

弦上驻波实验

雷逸鸣

1 弦线的线密度测量

实验弦直径: $d_e = 1.091mm$

样品线直径: $d_c = 1.058mm$

直径相近, $\frac{\Delta d}{d} = 3.1\%$.

可以使用样品弦的线密度参数近似认为是试验弦的参数。

样品弦长度: $L = 775.0mm$

样品弦质量: $m = 4.57g$

线密度: $\mu = \frac{m}{L} = 5.90 \times 10^{-3} kg \cdot m^{-1}$

2 f-N 关系

2.1 基本参数:

实验弦长度: $L = 60.0cm$

砝码质量: $M = 1.00kg$

重力加速度: $g = 9.801m/s^2$

弦上张力: $T = 3Mg = 29.4N$

表 1 共振频率随驻波波腹个数变化关系数据

N	f_c/Hz	f_e/Hz	$\Delta f/f$	$v_c/(m/s)$	$v_e/(m/s)$	$\Delta v/v$
1	58.8	62.8	6.4%	70.6	75.36	6.3%
2	117.7	127.4	7.6%	70.6	76.44	7.6%
3	176.5	189.9	7.1%	70.6	75.96	7.1%
4	235.3	253.9	7.3%	70.6	76.17	7.3%
5	294.1	324.9	9.4%	70.6	78.0	9.4%

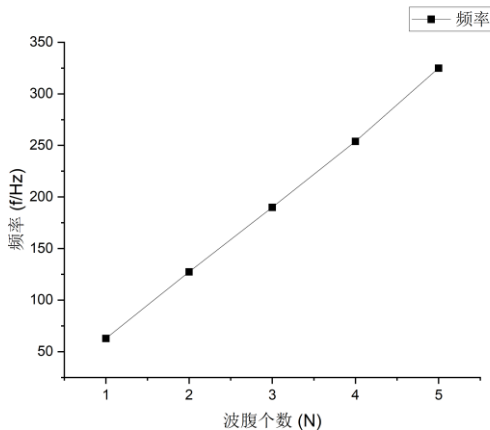


图 1 共振频率随驻波波腹个数变化关系

2.2 理论公式:

上述数据处理中, 共振频率理论公式:

$$f_c = \frac{N}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

波速理论公式:

$$v_c = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

实验波速公式:

$$v_e = \frac{2L}{N} f_e$$

2.3 实验现象:

在实验中, 当调节 driver 输出频率使之逐渐接近共振频率时, 可以观察到弦线振幅逐渐增大, 到最大值时开始敲打 driver 和 detector。同时, 我们会观测到弦线出现倍频的现象, 即在一个驱动器为基频时, 发现弦线出现两个波腹。

在实验中, 我们观察到以不同的方向改变频率, 测得的共振频率略有不同, 对此现象, 我们认为这是由于在弦线达到受迫振动振幅极大值时, 此时的弦线振幅不再满足小振幅条件, 因而会因不同方向趋近共振频率时测得不同的频率值。

在找到共振频率所处的范围时, 可以将信号源电压峰峰值调小, 进而更精细的测量共振频率。

根据所测数据, f 与 N 满足线性关系。

3 f-T 关系

3.1 基本参数:

实验弦长度: $L = 60.0cm$

砝码质量: $M = 1.00kg$

重力加速度: $g = 9.801m/s^2$

弦上张力: $T = k \cdot Mg$ (k 为整数)

表 2 共振频率随弦上张力变化关系数据

T/N	f_c/Hz	f_e/Hz	$\Delta f/f$	$\ln f_e$	$\ln T$
9.80	34.0	38.0	10%	3.637	2.282
19.6	48.0	52.5	8.5%	3.960	2.976
29.4	58.8	63.1	6.8%	4.145	3.381
39.2	67.9	74.8	9.2%	4.315	3.669
49.0	76.0	83.1	8.6%	4.420	3.892

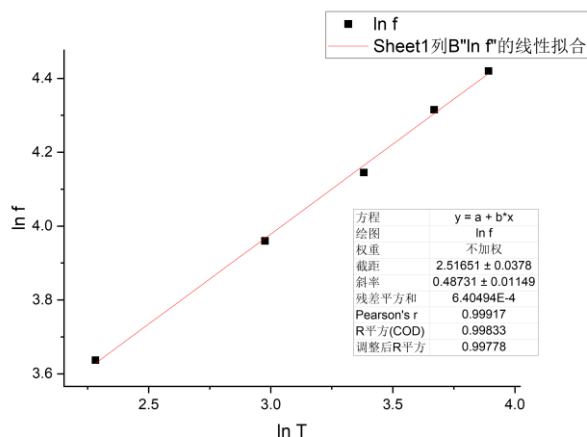


图 2 共振频率随弦上张力变化关系

3. 2 理论公式:

由:

$$f = \frac{N}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

变换得:

$$\ln f = \frac{1}{2} \ln T + \ln \frac{N}{2L\sqrt{\mu}}$$

将两者关系的参数记为:

$$\ln f = k \ln T + b$$

理论值:

$$k_c = 0.5$$

$$b_c = 2.38$$

将图 2 拟合数据与上式比较可知:

$$k = 0.487 \pm 0.011$$

$$b = 2.526 \pm 0.037$$

斜率理论值近似处于置信区间之内, 截距与理论值差距较大, 可能是弦线密度的测量误差较大导致的。

4 f-L 关系

4. 1 基本参数:

波腹个数: $N = 1$ 砝码质量: $M = 1.00\text{kg}$ 重力加速度: $g = 9.801\text{m/s}^2$ 弦上张力: $T = 3Mg = 29.4\text{N}$

表 3 共振频率随有效长度变化关系数据

L/cm	f_c/Hz	f_e/Hz	$\Delta f/f$	$\ln f_e$	$\ln L$
40.0	88.2	95.7	7.8%	4.561	3.689
47.5	74.3	80.8	8.0%	4.392	3.861
55.0	64.2	69.5	7.6%	4.241	4.007
62.5	56.5	60.8	7.1%	4.108	4.135
70.0	50.4	54.8	8.0%	4.004	4.248

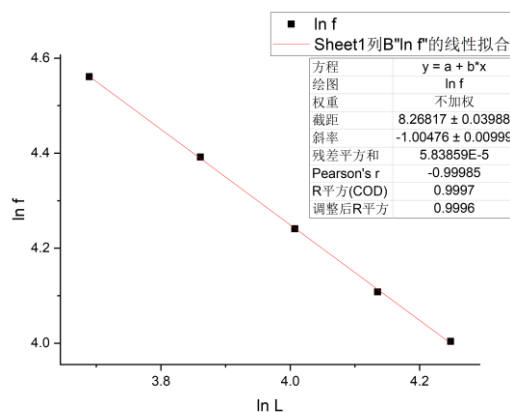


表 3 共振频率随有效长度变化关系

4. 2 理论公式:

由:

$$f = \frac{N}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

得到:

$$\ln f = -\ln L + \ln \frac{N\sqrt{T}}{2\sqrt{\mu}}$$

记:

$$\ln f = k \ln L + b$$

由理论计算:

$$k = -1$$

$$b = 8.27$$

由线性拟合得到:

$$k = -1.004 \pm 0.009$$

$$b = 8.268 \pm 0.039$$

实验与理论吻合度较好。

5 分析与讨论

1. 观察实验结果，我们可以发现实验测得的共振频率普遍较大，这主要是由于弦线密度测量误差较大引起的。弦线由于长时间处于弯曲状态，测量得到的长度相较于实际值偏小。
2. 倍频现象：我认为原因是磁性物质（**driver**）存在磁滞现象，在驱动磁性物质时，将其施力做傅里叶展开，倍频项系数与基频量级相近导致的。
3. 在实验过程中，共振区间对应的频率往往在一定的范之中时，在找到共振区间之后，可以将信号源电压峰峰值调小，进而更精细的测量共振频率。

姓名 雷建鸣

学号 2300011454

星期一 第 5 组

页码 01 /

实验十三. 弦上驻波实验.

1. 测量弦的线密度.

$$\text{实验弦直径: } d_e = \overline{1.58} \text{ mm} \quad \overline{1.091} \text{ mm}$$

$$\text{样品弦直径: } d_c = \overline{1.058} \text{ mm} \quad m = 4.57 \text{ g}$$

$$\frac{\Delta d}{d} \approx 3.1\%$$

$$\mu = \frac{m}{L} = 5.90 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$L = 775.0 \text{ mm}$$

$$2. \text{ 绳上张力 } F_t = 3mg = \overline{7.801} \text{ N} \quad 29.4 \text{ N}$$

$$v_t = \sqrt{\frac{F_t}{\mu}} = \overline{40.8} \text{ m/s} \quad 70.6 \text{ m/s}$$

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F_t}{\mu}}$$

$$L_0 = 60.0 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = \frac{2L_0}{n} \Big|_{n=1} = \overline{1.200} \text{ m}$$

$$f_1 = \frac{v_t}{\lambda_1} = \overline{25.5} \text{ Hz} \quad 58.8 \text{ Hz}$$

$$f_e = 62.67 \text{ Hz}$$

3.	N	f_c / Hz	f_e / Hz	$\left \frac{\Delta f}{f_{ce}} \right \%$	v_c	v_e	$\left \frac{\Delta v}{v_{ce}} \right \%$
	1	58.8	62.77				
	2	117.7	127.4				
	3	176.5	189.9				
	4	235.3	253.9				
	5	294.1	324.9				

姓名

学号

星期

第

组

页码

/

4. $f-T$.

T/N	f_c/Hz	f_e/Hz	$\left \frac{\Delta f}{f_{ce}}\right \%$	$V_c/m/s$	$V_e/m/s$	$\left \frac{\Delta V}{V_{ce}}\right \%$
9.801	33.96	37.96				
19.60	48.03	52.47				
29.40	58.83	63.12				
39.20	67.93	74.78				
49.01	75.95	83.12				

5. $f-L$.

L/cm	f_c/Hz	f_e/Hz	$\left \frac{\Delta f}{f_{ce}}\right \%$	$V_c/m \cdot s^{-1}$	$V_e/m \cdot s^{-1}$	$\left \frac{\Delta V}{V_{ce}}\right \%$
40.00	68.62	88.24	95.74			
47.5	77.77	74.31	80.81			
55.0	86.66	64.18	69.45			
62.5	95.77	56.48	60.81			
70.0	104.77	50.42	54.82			

2024.3.8