

南昌大学物理实验报告

课程名称: 普通物理实验 (2)

实验名称: 弦音实验

学院: 理学院 专业班级: 应用物理学 152 班

学生姓名: 马文青 学号: 5502215035

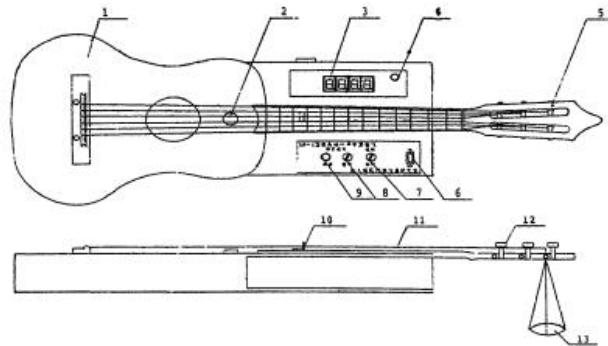
实验地点: 基础实验大楼 B610 座位号: 21

实验时间: 第 6 周 星期五 下午三点四十五分开始

一、实验目的：

- 1、了解固定均匀弦振动的传播规律，加深对振动与波和干涉的概念。
- 2、了解固定均匀弦振动的传播形成驻波的波形，加深对干涉的特殊形式——驻波的认识。
- 3、解决决定固定弦固有频率的因素，测量均匀弦线上横波的传播速度及均匀弦线的线密度。
- 4、了解声音和频率的关系。

二、实验原理：



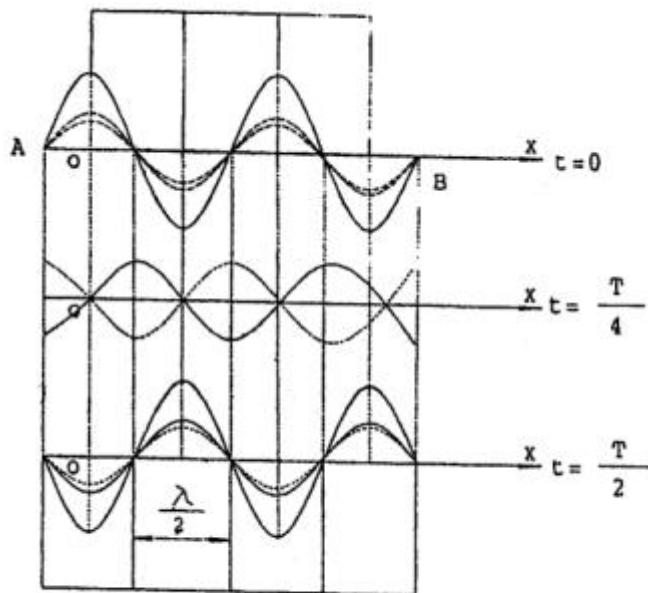
实验装置示意图

- | | | | | |
|----------|------------|-----------|-----------|----------|
| 1. 吉它音箱 | 2. 磁钢 | 3. 频率显示 | 4. 接线柱 | 5. 弦线导轮 |
| 6. 电源开关 | 7. 波型选择开关 | 8. 频段选择开关 | 9. 频率调节旋钮 | 10. 弦线劈尖 |
| 11. 钢质弦线 | 12. 张力调节旋钮 | 13. 砝码盘 | | |

如上图所示，实验时，将弦线 11 绕过弦线导轮 5 与砝码盘 13 连接，并通过接线柱 4 接通正弦信号源。在磁场中，通有电流的金属弦线会受到磁场力的作用，若弦线上接通正弦交变电流时，则它在磁场中所受的与磁场方向和电流方向均为垂直的安培力，也随之发生正弦变化，移动劈尖改变弦长，当弦长是半波长的整倍数时，弦线上便会形成驻波。移动磁钢的位置，将弦线振动调整到最佳状态，使弦线形成明显的驻波。此时我们认为磁钢所在处对应的弦为振源，振动向两边传播，在劈尖与吉他骑码两处反射后又沿各自相反的方向传播，最终形成稳定的驻波。

考察与张力调节旋钮相连时的弦线 11 时，可调节张力调节旋钮改变张力，使驻波的长度产生变化。

当弦线上最终形成稳定的驻波时，可以认为波动是从骑码端发出的。入射波与反射波在同一条弦线上沿相反方向传播时将相互干涉，移动劈尖到适合位置，弦线上就会形成驻波。这时，弦线上的波被分成几段形成波节和波腹。如下图所示。



波形示意图

设图中的两列波是沿 x 轴相向方向传播的振幅相等、频率相同、振动方向一致的简谐波。向右传播的用细实线表示，向左传播的用细虚线表示，当传至弦线上相应点时，相位差为恒定时，它们就合成驻波用粗实线表示。由上图可见，两个波腹或波节间的距离都是等于半个波长。

用简谐波表达式对驻波进行定量描述。设沿 x 轴正方向传播的波为入射波，沿 x 轴负方向传播的波为反射波，取它们振动相位始终相同的点作坐标原点 O ，且在 $x=0$ 处，振动质点向上达最大位移时开始计时，则它们的波动方程分别为：

$$y_1 = A \cos 2\pi(f t - x/\lambda)$$

$$y_2 = A \cos 2\pi(f t + x/\lambda)$$

式中 A 为简谐波的振幅， f 为频率， λ 为波长， x 为弦线上质点的坐标位置。两波叠加后的合成波为驻波，其方程为：

$$y_1 + y_2 = 2A \cos 2\pi(x/\lambda) \cos 2\pi f t$$

由此可见，入射波与反射波合成后，弦上各点都在以同一频率做简谐振动，它们的振幅为 $|2A \cos 2\pi(x/\lambda)|$ ，只与质点的位置 x 有关，与时间无关。

由于波节处振幅为零，即 $|\cos 2\pi(x/\lambda)| = 0$

$$2\pi x/\lambda = (2k+1)\pi/2 \quad (k=0,1,2,3\dots)$$

可得波节位置为：

$$x = (2k+1)\lambda/4$$

而相邻两波节之间的距离为：

$$x_{K+1} - x_K = [2(k+1)+1]\lambda/4 - (2k+1)\lambda/4 = \lambda/2$$

又因为波腹处的质点振幅为最大，可得波腹的位置为：

$$x = k\lambda/2 = 2k\lambda/4$$

这样相邻的波腹间的距离也是半个波长。因此，在驻波实验中，只要测得相邻两波节（或相邻两波腹）间的距离，就能确定该波的波长。

本实验中只有当均匀弦线的两个固定端之间的距离（弦长）等于半波长的整数倍时，才能形成驻波，其数学表达式为：

$$L = n\lambda/2 \quad n = (1, 2, 3\dots)$$

由此可得沿弦线传播的横波波长为：

$$\lambda = 2L/n$$

式中 n 为弦线上驻波的段数，即半波数。

根据波动理论，弦线横波的传播速度为：

$$v = (F_T / \rho)^{1/2}$$

即

$$F_T = \rho v^2$$

式中 F_T 为弦线中张力， ρ 为弦线单位长度的质量，即线密度。

根据波速、上面频率及波长的普遍关系式 $v=f\lambda$ ，将式 $\lambda = 2L/n$ 代入可得

$$v = 2Lf/n$$

因此可得

$$F_T = \rho(2Lf/n)^2 \quad (n=1,2,3,\dots)$$

由上式可知，当给定 F_T 、 ρ 、 L ，频率 f 只有满足该式关系才能在弦线上形成驻波。

当金属弦线在周期性的安培力激励下发生共振干涉形成驻波时，通过骑码的振动激励共鸣箱的薄板振动，薄板的振动引起吉他音箱的声振动，经过释音孔释放，能听到相应频率的声音，当用间歇脉冲激励时尤为明显。

三、实验仪器：

ZCXS-A 型弦音实验仪、磁钢、砝码等。

四、实验内容和步骤：

1、频率 f 一定，测量两种弦线的线密度 ρ 和弦线上横波传播速度 v 。

测弦线的线密度：波形选择开关选择连续波位置，将信号发生器输出插孔与弦线接通。选取频率 $f=240Hz$ ，张力由挂在弦线一端的砝码及砝码钩产生，以 $100g$ 砝码为起点逐渐增加至 $180g$ 为止。在各张力的作用下调节弦长，使弦线上出现 $n=2, 3$ 个稳定且明显的驻波段。记录相应的 f, n, L 的值，由公式计算弦线的线密度。

2、张力 F_T 一定，测量弦线的线密度 ρ 和弦线上横波传播速度 v 。

在张力 F_T 一定的条件下，改变频率 f 分别为 $200Hz, 220Hz, 240Hz, 260Hz, 280Hz$ ，移动劈尖，调节弦长 L ，仍使弦线上出现 $n=2, 3$ 个稳定且明显的驻波段。记录相应的 f, n, L 的值，由公式间接测量出弦线上横波的传播速度 v 。

3、测量弦线张力 F_T 。

选择与张力调节旋钮相连的细弦线或者粗弦线，与信号发生器输出插孔连接，调节频率 f ，适当调节张力调节旋钮，同时移动劈尖改变弦长 L ，使弦线上出现明显驻波。记录相应的 f, n, L 的值，可间接测量出这时弦线的张力。

五、实验数据与处理：

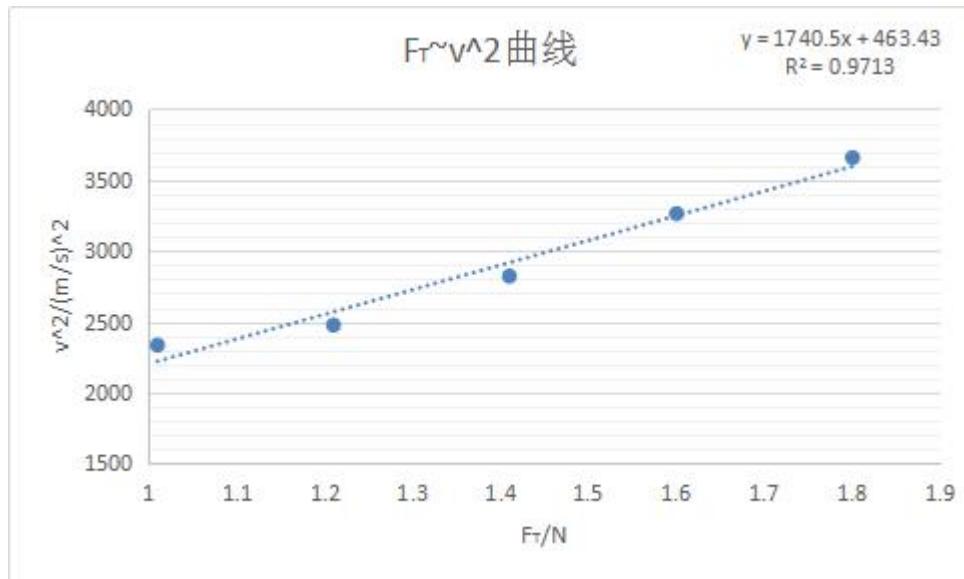
砝码钩的质量 $m=3.4g$, 重力加速度 $g=9.8m/s^2$

1、频率 f 一定, 测量两种弦线的线密度 ρ 和弦线上横波传播速度 v 。

弦线 a' 线密度的测定:

		f=240Hz				
$F_T(g=9.8m/s^2)$	(0.100g+m)g	(0.120g+m)g	(0.140g+m)g	(0.160g+m)g	(0.180g+m)g	
驻波段数 n	3	3	3	3	3	
弦线长 $L/(10^{-2}m)$	30.2	31.1	33.2	35.7	37.8	
线密度 ρ [= $F_T(n/2Lf)^2]/(kg \cdot m^{-1})$	4.34×10^{-4}	4.88×10^{-4}	4.98×10^{-4}	4.91×10^{-4}	4.91×10^{-4}	
平均线密度 $\bar{\rho}(kg \cdot m^{-1})$	4.80×10^{-4}					
传播速度 $v(=2Lf/n)/(m/s)$	48.32	49.76	53.12	57.12	60.48	
$v^2/(m/s)^2$	2334.82	2476.06	2821.73	3262.69	3657.83	

因此有, $F_T \sim v^2$ 拟合直线:



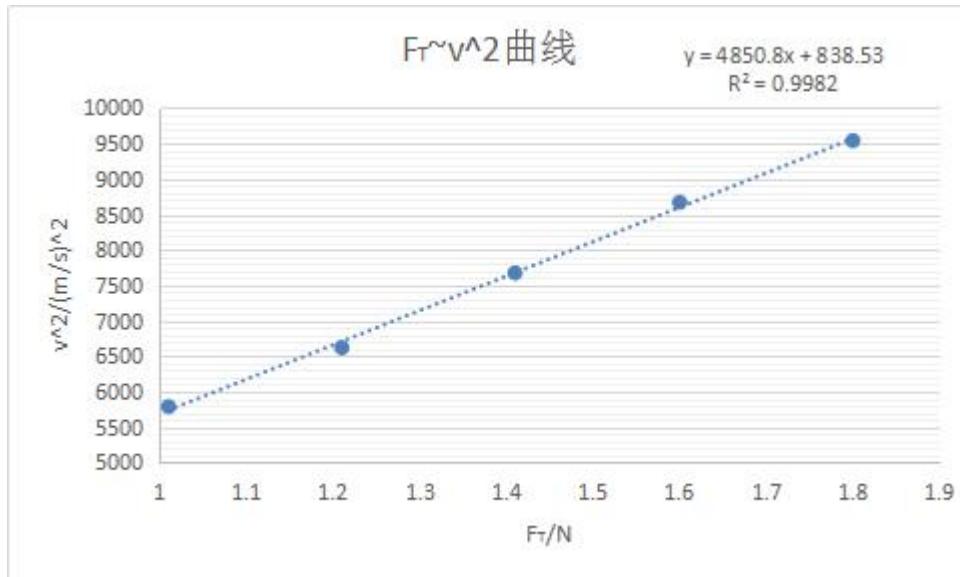
$$\text{线密度 } \rho = 1/k = 5.74 \times 10^{-4} kg \cdot m^{-1}$$

弦线 b' 线密度的测定:

		f=240Hz				
$F_T(g=9.8m/s^2)$	(0.100g+m)g	(0.120g+m)g	(0.140g+m)g	(0.160g+m)g	(0.180g+m)g	
驻波段数 n	2	2	2	2	2	
弦线长 $L/(10^{-2}m)$	31.7	33.9	36.5	38.8	40.7	
线密度 ρ	1.75×10^{-4}	1.83×10^{-4}	1.83×10^{-4}	1.85×10^{-4}	1.88×10^{-4}	

$[= F_T (n/2Lf)^2]/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-1})$						
平均线密度 $\bar{\rho}$ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$)	1.83×10^{-4}					
传播速度 $v (= 2Lf/n)$ (m/s)	76.08	81.36	87.60	93.12	97.68	
v^2 (m/s) ²	5788.17	6619.45	7673.76	8671.33	9541.38	

因此有， $F_T \sim v^2$ 拟合直线：



$$\text{线密度 } \rho = 1/k = 2.06 \times 10^{-4} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$$

2、张力 F_T 一定，测量弦线的线密度 ρ 和弦线上横波传播速度 v 。

弦线 a'：

	$F_T = (0.150g+m) \times 9.8 \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$				
频率 f/Hz	200	220	240	260	280
驻波段数 n	3	3	3	3	3
弦线长 L/(10^-2m)	43.4	37.6	34.9	33.3	31.8
横波速度 $v (= 2Lf/n)/(m\cdot s^{-1})$	57.87	55.15	55.84	57.72	59.36
平均横波速度 $\bar{v} = 57.19 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $\bar{v}^2 = 3270.70 (\text{m/s})^2$					
线密度 $\rho = F_T / \bar{v}^2 = 4.61 \times 10^{-4} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$					

弦线 b'：

	$F_T = (0.150g+m) \times 9.8 \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$				
频率 f/Hz	200	220	240	260	280
驻波段数 n	2	2	2	2	2
弦线长 L/(10^-2m)	41.3	40.2	38.5	34.7	31.6
横波速度 $v (= 2Lf/n)/(m\cdot s^{-1})$	82.60	88.44	92.40	90.22	88.48

$$\text{平均横波速度 } \bar{v} = 88.43 \text{ m/s}^{-1}, \quad \bar{v}^2 = 7819.86 (\text{m/s})^2$$

$$\text{线密度 } \rho = F_T / \bar{v}^2 = 1.92 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^{-1}$$

3、测量弦线张力 F_T 。

f/Hz	驻波段数 n	弦线长 L/(10^-2m)	弦线张力 F_T/N
240	2	28.1	$F_T = \rho(2Lf/n)^2 = 0.87 \text{ N}$

六、误差分析：

- 1、实验不在真空条件下进行，空气阻力会产生误差。
- 2、驻波段数需要实验者自己确定，实验结果所带的主观性较大。
- 3、砝码长期暴露在空气中会造成质量变化造成实验误差。
- 4、信号源发出的正弦信号频率不稳也会导致误差。
- 5、在读取弦线长度 L 时，有偶然误差。
- 6、弦线振动时会产生微小位移。

七、思考题：

1、弦长、频率一定时，想调出较多的波腹，弦线应紧些还是松些？

答：松些。

2、当弦线的线密度加大时，应如何做才能使波的传播速度不变？

答：拧紧弦线。

3、测量弦长时驻波的个数是多取一些好还是少取一些好？为什么？

答：少取一些好。在实验的过程中，多个驻波的振幅较小，不容易观察波节，会有较大误差。

4、用来产生张力的砝码太重或太轻会出现什么问题？

答：太重时弦线紧绷，太轻时弦线松弛，都会使实验现象变得不明显，造成较大误差。

5、驻波有什么特点？在驻波中波节能否移动？弦线有无能量传播？

答：驻波是频率和振幅相同、振动方向一致、传播方向相反的两列波叠加后形成的波。不能。无能量传播。

八、附上原始数据：



南昌大学物理实验报告

学生姓名: 马文青 学号: 5502215035 专业班级: 应物152 班级编号: _____

实验时间: ___时 ___分 第 ___周 星期 ___ 座位号: ___ 教师编号: ___ 成绩: ___

1. 粗线 $n=3$

F_T	$(0.00g+m)g$	$(0.120g+m)g$	$(0.140g+m)g$	$(0.160g+m)g$	$(0.180g+m)g$
$L/(10^{-2}m)$	30.2	31.1	33.2	35.7	37.8

细线 $n=2$

F_T	$(0.100g+m)g$	$(0.120g+m)g$	$(0.140g+m)g$	$(0.160g+m)g$	$(0.180g+m)g$
$L/(10^{-2}m)$	31.7	33.9	36.5	38.8	40.7

2. 粗线 $n=3$

f/Hz	200	220	240	260	280
$L/(10^{-2}m)$	43.4	37.6	34.9	33.3	31.8

细线 $n=2$

f/Hz	200	220	240	260	280
$L/(10^{-2}m)$	41.3	40.2	38.5	34.7	31.6

f/Hz	n	$L/(10^{-2}m)$	F_T/N
240	2	28.1	

系
统
17019