普通物理学实验 II
电子实验报告

实验名称：双光栅测量微弱振动位移量

指导教师：王宙洋

班　　级：

姓　　名：

学　　号：

实验日期：2024 年 12 月 11 日　星期三

浙江大学物理实验教学中心

目录

1 实验综述

多普勒效应

多普勒效应是指波源，接收器，传播介质或中间反射器之间相对运动时，由于相对运动引起的频率变化现象。由此产生的频率变化称为多普勒频移。

拍

根据振动叠加原理，两列速度相同，振动面相同，频差较小而同方向传播的简谐波的叠加即形成拍。拍的频率等于两波的频率之差，拍的次数等于两波的频率之差的绝对值。

本实验中，利用高速振动的音叉带动一个光栅振动，并利用另一个静止的光栅构成双光栅系统，激光束通过这样的双光栅系统产生光的多普勒效应，并利用光电池检测，取出差频信号，通过示波器显示拍频，从而测量音叉的振动位移。

光拍信号进入光电检测器后，其输出光电流可由下式求得：

$$E_1 = E_{10}\cos(\omega_0 t + \varphi_1) \tag{1}$$

$$E_2 = E_{20}\cos((\omega_0 + \omega_d)t + \varphi_2) \tag{2}$$

$$\therefore I = \xi(E1 + E2)^2 \tag{3}$$

过滤掉上式中的高频信号，剩下的即为拍频信号，其光电流为:

$$I = \xi\left\{E_{10}E_{20}\cos(\omega_d t + \varphi_2 - \varphi_1)\right\} \tag{4}$$

则拍频 F 为:

$$F = \frac{\omega_d}{2\pi} = \frac{v_A}{d} = v_A n_\theta \tag{5}$$

其中 n_θ 在本实验中为 100条$/mm$

故音叉的振动位移为:

$$A = \frac{1}{2}\int_0^{\frac{T}{2}} v(t)dt = \frac{1}{2n_\theta}\int_0^{\frac{T}{2}} F(t)dt \tag{6}$$

其中，$\int_0^{\frac{T}{2}} F(t)dt$ 为半个周期内拍的个数。因此，只要测量出拍的个数，即可计算出音叉的振动位移。

2 实验内容

2.1 实验数据

1. $f = 507.157Hz$, 谐振.

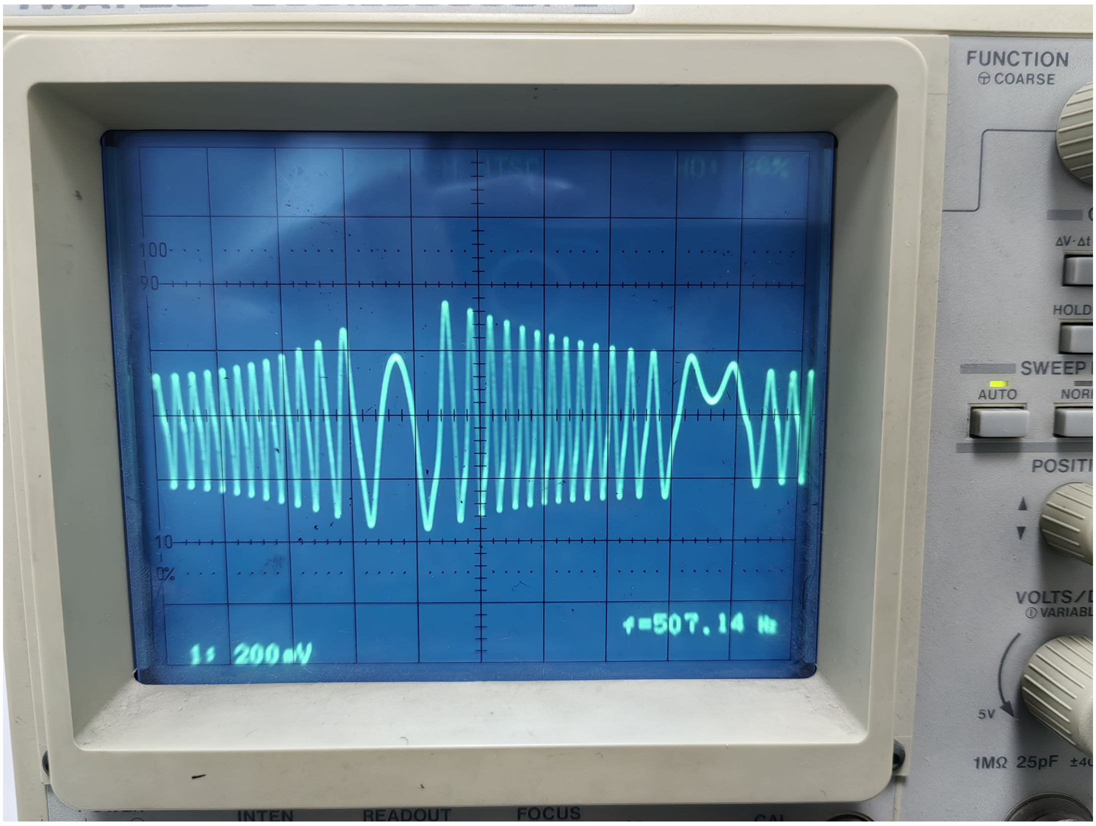


图 1: $f = 507.157Hz$

图中波形数为:$13 + 0.5 + 0.25 + \frac{\arcsin\frac{4}{9}}{2\pi} + \frac{\arccos\frac{3}{7}}{2\pi} = 14.00$

此时,T/2 的时间有 14.00 个拍,$t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f}$, 则光拍的平均频率为:

$$F = \frac{14.00}{t} = 14.00 \times 507.157 \times 2 = 14200.40Hz \tag{7}$$

此时, 音叉的振动位移为:

$$A = \frac{1}{2n_\theta}\int_0^{\frac{T}{2}} F(t)dt = \frac{1}{2 \times 100} \times 14.00 = 70.00\mu m \tag{8}$$

2. $f = 507.357Hz$, 非谐振.

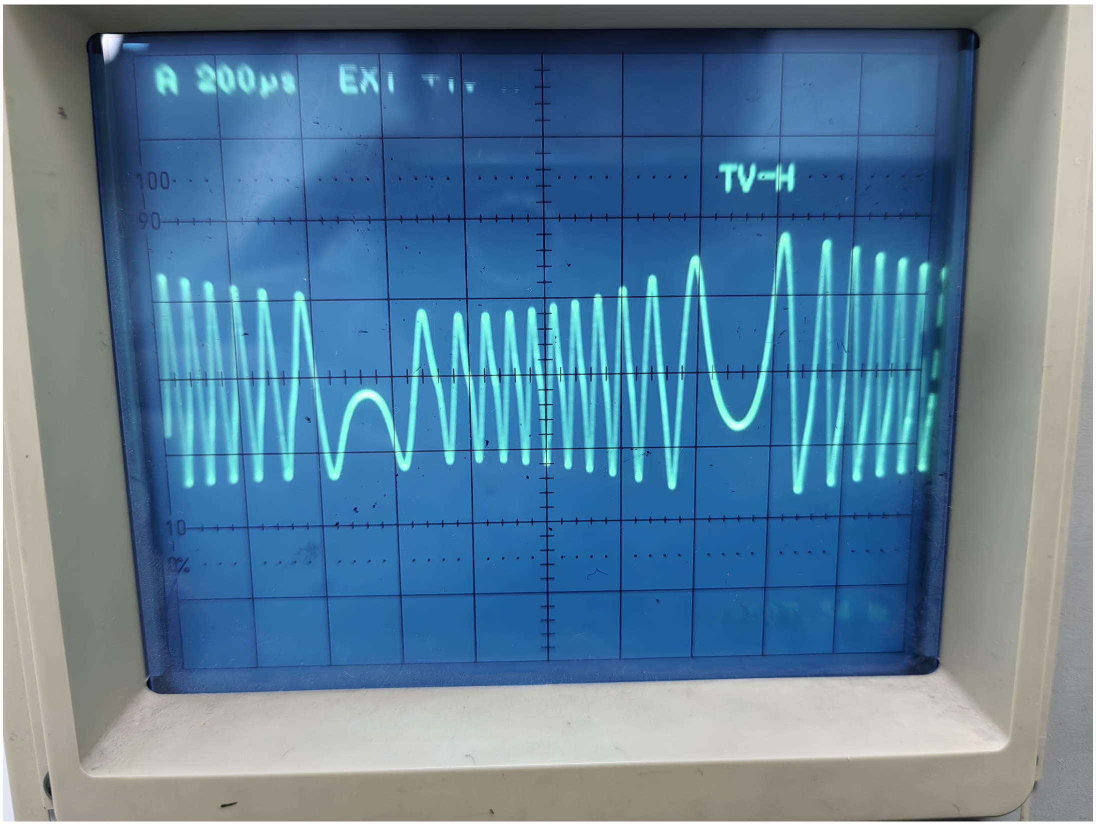


图 2: $f = 507.357Hz$

图中波形数为:$10 + 0.75 + \frac{\arccos\frac{1}{5}}{2\pi} + \frac{\arcsin\frac{4}{7}}{2\pi} = 11.06$

此时, 音叉的振动位移为:

$$A = \frac{1}{2n_\theta}\int_0^{\frac{T}{2}} F(t)dt = \frac{1}{2\times 100} \times 11.06 = 55.30\mu m \tag{9}$$

3. $f = 507.557Hz$, 非谐振.

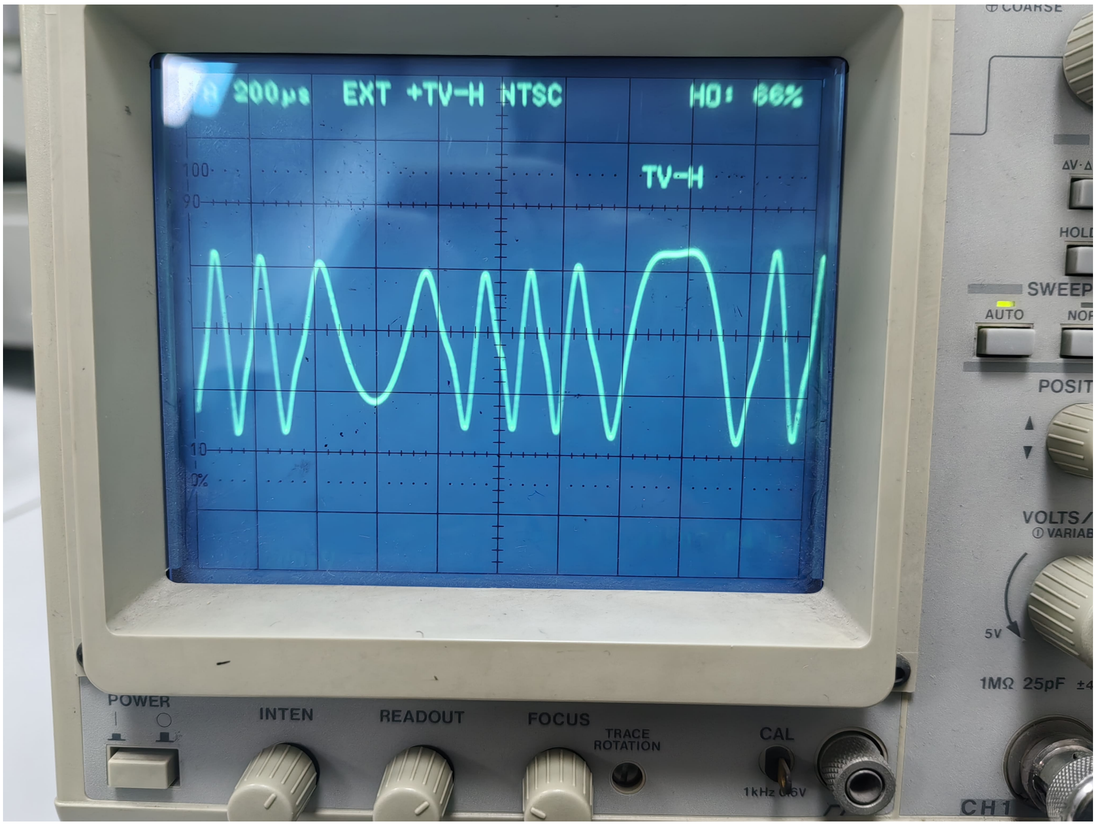


图 3: $f = 507.557Hz$

图中波形数为:$4 + 0.25 + \frac{\arcsin \frac{6}{7}}{2\pi} = 4.41$

此时, 音叉的振动位移为:

$$A = \frac{1}{2n_\theta}\int_0^{\frac{T}{2}} F(t)dt = \frac{1}{2\times 100}\times 4.41 = 22.05\mu m \tag{10}$$

4. $f = 507.757Hz$, 非谐振.

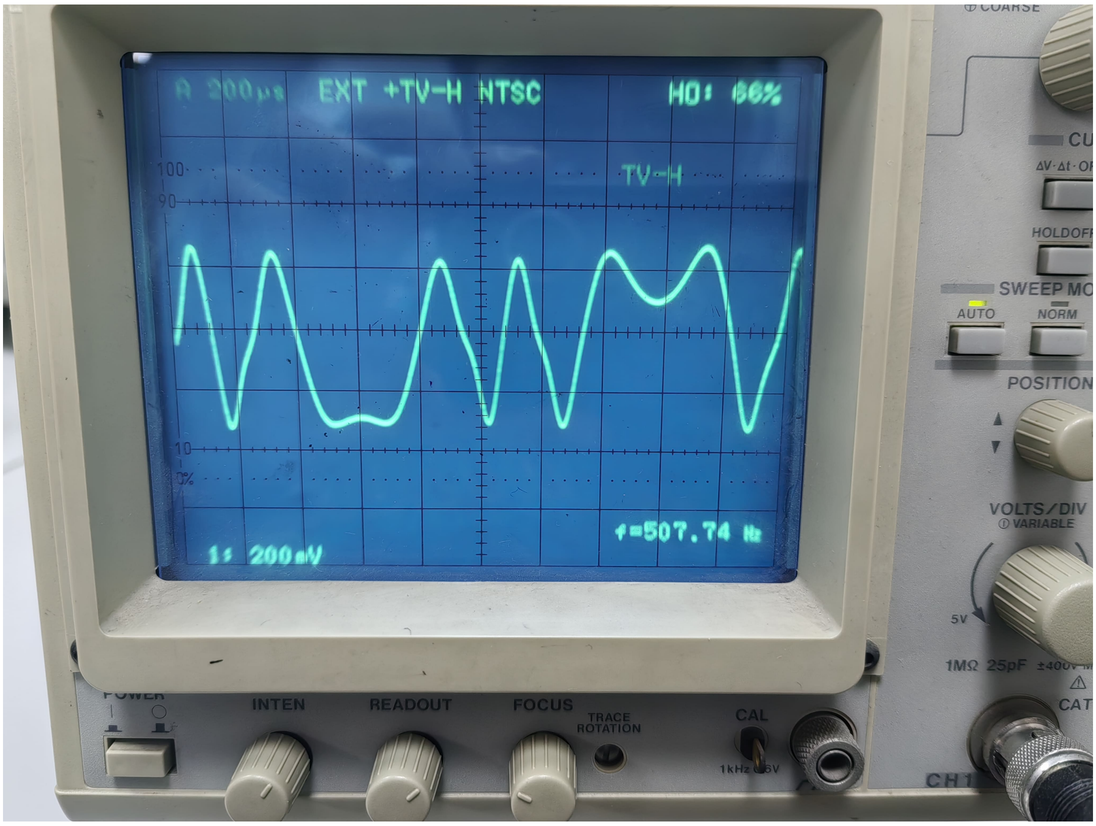


图 4: $f = 507.757Hz$

图中波形数为:$2 + 0.5 + \frac{\arccos \frac{4}{8}}{2\pi} + \frac{\arccos \frac{7}{8}}{2\pi} = 2.75$

此时, 音叉的振动位移为:

$$A = \frac{1}{2n_\theta}\int_0^{\frac{T}{2}} F(t)dt = \frac{1}{2 \times 100} \times 2.75 = 13.75\mu m \tag{11}$$

5. $f = 507.957Hz$, 非谐振.

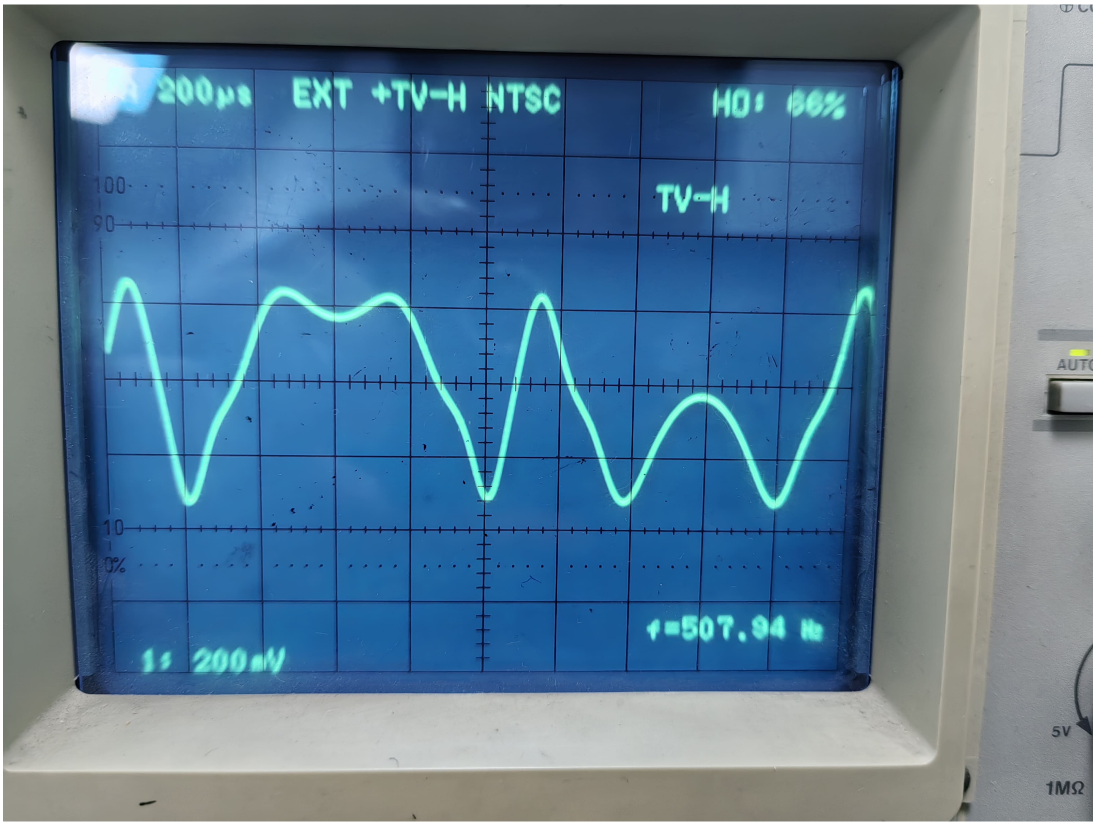


图 5: $f = 507.957Hz$

图中波形数为:$1 + 0.5 + \frac{\arccos\frac{5}{7}}{2\pi} + \frac{\arccos\frac{1}{8}}{2\pi} = 1.85$

此时, 音叉的振动位移为:

$$A = \frac{1}{2n_\theta}\int_0^{\frac{T}{2}} F(t)dt = \frac{1}{2\times 100}\times 1.85 = 9.25\mu m \tag{12}$$

6. $f = 508.157Hz$, 非谐振.

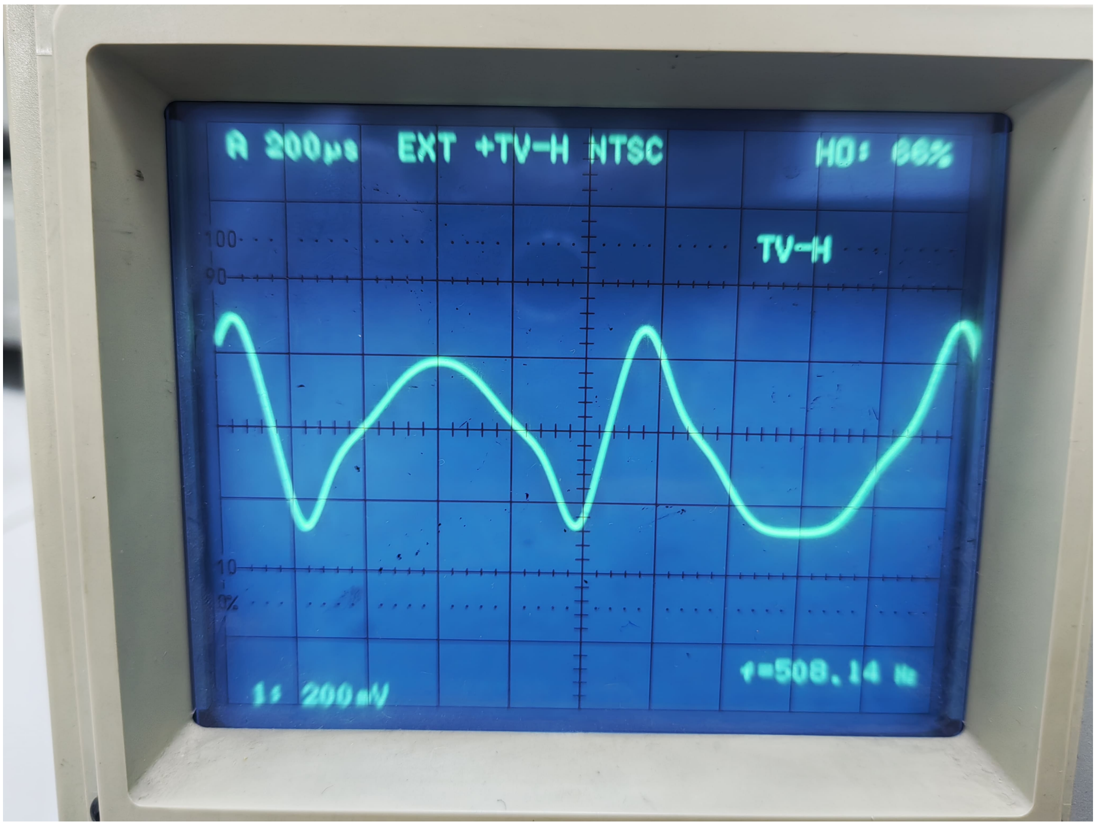


图 6: $f = 508.157Hz$

图中波形数为:$1.5 + \frac{\arcsin\frac{5}{7}}{2\pi} = 1.63$

此时, 音叉的振动位移为:

$$A = \frac{1}{2n_\theta}\int_0^{\frac{T}{2}} F(t)dt = \frac{1}{2\times 100}\times 1.63 = 8.15\mu m \tag{13}$$

7. $f = 506.957Hz$, 非谐振.

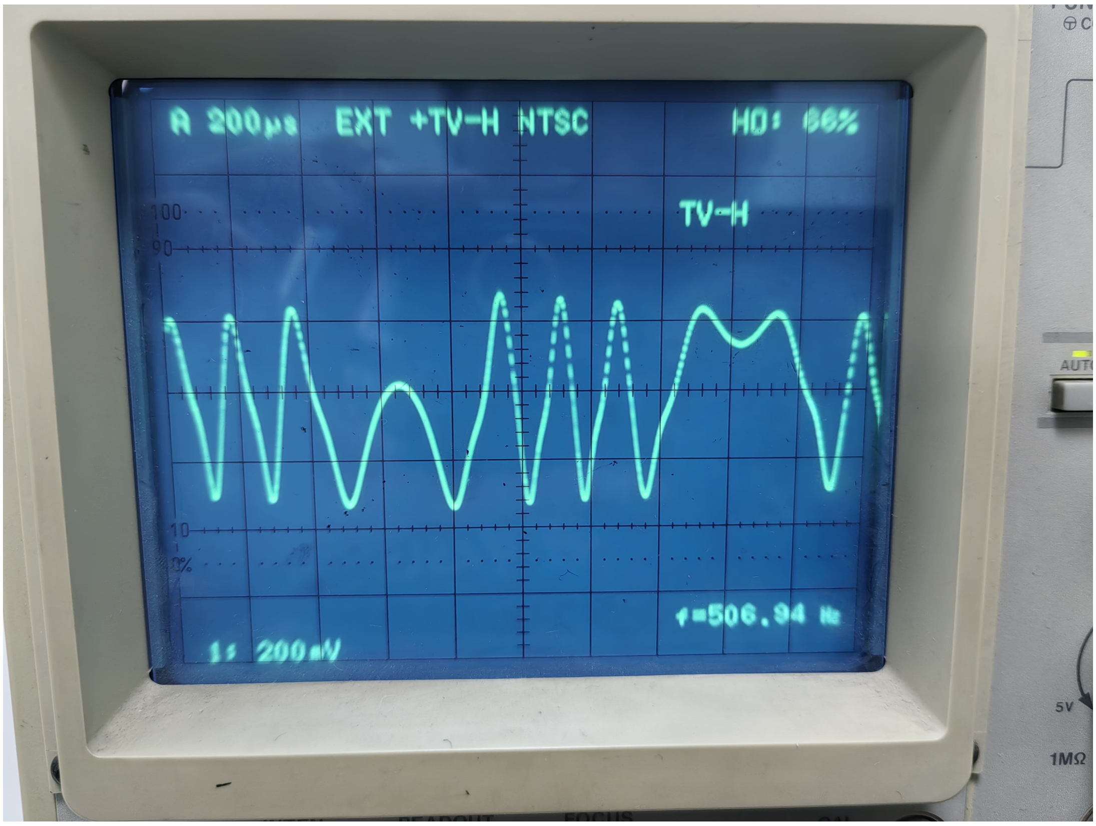


图 7: $f = 506.957Hz$

图中波形数为:$3 + 0.5 + 0.25 + \frac{\arcsin\frac{1}{9}}{2\pi} + \frac{\arccos\frac{3}{6}}{2\pi} = 3.93$

此时, 音叉的振动位移为:

$$A = \frac{1}{2n_\theta}\int_0^{\frac{T}{2}} F(t)dt = \frac{1}{2\times 100}\times 3.93 = 19.65\mu m \tag{14}$$

8. $f = 506.757Hz$, 非谐振.

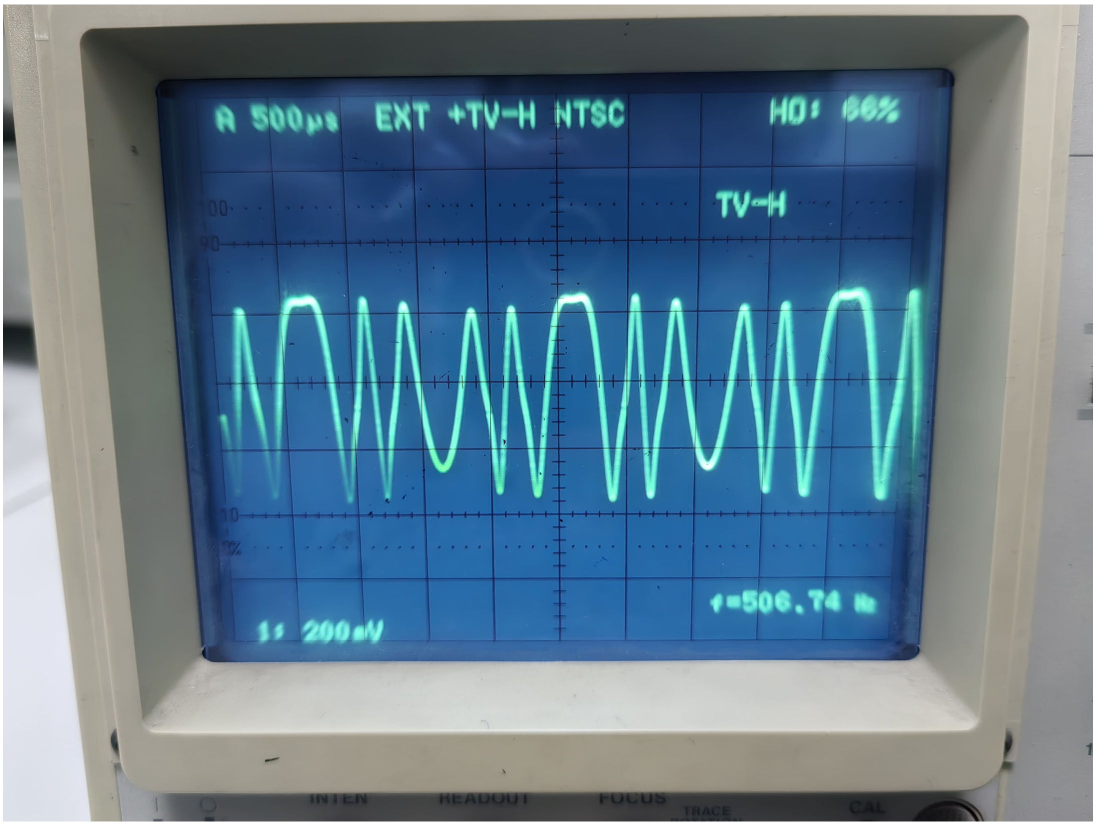


图 8: $f = 506.757Hz$

图中波形数为:$2 + 0.25 + \frac{\arcsin\frac{7}{9}}{2\pi} = 2.39$

此时, 音叉的振动位移为:

$$A = \frac{1}{2n_\theta}\int_0^{\frac{T}{2}} F(t)dt = \frac{1}{2\times 100}\times 2.39 = 11.95\mu m \tag{15}$$

9. $f = 506.557Hz$, 非谐振.

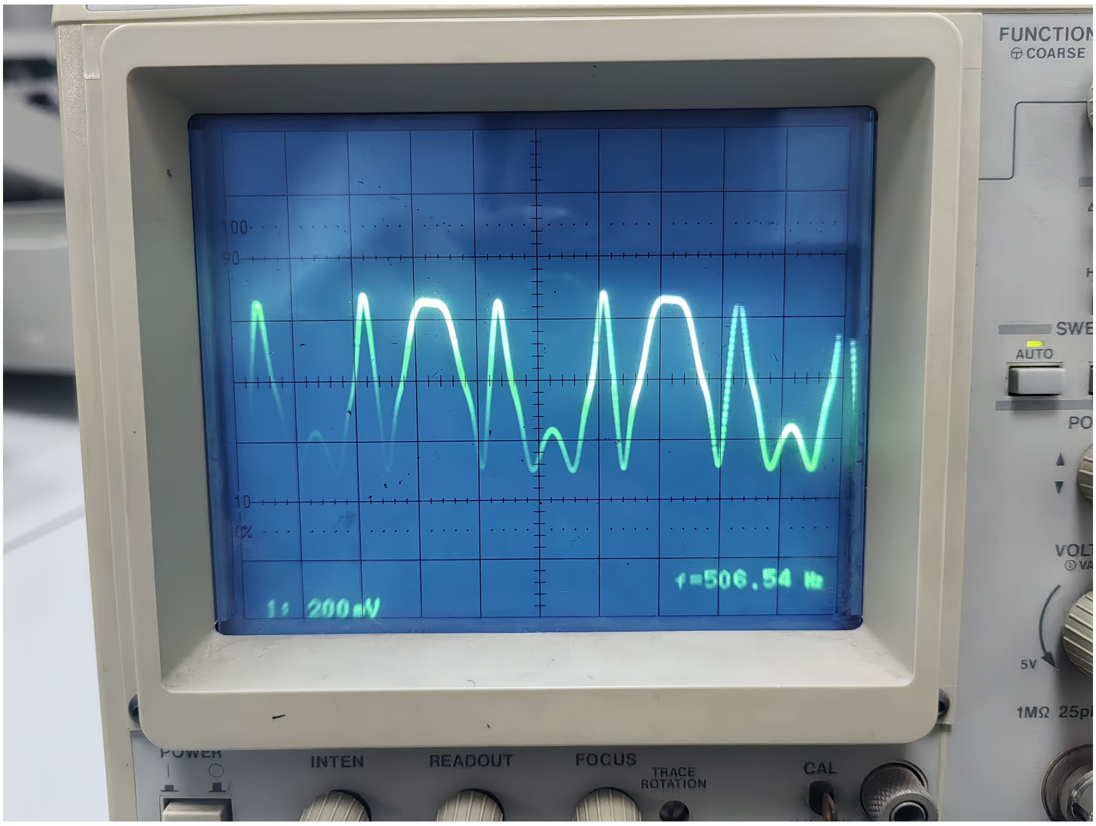


图 9: $f = 506.557Hz$

图中波形数为:$1 + 0.5 + \frac{\arccos\frac{4}{8}}{2\pi} = 1.50$

此时, 音叉的振动位移为:

$$A = \frac{1}{2n_\theta}\int_0^{\frac{T}{2}} F(t)dt = \frac{1}{2\times 100} \times 1.50 = 7.50\mu m \tag{16}$$

10. $f = 506.357Hz$, 非谐振.

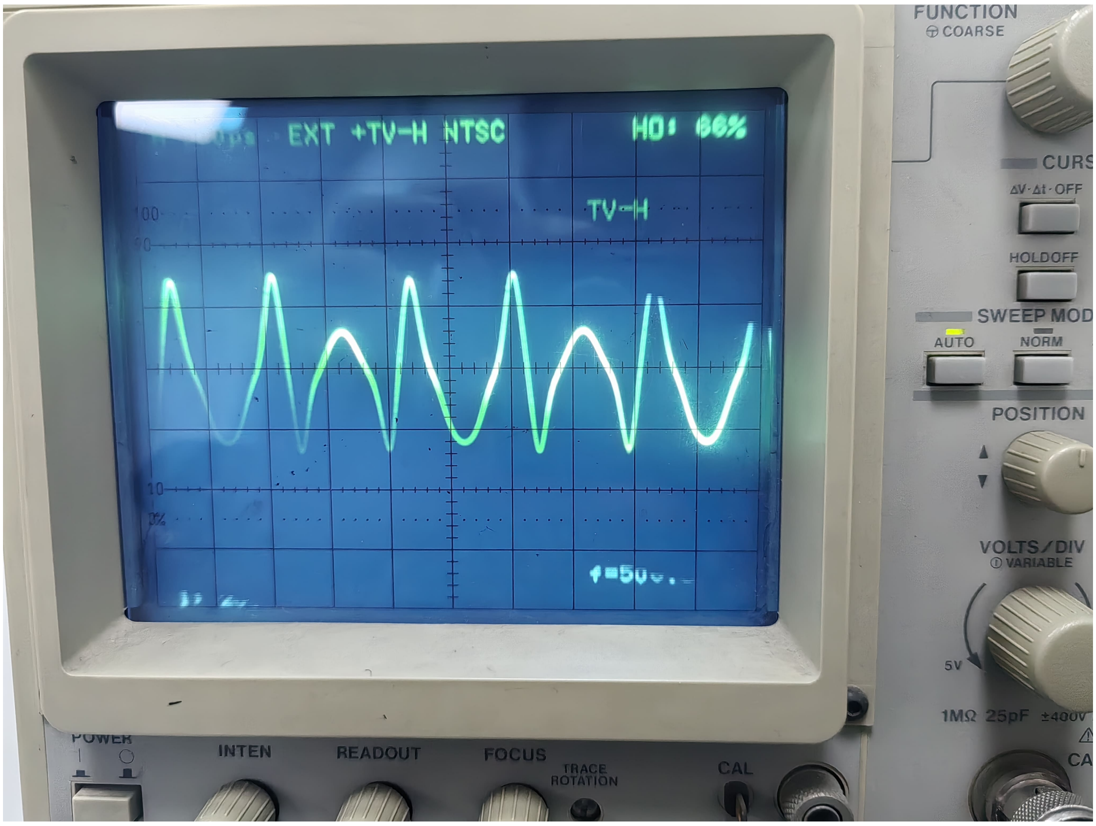


图 10: $f = 506.357Hz$

图中波形数为:$1 + \frac{\arcsin\frac{3}{6}}{2\pi} + \frac{\arcsin\frac{6}{7}}{2\pi} = 1.25$

此时, 音叉的振动位移为:

$$A = \frac{1}{2n_\theta}\int_0^{\frac{T}{2}} F(t)dt = \frac{1}{2\times 100}\times 1.25 = 6.25\mu m \tag{17}$$

11. $f = 506.157Hz$, 非谐振.

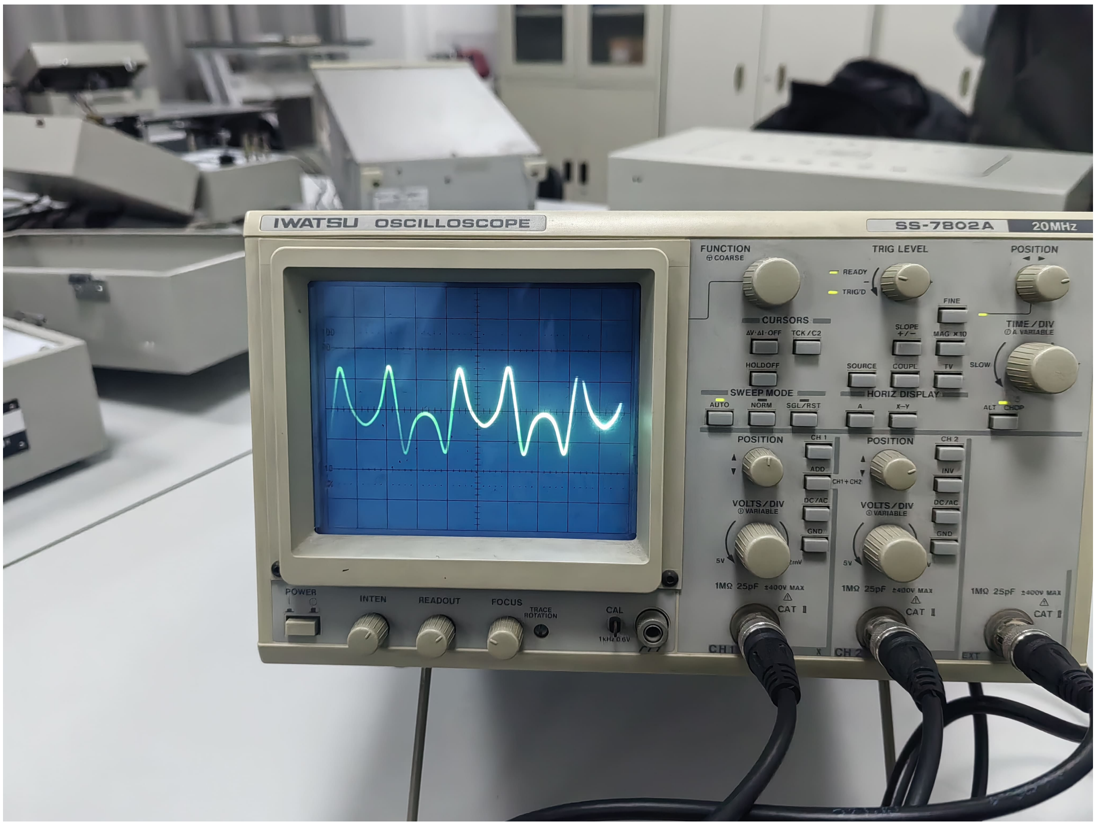


图 11: $f = 506.157Hz$

图中波形数为:$0.75 + \frac{\arcsin\frac{3}{7}}{2\pi} + \frac{\arccos\frac{1}{7}}{2\pi} = 1.05$

此时, 音叉的振动位移为:

$$A = \frac{1}{2n_\theta}\int_0^{\frac{T}{2}} F(t)dt = \frac{1}{2\times 100}\times 1.05 = 5.25\mu m \tag{18}$$

2.1.1 实验数据总结

谐振时，光拍信号的平均频率为 $14200.40Hz$**, 音叉的振动位移为** $70.00\mu m$

不同频率与振幅的表格如下:

表 1: 不同频率与振幅的关系

频率 (Hz)	506.157	506.357	506.557	506.757	506.957	507.157	507.357	507.557	507.757	507.957	508.157
振动位移 (μm)	5.25	6.25	7.50	11.95	19.65	70.00	55.30	22.05	13.75	9.25	8.15
波形数	1.05	1.25	1.50	2.39	3.93	14.00	11.06	4.41	2.75	1.85	1.63

拟合图线如下:

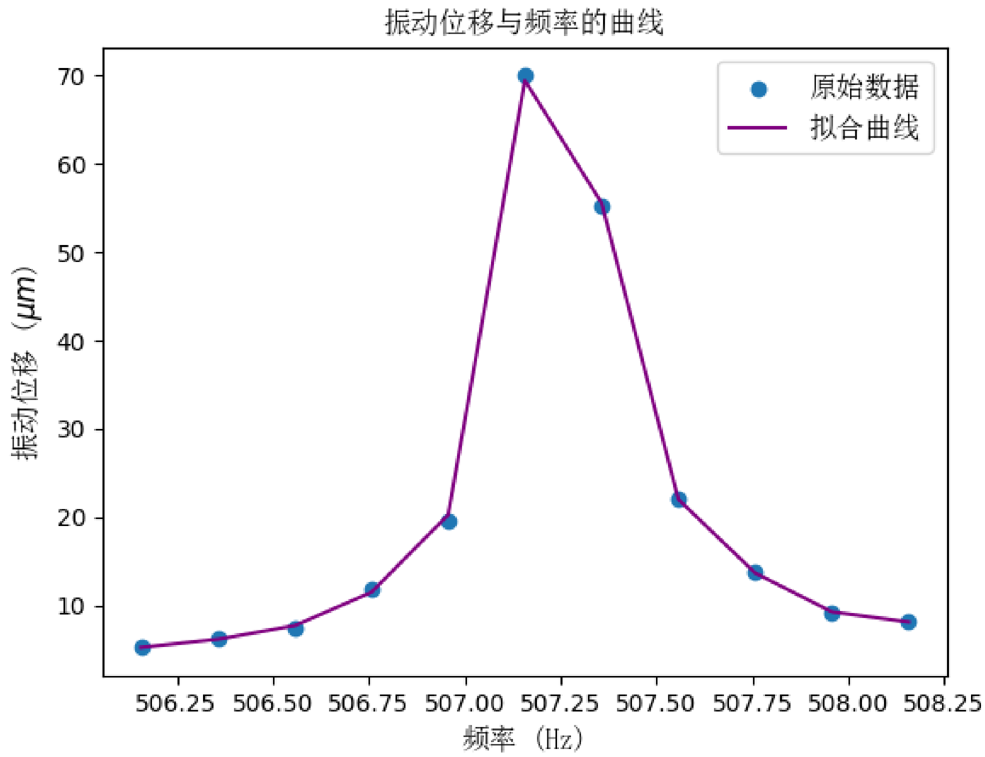


图 12: 振幅与频率的关系

2.2 结果与误差分析

从所绘制的曲线中可以看出，在谐振时，音叉的振幅最大，而稍微偏离一些频率时，振幅会迅速下降，并且是不均匀的。

本实验的误差可能来源有:

1. 波形图中偏差的格数来源于肉眼观察，存在读数的偶然误差。
2. 实验仪器的频率精度有限，可能并不是真正的谐振频率。
3. 示波器测量与真实值存在一定偏差。
4. 光路理论上需要保持等高同轴，但实际上依赖于人的肉眼观察与示波器的显示，可能无法调整为完美状态。

3 实验拓展

3.1 光波多普勒效应的基本原理

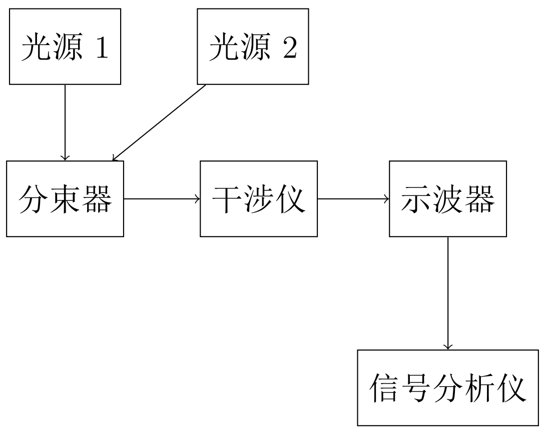
光波多普勒效应是指光源与观察者之间存在相对运动时，观察到的光波频率发生变化的现象。具体来说，当光源向观察者运动时，观察到的光波频率增高，波长缩短，称为蓝移；当光源远离观察者运动时，观察到的光波频率降低，波长变长，称为红移。此外，多普勒效应在传播介质发生运动时也会产生。

3.2 利用光拍频法测量光波波长的方法

3.2.1 测量光波波长基本原理

光拍频法是通过干涉两束频率略有不同的光波，产生拍频现象，根据拍频频率与光波波长之间的关系，测量光波的波长。它的基本原理是，当两束频率为 f_1 和 f_2 的光波相遇时，会形成一个频率为 $|f_1 - f_2|$ 的拍频。那么我们只要测出拍频的频率，结合已知的光源频率，就可以计算出未知光波的波长。

3.2.2 系统框图设计



3.2.3 实验测量方法

实验中，使用一台已知频率的激光器与未知光波作为光源，通过分束器将两束光分开后，引入干涉仪形成干涉图样。在示波器上观察到的拍频信号通过信号分析仪进行处理，得到拍频的频率。根据拍频频率与光源频率的差值，可以计算出未知光波的频率，进而求出波长。具体步骤如下：

1. 调节未知光源和激光源。

2. 通过分束器将两束光引入干涉仪，调解激光源的频率，使得形成稳定的拍频干涉图样。

3. 使用示波器测量干涉图样中的拍频信号，并将信号传输至信号分析仪。
4. 在信号分析仪中测量拍频的频率，根据拍频频率与已知激光源频率的关系，计算出未知光波的波长。

4 参考文献

本实验无参考文献。