

淮南师范学院实验报告

学院： 电子工程学院 专业： 物理学 班级： 请输入

学号： 请输入 姓名： 请输入 日期： 请输入

一、实验名称：弦振动的研究

二、实验目的：

- 观察弦线上形成的驻波，掌握驻波波长的测量方法。
- 研究横波波长与弦线张力的关系，验证波长与张力平方根成正比。
- 研究横波波长与波源频率的关系，验证波长与频率成反比。
- 学习双对数线性化和最小二乘法的数据处理方法。

三、实验原理：

（一）驻波的形成

两列频率、振幅和传播速度相同而传播方向相反的简谐横波在弦线上叠加形成驻波，其简化表达式为：

$$y(x,t)=2A\cos(kx)\sin(\omega t)$$

相邻波节间距为半个波长。若长度为 L 的弦段内有 n 个半波区，则：

$$L=\frac{n\lambda}{2}, \quad \lambda=\frac{2L}{n}$$

（二）弦线上横波的传播速度

对于线密度为 μ、张力为 F_T 的均匀弦，横波传播速度为：

$$v=\sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

波速、波长与频率还满足：

$$v=\lambda\nu$$

联立得到：

$$\lambda=\frac{1}{\nu}\sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

（三）波长与弦线张力的关系

当频率 ν 和线密度 μ 保持不变时：

$$\lambda\propto F_T^{1/2}$$

$$\log\lambda=\frac{1}{2}\log F_T+C$$

所以 logλ-logF_T 图线的理论斜率为 0.5。

（四）波长与波源振动频率的关系

当张力 F_T 和线密度 μ 保持不变时：

$$\lambda\propto\nu^{-1}$$

$$\log\lambda=-\log\nu+C$$

所以 logλ-logν 图线的理论斜率为 -1。

四、主要仪器设备：弦振动实验仪、低频信号发生器、电磁振动器、滑轮、砝码与托盘、挂钩及米尺。

五、实验步骤：

（一）验证波长与张力的关系

- 连接实验装置，使弦线一端连接振动器，另一端绕过滑轮后悬挂托盘。
- 调节弦线水平，开启信号发生器，将波源频率固定为 60 Hz。
- 依次改变砝码与托盘总质量，每次调节有效弦长，使弦线上形成稳定驻波。
- 记录 m、L 和半波区个数 n，由 λ=2L/n 计算波长。
- 由 F_T=mg 计算张力，并计算 logλ 与 logF_T。

（二）验证波长与频率的关系

- 保持砝码与挂钩总质量为 100 g，使弦线张力不变。
- 依次将频率调为 60、70、80、90、100、110 和 120 Hz。
- 在每一频率下调节有效弦长，使弦线上形成清晰稳定的驻波。
- 记录 L 和 n，计算 λ、logλ 与 logν。

六、原始数据记录：

实验条件：g=9.794 m/s²；表 1 固定 v=60 Hz；表 2 固定 m=100 g。张力按 F_T=mg 计算，波长按 λ=2L/n 计算。

表 1 固定频率时波长与张力的实验数据

物理量	1	2	3	4	5	6	7
m/g	60	80	100	120	140	160	180
L/cm	99.10	118.40	119.10	67.50	71.40	77.10	63.30
n	2	2	2	1	1	1	1
λ/cm	99.10	118.40	119.10	135.00	142.80	154.20	166.60
F_T/N	0.5876	0.7835	0.9794	1.1753	1.3712	1.5670	1.7629
logλ	1.9961	2.0734	2.0759	2.1303	2.1547	2.1881	2.2217
logF_T	-0.2309	-0.1059	-0.0090	0.0701	0.1371	0.1951	0.2462

注：m 为砝码与托盘总质量，n 为半波区个数。

表 2 固定张力时波长与频率的实验数据

物理量	1	2	3	4	5	6	7
v/Hz	60	70	80	90	100	110	120
L/cm	122.00	117.80	96.20	84.40	76.10	109.00	95.00
n	2	2	2	2	2	3	3
λ/cm	122.00	117.80	96.20	84.40	76.10	72.70	63.30
logλ	2.0864	2.0711	1.9832	1.9263	1.8814	1.8615	1.8014
logv	1.7782	1.8451	1.9031	1.9542	2.0000	2.0414	2.0792

注：表中对数均为常用对数。

七、数据处理：

（一）张力、波长及对数的计算

弦线张力按砝码与托盘总质量的重力计算：

$F_T=mg$

例如，m=60 g 时，F_T=0.5876 N；L=67.50 cm、n=1 时，λ=135.00 cm。

（二）最小二乘法

设双对数坐标中的自变量为 x、因变量为 y，用直线 y=kx+b 拟合 N 组数据：

$k=\frac{N\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{N\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}, \quad b=\bar{y}-k\bar{x}$

斜率的标准不确定度、相对标准不确定度和相对误差分别为：

$u_k=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i-kx_i-b)^2}{(N-2)\sum_{i=1}^N (x_i-\bar{x})^2}}$

$u_r(k)=\frac{u_k}{|k|}\times100\%, \quad E_k=\left|\frac{k_{\text{measured}}-k_{\text{true}}}{k_{\text{true}}}\right|\times100\%$

（三）拟合结果汇总

关系	k	u_k	r	u_r	E_k
logλ-logF_T	0.4470	0.0340	0.9858	7.61%	10.60%
logλ-logv	-0.9832	0.0699	-0.9876	7.11%	1.68%

两组相关系数的绝对值均大于 0.98，表明双对数坐标下实验数据与直线模型具有较好的相关性。

（四）波长与张力关系的拟合

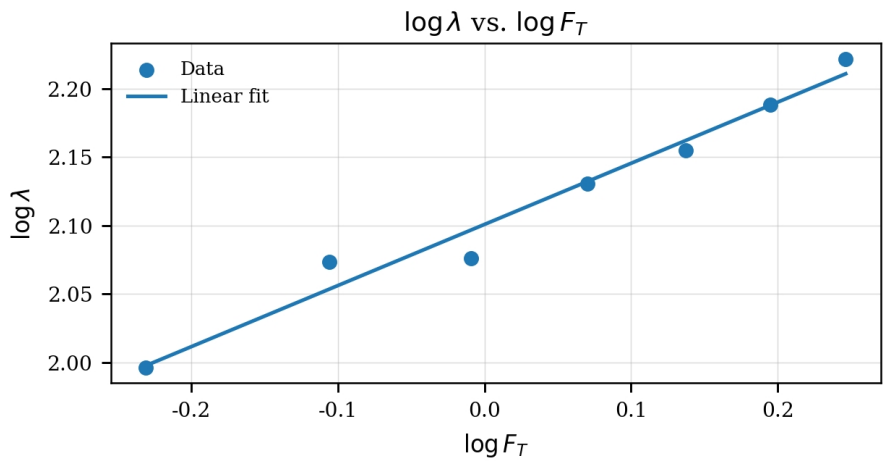


图 1 logλ-logF_T 最小二乘拟合

logλ=0.4470logF_T+2.1007

k₁=0.447±0.034

拟合斜率为 0.4470，r=0.9858，相对误差为 10.60%，实验结果基本验证 λ∝F_T^(1/2)。

（五）波长与频率关系的拟合

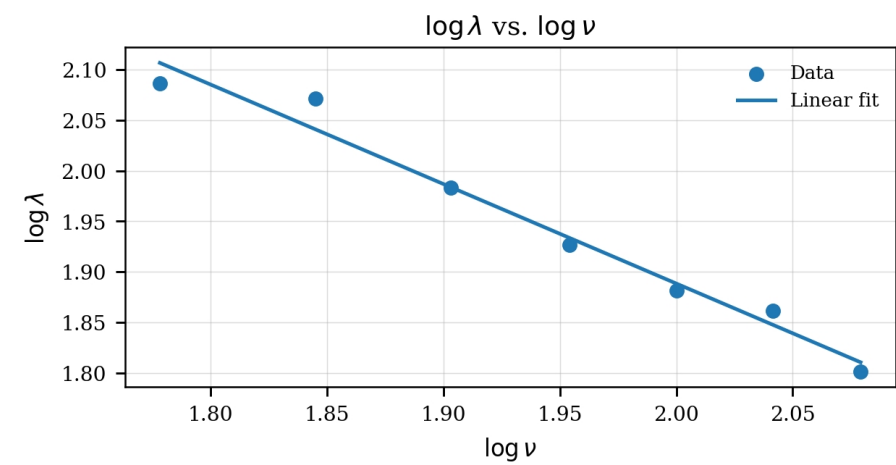


图2 $\log \lambda$ - $\log \nu$ 最小二乘拟合

$$\log \lambda = -0.9832 \log \nu + 3.8549$$

$$k_2 = -0.983 \pm 0.070$$

拟合斜率为 -0.9832， $r=-0.9876$ ，相对误差为 1.68%，较好验证了 $\lambda \propto \nu^{-1}$ 。

八、实验结果与讨论：

（一）关于驻波现象

实验中通过调节有效弦长，可观察到波节位置基本不动、相邻波腹反向振动的稳定驻波。由半波区个数和有效弦长计算波长的方法能够反映实验条件变化。

（二）关于波长与张力的关系

固定频率为 60 Hz 时，张力由 0.5876 N 增至 1.7629 N，波长总体由 99.10 cm 增至 166.60 cm。拟合斜率为 0.447 ± 0.034 ，与理论值 0.5 的相对误差为 10.60%，基本验证了波长与张力平方根成正比。

（三）关于波长与频率的关系

固定质量为 100 g 时，频率由 60 Hz 增至 120 Hz，波长由 122.00 cm 减小至 63.30 cm。拟合斜率为 -0.983 ± 0.070 ，与理论值 -1 的相对误差为 1.68%，较好验证了波长与频率成反比。

（四）两组拟合的比较

频率关系的拟合误差小于张力关系的拟合误差，说明频率作为仪器直接设定量较为稳定，而张力实验更易受到滑轮摩擦、砝码晃动及有效张力偏差的影响。