

实验步骤

- 在封闭的孔管中产生一个纵波
- 根据孔管长度测量基本频率
- 测量固定长度的管子的频率和波峰
- 测量声波在共振频率下的传播速度

实验目的

形成并测量孔管中的纵声波。

概述

声波在气体中以纵向波的形式传播，总体速度相当于相位传播的速度。在该试验里，会在一个封闭的孔管里形成一个纵波，基本频率由管子的长度测量，并且基本频率和波峰都是在管子长度恒定的情况下测量的。

所需仪器

数量	描述	型号
1	孔管 E	U8498308
1	探针麦克风，长	U8498282
	麦克风框 (115 V, 50/60 Hz)	U8498283-115 或
1	麦克风框 (230 V, 50/60 Hz)	U8498283-230
1	函数发生器 FG 100 (230 V, 50/60 Hz)	U8533600-230 或
	函数发生器 FG 100 (115 V, 50/60 Hz)	U8533600-115
1	麦USB 示波器 2x50 MHz	U112491
1	模拟万用表 AM50	U17450
1	高频接插线、同轴电缆插头/ 4毫米	U11257
1	1对安全实验的线路75 cm	U13812
1	高频接插线	U11255

基本原理

昆特管内一端的扬声器发出一个合适的共振频率，并被管子的另一端所反射，这样就可以产生纵波，如果管子的长度已知，那么就可以通过共振频率和波数来确定声波的传播速度。

声波在空气和其他气体中的传播速度是随着压力和密度的变化而变化的。可以简单的通过声压来进行描述，所谓声压即大气压力的叠加。

作为声压的可代替量 p ，声速 v 也可以用来描述声波，那就是时间 t 里振荡定点 x 的气体分子的平均速度。压力和声速是有联系的，例如欧拉运动方程所描述的：

$$(1) \quad -\frac{\partial p}{\partial x} = \rho_0 \cdot \frac{\partial v}{\partial t}$$

ρ_0 : Density of gas

在孔管里声波沿着管长方向传播，它们可描述为一维波动方程，同时也适用于声压和速度的关系：

$$(2) \quad \text{或} \quad \frac{\partial^2 p(x,t)}{\partial t^2} = c^2 \cdot \frac{\partial^2 p(x,t)}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial^2 v(x,t)}{\partial t^2} = c^2 \cdot \frac{\partial^2 v(x,t)}{\partial x^2}$$

c: 音速

本实验主要是学习末端孔管简谐波。为了找到波动方程的解决方案，外射波和反射波的叠加都要考虑在内：

$$(3) \quad p = p_{0>} \cdot e^{2\pi i \left(ft - \frac{x}{\lambda} \right)} + p_{0<} \cdot e^{2\pi i \left(ft + \frac{x}{\lambda} \right)}$$

$p_{0>}$, $v_{0>}$: Amplitudes of outgoing wave,
 $p_{0<}$, $v_{0<}$: Amplitudes of returning wave
 f : Frequency, λ : Wavelength

在这种情况下：

$$(4) \quad f \cdot \lambda = c$$

将其代入公式1中，并将外射波和反射波分开考虑，就会导出如下公式：

$$(5) \quad p_{0>} = v_{0>} \cdot Z \quad \text{其中: } p_{0<} = v_{0<} \cdot Z$$

The quantity

$$Z = c \cdot \rho_0$$

(6)

这就是声音的阻抗类似于声波在介质中传播受到的阻抗，它在声波遇到墙壁反射后所受的阻抗W中充当很重要的角色，

$$(7) \quad r_v = \frac{v_{0<}}{v_{0>}} = \frac{Z - W}{Z + W} \quad \text{和} \quad r_p = \frac{p_{0<}}{p_{0>}} = \frac{\frac{1}{Z} - \frac{1}{W}}{\frac{1}{Z} + \frac{1}{W}}$$

在这个实验中W远远高于Z，所以我们可以假设 $r_v = 1$ and $r_p = -1$ 。

如果反射墙是固定的，为了简单起见，当 $x = 0$ 时，声波的空间组成可以从公式 (3) 推断得到：

$$(8) \quad p = p_{0>} \cdot \left(e^{-2\pi i \frac{x}{\lambda}} + e^{+2\pi i \frac{x}{\lambda}} \right) \cdot e^{-2\pi i f t}$$

$$= 2 \cdot p_{0>} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x\right) \cdot e^{-2\pi i f t}$$

和

$$v = v_{0>} \cdot \left(e^{-2\pi i \frac{x}{\lambda}} - e^{+2\pi i \frac{x}{\lambda}} \right) \cdot e^{-2\pi i f t}$$

$$= -2 \cdot i \cdot v_{0>} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x\right) \cdot e^{-2\pi i f t}$$

以上只有实部才有真正的物理意义，它们相当于驻波在侧壁时（即在 $x = 0$ 处）压力会有一个波腹，而那一点的声速在振荡上也有一个节点，且声度的相位比压力的相位超前90°。

距离墙壁为L的扬声器产生了声波，这些声波以频率f振荡，某种意义上，在这一点上声压力会产生一个波腹，并且速度会有一个节点。这种情况只有在长度 L 是半波长的整数倍的时候发生：

$$(9) \quad L = n \cdot \frac{\lambda_n}{2}$$

从公式 (3) 可知，只有当频率满足如下条件时才能产生共振：

$$(10) \quad f_n = n \cdot \frac{c}{2 \cdot L}$$

在这个实验里，当发声传感器在反射墙上产生声压时，发射器的频率f是连续变化的，当发声器信号处在最大振幅时就发生共振。

评价

根据公式 (9) 共振频率决定 f_n 须有如下波长：

$$\lambda_n = \frac{2 \cdot L}{n}$$

为了证明公式 (3) 并确定波长，在频率f和对应波长的曲线图中标注出波长数。

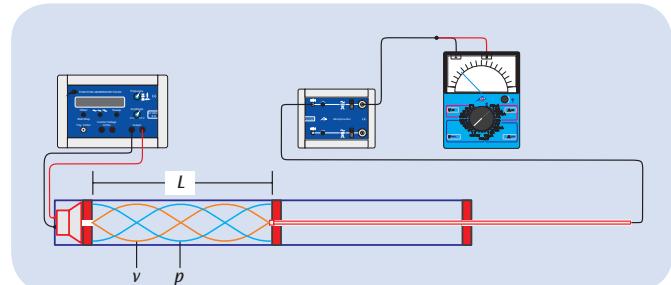


图1: 实验原理设置图

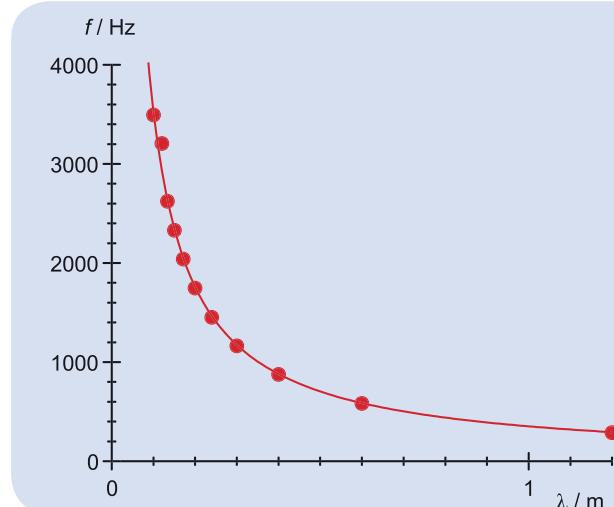


图2: 频率与波长的曲线图