

浙 江 大 学

物 理 实 验 报 告

实验名称：固定均匀弦振动的研究

指导教师：蔡寿福

信 箱 号：

专 业：统计学

班 级：统计1401

姓 名：崔尔佳

学 号：3140104092

实验日期：9 月 24 日 星期四 上/下午

【实验目的】

1. 观察固定弦振动传播时形成的横驻波, 了解振动在弦上传播规律
2. 利用驻波特性测量均匀弦上横波传播 $v = f \cdot \lambda$
3. 利用 $T = \rho v^2$, 通过 origin 8.0 绘制曲线计算弦线密度 ρ , 并与理论值比较

【实验原理】 (电学、光学画出原理图)

1. 波动方程

固定弦振动产生的横波满足波动方程: $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$

另一方面, 在一根拉紧的弦线上, 若弦线张力为 F , 弦线密度为 ρ 则沿着弦传播的横波运动方程: $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{F}{\rho} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$

比较以上两式, 知 $v = \sqrt{\frac{F}{\rho}}$

2. 驻波产生条件及驻波方程

产生条件: $L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$ ($n=1, 2, 3$), n 为段数

沿 x 轴方向为正, 则入射波: $y_1 = d \cos 2\pi (ft - \frac{x}{\lambda})$

反射波: $y_2 = d \cos 2\pi (ft + \frac{x}{\lambda})$

得驻波方程: $y = y_1 + y_2 = 2d \cos 2\pi (\frac{x}{\lambda}) \cdot \cos 2\pi ft = 2d \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \cos \omega t$

3. 波的性质

$v = f \cdot \lambda$, 由 $L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$, 知 $v = f \cdot \frac{2L}{n}$, 这是驻波所满足的一个性质

4. 弦线密度

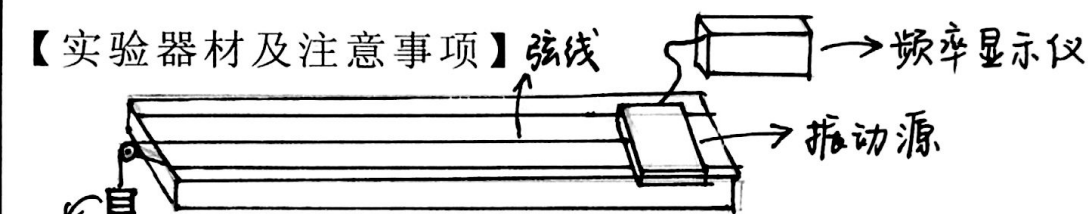
将 $v = \lambda \cdot f$ 和 $F = mg$ 代入上式, $\rho = \frac{mg}{f^2 \lambda^2} = \frac{mg}{v^2}$

【实验内容】（重点说明）

1. 接通电源, 调整弦振动的频率为90Hz左右, 等到示数稳定记录相应 f (四位有效数字)
2. 保持频率不变, 在棉线一端挂上40g砝码, 拉动振动源在导轨上移动, 调出3个驻波, 测出中间一个驻波的长度
3. 根据驻波长度, 计算波的长度, 由 $v = f \cdot \lambda$ 计算 v 的实际值, 从而得到 v^2 的实际值
4. 改变砝码的重量, 由40g起以5g每次的重量增加至75g, 重复2、3步骤, 记录八组数据, 保留四位有效数字
5. 在origin 8.0上绘制 ~~弦线~~ ^{$T-v$} 图像, 根据 $v \cdot \rho_{\text{实}} = T$ 公式, 通过作图法求弦线密度 ρ 即为曲线的斜率, 保留四位有效数字
6. 将作图法计算出的 $\rho_{\text{实}}$ 与 $\rho_{\text{理}} = 0.1024 \times 10^{-3} \text{ kg/m}$ 比较, 计算误差

$$E_{\rho} = \frac{|\rho_{\text{理}} - \rho_{\text{实}}|}{\rho_{\text{理}}} \times 100\%$$

【实验器材及注意事项】



实验装置的振动源与弦线一端相连, 频率由频率调节旋钮调节, 弦线另一端挂有砝码, 保持频率不变, 拉动振动源, 改变驻波的段数, 并使驻波完全稳定。

注意事项: 1) 等到频率稳定再进行测量;

2) 砝码在振动源达到极限位置依然不能出现合理驻波时应及时调整;

3) 必须等到驻波明显且稳定时再测量, 振动源最好沿一个最大方向拉动;

4) 实验要区分铜线和棉线, 不同材料实验条件不同

5) 为减小实验误差, 应多次测量取平均值

【数据处理与结果】

在本次实验中, $g = 9.793 \text{ m/s}^2$, 固定 $f = 90.09 \text{ Hz}$

由 $T = m \cdot g$, 依次计算并保留四位有效数字, 得到 T 的值

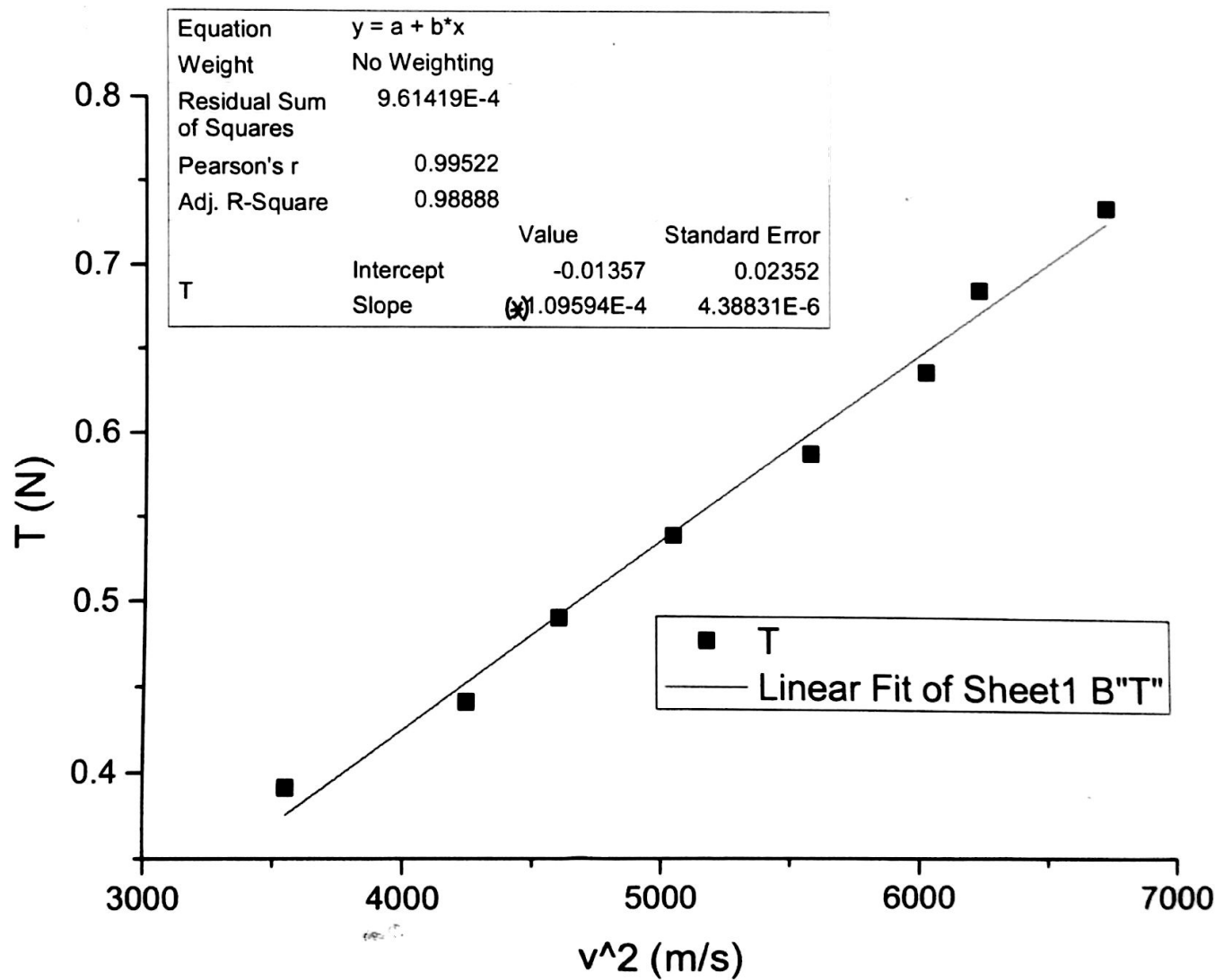
由 $x_2 - x_1 = \frac{\lambda}{2}$, $\bar{v} = f \cdot \lambda$, 得 $\bar{v}^2 = f^2 \cdot 4(x_2 - x_1)^2$, 此时先将 x_1, x_2 转换为国际单位制(m)再作计算, 得到 \bar{v} 保留四位有效数字
得到 T 和 \bar{v} 数据共八组: 作 $T - \bar{v}^2$ 图

$T (\text{N})$	$\bar{v}^2 (\text{m}^2/\text{s}^2)$
0.3911	3550
0.4407	4246
0.4897	4607
0.5386	5056
0.5876	5595
0.6365	6046
0.6855	6250
0.7345	6740

在 origin 8.0 中对这八组数据线性拟合, 发现均在误差允许范围内, 故保留, 得到结果见最下表:

根据 $T = \rho_{\text{实}} \bar{v}^2$, 拟合直线的斜率即为 $\rho_{\text{实}}$ 的数值, 由图中 (*) 数据知, $\rho_{\text{实}} = 0.1096 \times 10^{-3} \text{ kg/m}$ (*) 值即为拟合直线斜率) (保留四位有效数字)

$$E_p = \frac{|p_{\text{理}} - p_{\text{实}}|}{p_{\text{理}}} \times 100\% = \frac{7.0}{70.0} \%$$



【误差分析】

1. 实验室提供的频率稳定仪器在整个实验过程中不能使频率保持恒定, 手的不断变化带来粗大误差;
2. 在测量中间一个驻波段的波长时, 多次测量取平均值, 采取取波节左右两端平均值方法测量可有效减小随机误差;
3. 砝码被部分腐蚀, 质量与标注不符, 存在系统误差;
4. 在拉动振动源的过程中, 由于设备老化, 难以使弦线振动过程中维持明显驻波, 存在系统误差。

【实验心得及思考题】

实验心得:

1. 在测量驻波段的长度时, 在目测静止的左端和右端分别测量, 再取两者平均值, 是一种减少误差的方法, 也方便了读数。
2. 测量过程中, 对于所得的数据应充分考虑量程与精度, 保留四位有效数字增强了实验结果的准确性。
3. 作图求解 P 的过程中, 使用 $T-v^2$ 图, 则斜率即为 P 实, 比使用 v^2-T 图测得 P 实再求 P 实的精度高, 也便于从拟合直线中直接读数。
4. 使用 origin 8.0 拟合直线, 通过图像可简洁高效反映出结果, 不失为一种好方法, 学习此软件也会给以后学习带来帮助。
5. 以后自己应注意不能圈铅笔记录数据。

思考题:

1. 两个振幅相同的相干波在同一直线沿相反方向传播叠加形成驻波, 振幅相同, 频率相同, 传播方向相反。
2. 在形成驻波后测驻波段长度 $\Delta x = \frac{\lambda}{2}$, 依据 $v = f \cdot \lambda$ 且 $v = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$, 在 T 和 ρ 已知的前提下得到频率 $f = \frac{1}{2\Delta x} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$ 波长
3. 测量驻波段长度时难以确定波节位置, 从而使 λ 误差较大, 是误差主要来源。

【数据记录及草表】

$$f = 90.09 \text{ Hz}, \quad g = 9.793 \text{ m/s}^2$$

$$\rho_{\text{理}} = 0.1024 \times 10^{-3} \text{ kg/m}$$

$m(\text{g})$	x_1	$x_2(\text{cm})$	$\bar{v}^2 (\text{m/s}^2)$
40	32.33	65.40	3550
45	35.30	71.83	4246
50	37.50	75.50	4607
55	39.77	79.28	5056
60	41.56	83.07	5595
65	42.43	85.85	6046
70	43.55	87.50	6250
75	45.80	91.42	6740

教师签字：

