

声速测量实验报告

学号：2113662 姓名：张丛 组号：大物实验 M 组

一、实验目的：

- 1.理解机械波的传播过程，驻波的形成。
- 2.了解空气柱振动发声的原理。
- 3.掌握多种使用 phyphox 测量声速的方法。
- 4.学会使用 origin 等软件进行数据处理。

二、实验原理：

当把一个声源放在顶端开口，底端封闭的均匀圆柱形容器（例如圆管）上端，声源在管口处发出声音后，声波会在管内向管底传播，并在圆管底部发生反射。若在管底部装入水，则声波会在水面处发生反射。以管口处为坐标原点，沿管壁向管底的方向为 y 轴，则其入射波为

$$x_1 = A \cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} y \right) \quad (1)$$

反射波为

$$x_2 = A \cos \left(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} y \right) \quad (2)$$

由以上两式可知，管内的合声波为

$$x = x_1 + x_2 = 2A \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} y \right) \cos \omega t \quad (3)$$

式（3）表明管内形成了驻波，且驻波在各点做同一频率的振动，这个频率就是入射波频率，各点的振幅是位置 y 的余弦函数。当振幅为 0，即 $2A \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} y \right) = 0$ 时为波节，故波节位置为

$$y = (2n + 1) \frac{\lambda}{4}, \quad (n=0, 1, 2, \dots) \quad (4)$$

同理， $|2A\cos(\frac{2\pi}{\lambda}y)|=1$ 时为波腹，波腹位置为

$$y = n \frac{\lambda}{2} \quad (5)$$

由此可知，两个相邻波节（波腹）之间的距离是半波长 $\frac{\lambda}{2}$ 。

由于管底（或水）相对于空气为波密媒质，所以波在管底处必为波节。因此当空气柱长度满足（4）时，也就是空气柱的长度依次为 $\frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \frac{7\lambda}{4}, \dots$ 时，在管口附近可听到清晰的共鸣音。

由 $v = f\lambda$ 可知，管口出现共鸣音时，管长和频率之间须满足

$$L = (2n + 1) \frac{v}{4f}, \quad (n=0, 1, 2, \dots) \quad (6)$$

即空气柱长度 L 一定时，出现共鸣现象的外界波频率条件为

$$f = (2n + 1) \frac{v}{4L} = (2n + 1)f_0, \quad (n=0, 1, 2, \dots) \quad (7)$$

其中 $f_0 = \frac{v}{4L}$ ，即外界频率为 $f_0, 3f_0, 5f_0 \dots$ 时，都会出现共鸣现象。我们通常把能发生共鸣现象最长波长（ $4L$ ）时对应的频率 f_0 称为基频， $3f_0, 5f_0 \dots$ 称为泛频。如此，空气柱的共鸣音是个复音，其中的基频决定音调，泛频决定音色。

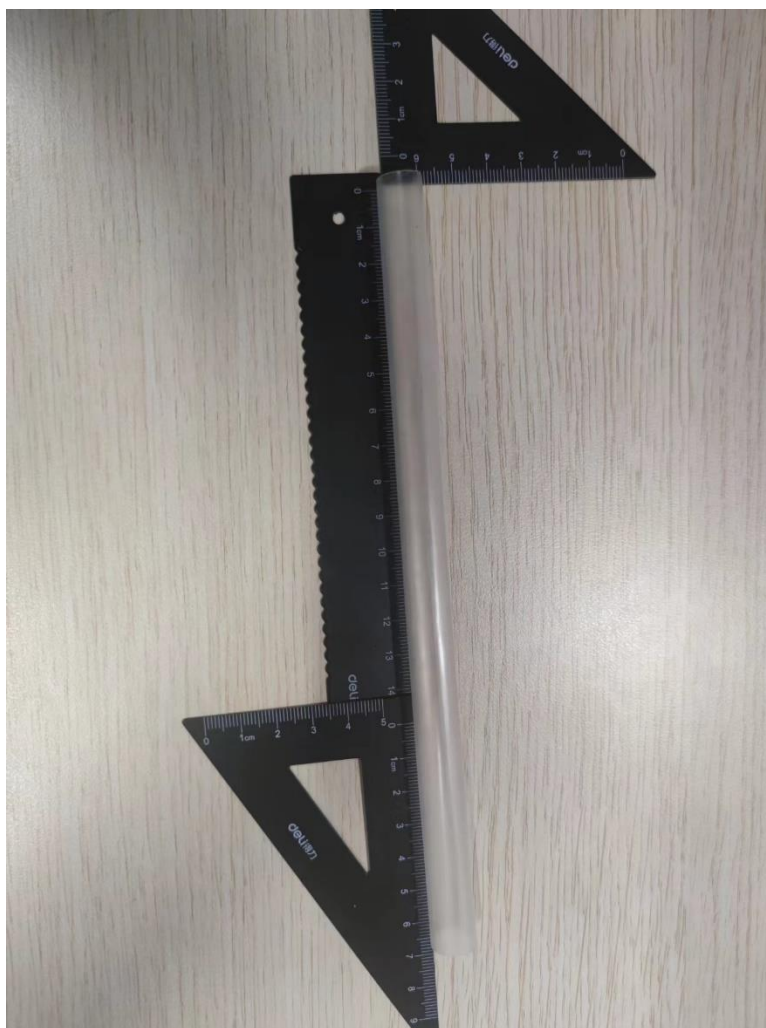
当用嘴从管口向管中吹气时，根据 Fourier 原理，它是频率成分不同的简谐波叠加成的

$$Y(x, t) = A_0 + \sum_i A_{0n} \cos(n\omega_0 t + nk_0 x + \varphi_n) \quad (n = 1, 2, 3 \dots) \quad (8)$$

可见用嘴吹出气的是多频率混合的，那么管子会把其中 $f_0, 3f_0, 5f_0 \dots$ 的频率“挑选”出来发生共鸣。这样我们还可以通过基频，泛频计算出声速。

三、实验器材：

塑料圆柱管，phyphox 软件，直尺



四、实验步骤：

1.准备一个上端开口下端封闭的圆柱形容器，可用手堵住底部，在吸管底部加一点水，记录水的位置。这样可以减少手指堵住吸管后凸出的部分对空气柱长度的影响。用刻度尺测量容器中空气柱的长度。

2.打开手机 APP phyphox, 选择其中的“声音频谱”功能。点击符号“>”即可开始测量，此时 APP 将会记录它接收到的声音的频率，并在屏幕上显示出来。采集结束后，按下停止键。

3.尝试用嘴对着管口吹气，掌握吹气的技巧，直到可以听到比较固定且清晰

的音调。

4.点击“历史分析”，根据傅里叶变换后的结果，找出基频和泛频对应的亮线。
注意第 3 步在吹出固定清晰声音时，在“加速度频谱”中峰值频率处所稳定显示的也是基频。

5.导出数据。点击右上方的“：”在菜单栏中选择“Export Data”，然后将数据以 Excel 或其他格式传输出去。找出基频的频率，根据公式计算声速。

6.进行三组实验，并与声速的标准参考值（注意测量实验时的温度，使用实验初和实验末的温度平均值）进行比较。

五、实验数据及分析：

空气柱长度： $L=21.66\text{cm}$

第一次实验：

- 1) 实验开始时的温度：26 摄氏度
- 2) 实验结束时的温度：26 摄氏度
- 3) 实验温度：26 摄氏度
- 4) 基频：398.44Hz;



则：

$$v=4Lf_0=4*22.80*398.44/100=345.20 \text{ m/s;}$$

声速的理论值：

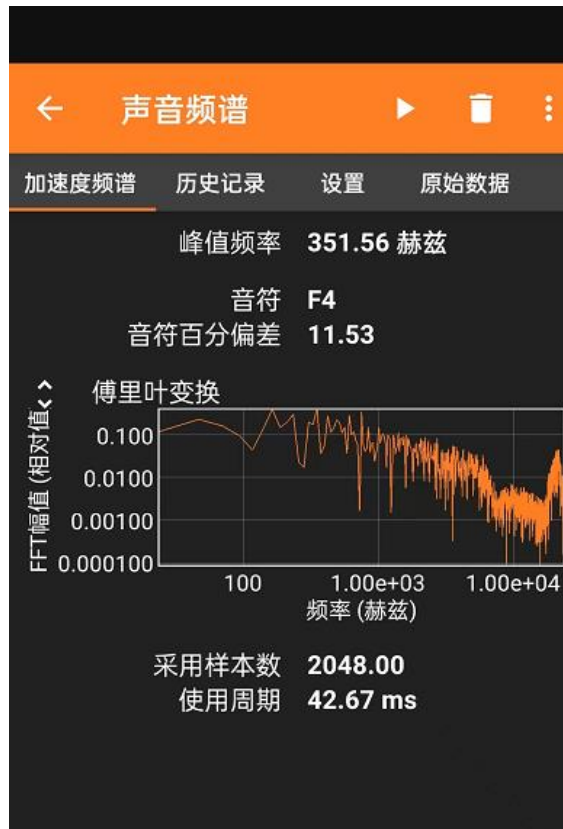
$$v_0=334.1+0.6*29=351.5 \text{ m/s;}$$

实值误差：

$$351.5-345.20/345.20=1.82\%$$

第二次实验：

- 1) 实验开始时的温度：26 摄氏度；
- 2) 实验结束时的温度：26 摄氏度；
- 3) 实验温度：26 摄氏度；
- 4) 基频：351.56Hz；



则：

$$v=4Lf_0=4*22.80*351.56/100=304.592 \quad \text{m/s}$$

$$v_0=334.1+0.6*27=350.3 \quad \text{m/s}$$

实值误差：

$$(350.3-304.592) / 350.3=13.04\%$$

第三次实验：

- 1) 实验前的温度：26 摄氏度
- 2) 实验后的温度：26 摄氏度
- 3) 实验温度：26 摄氏度
- 4) 基频：328.13Hz;



则：

$$v=4Lf_0=4*21.66*328.13/100=284.29 \text{ m/s}$$

声速的理论值：

$$v_0=334.1+25*0.6=349.1 \text{ m/s}$$

实值误差：

$$(349.1-284.29) / 349.1=18.56\%;$$

分析：

第一次实验误差较小

六、总结：

实验中误差较大的步骤是，用嘴对着管口吹气，掌握吹气的技巧。

实验在空调的恒温条件下进行，温度变化的误差较小。