

一. 实验目的

1. 掌握弦线上形成驻波方法, 观察驻波形成过程.

2. 用两种不同方法测定电动音叉频率

3. 用最小二乘法拟合直线, 验证波速与张力关系

二. 实验器材

电动音叉, 弦线, 滑轮, 砝码组, 支架及米尺

三. 实验原理

驻波的形成, 通常是在入射波与反射波相互叠加情况下发生. 如果把弦线一端 A 固定在音叉上, 另一端固定在音叉上, 另一端通过滑轮系上砝码 m, 使弦线中拉力为 T.

若 A、B 间距离即弦长 l 恰为半波长的整数, 即:

$$l = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

则 A 和 B 之间形成稳定驻波.

在张力 T 不变情况下, 波的传播速度 v 与弦线密度 ρ 之间关系为:

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

而波长 λ , 频率 f 及波速关系为:

$$v = \lambda f.$$

由此可得: $\lambda = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$, $f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$

四. 实验内容

1. 在砝码质量为 100g 下, 移动支架形成尽可能多的稳定驻波数, 用米尺测量 B、C 间波长的距离

4 次, 然后求出音叉固有频率

2. 在不同张力 $T = 50, 70, 100, 130, 160, 200$ ($9.8 \times 10^{-3} \text{ N}$) 下, 测出对应波长 λ_i , 以验证 λ 与 \sqrt{T} 的

关系. 并根据曲线斜率求音叉固有频率 f .

五. 数据记录与处理.

已知: $\rho = (1.94 \pm 0.09) \times 10^{-4} \text{ (kg/m)}$

1. 固定张力 $T = 0.98 \text{ N}$ 时的波长

单位: cm $u_{\lambda_i} = 0.17 \text{ mm}$

i 物理量	1	2	3	4	平均
λ_i	40.11	40.65	40.69	40.52	40.49
$S_{\lambda_i} = 0.275$	$S_{\bar{\lambda}} = 0.133$		$u_{\sigma\lambda} = 0.091$		$u_{\lambda} = 0.093$

$$u_T = \varepsilon_T / \sqrt{3} = 0.396$$

$$\bar{f} = 175.530$$

$$u_f = 0.202$$

$$\text{结果表达式: } f = (175.530 \pm 0.202) \text{ Hz}$$

由弦线长为: $l = 170.04 \text{ cm}$, 质量: $m = 0.33 \text{ g}$

$$\text{则: } \rho = \frac{m}{l} = 1.94 \times 10^{-4} \text{ kg/m}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{40.11 + 40.65 + 40.69 + 40.52}{4} = 40.49 \text{ cm}$$

$$S_{\lambda_i} = \sqrt{\frac{(\lambda_1 - \bar{\lambda})^2 + (\lambda_2 - \bar{\lambda})^2 + (\lambda_3 - \bar{\lambda})^2 + (\lambda_4 - \bar{\lambda})^2}{4-1}} = 0.275$$

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_{k_i}}{\sqrt{n}} = 0.133$$

$$u_{a\lambda} = t(p, k) \cdot S_{\bar{x}} = 0.091$$

$$u_{\lambda} = \sqrt{u_{a\lambda}^2 + u_{b\lambda}^2} = 0.093$$

$$u_T = \frac{\sum T}{\sqrt{3}} = \frac{0.686}{\sqrt{3}} = 0.396$$

$$\text{由 } f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}} = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{T}{\rho}}, \text{ 则 } \bar{f} = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3} + \frac{1}{\lambda_4} \right) \sqrt{\frac{T}{\rho}} = 175.53 \text{ N}$$

$$u_f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial T} u_T \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \rho} u_{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \lambda} u_{\lambda} \right)^2} = 0.202$$

2. 波长与张力的关系

i 物理量	1	2	3	4	5	6
m_i	49.93	69.88	99.93	129.82	159.82	199.77
$\sqrt{T_i}$	0.699	0.828	0.989	1.128	1.251	1.399
λ_i	27.35	32.91	38.88	44.60	49.61	55.89

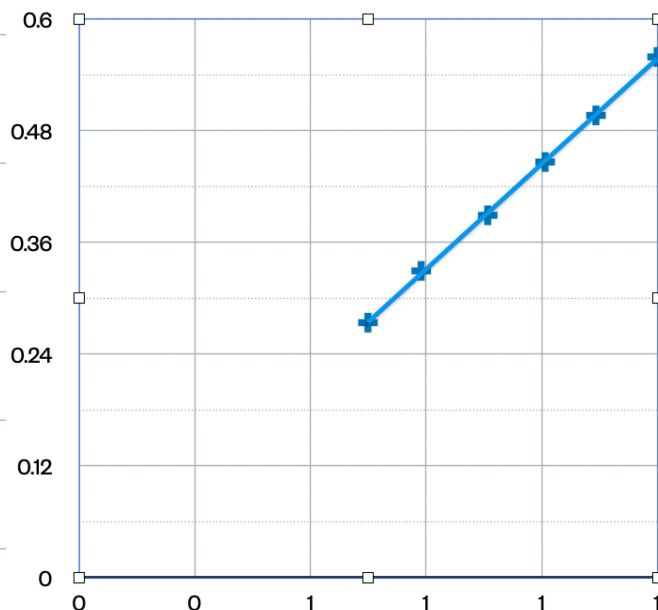
$$\text{由 } f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{T}{\rho}} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{f \sqrt{\rho}} \sqrt{T}$$

(1) 由最小二乘法可得: $\lambda = a_0 + a_1 \sqrt{T}$

$$a_1 = 0.404, \quad a_0 = -8.715 \times 10^{-3}$$

$r = 0.9998$, 故 λ 与 \sqrt{T} 成正比关系

$$(2) a_1 = \frac{1}{f \sqrt{\rho}} \Rightarrow f = \frac{1}{a_1 \sqrt{\rho}} = 177.71 \text{ Hz}$$



已知: $\rho = (1.94 \pm 0.09) \times 10^{-4}$ (kg/m)

1. 固定张力 $T = 0.98\text{N}$ 时的波长

单位: cm $u_{b\lambda} = 0.17\text{mm}$

i 物理量	1	2	3	4	平均
λ_i	49.79	48.32	48.60	49.14	49.00
$S_{\lambda_i} = 0.650$	$S_{\bar{\lambda}} = 0.325$		$u_{a\lambda} = 0.222$		$u_{\lambda} = 0.223$

$$u_T = \frac{\varepsilon_T}{\sqrt{3}} = 0.396$$

$$\bar{f} = 145.14\text{Hz}$$

$$u_f = 0.713$$

结果表达式: $f = (145.14 \pm 0.713)\text{Hz}$

由弦线长为: $l = 170.04\text{cm}$, 质量: $m = 0.33\text{g}$

$$\text{则: } \rho = \frac{m}{l} = 1.94 \times 10^{-4} \text{ kg/m}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{49.79 + 48.32 + 48.60 + 49.14}{4} = 49.00 \text{ cm}$$

$$S_{\lambda_i} = \sqrt{\frac{(\lambda_1 - \bar{\lambda})^2 + (\lambda_2 - \bar{\lambda})^2 + (\lambda_3 - \bar{\lambda})^2 + (\lambda_4 - \bar{\lambda})^2}{4-1}} = 0.650$$

$$S_{\bar{\lambda}} = \frac{S_{\lambda_i}}{\sqrt{n}} = 0.325$$

$$u_{a\lambda} = t(p,k) \cdot S_{\bar{\lambda}} = 0.222$$

$$u_{\lambda} = \sqrt{u_{a\lambda}^2 + u_{b\lambda}^2} = 0.223$$

$$u_T = \frac{\varepsilon_T}{\sqrt{3}} = \frac{0.686}{\sqrt{3}} = 0.396$$

$$\text{由 } f = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{T}{\rho}} = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{T}{\rho}}, \text{ 则 } \bar{f} = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3} + \frac{1}{\lambda_4} \right) \sqrt{\frac{T}{\rho}} = 145.14\text{Hz}$$

$$u_f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial T} u_T \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \rho} u_{\rho} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \lambda} u_{\lambda} \right)^2} = 0.713$$

2. 波长与张力的关系

i 物理量	1	2	3	4	5	6
m_i	49.97	59.99	69.97	79.99	99.94	109.96
$\sqrt{T_i}$	0.700	0.767	0.828	0.885	0.990	1.038
λ_i	35.90	38.42	41.85	44.52	51.13	52.27

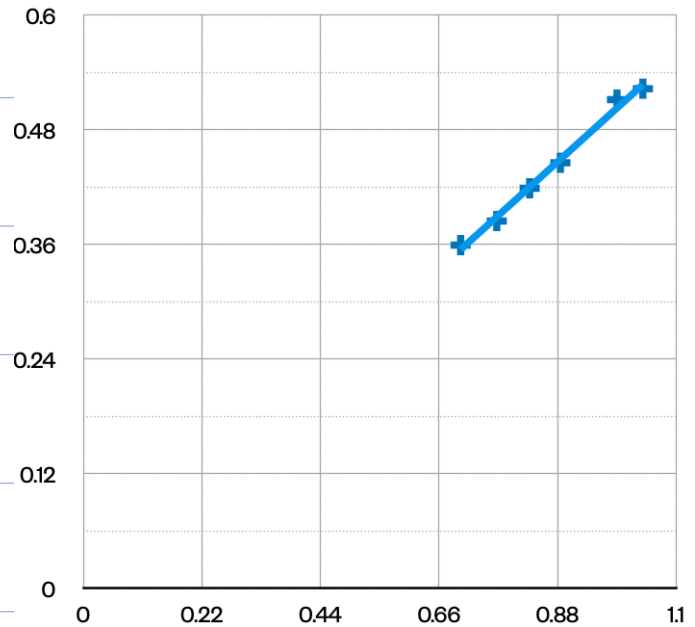
$$\text{由 } f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{T}{\rho}} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{f \sqrt{\rho}} \sqrt{T}$$

$$\text{由最小二乘法可得: } \lambda = a_0 + a_1 \sqrt{T}$$

$$a_1 = 0.511, \quad a_0 = -3.147 \times 10^{-3}$$

$r = 0.9966$, 故 λ 与 \sqrt{T} 成正比关系

$$\text{由 } a_1 = \frac{1}{f \sqrt{\rho}} \Rightarrow f = \frac{1}{a_1 \sqrt{\rho}} = 140.50 \text{ Hz}$$



六. 思考题

1. 导致 λ 与 \sqrt{T} 不为线性关系, T 越大, 所测得 f 偏大

选取弹性较弱的绳子, T 变化幅度不宜过大

绳子受力和长度变化不宜过大的绳子.

2. 分别测出质量与长度后得出. 控制频率 f 与 ρ 不变, 分别改变 T 和 ρ . 观察其变化规律

4. (1) 当 m 变化过大时, L 可能发生改变, 仅可以得到散点无法连续变化

(2) 可连续变化, 测得多组数据; 但入可能过小导致不易观察驻波发生情况.

九. 数据处理

已知: $\rho = \quad \pm \quad$ (kg/m)

99.93g

1. 固定张力 $T = 0.98\text{N}$ 时的波长

单位: $u_{\lambda} =$

i 物理量	1	2	3	4	平均
λ_i	40.11	40.65	40.69	40.52	
$s_{\lambda_i} =$	$s_{\bar{\lambda}} =$		$u_{\sigma\lambda} =$		$u_{\lambda} =$

$$u_T = \varepsilon_T / \sqrt{3} =$$

$$\bar{f} =$$

$$u_f =$$

结果表达式: $f =$

2. 波长与张力的关系

i 物理量	1	2	3	4	5	6
m_i	50	70	100	130	160	200
$\sqrt{T_i}$						
λ_i	27.55	32.91	38.88	44.60	49.61	55.89

张径

49.93g

$$L = 85.02 \text{ cm} \times 2 = 170.04 \text{ cm}$$

69.88g

$$90 - 58.85 = 31.15$$

99.93g

$$90 - 49.89 = 40.11$$

129.82g

$$70 - 29.35 = 40.65$$

159.82g

$$50 - 7.21 = 40.69$$

199.77g

$$80 - 43.09 = 36.91$$

$$70 - 31.2 = 38.88$$

$$49.95$$

$$129.82 +$$

$$\frac{69.95}{199.77}$$

九. 数据处理

已知: $\rho = \quad \pm \quad$ (kg/m)

1. 固定张力 $T = 0.98\text{N}$ 时的波长

单位: $u_{\lambda} =$

i 物理量	1	2	3	4	平均
λ_i	49.79	48.32	48.60	49.14	
$s_{\lambda_i} =$	$s_{\lambda} =$		$u_{\lambda} =$		$u_{\lambda} =$

$$u_T = \varepsilon_T / \sqrt{3} =$$

$$\bar{f} =$$

$$u_f =$$

结果表达式: $f =$

2. 波长与张力的关系

i 物理量	1	2	3	4	5	6
m_i	49.97	59.99	69.97	79.99	99.94	109.96
$\sqrt{T_i}$						
λ_i	35.90	38.42	41.85	44.52	51.13	52.27

