

大学物理实验• 声学

声波共振管实验

——共振管中波的谐振模式

北京师范大学
物理实验教学中心

声波的传播方式

- 在气体和液体介质中传播是一种纵波
声波的在大气中的传播速度：

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

γ ：气体比热容

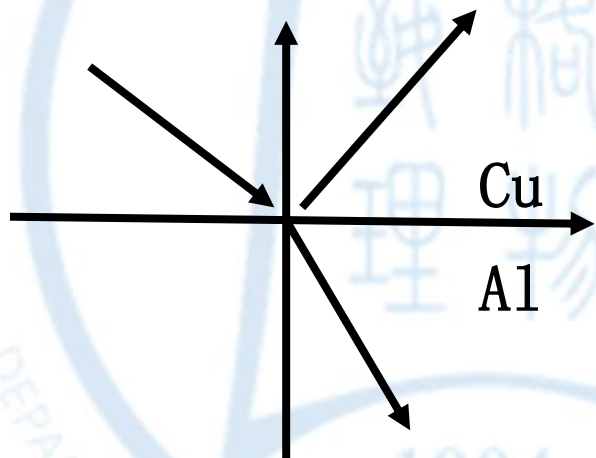
M ：摩尔质量

R ：气体普适常量

$$v / \text{m} \cdot \text{s}^{-1} = 331.5 + 0.607 T / ^\circ\text{C}$$

声波的传播

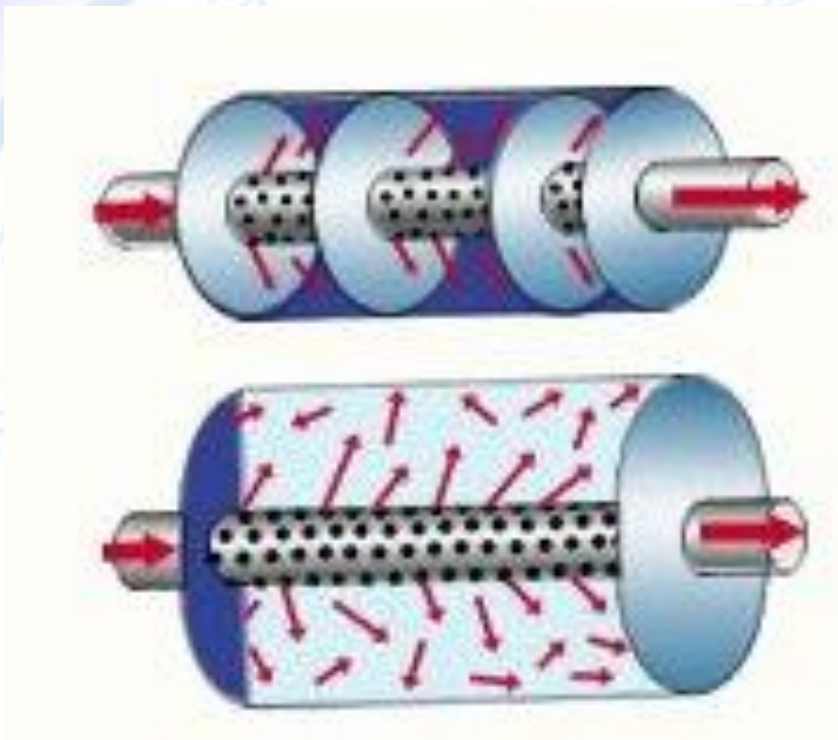
- 遇到界面会反射、折射



管中传播声波的应用



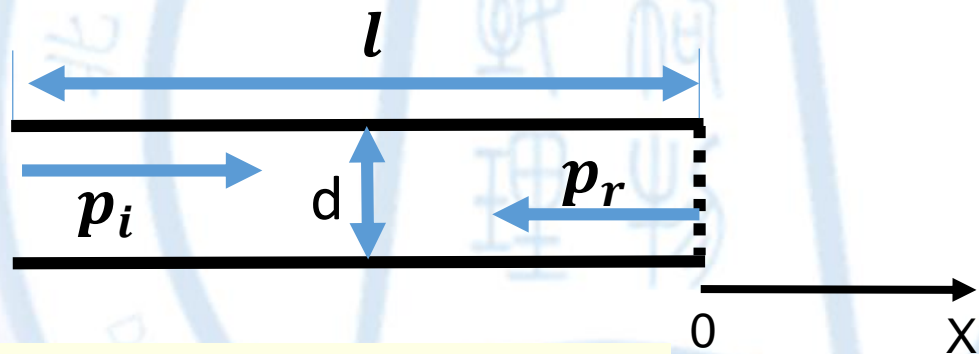
乐器设计——音色



噪声消除——汽车消声器

实验原理

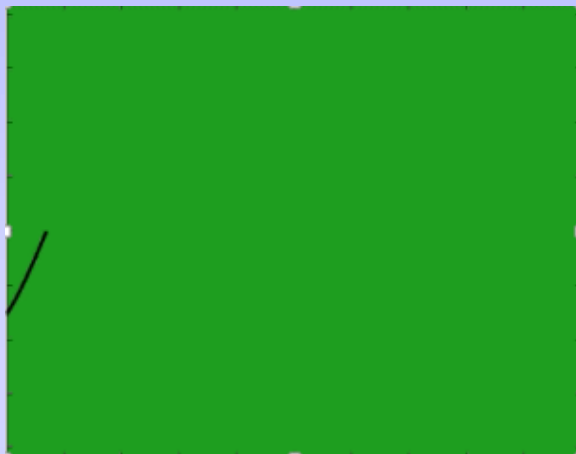
假设在管道中声波沿管的轴线方向传播
行进波与反射波的声压(p_i 、 p_r)方程:



$$p_i = p_{a_i} e^{j(\omega t - kx)}$$

$$p_r = p_{a_r} e^{j(\omega t + kx)}$$

$$p = p_i + p_r$$



定义声波界面反射系数为 r_p :

$$r_p = \frac{p_{ar}}{p_{ai}} = |r_p| e^{j\sigma\pi}$$

$$p = |p_a| e^{j(\omega t + \varphi)} \quad \varphi \text{ 固定相位因子}$$

$$p = p_{ai} [e^{-jkx} + |r_p| e^{j(kx + \sigma\pi)}] e^{j\omega t}$$



$$p_{ai} \left| \sqrt{1 + |r_p|^2 + 2|r_p| \cos 2k(x + \sigma\lambda/4)} \right|$$

$$|p_a| = p_{a_i} \left| \sqrt{1 + |r_p|^2 + 2|r_p| \cos 2k(x + \sigma\lambda/4)} \right|$$

$$2k \left(x + \sigma \frac{\lambda}{4} \right) = \pm(2n - 1) \pi, \text{ 具有极小值}$$

$$p_{a_{\min}} = p_{a_i} (1 - |r_p|)$$

$$2k \left(x + \sigma \frac{\lambda}{4} \right) = \pm 2n \pi, \text{ } p_a \text{ 有极大值}$$

$$p_{a_{\max}} = p_{a_i} (1 + |r_p|)$$

驻波比: $G = \frac{p_{a_{max}}}{p_{a_{min}}} = \frac{1 + |r_p|}{1 - |r_p|}$

反射系数: $|r_p| = \frac{G-1}{G+1}$

如果管端口为吸声负载, 则

$$r_p = 0 \quad G = 1$$

如果管端口材料为刚性材料, 则

$$r_p = 1 \quad \sigma = 0 \quad G = \infty$$

$$|p_a| = p_{a_i} \left| \sqrt{1 + |r_p|^2 + 2|r_p| \cos 2k(x + \sigma \frac{\lambda}{4})} \right|$$



$$|p_a| = 2p_{a_i} |\cos kx| \quad \text{完全驻波}$$

闭管:

$$l = (n - 1/2)\lambda/2$$

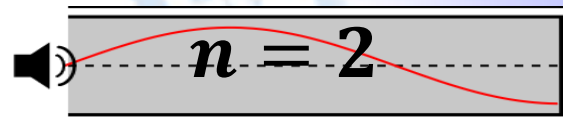
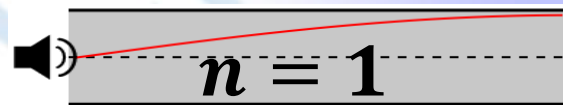
$$v = f \lambda$$

$$f = (n - 1/2)v/2l$$

$$n = 1, f_1 = v/4l$$



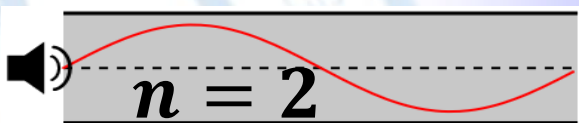
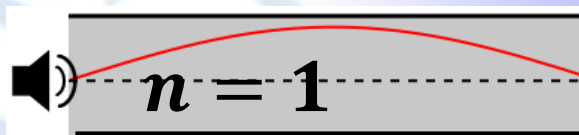
$$f = 2f_1 - f_1$$



开管:

$$l = n\lambda/2$$

$$f = n \frac{v}{2l} = nf_1$$

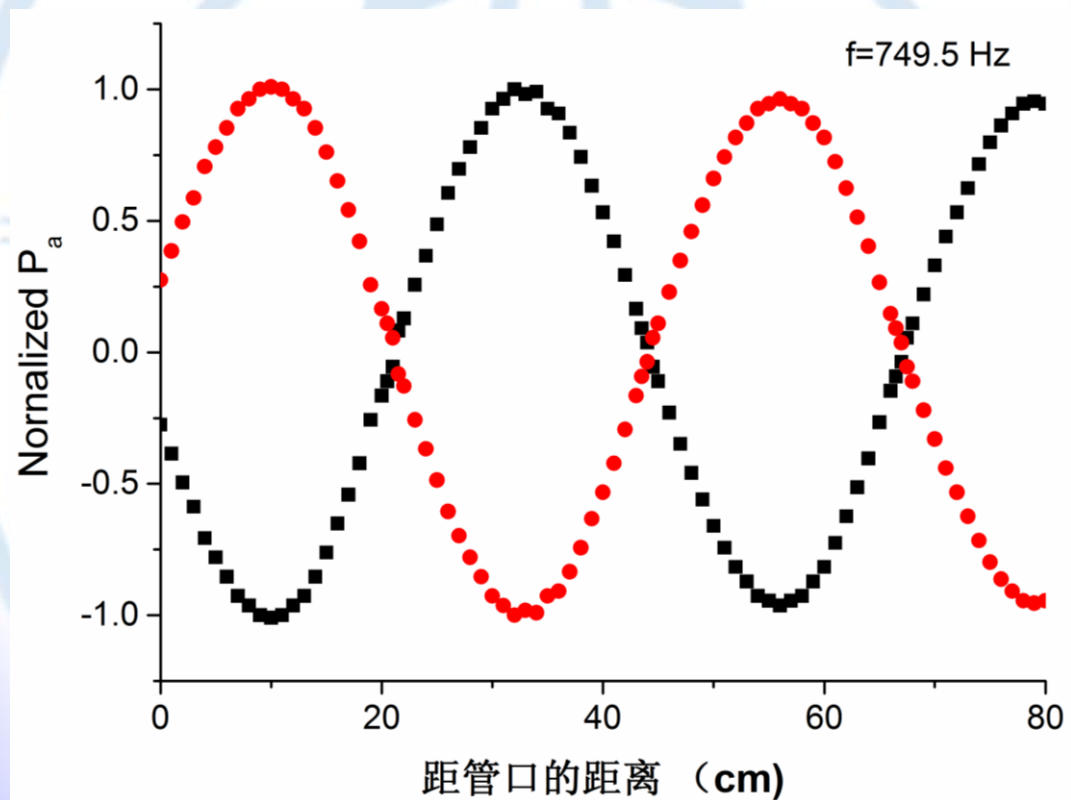


- l 固定: $f \sim n$ 的斜率 \rightarrow 最小谐振频率
- 固定 f : $l \sim n$ 的斜率 \rightarrow 谐振波的 $\lambda/2$

注意: 开管和闭管的 $f \sim n$ 频率不同

开管: $f = nf_1$ 闭管: $f = 2f_1 - f_1$

闭管驻波声压波形图



非理想边界条件，需要考虑管直径的影响，对观察进行经验修正的公式：

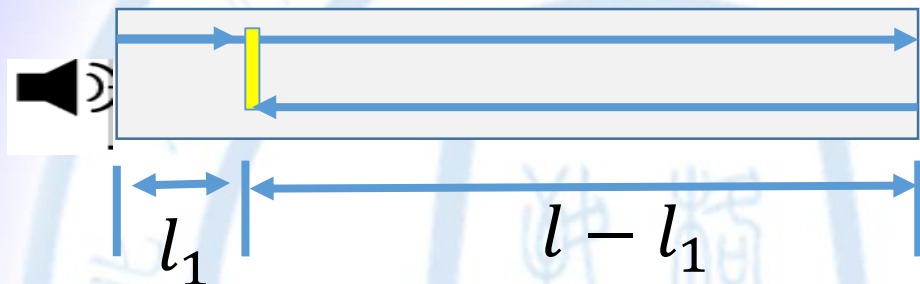
闭管：

$$l + 0.4 d = (n - 1/2)\lambda/2$$

开管：

$$l + 0.8 d = n\lambda/2$$

回声法测量声速



闭管管长 l ；麦克风的位置： l_1

原始波与第一次反射波到麦克风的时间差： t

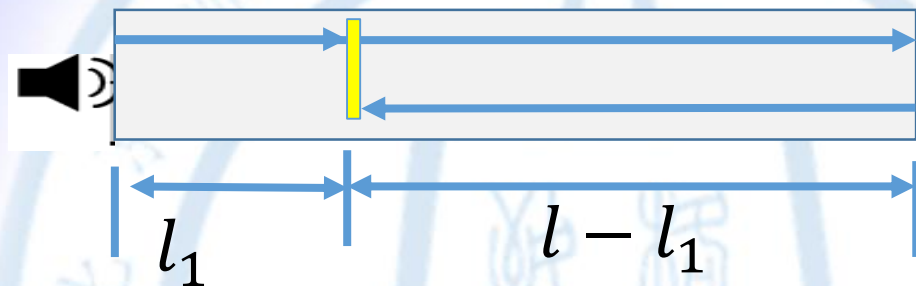
$$vt = 2(l - l_1)$$

$$l = \frac{1}{2}vt + l_1$$

$$l \sim t \rightarrow v$$

减小误差

开管的管长 l 恒定，麦克风的位置 l_1 ：



原始波与反射波到麦克风的的时间差： t

$$vt = 2(l - l_1)$$

$$l_1 = l - \frac{1}{2}vt \rightarrow l_1 \sim t \rightarrow v$$

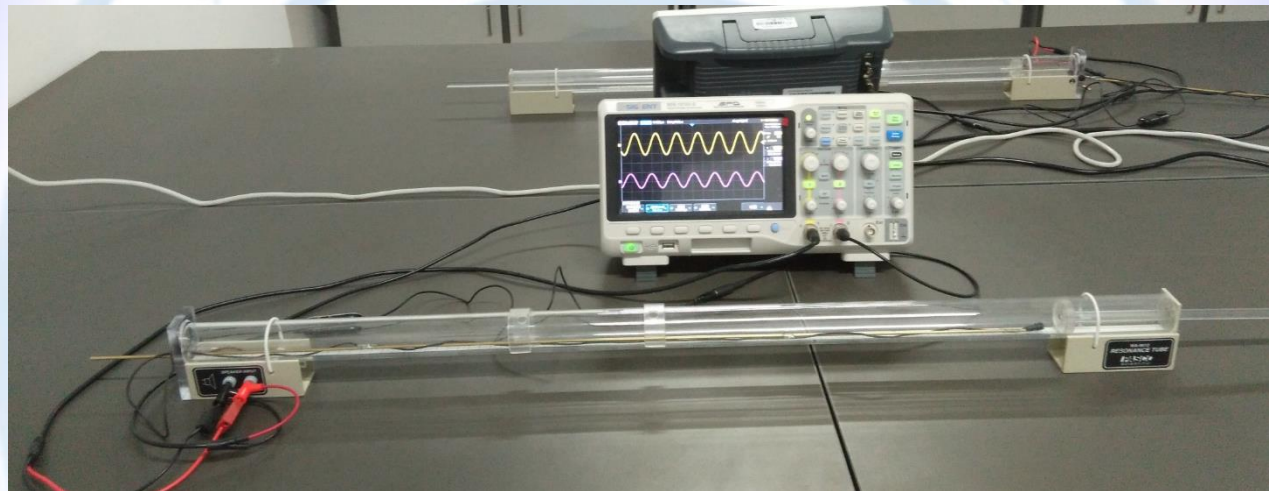
实验内容

- 测量固定管长下的 $f \sim n$ 关系，求共振管的最小共振频率，求声波的声速
- 测量特定频率下的 $l \sim n$ 关系，求声波波长和声速
- 测量特定谐振频率下驻波波形分布，求声速和驻波比
- 利用回声法测量声速

重点：

- 确定发生谐振的条件和模式
- 采用物理量之间的依赖关系，通过拟合获取难于测量的量的值，减小测量误差

实验装置





学习快乐!