

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

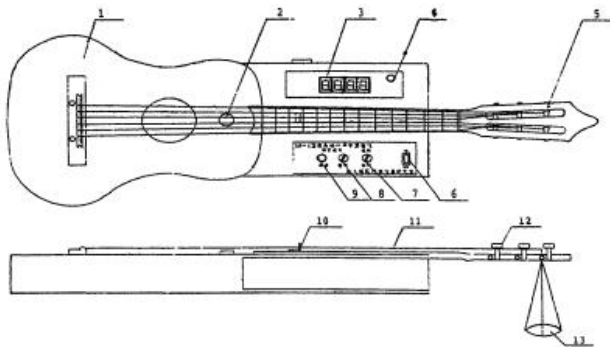
实验地点：基础实验大楼 B610 座位号：21

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、了解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：



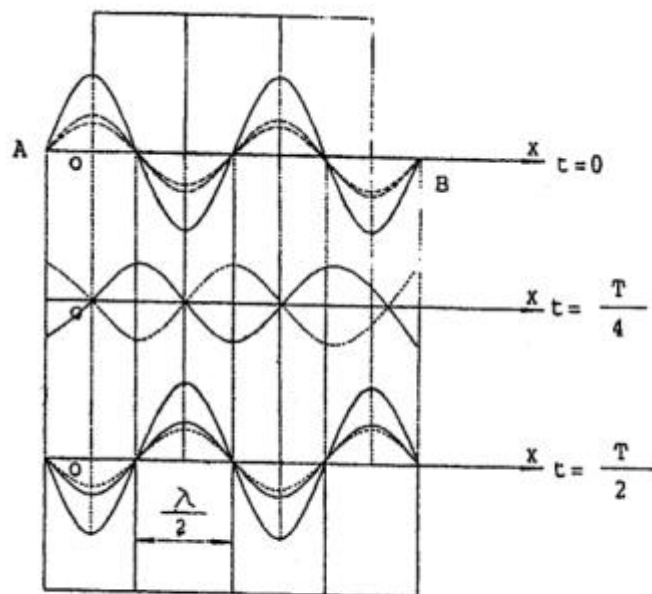
实验装置示意图

- | | | | | |
|----------|------------|-----------|-----------|----------|
| 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：

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

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

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：

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

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：

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

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 $f=240\text{Hz}$ ，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 $n=2$ ， $n=3$ 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 $n=2$ ， $n=3$ 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 。

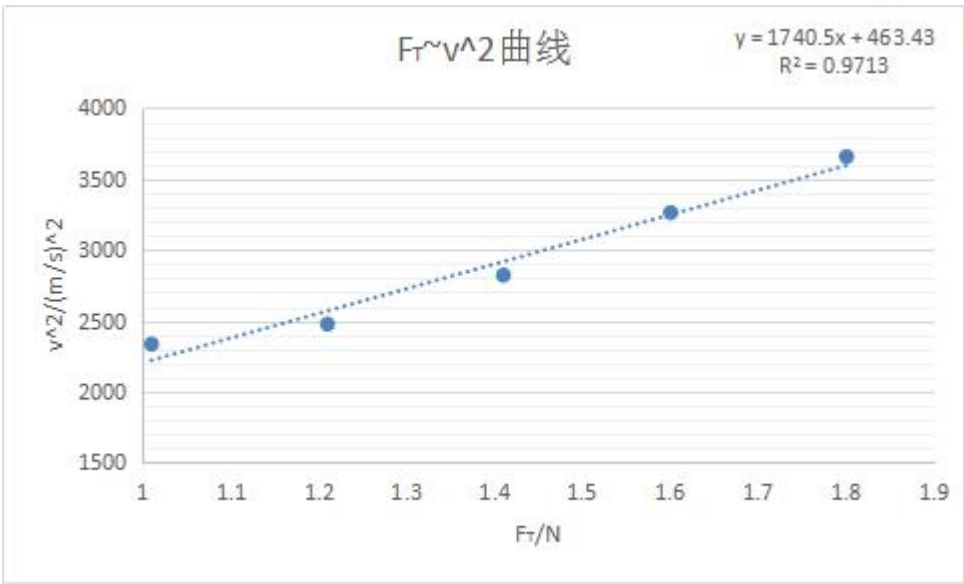
选择与张力调节旋钮相连的细弦线或者粗弦线，与信号发生器输出插孔连接，调节频率 f ，适当调节张力调节旋钮，同时移动劈尖改变弦长 L ，使弦线上出现明显驻波。记录相应的 f 、 n 、 L 的值，可间接测量出这时弦线的张力。

五、实验数据与处理：

砝码钩的质量 $m=3.4\text{g}$ ，重力加速度 $g=9.8\text{m/s}^2$
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				
$F_T (g=9.8\text{m/s}^2)$	(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·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·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：



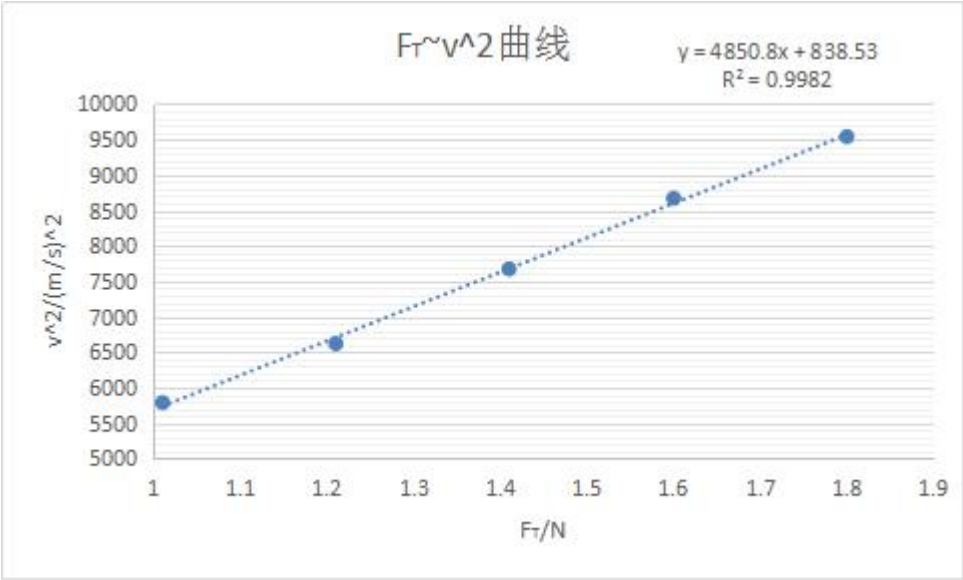
线密度 $\rho = 1/k = 5.74\times10^{-4}\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$

弦线 b' 线密度的测定：

	f=240Hz				
$F_T (g=9.8\text{m/s}^2)$	(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 $v(=2Lf/n)/(\text{m/s})$	76.08	81.36	87.60	93.12	97.68
$v^2/(\text{m/s})^2$	5788.17	6619.45	7673.76	8671.33	9541.38

因此有， $F_T \sim v^2$ 拟合直线：



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’：

	$F_T=(0.150\text{g}+\text{m})\times 9.8\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$				
频率 f/Hz	200	220	240	260	280
驻波段数 n	3	3	3	3	3
弦线长 $L/(10^{-2}\text{m})$	43.4	37.6	34.9	33.3	31.8
横波速度 $v(=2Lf/n)/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	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’：

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

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

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

3、测量弦线张力 F_T 。

f/Hz	驻波段数 n	弦线长 L/(10 ⁻² m)	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: 5502215031 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	$(400g+m)g$	$(420g+m)g$	$(440g+m)g$	$(460g+m)g$	$(480g+m)g$
$L/(10^{-2}m)$	30.2	31.1	33.2	35.7	37.8

细线 $n=2$

F_T	$(0.10g+m)g$	$(0.12g+m)g$	$(0.14g+m)g$	$(0.16g+m)g$	$(0.18g+m)g$
$L/(10^{-2}m)$	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	

15019