# 实验题目：弦振动的研究

成绩 10 张亮

同组人：[redacted] 实验日期、时段：5 月 8 日 二 时段 教师签名：

## 一、实验目的与要求

1. 观察弦线上驻波的形成，用驻波法测量弦线上横波波长λ和振动频率f.

2. 研究弦线振动横波波长λ和线密度ρ与张力T的关系.

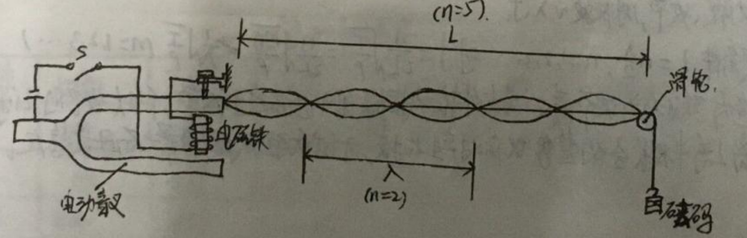
3. 掌握曲线改直、对数作图的方法.

## 二、实验仪器

电动音叉、电源、细弦线、滑轮、砝码、米尺等.

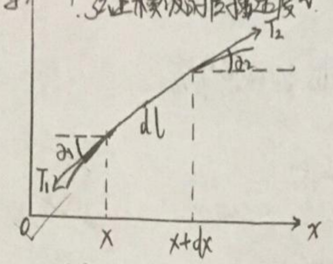
## 三、实验原理（用自己语言组织）

测量弦线上的波长λ，用"驻波法"，即采用在弦线上形成驻波的方法测量. 将弦线的一端固定在电动音叉的一个振动脚上，另一端经过支架上狭缝跨过滑轮挂一个砝码，使弦线上有一定张力T. 具体装置如图所示.




弦振动实验仪.

1. 弦上横波的传播速度$v$.



横波的传播.

$$T_2\cos\alpha_2 - T_1\cos\alpha_1 = 0$$

$$T_2\sin\alpha_2 - T_1\sin\alpha_1 = \rho ds\frac{d^2y}{dt^2}$$

其中 $dl \approx dx$，$\alpha_1 \approx \alpha_2 \approx 0$，设~~拉力~~张力 $T = mg$.

则整理可得 $\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{T}{\rho}\cdot\frac{d^2y}{dx^2}$

由简谐波的波动方程：$\frac{d^2y}{dt^2} = v^2\frac{d^2y}{dx^2}$ 可得.

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho}} = \sqrt{\frac{mg}{\rho}}$$

2. 振动频率$f$与横波波长$\lambda$

$v = f\lambda$. $\lambda = \frac{1}{f}\sqrt{\frac{T}{\rho}} = \frac{1}{f}\sqrt{\frac{mg}{\rho}}$ $f = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{\rho}} = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{mg}{\rho}}$.

两边取对数得 $\ln\lambda = \frac{1}{2}\ln T - \frac{1}{2}\ln\rho - \ln f$. 即 $\lambda \propto \sqrt{T}$，$\lambda \propto \rho^{-\frac{1}{2}}$

3. 驻波的形成和特点.

正向传播：$y_1 = A\cos 2\pi(ft - \frac{x}{\lambda}) = A\cos(\omega t - kx)$

反向传播：$y_2 = A\cos 2\pi(ft + \frac{x}{\lambda}) = A\cos(\omega t + kx)$

两波叠加：$y = y_1 + y_2 = 2A\cos kx\cos\omega t$

令 $|2A\cos\frac{2\pi x}{\lambda}| = 0$ 得波节的位置坐标 $x = \pm(2n+1)\frac{\lambda}{4}$，$n = 0, 1, 2, \cdots$

令 $|2A\cos\frac{2\pi x}{\lambda}| = 2A$ 得波腹的位置坐标为 $x = \pm m\frac{\lambda}{2}$，$m = 0, 1, 2, \cdots$

相邻两波节(或波腹)的距离为半波长$\frac{\lambda}{2}$ 即 $x_m - x_{m+1} = \frac{\lambda}{2}$.

4. 根据波腹、波节，测横波$v$、$\lambda$、$f$.

驻波条件 $L = n\frac{\lambda}{2}$，$n = 1, 2, 3\cdots$ 则 $f = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\rho}} = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{mg}{\rho}} = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{\rho}}$ $(n = 1, 2, 3, \cdots)$

支撑点内弦两端为波节，而又端点处振动振幅很小也接近于波节，所以当它们之间的距离$L$为半波长$\frac{\lambda}{2}$的整数倍时产生共振，形成的驻波振幅最大而且最稳定。

## 四、实验内容与步骤

1. 用驻波法测音叉频率f、波长λ.

① 按原理图装好仪器，使音叉振动端与滑轮间距离约为1m，弦线上挂上适当的砝码（如40g）将弦线拉直，接通电源，使音叉正常振动。

② 移动支架板改变弦长，使弦上产生2-6个稳定的驻波，观察驻波现象。

③ 在固定张力 $T=mg=0.040\times9.8N$ 的情况下，选取一定的波腹数n，如n=4，反复测量L和波长λ 5次，记入表中。（注意每次测量应仔细调节，形成稳定的驻波）。

④ 根据给定的弦线密度ρ，由公式计算音叉的振动频率f，求 $E_f$，$f\pm\sigma_f$，$E_f$ 的数值。

2. 研究波长λ与张力T的关系

① 固定ρ，改变张力T，如 T=0.040，0.060，0.080，0.100，0.120（×9.8N），测出相应的波腹数n和弦长L，再由公式求出驻波波长λ；记入表中。

② 根据公式及数据，在坐标纸上作 lgλ－lgT 直线图，并求其斜率K，亦可用线性拟合求其斜率K。

## 五、数据记录(数据表格自拟)

测量音叉频率的数据记录表格

| 次数 | L(m) | $\bar{L}$(m) | T(N) | ρ(kg/m) | f(Hz) | n |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.5900 | | | | | |
| 2 | 0.5860 | | | | | |
| 3 | 0.5910 | 0.5908 | 0.588 | $1.71\times10^{-4}$ | 99.3 | 2 |
| 4 | 0.5970 | | | | | |
| 5 | 0.5900 | | | | | |

lgλ－lgT 关系

| 次数 | m(kg) | T(N) | lgT | L(m) | n | λ(m) | lgλ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.020 | 0.20 | -0.70 | 0.5100 | 3 | 0.34 | -0.47 |
| 2 | 0.040 | 0.39 | -0.41 | 0.7130 | 3 | 0.48 | -0.32 |
| 3 | 0.060 | 0.59 | -0.23 | 0.5900 | 2 | 0.59 | -0.23 |
| 4 | 0.080 | 0.78 | -0.11 | 0.6400 | 2 | 0.68 | -0.17 |
| 5 | 0.100 | 0.98 | -0.0088 | 0.3860 | 1 | 0.76 | -0.12 |

## 六、数据处理(要有详细过程,包括不确定度计算等)

一.

$\rho = (1.71 \pm 0.02)\times 10^{-4}\,kg/m$ $\quad m = (160.0 \pm 2.6)g \quad \Delta l = 2mm.$

对 $L$:

$$\bar{L} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} L_i = \frac{0.5900 + 0.5860 + 0.5910 + 0.5970 + 0.5900}{5} = 0.5908m$$

$$\sigma_{LA} = t_p\sqrt{\frac{\sum(\bar{L}-L_i)^2}{n(n-1)}} = 1.14 \times \sqrt{\frac{(0.5908-0.5900)^2+(0.5908-0.5860)^2+(0.5908-0.5910)^2+(0.5908-0.5970)^2+(0.5908-0.5900)^2}{5\times(5-1)}}\,m$$

$$= 0.0020\,m$$

$$\sigma_{LB} = \frac{\Delta L}{\sqrt{3}} = \frac{2mm}{\sqrt{3}} = 0.0012m$$

$$\sigma_L = \sqrt{\sigma_{LA}^2 + \sigma_{LB}^2} = \sqrt{0.0020^2 + 0.0012^2}\,m = 0.0023m$$

$$E_L = \frac{\sigma_L}{\bar{L}} = \frac{0.0023m}{0.5908m} \times 100\% = 0.4\%$$

$\therefore$ $\begin{cases} L = (\bar{L} \pm \sigma_L) = (0.5908 \pm 0.0023)m \\ E_L = 0.4\% \end{cases}$

对f：$f=\frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\rho}}=\frac{2}{2\times0.5908}\sqrt{\frac{0.588}{1.71\times10^{-4}}}\,\mathrm{Hz}=99.3\,\mathrm{Hz}$

$$E_f=\frac{\sigma_f}{f}=\sqrt{\left(\frac{\sigma_L}{L}\right)^2+\frac{1}{4}\left(\frac{\sigma_T}{T}\right)^2+\frac{1}{4}\left(\frac{\sigma_\rho}{\rho}\right)^2}$$

$$=\sqrt{\left(\frac{0.0023}{0.5908}\right)^2+\frac{1}{4}\left(\frac{0.6}{60.0}\right)^2+\frac{1}{4}\left(\frac{0.02}{1.71}\right)^2}\approx0.9\%$$

$$\sigma_f=E_f\cdot f=0.9\%\times99.3\,\mathrm{Hz}=0.9\,\mathrm{Hz}$$

$$\therefore\begin{cases}f=(\bar{f}\pm\sigma_f)=(99.3\pm0.9)\,\mathrm{Hz}\\E_f=0.9\%\end{cases}$$

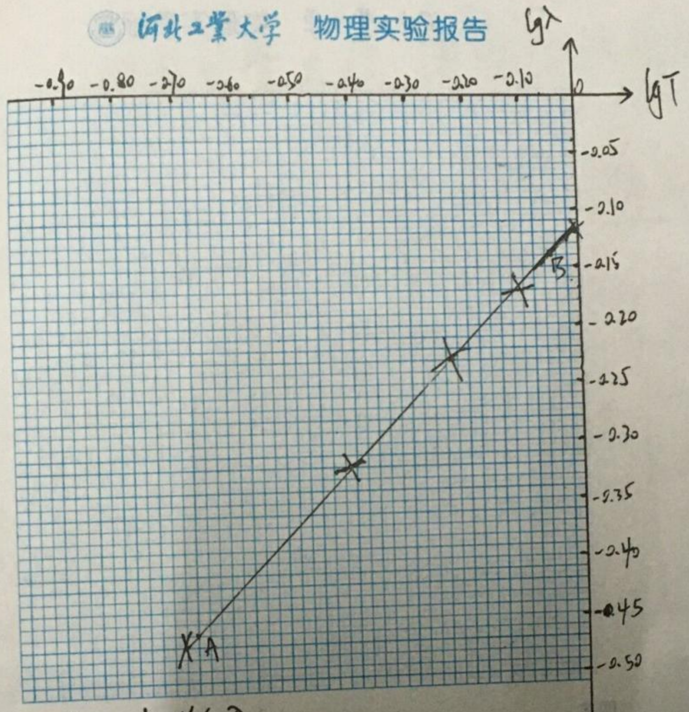
二. 图中取两点 $A(-0.68,-0.46)$ $B(-0.05,-0.14)$

$$\therefore k=\frac{-0.14-(-0.46)}{-0.05-(-0.68)}=\frac{0.32}{0.63}=0.508$$

$f=\frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{T}{\rho}}$ 两边取对数得 $\lg\lambda=\frac{1}{2}\lg T-\frac{1}{2}\lg\rho-\lg f$，$k_0=\frac{1}{2}=0.5$

~~$k\approx k_0$~~ $\because$ $0.508\approx0.5$ 即 $k\approx k_0$

河北工业大学 物理实验报告




图名：lgλ－lgT关系图

| 次数 | m(kg) | T(N) | lgT | l(m) | n | λ(m) | lgλ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.020 | 0.20 | -0.70 | 0.5100 | 3 | 0.34 | -0.47 |
| 2 | 0.040 | 0.39 | -0.41 | 0.7130 | 3 | 0.48 | -0.32 |
| 3 | 0.060 | 0.59 | -0.23 | 0.5900 | 2 | 0.59 | -0.23 |
| 4 | 0.080 | 0.78 | -0.11 | 0.6400 | 2 | 0.68 | ~~[illegible]~~ -0 |
| 5 | 0.100 | 0.98 | -0.0088 | 0.3800 | 1 | 0.76 | -0.12 |

# 河北工業大学 课程作业用纸

专业 [illegible] 班 姓名 [illegible] 日期

测量弦线频率的数据记录表格

| 次数 | l(m) | $\bar{l}$(m) | T(N) | ρ(kg/m) | f(Hz) | n |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.5900 | 0.5908 | 0.588 | $1.71\times10^{-4}$ | 99.3 | 2 |
| 2 | 0.5860 | | | | | |
| 3 | 0.5910 | | | | | |
| 4 | ~~[illegible]~~ 0.5970 | | | | | |
| 5 | 0.5900 | | | | | |

张亮

lgλ – lgT 关系

| 次数 | m(kg) | T(N) | lgT | l(m) | n | λ(m) | lgλ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.020 | 0.20 | -0.70 | 0.5100 | 3 | 0.34 | -0.47 |
| 2 | 0.040 | 0.39 | -0.41 | 0.7130 | 3 | 0.48 | -0.32 |
| 3 | 0.060 | 0.59 | -0.23 | 0.5900 | 2 | 0.59 | -0.23 |
| 4 | 0.080 | 0.78 | -0.11 | 0.6400 | 2 | 0.68 | ~~[illegible]~~ -0.17 |
| 5 | 0.100 | 0.98 | -0.0088 | 0.3800 | 1 | 0.76 | -0.12 |