

实验 6 弦上驻波特性实验

驻波是一种波的干涉现象，在管、弦、膜、板等多种振动中普遍存在。在声学、无线电学和光学等学科中都有重要的应用，可以借助于它来确定振动系统的固有频率，或用来测量波长等。本实验介绍了一种利用驻波原理测量音叉频率的方法。

【实验目的】

- (1) 理解驻波的性质和形成条件
- (2) 利用驻波法测量音叉的频率

【实验仪器】

电音叉、弦线、滑轮、米尺、砝码、钩码和电子天平。

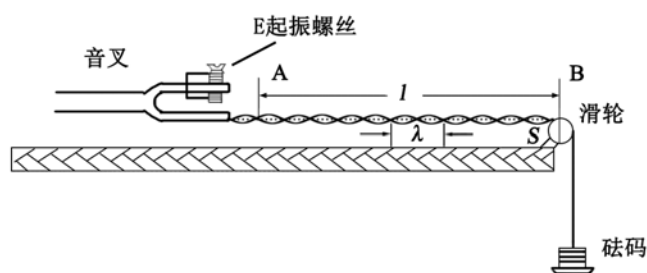


图 4.6.1 弦振动实验装置

如图 4.6.1 所示，弦线的一端固定在电音叉上，另一端跨过定滑轮，挂上砝码，使弦线具有一定的张力。调节螺丝位置和簧片接触可以使音叉产生振动。

【实验原理】

当音叉振动时，弦线也随之振动，形成了沿弦线传播的行波(横波)，其弦振动频率与音叉频率相同。当由音叉振动产生的波动传至弦线与滑轮 S 的接触点 B 时，产生了反射，形成了反射波，于是弦线上同时有前进波和反射波，这两列波的振动方向、频率、振幅相同、相差恒定，是满足相干条件的相干波，在波的重叠区将会发生波的干涉现象，即是驻波。当弦线长度为半波长的整数倍时，即

$$l = n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (4.6.1)$$

弦线上形成的驻波振幅最大也最稳定。

观察弦线上的驻波，振动的幅度最大的地方称为波腹，振动的幅度为零地方称为波节。相邻两个波节（或波腹）之间的距离为半个驻波波长。

在一根绷紧的弦线上，若其张力为 T ，弦线的线密度(即单位长度的线的质量)为 ρ ，则沿弦线传播的横波应满足下述运动方程：

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{T}{\rho} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (4.6.2)$$

式中 x 为波在传播方向（与弦线平行）上的位置坐标， y 为振动位移。将上式与简谐波的波动方程

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = V^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (4.6.3)$$

比较可得

$$V^2 = \frac{T}{\rho} \quad (4.6.4)$$

即

$$V = \sqrt{\frac{T}{\rho}} \quad (4.6.5)$$

由波动学知道，波的传播速度 V 与频率 ν 和波长 λ 之间有如下关系

$$V = \lambda \nu \quad (4.6.6)$$

由(4.6.1), (4.6.5) 和 (4.6.6) 可得振动频率为

$$\nu = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{T}{\rho}} \quad (4.6.7)$$

假设弦线的质量与砝码相比可略去, 滑轮的摩擦力也可略去, 则弦线所受张力为:

$$T = Mg \quad (4.6.8)$$

其中 M 为所加砝码(包括钩码)的质量, g 为重力加速度. 弦线的线密度为:

$$\rho = \frac{m}{L} \quad (4.6.9)$$

其中 m 为弦线的质量, L 为弦线的长度. 将式 (4.6.8)、(4.6.9) 代入 (4.6.7), 可得

$$\nu = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{MgL}{m}} \quad (4.6.10)$$

通过实验测量上式右边各量, 就可求出音叉振动频率 ν .

【实验内容】

1. 利用驻波法测量音叉的频率.
2. (选做) 利用驻波法测量介质弦线上振动的传播速度.

【预习问题】

1. 测量时, 驻波的个数 n 是多一些好还是少一些好? 请通过实验观察解释?

【实验步骤与数据记录】

1. 驻波的产生

(1) 用米尺量出弦线长度 L , 用电子天平称出弦线的质量 m , 记下音叉的

标准频率 ν .

(2) 把弦线的一端固定在音叉脚上的小螺钉上，然后跨过滑轮，在弦线的另一端悬挂钩码，调节滑轮高度及方向使悬线与滑轮相切，且使悬线与桌面平行.

(3) 接通电音叉的电源，仔细调节起振螺丝使音叉获得最大的振动.

(4) 调节音叉到滑轮间的距离，使弦线上形成振幅最大且稳定的驻波.

2. 音叉频率测量

(1) 在钩码上挂上适当的砝码，调节音叉到滑轮间的距离，使在弦线上形成振幅最大且稳定的驻波.

(2) 用米尺测出与音叉相邻的第一个波节到滑轮顶端的最后一个波节(即 n 个波腹)的长度 l . 为准确起见， l 值应测量 5 次，每次都应较大幅度地移动音叉，并重新获得振幅较大且波形稳定的同样波数的驻波后再测量. 记下砝码与钩码的总质量 M .

(3) 重复测量 3 组不同质量砝码下的驻波特性，计算音叉频率.

(4) 选取一组较准确的音叉频率计算相对误差和不确定的，正确表示结果.

表 4.6.1 音叉频率测量

弦线长度 $L(\text{mm})$			弦线质量 $m(\text{g})$			音叉频率 $\nu(\text{Hz})$		
总 质 量 M (g)	波腹数量 n	波腹长度 l (mm)					\bar{l} (mm)	

2. (选做) 测量不同介质弦线上振动的传播速度

(1) 选取同一个密度的弦线，改变不同的张力，根据测量出来的频率，用驻波法测量波的传播速度.

(3) 选取不同密度的弦线，固定弦线张力，用驻波法测量波的传播速度.

(4) 总结波的传播速度与弦线张力、弦线密度的关系，并与理论值作比较.

【注意事项】

1. 调节音叉起振时，当起振螺丝快要接近簧片时，旋进速度要慢. 在一个和小的范围内，音叉起振将由弱到强再变弱消失. 旋进过度观察不到音叉起振.

2. 实验时要注意保证弦线与滑轮相切.

【思考题】

1. 分析实验中哪些因素可能带来较大的误差？

【物理史话】

振动模式的发现



图 4.6.2 丹尼尔·伯努利

弦振动问题来自于对琴弦振动的研究. 比如小提起演奏时, 弓只接触弦的一小段, 但为什么产生的振动却能传播到了整根琴弦呢? 微积分提出后, 约翰·伯努利在 1727 年建立了一个由质点组成的无重量的弹性弦模型, 得到弦的简谐振动方程. 他的儿子丹尼尔·伯努利 (Daniel Bernoulli, 1700 – 1782) 继续研究弦振动的时候提出了一个重要的观点: “振动弦的许多模式能够同时存在”, 认为“任何复杂的振动都可以分解成一系列谐振动之和”. 在这一过程中, 而欧拉、达朗贝尔等著名的科学家也参与了探讨. 这些研究影响了后来的傅立叶. 他在《热的解析理论》里面用三角函数给出了任意周期函数的描述, 也即是著名的傅立叶级数和傅立叶积分. 这一重要的进展奠定了现代信号分析基础, 也开创了傅立叶分析这一近代数学的重要分支

弦振动的问题是一个从艺术爱好催生科学研究的一个典型例子. 在这一过程中, 科学家们在深入观察、思考、争论、辩驳中产生火花, 进而催生出新的思想, 展现了科学交流对推动科学发展的重要意义.

第五章电磁学实验

实验 7 惠斯通电桥测电阻

1843 年惠斯登在英国皇家学会发表论文《An Account of Several New Processes for Determining the Constants of a Voltaic Circuit》, 当中阐述了一个能用于测量导体电阻的平衡关系式. 论文中使用了大量简单实用的公式来从欧姆定律计算电流与电阻, 因这篇论文被英国皇家学会授予奖章. 尽管今天数字万用表提供了最简单的测量电阻的方法. 在惠斯登电桥仍然可以用来测量在毫欧 ($\text{m}\Omega$) 范围非常低电阻. 如今借助现代运算放大器, 人们使用惠斯通电桥电路将各种传