

实验三十九 弦线驻波

一 实验目的

观察在弦线和圆环上形成的驻波现象，研究驻波产生的条件及规律，了解弦振动的简正模式和弦乐器的发声规律。

二 实验装置

实验装置如图39-1所示，包含电振荡器、振动源、弦线（圆形松紧带）1根、钢丝环1根。由电振荡器产生振动信号，输出到振源盒中的振动源。振动源由喇叭改制而成，并连结一振动杆，振动源带动振动杆作上下振动。振动杆的振动频率和振动幅度，可由电振荡器上的频率调节旋钮和功率调节旋钮控制和调节。振动杆可带动固定在杆上的弦线或钢丝环振动。

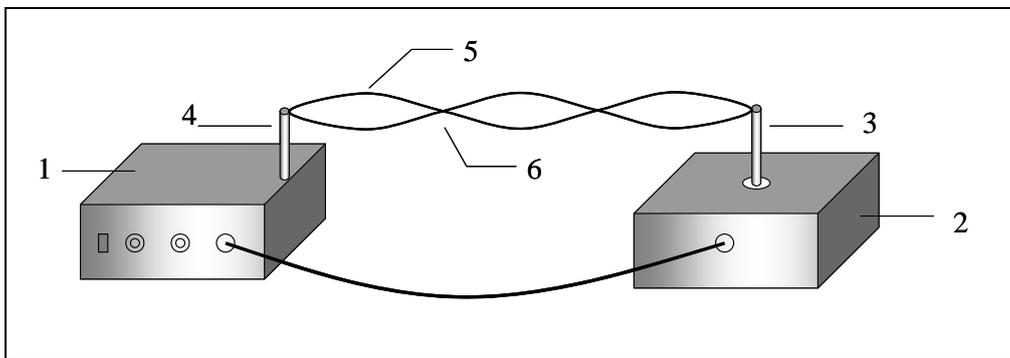


图 39-1

图中：1-电振荡器，2-振源盒，3-振动杆，4-固定杆，5-波幅位置，6-波节位置

三 实验步骤及方法

1 弦线驻波的产生

如图39-1所示，将弦线的两端分别固定在电振荡器盒上的固定杆和振源盒上的振动杆上。将电源的频率调节旋钮调至最低位置、功率调节旋钮调到中间位置，连接电振荡器的输出端到振源盒的输入端。

接通电源，由低向高逐步转动频率调节旋钮，可观察到在弦线上会出现1个到数个驻波花样。

2 环形驻波的产生

如图39-2所示，将钢丝环固定在振动杆上。接通电源，从小到大调节频率旋钮和功率旋钮，会在圆环上形成数个环形驻波。

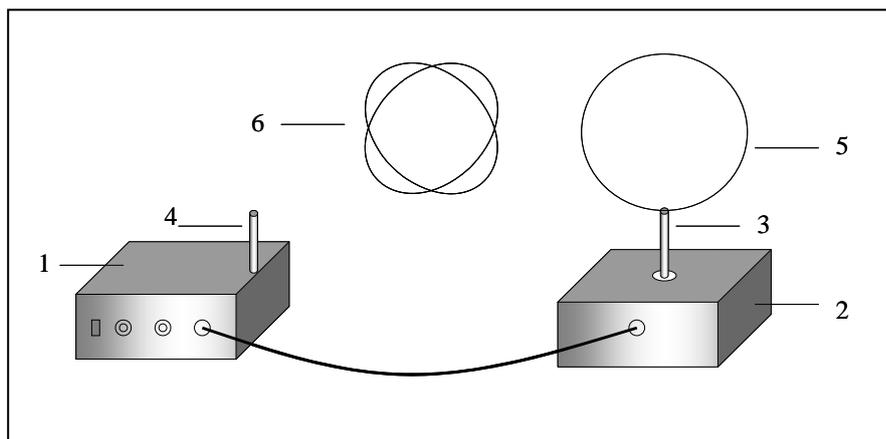


图 39-2

图中：5-钢丝环，6-钢丝环上的驻波形状

四 实验原理

设两列频率相同、振动方向相同、振幅相等的简谐波，在同一直线上沿着相反方向传播，波动方程为

$$\begin{cases} y_1 = A \cos(\omega t - kx + \varphi_1) \\ y_2 = A \cos(\omega t + kx + \varphi_2) \end{cases} \quad (1)$$

式中 A 为波的振幅， ω 为圆频率， $k = 2\pi/\lambda$ ， λ 为波长， φ_1 、 φ_2 分别为两振动的初相。

两波叠加产生的合运动为

$$y = y_1 + y_2 = 2A \cos\left(kx + \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}\right) \cos\left(\omega t + \frac{\varphi_2 + \varphi_1}{2}\right) \quad (2)$$

这就是驻波方程。

由驻波方程可以看出，形成驻波时，直线上各点均在自己的平衡位置附近作简谐运动。有些点因叠加相长而振幅始终最大（振幅最大值为 $2A$ ），称为波腹。波腹满足的条件为

$kx + \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} = n\pi$ ， $n = 1, 2, 3, \dots$ ，相邻两波腹间的距离为 $\lambda/2$ 。有些点因叠加相消而始终静止不动（振幅最小值为零），称为波节。波节满足的条件为

$kx + \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} = (2n + 1)\frac{\pi}{2}$ ， $n = 1, 2, 3, \dots$ ，相邻两波节间的距离也是 $\lambda/2$ 。

从驻波的特征不难推论，并不是任意波长或频率的波都能在一定长度的弦线上形成驻波的。对于两端固定的弦线来说，形成驻波时，弦线两端为波节。此时，波长 λ 与弦线长度 l 之间满足下列关系：

$$l = n \frac{\lambda}{2} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

即弦线长度 l 等于半波长的整数倍。根据波速 $v = \lambda\nu$ ，弦线驻波的频率 ν 应满足

$$\nu_n = \frac{v}{\lambda} = n \frac{v}{2l} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

其中每一频率对应于弦线的一种可能的振动方式，这些频率称为弦振动的本征频率，又称简正频率。由（3）式或（4）式决定的各种振动方式，称为弦线振动的简正模式。当外界策动源的频率与弦线的某个简正频率相同时，就会在弦线上由于共振而激起强烈的驻波。

弦线驻波实验中，由振动杆带动弦线一端振动，在弦线中产生一系列行波，波速为

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (5)$$

式中 F 为弦线上的张力， μ 为弦的质量线密度（单位长度弦线的质量）。该行波经弦线另一固定端反射后，两列相向而行的行波在弦线上叠加，可在弦线上形成驻波。调节入射波频率，当满足（3）式或（4）式条件时，便可在弦线上形成 n 个波腹的驻波。

环形驻波实验中，从钢丝固定点左端和右端传来的振动在钢丝上叠加，当调节到圆周长等于半波长的 n （整数）倍时，便可在钢丝上形成 n 个波腹的环形驻波。

五 注意事项

- 1 实验中电振荡器的输出功率不要调得太大, 以免产生幅度较大的激烈振动而损坏装置, 并带来安全隐患 (如钢丝环振断等)。
- 2 调节频率旋钮时, 应注意缓慢调节, 以满足驻波产生的频率条件, 形成稳定的驻波。

六 思考题

1 弦线驻波实验中, 将频率固定, 改变弦线的长度, 能否形成各种驻波花样? 通过实验观察和验证。

2 小提琴、二胡、吉他等弦乐器, 都是依靠弦线振动而发出声音的。演奏时, 用弓拉或用手指拨动弦线, 可使弦线受迫振动; 用手指按压弦线上某处, 可改变弦线振动部分的长度, 从而发出不同音高的乐音。弦线驻波的本征频率满足公式 (4), 式中当 $n=1$ 时, 对应的频率

为 $v_1 = \frac{v}{2l}$, 该频率称为基频, 它决定了弦线振动的音调; 当 $n=2, 3, \dots$ 时, 对应的频率

为 $v_n = nv_1$, 分别称为二次、三次... 谐频, 它们决定了弦线振动的音色。

请你画出当 $n=1, n=2, n=3$ 时, 一根两端固定的弦线上产生的驻波图样。

3 用嘴侧对着一个空雪碧瓶的瓶口向瓶内吹气时, 能听到瓶内空气振动而发出的声音。各种管乐器就是靠管内空气的振动而发出声音的。图 39-3 画出了一端开口、一端封闭的管内空气振动形成驻波时的基频、二次谐频、三次谐频等简正模式, 其中封闭端为波节, 开口端为波腹。与弦线振动类似, 基频决定了管振动的音调, 谐频决定管振动的音色。

设管柱的高度为 L , 声速为 v , 求图中各种管振动简正模式对应的波长和频率。

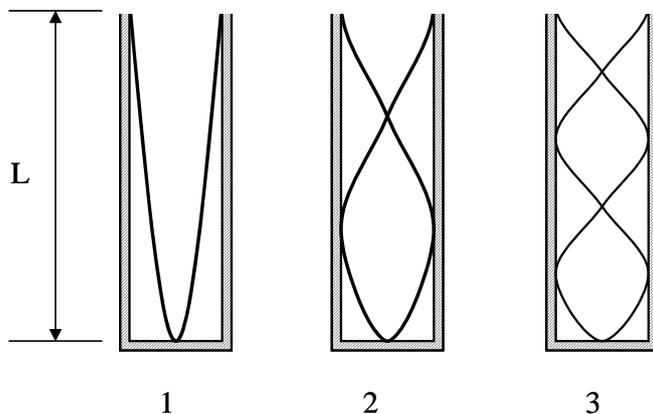


图 39-3

图中: 1-基频模式, 2-二次谐频模式, 3-三次谐频模式

4 图 39-4 为北京老舍茶馆的工作人员在表演“碗琴”。碗琴是大碗茶文化的一个典型代表, 用 32 个大小不同的茶碗, 可以敲击出不同音高的音乐。

请你根据管弦乐器的发声原理, 利用身边可以找到的物品或材料 (如瓶子、盆、杯子、果壳、金属片、线绳等), 设计制作一种简单的乐器, 并经过自我练习后, 演奏给大家欣赏。



图 39-4