

大学物理实验报告

第一部分 (实验目的与原理)

学部(院) 电子信息学院 姓名 乔洪煜寒 学号 2028410073 专业 电科

实验日期 _____ 成绩 _____

【实验名称】

弦振动的研究

【实验目的】

1. 观察驻波的形式, 归纳驻波性质
2. 弦振动的研究: 弦振动的波长与弦张力之间的关系

【实验原理】

1. 波长与张力的关系

在一根拉紧的弦线上, 其中张力为 T , 线密度为 ρ 则沿弦线传播的横波应满足运动方程:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{T}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

相比较, 可得到波的传播速度:

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

典型的波动方程:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = v^2 \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

若波源的振动频率为 f , 波长为 λ , 根据波动公式可得波速为:

$$v = f\lambda$$

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

可得波长与张力之间的关系

2. 波长的测量——驻波

振幅相同、频率相同、振动方向相同、同相差恒定的两列波在同一直线上相向传播叠加而形成的一种看起来停驻不前的波形, 称为驻波。波的叠加引起的驻波是一种重要的振动现象, 它广泛存在于自然现象之中, 管、弦、板、膜的振动都可形成驻波。驻波在声学、无线电学和光学等领域都有重要的应用, 利用驻波可以测定波长, 也可确定振动系统的固有频率。

弦振动可视为一维的波动, 绷紧的弦线上一点作横向受迫振动, 会导致横波沿弦线传播并在其端点发生反射, 前进波与反射波干涉便产生驻波。

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

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

式中 x 为质点的位置坐标; t 为时间; A 为振幅; f 为频率; $\omega = 2\pi f$ 称为圆频率; λ 为波长;

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 称为波矢; $v = \lambda f$ 为波的传播速度

波长的测量——驻波:

两列波叠加的结果,任一点 x 的合成振动为:

驻波方程: $y = y_1 + y_2 = 2A \cos kx \cos \omega t$

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

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



相邻两波节(腹)的距离为半个波长,由此可见,只要从实验中测得波节或波腹间的距离,就可以确定波长

$2A \cos kx$ 是各点的振幅它只与 x 有关,即各点的振幅随着其与原点的距离 x 的不同而异。公式表明,当形成驻波时,弦线上的各点作振幅为 $|2A \cos \frac{2\pi x}{\lambda}|$, 频率皆为 f 的简谐振动。

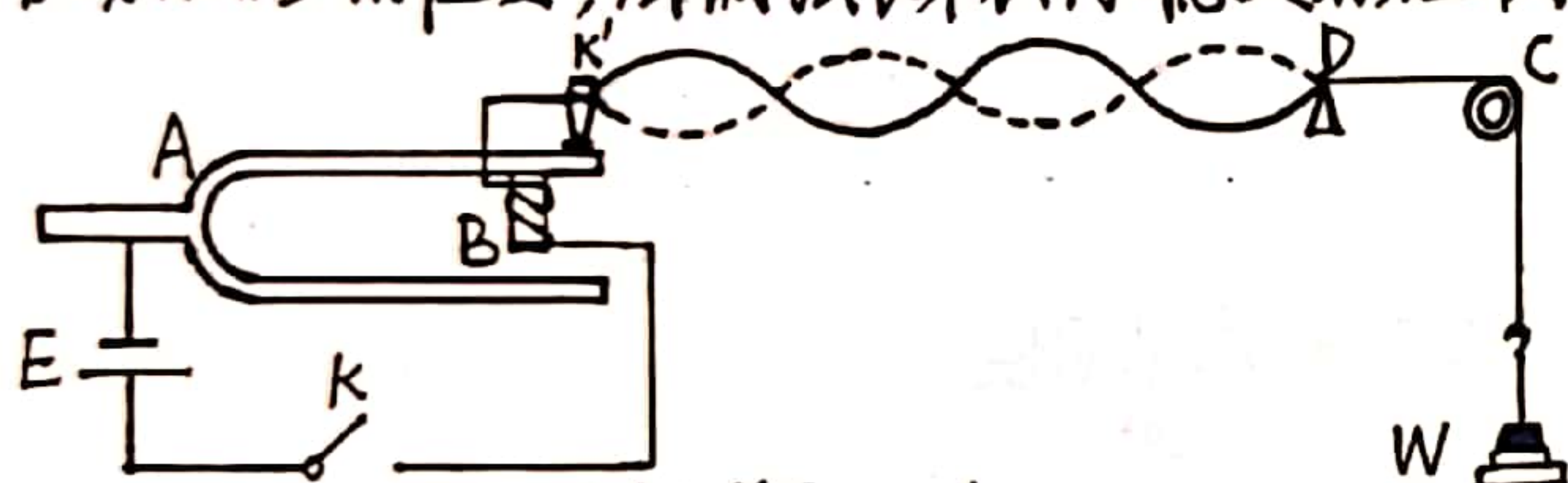
3. 波长测量的实现:

从波的运动方程容易得出前进波、反射波都是波动方程的解,以及根据驻波波节(波腹)的位置方程可以看出,当弦长满足一定条件时弦振动方式为驻波,为简明起见,设 $x=0$ 及 $x=L$ 处 $y=0$, 即视弦的两端为固定,则驻波条件可记为:

$L = n\frac{\lambda}{2}$, ($n=1,2,\dots$ 为弦上半波个数)

即形成驻波后可方便地测得波长 λ

本实验测量 λ 时,就是把弦振动调整到驻波状态而进行的,可在初选固定张力下慢慢移动反射端 D 的位置,细调弦长来获得稳定的驻波。



弦线的波长: $\lambda = \frac{2L}{n}$

弦线的张力: $T = mg$

m 为砝码及砝码托的质量和

4. 弦振动波长与张力关系的验证

验证 $\lambda = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$ 关系时可采用直观的图解法,对关系式取对数: $\lg \lambda = \frac{1}{2} \lg T - \frac{1}{2} \lg \rho - \lg f$

因 ρ, f 均为确定值故以 $\lg \lambda$ 对 $\lg T$ 作图应获得的图像为直线,且其斜率为 $\frac{1}{2}$

【实验仪器】

FD-SWE-II 弦线上驻波实验仪、砝码

大学物理实验报告

第二部分 (实验记录)

学部(院) 电子信息学院 姓名 乔洪煜寒 学号 2028410073 专业 电科实验日期 2021.4.15 成绩 _____

【原始实验数据及实验现象记录】

$m+m_0$	x_1 (cm)	x_2 (cm)	$ x_1-x_2 =x$	波段数 n	$\lambda_i = \frac{2x}{n}$	$T(N)$	$\lg \lambda_i$	$\lg T(N)$
25.0+39.0	63.00	31.50	31.50	2				
50.0+39.0	75.50	37.50	38.00	2				
75.0+39.0	86.40	43.20	43.20	2				
100.0+39.0	96.00	47.50	48.50	2				
125.0+39.0	106.00	53.00	53.00	2				
150.0+39.0	115.50	57.70	57.80	2				

$$m_0 = 39.0g$$

$$\rho = 2.75 \times 10^{-4} \text{kg/m}^3$$

$$T = (m+m_0)g, \quad g = 9.794 \text{m/s}^2$$

$$f = 75.00 \text{Hz}$$

大学物理实验报告

第三部分（实验方法与结果讨论）

学部（院） 电子信息学院 姓名 乔洪煜寒 学号 2028410073 专业 电科

实验日期 _____ 成绩 _____

【实验方法及步骤】

1. 观察弦振动驻波的形成

挂好弦线并通电,调节振子螺钉(注意不可过紧)使音叉振动起来,固定弦长约为70cm,手按弦线以改变张力,观察弦上形成不同半波个数时的驻波。取 $n=1,2,3,4,5$,可从手感觉张力 F_T 的不同,并估计其大概数值。

2. λ - F_T 关系研究

(1) 取 $n=1$ 和适当的砝码,并使 F_T 一定,微调弦长 L (通过沿着弦线方向慢慢移动支撑点D),获得稳定、最大的振幅,并且振动仅沿 y 方向(无 z 方向运动),记下 L , F_T 及 λ

(2) 再分别取 $n=2,3,4,5$,重复上述细调过程,记下相应的 L , F_T , λ (F_T 的取值应注意, F_T 对应于 $\frac{1}{n}$)

(3) 取对数 $\lg \lambda$, $\lg F_T$, 并作 $\lg \lambda$ - $\lg F_T$ 图,以验证其线性关系及振动频率

(4) 对本实验进行误差分析

(5) 写出各测量结果不确定度表达方式,即 $\lambda_i = \bar{\lambda}_i + u_{c,i}$

【实验数据处理及实验结果】

$m+m_0$	$x_1(\text{cm})$	$x_2(\text{cm})$	$ x_1-x_2 =x$	波段数 n	$\lambda_i = \frac{2x}{n}$	$T(\text{N})$	$\lg \lambda_i$	$\lg T(\text{N})$
25.0+39.0	63.00	31.50	31.50	2	31.50	0.63	1.50	-0.20
50.0+39.0	75.50	37.50	38.00	2	38.00	0.87	1.58	-0.06
75.0+39.0	86.40	43.20	43.20	2	43.20	1.12	1.64	0.05
100.0+39.0	96.00	47.50	48.50	2	48.50	1.36	1.69	0.13
125.0+39.0	106.00	53.00	53.00	2	53.00	1.61	1.72	0.21
150.0+39.0	115.50	57.80	57.80	2	57.80	1.85	1.76	0.27

$$m_0 = 39.0\text{g}$$

$$\rho = 2.75 \times 10^{-4} \text{kg/m}^3$$

$$T = (m+m_0)g, \quad g = 9.794 \text{m/s}^2$$

$$f = 75.00\text{Hz}$$

【问题讨论】

(1) 来自两个波源的两列波, 沿同一直线作相向行进时, 能否形成驻波?

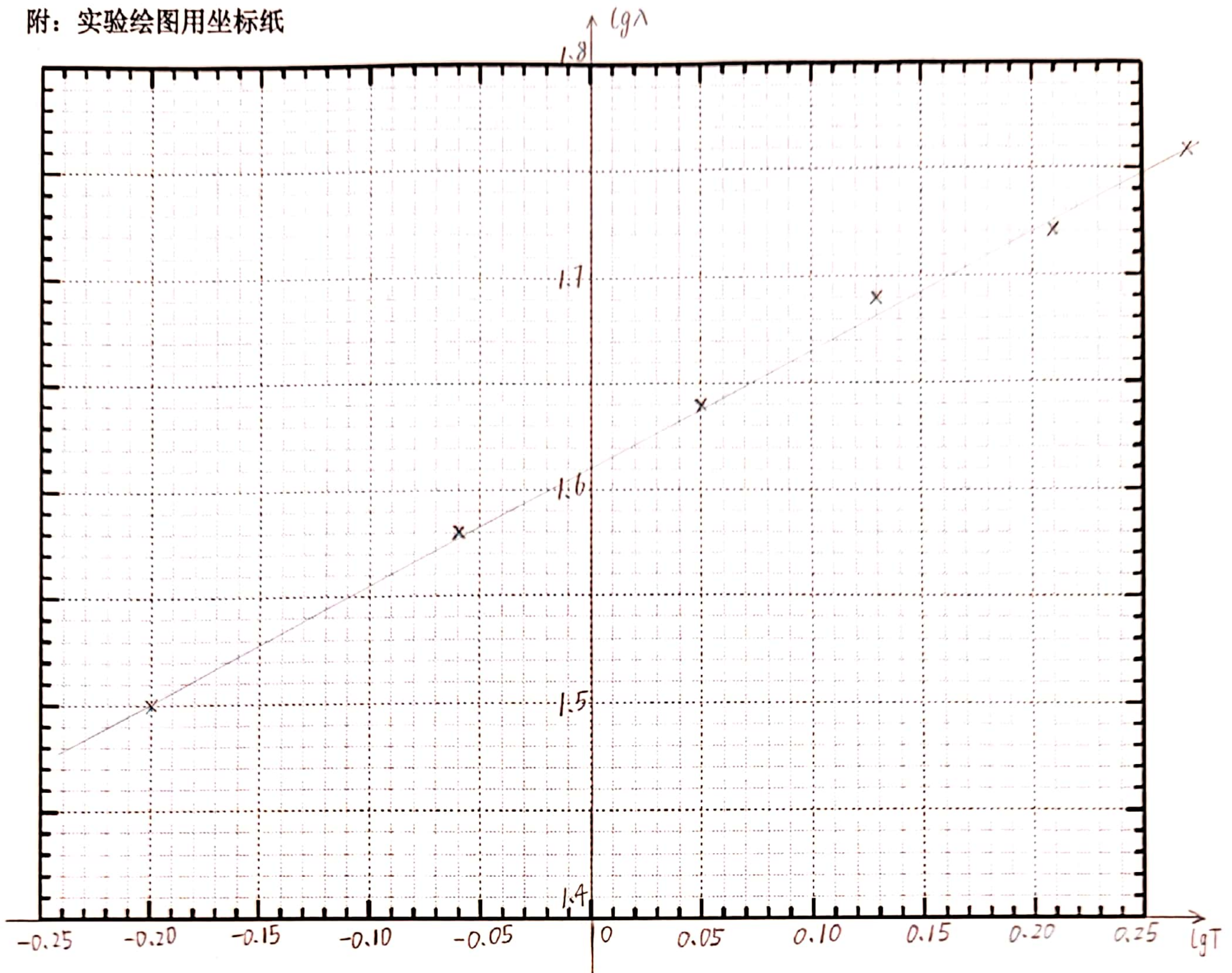
答: 可以。驻波的形成条件是两列波的振幅振动方向频率都相同, 且有恒定相位差, 当它们沿着同一条直线相向传播时就产生了驻波。实验中是由入射波与反射波相干形成驻波, 当然可以将反射波换做另一个相同波源产生的波来实验。

(2) 弦线的粗细和弹性对于实验有什么影响?

答: 粗细会影响试验观察效果, 同样材质, 越粗受重力阻力的影响越大, 波节变短些。

弹性会影响到振幅的变化, 弹性越好实验时观察到的结果越明显。当然, 粗细不均匀也会使得共振频率不稳定导致无法产生驻波。

附：实验绘图用坐标纸



如图. $\lg \lambda - \lg T$ 图像斜率约为 $\frac{1}{2}$