

# 弦线上驻波研究

## 一、实验安全

1. 防止金属丝划伤。
2. 仪器的“主输出”为功率信号，应防止短路。

## 二、实验目的

1. 观察在弦上形成的驻波，并用实验确定弦线振动时驻波波长与张力的关系。
2. 在弦线张力不变时，用实验确定弦线振动时驻波波长与振动频率的关系。
3. 学习对数作图或最小二乘法进行数据处理。

## 三、实验原理

在一根拉紧的弦线上，其中张力为 $T$ ，线密度为 $\mu$ ，则沿弦线传播的横波应满足下述运动方程：

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{T}{\mu} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (1)$$

式中  $x$  为波在传播方向（与弦线平行）的位置坐标， $y$  为振动位移。

将(1)式与典型的波动方程  $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = V^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$

相比较，即可得到波的传播速度： $V = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$

若波源的振动频率为 $f$ ，横波波长为 $\lambda$ ，由于波速 $V = f\lambda$ ，故

波长与张力及线密度之间的关系为：

$$\lambda = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (2)$$

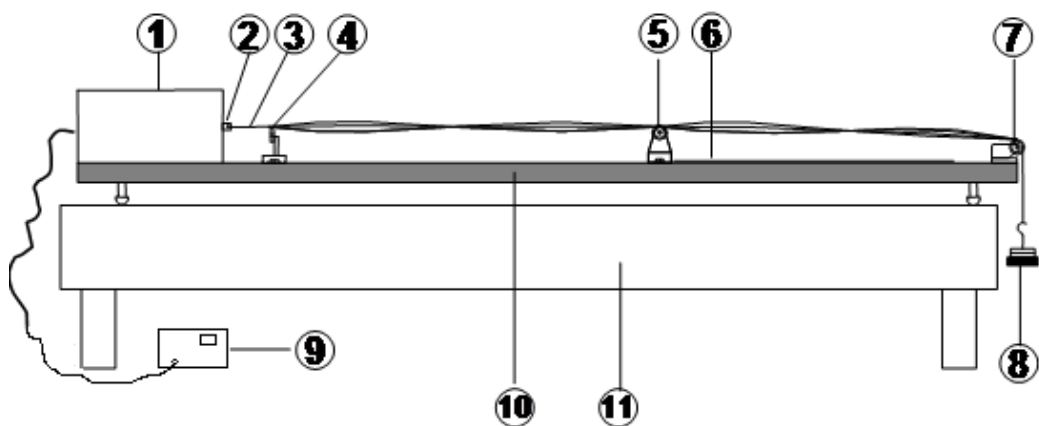
为了用实验证明公式(2)成立，将该式两边取对数，得：

$$\log \lambda = \frac{1}{2} \log T - \frac{1}{2} \log \mu - \log f$$

固定频率  $f$  及线密度  $\mu$ ，而改变张力  $T$ ，并测出各相应波长  $\lambda$ ，作  $\log \lambda - \log T$  图，若得一直线，计算其斜率值（如为  $\frac{1}{2}$ ），则证明了  $\lambda \propto T^{\frac{1}{2}}$  的关系成立。同理，固定线密度  $\mu$  及张力  $T$ ，改变振动频率  $f$ ，测出各相应波长  $\lambda$ ，作  $\log \lambda - \log f$  图，如得一斜率为-1的直线就验证了  $\lambda \propto f^{-1}$ 。

弦线上的波长可利用驻波原理测量。当两个振幅和频率相同的相干波在同一直线上相向传播时，其所叠加而成的波称为驻波，一维驻波是波干涉中的一种特殊情形。在弦线上出现许多静止点，称为驻波的波节。相邻两波节间的距离为半个波长。

#### 四、实验仪器



(图 1) 仪器结构图

1、机械振动源；2、振动簧片；3、弦线；4、可动刀口；5、可动刀口支架；6、标尺；7、固定滑轮；8、砝码与砝码盘；9、信号源；10、实验平台；11、实验桌

实验装置如图 2 所示，金属弦线的一端系在能作水平方向振动的机械振动源的振簧片上，频率变化范围从 20-100000Hz 连续可调，频率最小变化量为 0.001Hz，弦线一端通过定滑轮⑦悬挂一砝码盘⑧；在振动装置(振动簧片)的附近有可动刀口④，在实验装置上还有一个可沿弦线方向左右移动并撑住弦线的可动刀口⑤。滑轮⑦固定在实验平台⑩上，其产生的摩擦力很小，可以忽略不计。若弦线下端所悬挂的砝码（包含砝码盘）的质量为  $m$ ，张力  $T = mg$ 。当波源振动时，即在弦线上形成向右传播的横波；当波传播到可动刀口与弦线相交点时，由于弦线在该点受到刀口两壁阻挡而不能振动，波在切点被反射形成了向左传播的反射波。

这种传播方向相反的两列波叠加即形成驻波。当振动端簧片与弦线固定点至可动刀口⑤与弦线交点的长度 $L$ 等于半波长的整数倍时，即可得到振幅较大而稳定的驻波，振动簧片与弦线固定点为近似波节，弦线与可动刀口相交点为波节。它们的间距为 $L$ ，则

$$L = n \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

其中 $n$ 为任意正整数。利用式(3)，即可测量弦上横波波长。由于簧片与弦线固定点在振动不易测准，实验也可将最靠近振动端的波节作为 $L$ 的起始点，并用可动刀口④指示读数，求出该点离弦线与可动刀口⑤相交点距离 $L$ 。

## 五、实验内容

### A、验证横波的波长与弦线中的张力的关系

- 1、实验时，打开振动力学通用信号源电源开关，关于信号源的详细使用说明见附件 1；本实验使用正弦波驱动机械振动器。
- 2、在某些频率（60Hz 附近），由于振动簧片共振使振幅过大，此时应减小输出信号幅度，便于实验进行（最好避开共振点做实验）。
- 3、固定一个波源振动的频率（比如 90Hz），在砝码盘上添加不同质量的砝码，以改变同一弦上的张力  $T$ 。每改变一次张力（即增加一次砝码），均要左右移动可动刀口支架④（保持在

第一波节点)和可动刀口⑤的位置,使弦线出现振幅较大而稳定的驻波。用实验平台⑩上的标尺⑥测量 $L$ 值,记录振动频率、砝码质量、产生整数倍半波长的弦线长度及半波波数,根据式(3)算出波长 $\lambda$ ,作 $\log \lambda - \log T$ 图,求其斜率。

## B、验证横波的波长与波源振动频率的关系

在砝码盘上放上6块质量为20g的砝码,以固定弦线上所受的张力 $T$ ,改变波源振动的频率 $f$ ,从 $n=1$ 一直到 $n=5$ ,用驻波法测量各相应的波长,作 $\log \lambda - \log f$ 图,求其斜率。最后总结出弦线上波传播的规律。

## 注意事项

- 1、须在弦线上出现振幅较大而稳定的驻波时,再测量驻波波长。
- 2、张力包括砝码与砝码盘的质量,砝码盘的质量用天平称量。
- 3、当实验时,发现波源发生机械共振时,应减小振幅或改变波源频率,便于调节出振幅大且稳定的驻波。

## 六、思考题,选择一道或对自己感兴趣的问题进行深入研究。

- 1、求 $\lambda$ 时为何要测几个半波长的总长?
- 2、为了使 $\log \lambda - \log T$ 直线图上的数据点分布比较均匀,砝码盘中的砝码质量应如何改变?
- 3、为何波源的簧片振动频率尽可能避开振动源的机械共振频率?

#### 4、验证横波的波长与弦线密度的关系：

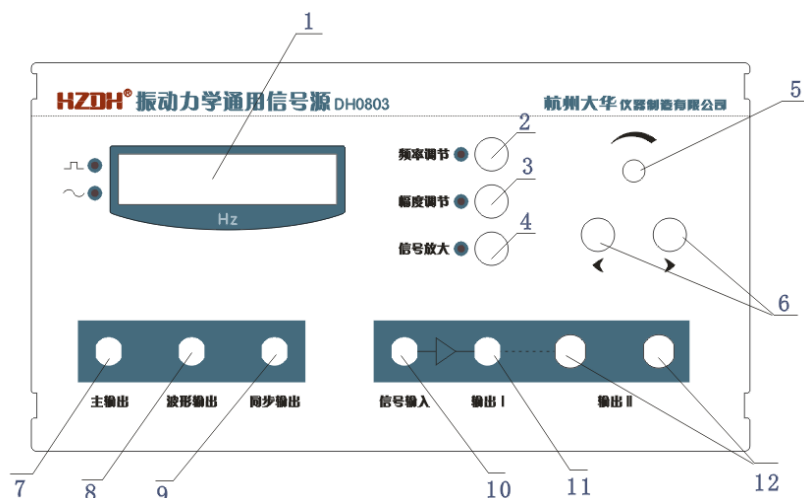
在砝码盘上放固定质量的砝码，以固定弦线上所受的张力，固定波源振动频率，通过改变弦丝的粗细来改变弦线的线密度，用驻波法测量相应的波长，作  $\log \lambda - \log \mu$  图，求其斜率。得出弦线上波传播规律与线密度的关系。并讨论弦线的粗细和弹性对实验各有什么影响，应如何选择？

#### 5、找一找还有哪些有趣或有用的现象或工具，用到了共振的原理？

### 附录 1 DH0803 振动力学通用信号源使用说明

#### 一、仪器结构

仪器的信号输出及调节均在前面板上进行，附图 1 为仪器的前面板图。



附图 1 振动力学信号源面板

1. 频率显示窗口；
2. 频率调节；
3. 幅度调节：可在 0~100 档间调节，输出幅度不超过  $V_{p-p}=20V$ 。
4. 信号放大；

5. 编码开关：可以单击或者旋转，单击旋钮可用来切换正弦波和方波输出；旋转旋钮可用于调节输出信号频率、幅度以及信号放大倍数。正弦波输出频率范围是  $20 \sim 100000\text{Hz}$ ，方波的输出频率是  $20 \sim 1000\text{Hz}$ 。

6. 按键开关：用于切换频率调节位；

7. 主输出：功率信号输出，接驱动传感器；

## 二、仪器的使用

1、打开信号源的电源开关，信号源通电。单击“编码开关 5”使输出为正弦波；调节频率，频率表应有相应的频率指示。调节幅度，波形的幅度产生变化；这时仪器已基本正常，再通电预热 2 分钟左右，即可进行实验。

2、将实验平台信号输入接至本仪器的“主输出”端，用于驱动机械振动

3、仪器的频率调节最小分辨率达到  $0.001\text{Hz}$ 。由于弦线的共振频率的范围很小，故应细心调节，不可过快，以免错过相应的共振频率。

4、当弦线振动幅度过大时，应减小信号输出幅度；振动幅度过小时，应加大信号输出幅度。