力 $T/mg$	$f(\text{信号源})/\text{Hz}$	$f(\text{驻波})/\text{Hz}$	$f(\text{驻波})/f(\text{信号源})$
1	18.39	36.87	2.005
2	25.00	50.10	2.004
3	30.30	61.27	2.022
4	34.72	69.44	2.000
5	39.18	78.84	2.012



(a) 基频与弦线张力关系测量关系图 1



(b) 基频与弦线张力关系测量关系图 2

图 2: 基频与弦线张力关系测量关系图

# 《普通物理实验》实验报告

实验名称 弦上驻波实验 实验日期 2024 年 3 月 22 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 106

---

图 1 拟合得到的结果是:

$$\ln f = k_1 \ln T + b_1 \quad (6)$$

$$r = 0.9994 \quad (7)$$

$$\sigma_{k_1} = \sqrt{(1/r^2 - 1)/(n - 2)}k_1 = 0.01 \quad (8)$$

$$k_1 = 0.47 \pm 0.01 \quad (9)$$

$$b_1 = 3.6 \quad (10)$$

图 2 拟合得到的结果是:

$$f = k_2 \sqrt{T} + b_2 \quad (11)$$

$$r = 0.9994 \quad (12)$$

$$\sigma_{k_2} = \sqrt{(1/r^2 - 1)/(n - 2)}k_2 = 0.7 \quad (13)$$

$$k_2 = (33.7 \pm 0.7) \text{Hz}/\sqrt{mg} \quad (14)$$

$$b_2 = 2.83 \quad (15)$$

$$\text{由于公式 } f = \frac{\sqrt{T}}{2L\sqrt{\rho}} \quad \rho = \left(\frac{1}{2k_2 L}\right)^2 = (6.00 \pm 0.12) \times 10^{-3} \text{kg/m} \quad (16)$$

1. 对照结果知,  $f$  和  $T$  的指数关系与理论上的 0.5 有一定的向下偏离, 原因可能是能量损耗, 系统不均匀, 小振动假设不成立等一些非线性部分导致理论公式不精确
2. 对比之前算出的波速, 其结果偏差更小, 其差异主要是由于弦线样品无法拉直导致第一种方法测得的结果  $\rho$  偏大产生的误差。
3. 对比测得的驻波和信号源频率比, 几乎都在 2.000 附近, 与理论符合, 而一定的误差也说明生成波形的激发器发出的并非理想的正弦信号

# 《普通物理实验》实验报告

实验名称 弦上驻波实验 实验日期 2024 年 3 月 22 日  
姓名 李灿辉 学号 2200017799 实验地点 南楼 106

---

## 第二部分 分析与讨论

### 1 本实验的主要误差来源

1. 弦线上的振动不是严格的驻波, 两端的固定和中间的均匀性都不是严格处理, 存在非共振频率成分
2. **Driver** 的输出不稳定, 可能输出的不是正常的正弦波形
3. **Driver** 和 **Detector** 之间存在互感现象, 而测量需要导致二者距离不可能达到足够远, 另外环境中存在的其他扰动共同构成了背景噪声
4. 示波器的读出并不是严格准确的, 另外切换频率过程中并不能完全恢复到初始状态, 故测到的结果可能并不是准确的共振频率
5. 弦线密度会由于弦拉不直而存在较大的误差, 因此测得的线密度和波速都不准确
6. 在实验中张力杠杆不严格水平, 导致张力的大小有一定的误差。

### 2 可能观察到的倍频现象

由于驱动的方式利用的是电磁感应驱动, **Driver** 对弦线施加的驱动力正比于信号的平方, 即其频率是驱动频率的两倍, 这是 **Driver** 的物理性质决定的

### 3 小振动条件满足程度对实验结果的影响

1. 在小振动条件下, 弦线的响应可以被认为是线性的, 这意味着实验观察到的频率成分将严格对应于激励的频率。如果小振动条件不满足, 即振动幅度过大, 那么非线性效应将导致实验结果出现偏差, 比如产生倍频等非线性现象。
2. 小振动条件还确保了实验的可重复性。在非线性区域, 相同的实验条件可能因为初始振动状态的微小差异而导致结果的显著不同。而在满足小振动条件的情况下, 实验结果将更加稳定可靠。
3. 因此, 小振动条件满足是实验理论上的前提条件, 偏离小振动条件会导致系统误差, 但是过于小的小振动会导致探测到的信号相比于噪音不够大, 实验准确率不足, 实验中应当选择合理的驱动电压以保证实验的准确性