

基础物理实验报告

弦上驻波

姓 名：仇 是

学 号：2200011630

指导教师姓名：

序 号：6 组 5 号

二〇二四年 6 月

1 实验现象记录与数据处理

1.1 频率与波腹数量的关系

(1) 图像绘制

在本部分实验中，固定有效长度 $L = 60.0\text{cm}$ 和张力 $T = 3\text{mg}$ ，测量共振频率 f 与驻波波腹个数 n 的关系。可以观察到，在频率逼近共振频率进阶则远离的过程中，观测到的振幅先上升后下降，在临近共振频率时急剧上升，伴随明显的弦振动声响。

共振频率 f 与驻波波腹个数 n 的关系如图 1。由公式 $f = n \frac{v}{2L}$ ，可知 $f_{\text{驻波}} - n$ 图线的斜率为 $k = \frac{v}{2L}$ ，从而波速 $v = 2Lk = 2 \times 0.6 \times 62.58 = 75.1\text{m/s}$

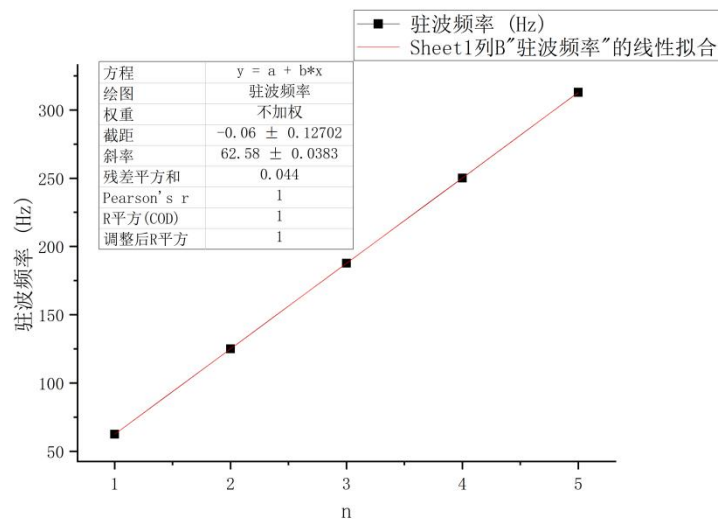


图 1 f 与 n 的关系

下面计算波速的不确定度。先计算 k 的不确定度，A 类不确定度

$$\sigma_{kA} = k \sqrt{\frac{1/r^2 - 1}{n - 2}} = 0.165\text{Hz}$$

自然数递增规律下，默认 n 的允差为 0，于是 B 类不确定度不需要计算。

于是可以计算 v 的不确定度

$$\sigma_v = v \sqrt{\left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_L}{L}\right)^2} = 0.5\text{m/s}$$

最后得 $v = (75.1 \pm 0.5)\text{m/s}$

下面通过弦线张力和线密度计算波速。测得砝码质量 $m = 999.86\text{g}$ ，弦线样品长度

$L = 545\text{mm}$ ，弦线质量 $m = 3.16\text{g}$ ，线密度 $\rho = \frac{m}{L} = 5.79\text{g/m}$ ，最后计算得到

$$v' = \sqrt{\frac{T}{\rho L}} = 72.25 \text{ m/s}$$

二者只相差 3%，实验和理论值非常接近。由于张力 $T = 3mg$ 误差较大， v' 的不确定度不再详细计算。

1.2 频率与弦线张力的关系

在控制波腹数量 $n = 1$ 的情况下，测出共振频率 f 与弦线张力 T 的关系。首先绘制 $f^2 - T$ 关系图，如图 2 所示。

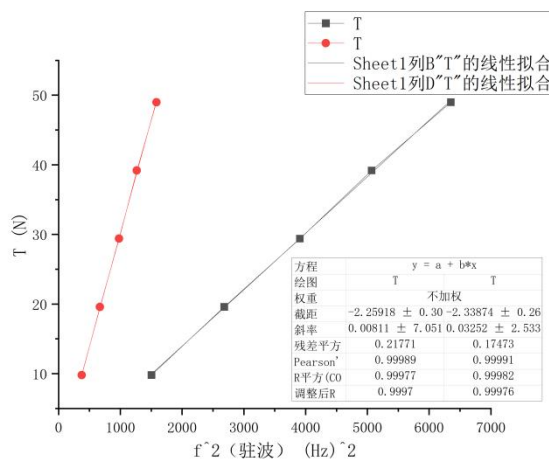


图 2 $f^2 - T$ 关系图

利用斜率反推计算线密度 ρ 如下：

由公式 (26.2) 知斜率 k 与密度 ρ 的关系式 $\rho = \frac{k}{4L^2}$ (这里 k 与书本上的 k' 互为倒数)

故计算得到 $\rho = 5.695 \text{ g/m}$

与实验直接测得的 ρ 相比，误差大约在 4% 左右，这是可以接受的。

其次考察 $\ln f - \ln T$ 的关系式，分析结果如图 3 所示。

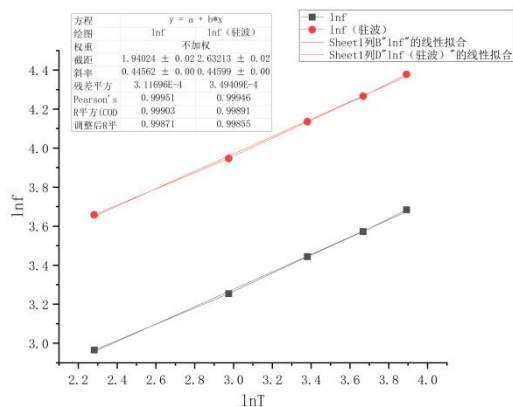


图 3 $\ln f - \ln T$ 的关系式

$\ln f - \ln T$ 的关系图斜率约为 0.5，与公式相符。然而误差较大，这可以解释为仪器误差，尤其是张力 T 的误差比较大。

1.3 频率与弦线长度的关系

固定控制张力 $T = 3\text{mg}$ ，波腹数量 $n = 1$ ，测出共振频率 f 与弦线长度 L 的关系，首先先看 $\ln f - \ln L$ 关系如图 5。

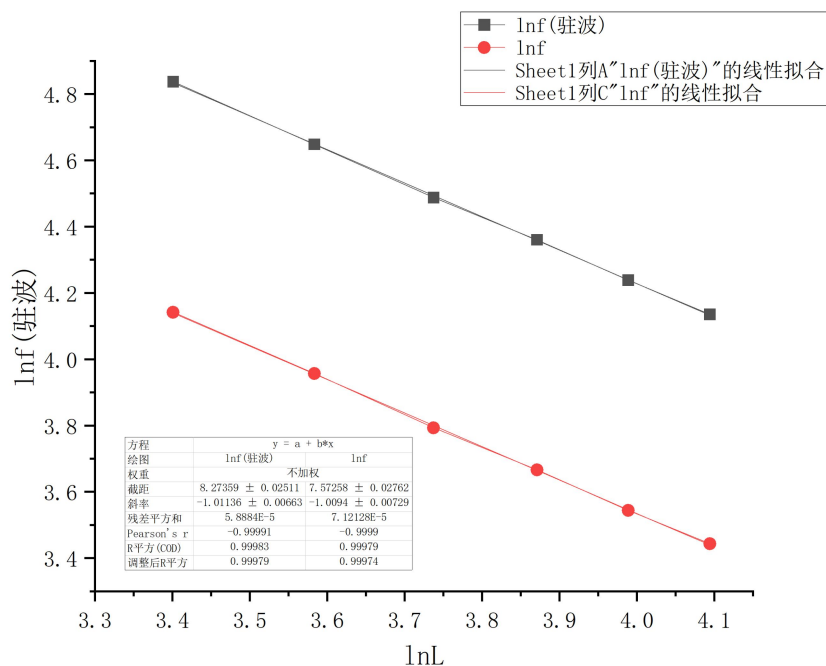
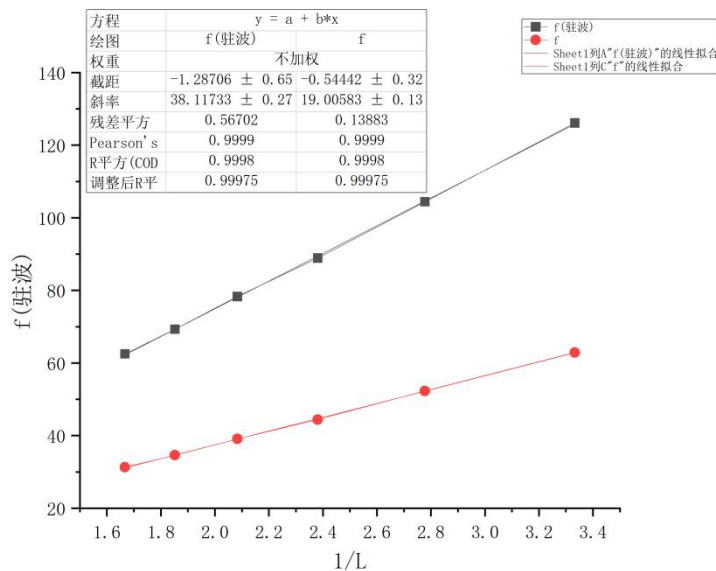


图 5 $\ln f - \ln L$ 关系图

由书本公式可知，斜率应该为-1，拟合结果与之相符，误差为 1%，结果非常好。

下面计算 f 与 L^{-1} 的关系。由公式 $k = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T}{\rho_l}}$ ，计算得到 $k = 38.13$

将所测关系绘制为图 6，如下所示：



拟合结果显示 $k=38.11$ ，两者误差小于 1%，拟合结果良好。

以上所有理论值与实验值的比较，也可以换个方式进行：通过实验测出的斜率数据反推弦线的线密度，再与线密度的实测值比较。

2 分析与讨论

2.1 误差来源

本实验的主要误差有：共振频率 f 的测量、张力 T 的测量、弦长 L 的测量。其中，对共振频率 f ，测量时信号源频率改变的步长为 0.1Hz ，对应弦受迫振动频率改变的步长为 0.2Hz ，同时示波器在读数时还会有至多 0.25Hz 的上下跳动。

分别计算得， T 的误差是实验误差的主要来源，其原因是杠杆制作不精确，器材年代久远而且调水平装置难以恒定把控。

2.2 实验先决条件

本实验必须在小振动的假设下进行，如果振动幅频过大则会使得非线性项的误差不可忽略，于是不满足最简单的简谐振动形式。

3 收获与感想

在本次实验中，通过研究弦上驻波现象，我对波动理论的物理含义和数学表达有了更深入的理解。

实验中，我通过改变弦的张力、长度和驱动频率，观察到了波腹数量、波速和共振频率之间的相互关系，这些观察结果与理论预测高度吻合，从而加深了我对波动理论的认识。