

利用双光栅多普勒效应 测量微振动实验

物理实验（下）第一循环

本系列视频将帮助你了解

解释

实验原理是什么？

引导

原理和具体实验现象有哪些不同？

如何解释预期之外的实验现象？

如何对你的假设设计实验验证？

如何改进仪器、实验设计？如何定标仪器精度？

提醒

实验仪器的使用要点

实验注意事项！



请看完本视频后再阅读资料和撰写预习报告。
视频中提出的问题将在实验开始前后讨论，
并作为补充实验的出发点，请认真对待。

本实验特色

1, 含有多个重要的物理原理:

多普勒效应、光栅衍射与光的干涉、共振与品质因子

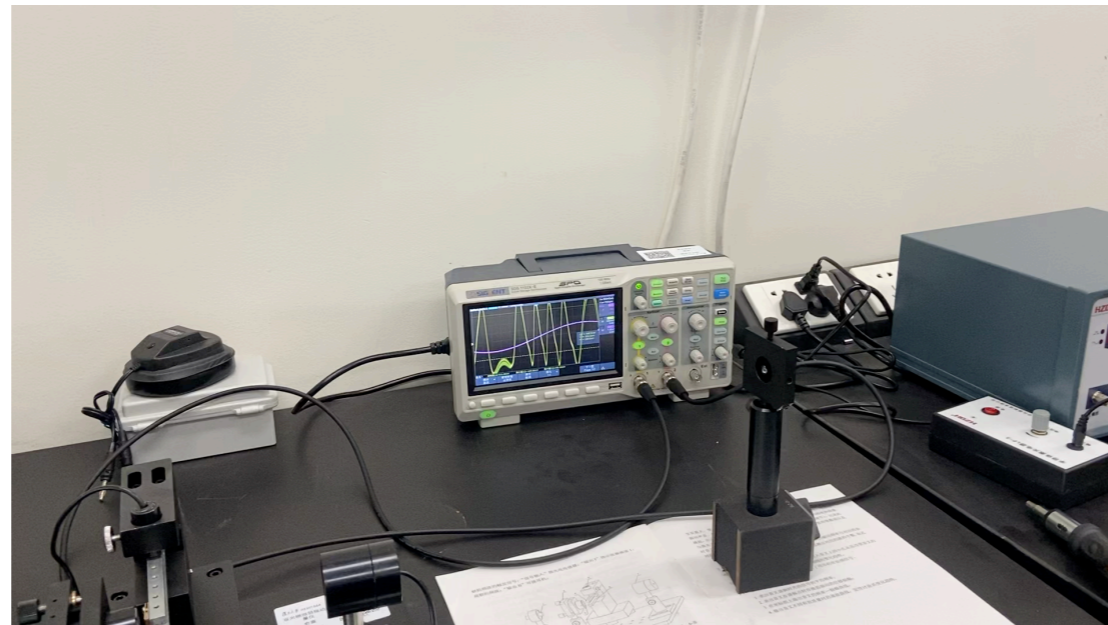
2, 有趣的实验现象:

对微小振动非常敏感。

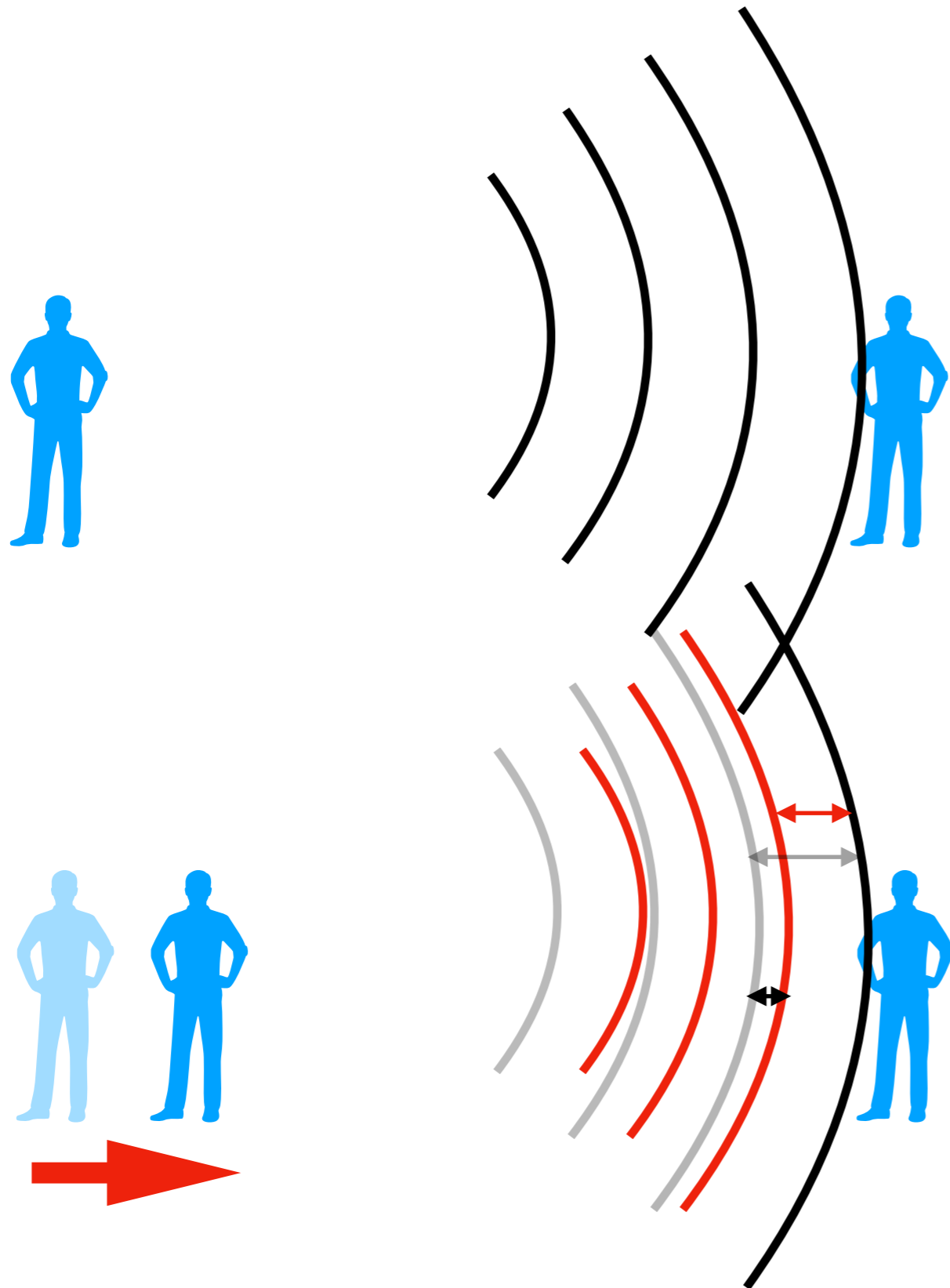
如何进一步提高精度并定标 (探索方向1)

3, 可供深入探索的原理。

如何解释预期之外的实验现象? (探索方向2)



实验原理（多普勒效应）



声源发生移动，波长发生改变

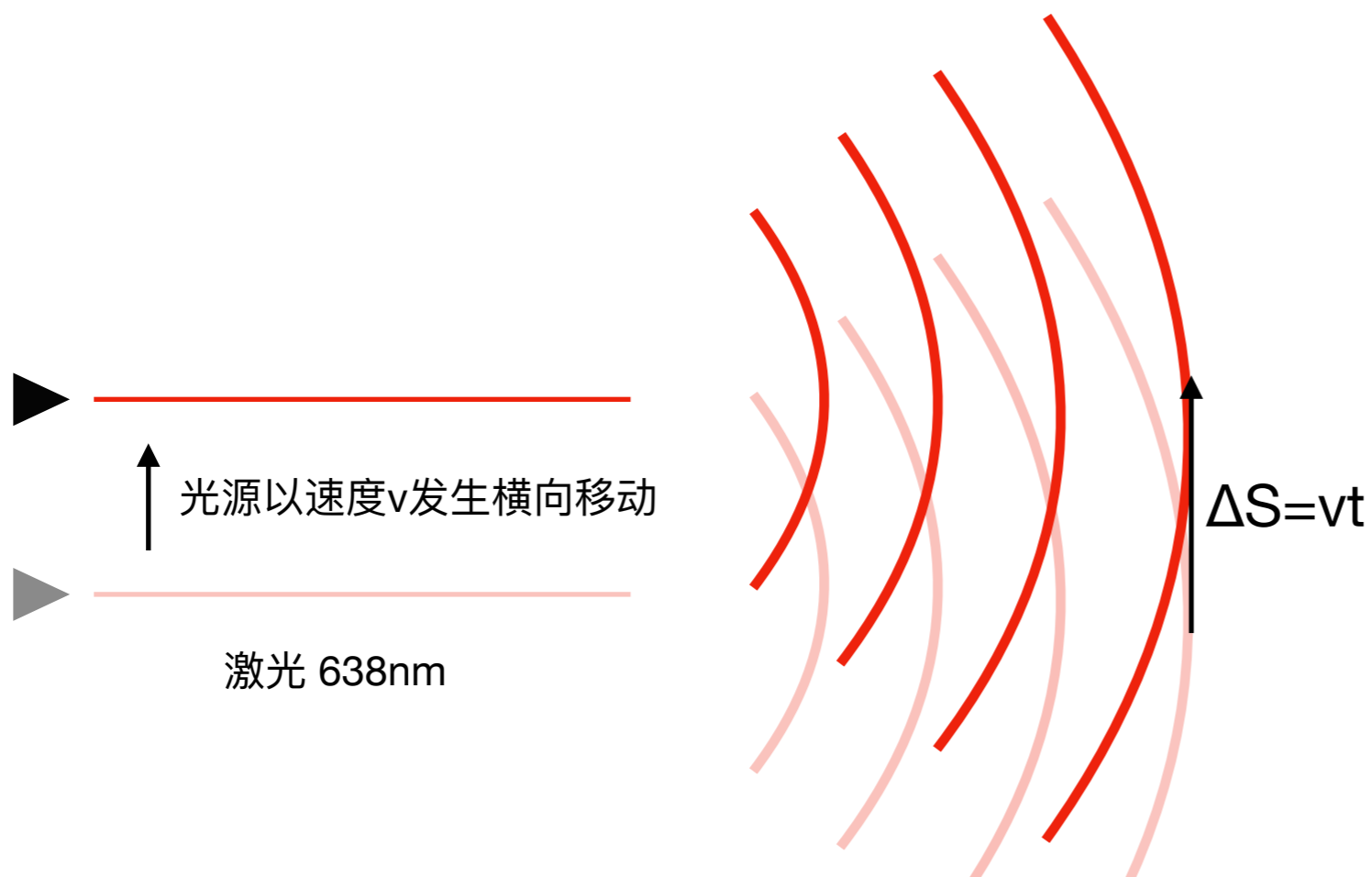
↓
频率发生改变

↑
对比声源不动，额外相位差

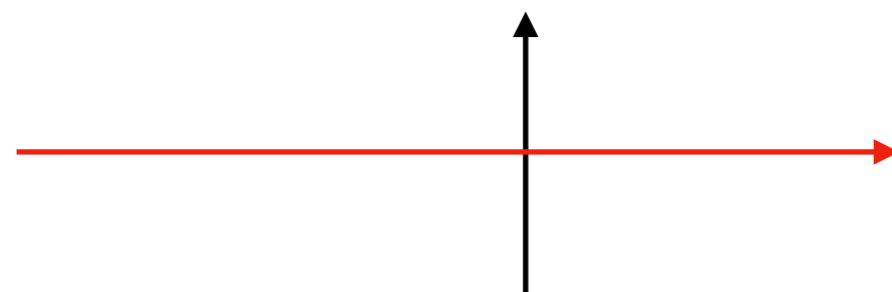
$$\cos(\omega_0 t + \frac{vt}{\lambda} 2\pi) = \cos(\frac{(v + v_0)t}{\lambda} 2\pi)$$

$$f' = f \cdot \frac{v + v_0}{v_0}$$

实验原理 (多普勒效应)



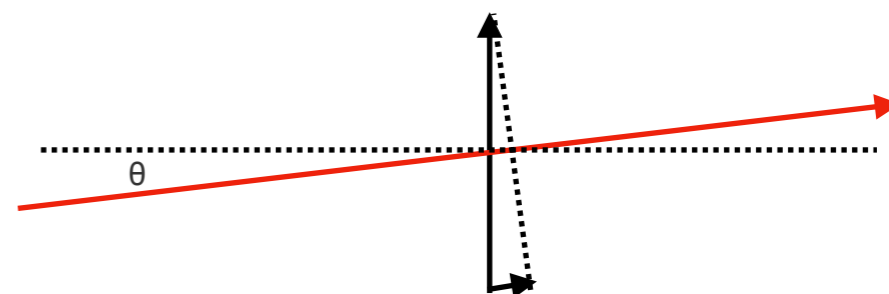
对比声源不动，波面发生移动
 额外相位差？ 与光线传播方向有关



与入射光垂直，无相位变化

$$\cos(\omega_0 t + \frac{vt \sin\theta}{\lambda} 2\pi) = \cos((\omega_0 + \omega_d)t)$$

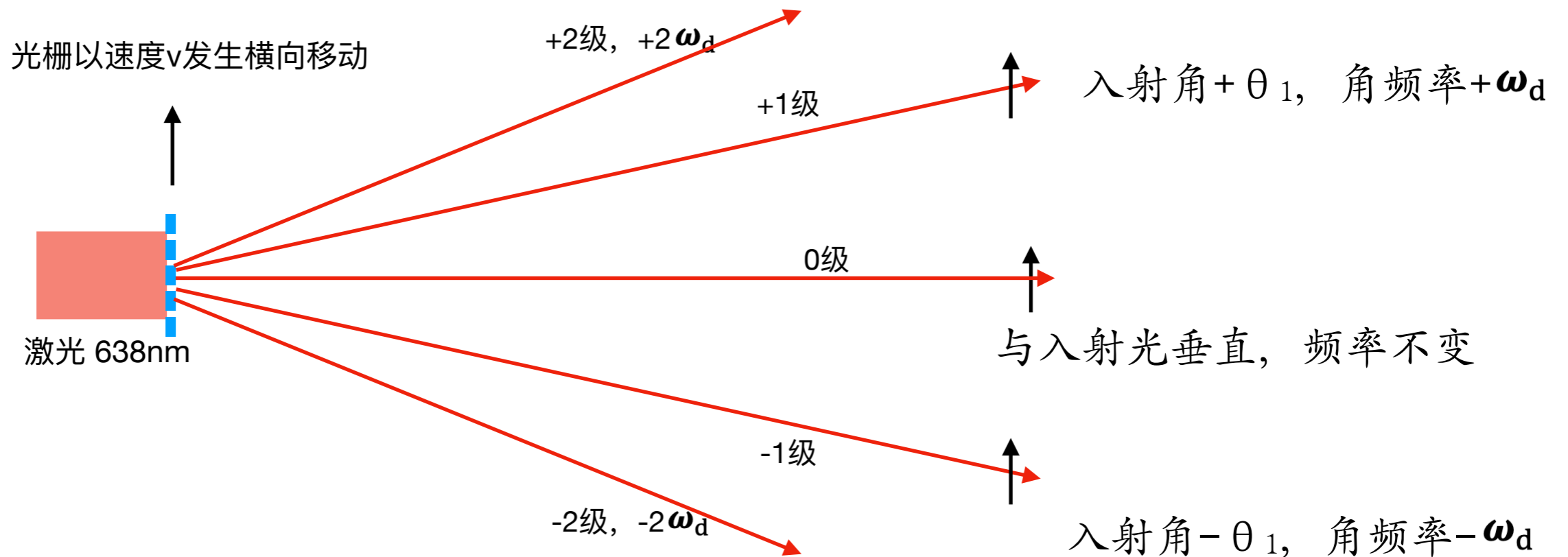
$$\omega_d = \frac{v \sin\theta}{\lambda} 2\pi$$



法向夹角 θ ，相位变化 $\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta s \sin \theta$

光栅的多普勒效应

额外相位差？ 与光线传播方向有关



$$\cos(\omega_0 t + \frac{vt \sin\theta}{\lambda} 2\pi) = \cos((\omega_0 + \omega_d)t)$$

$$\omega_d = \frac{v \sin\theta_1}{\lambda} 2\pi = 2\pi \frac{v \lambda}{\lambda d} = 2\pi \frac{v}{d}$$

光栅有特定的衍射角
每个角度对应不同的频移

频移远小于光频，如何测量？

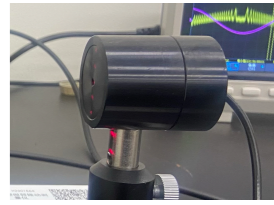
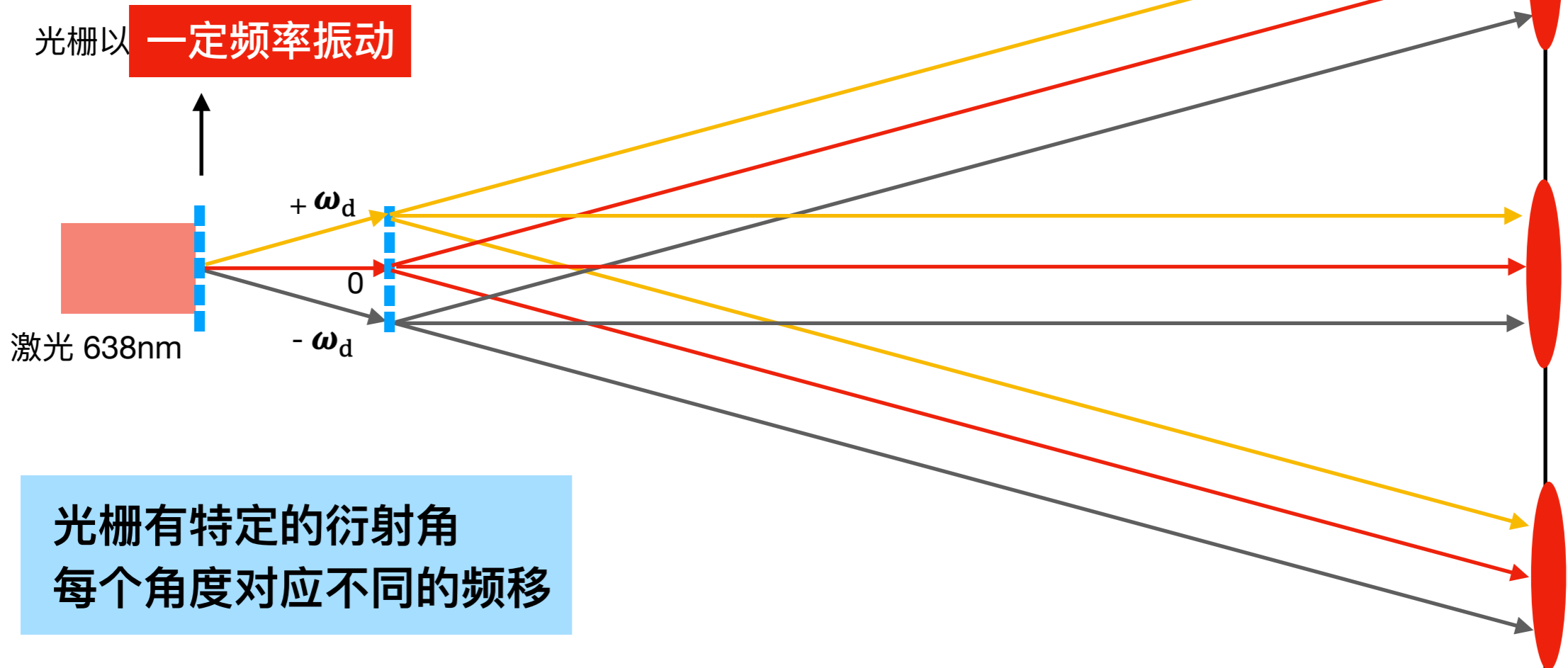
拍

光拍的形成：双光栅

1, 拍频 ω_d 周期性改变

$$\omega_d = \frac{v \sin\theta_1}{\lambda} 2\pi = 2\pi \frac{v \lambda}{\lambda d} = 2\pi \frac{v}{d}$$

2, 速度反向, 会使动光栅出射光频移反转, 但拍频不变



光栅有特定的衍射角
每个角度对应不同的频移

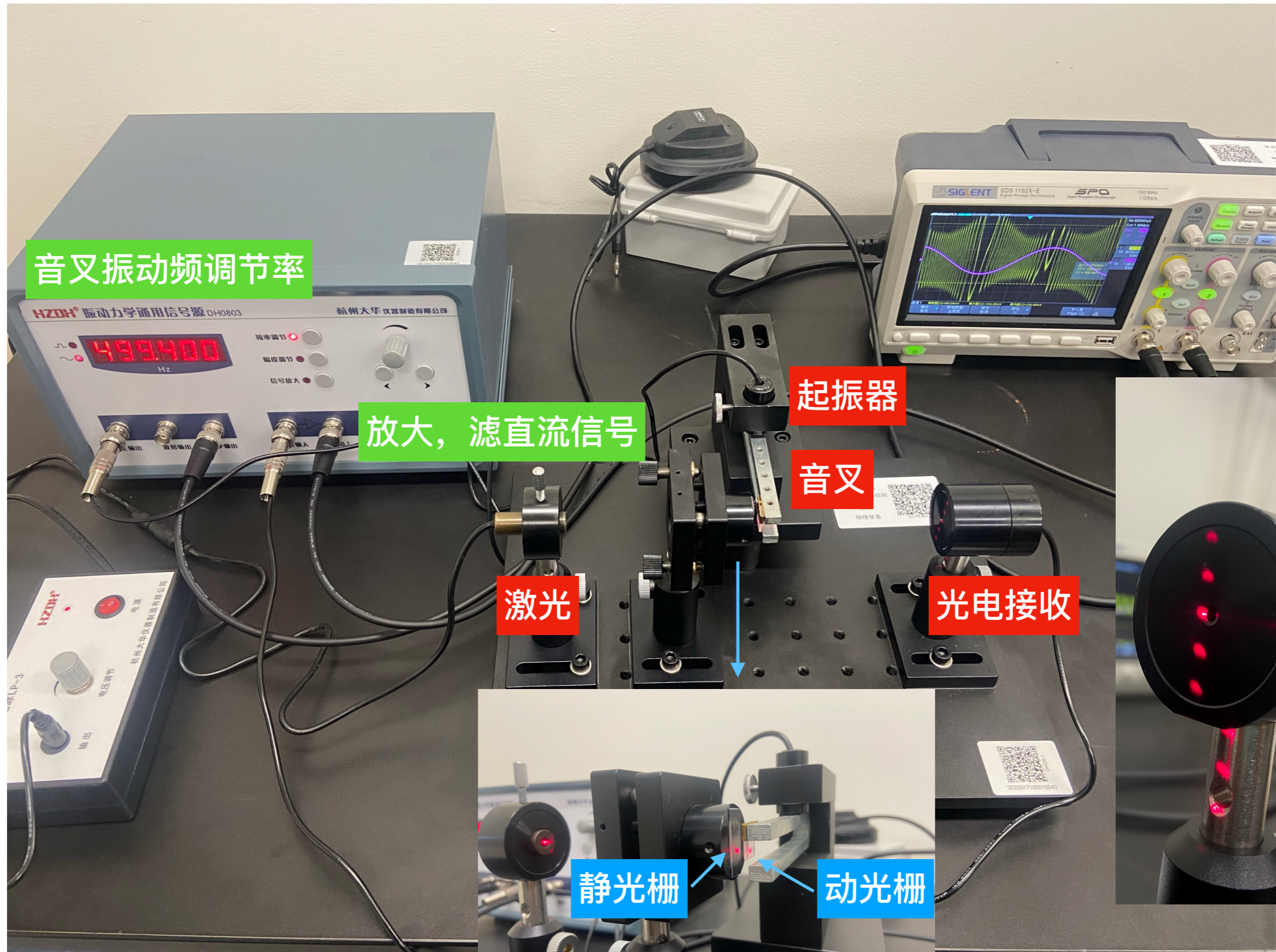
经过第二个静止光栅后,
不同频率的光发生混合

拍

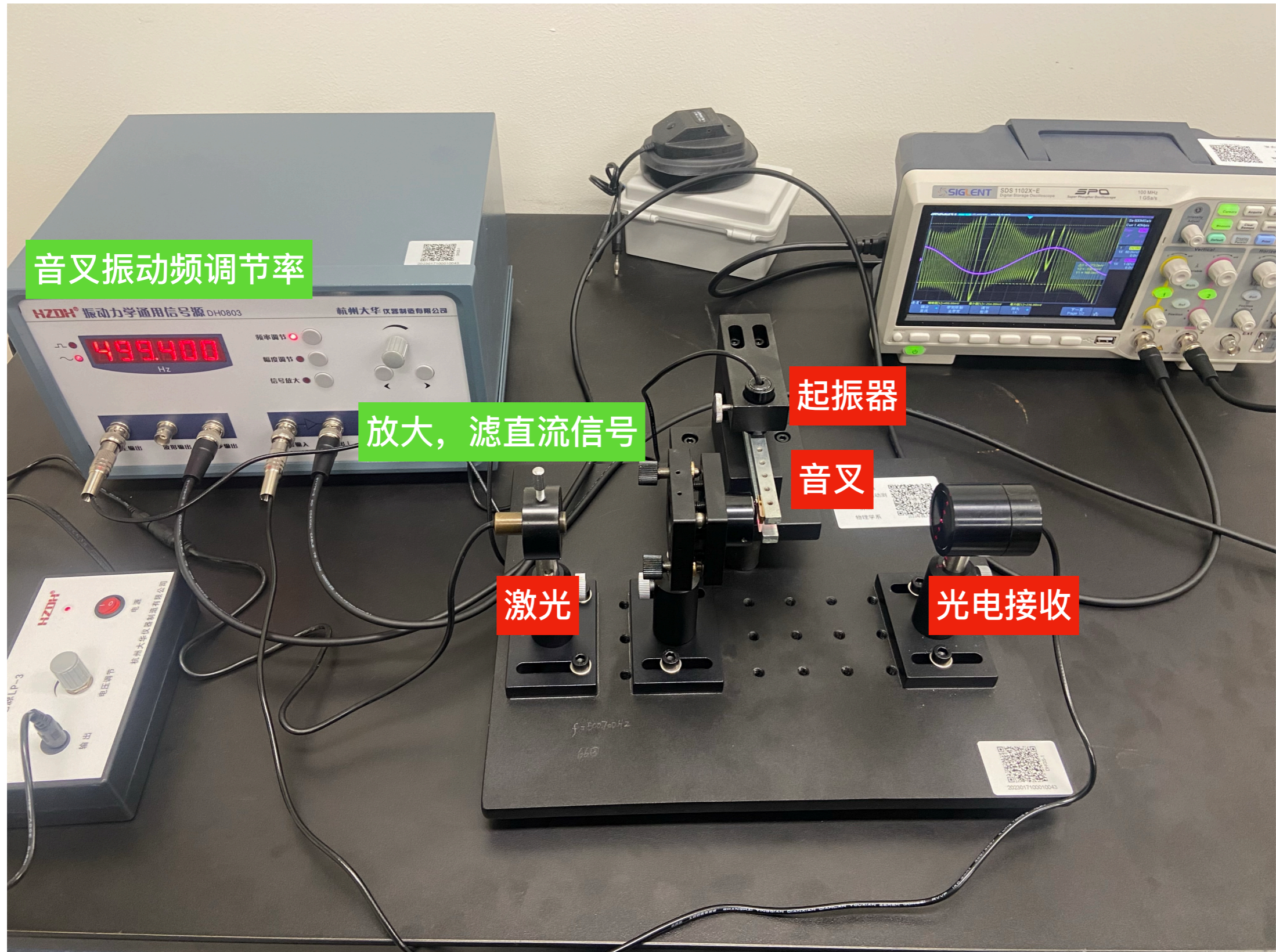
光频率过高,
仅拍的频率能被光电传感器检测到

$$\begin{aligned}
 I &= \xi (E_1 + E_2)^2 \\
 &= \xi \left\{ E_{10}^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_1) + E_{20}^2 \cos^2[(\omega_0 + \omega_d)t + \varphi_2] \right. \\
 &\quad \left. + E_{10} E_{20} \cos[(\omega_0 + \omega_d - \omega_0)t + (\varphi_2 - \varphi_1)] \right. \\
 &\quad \left. + E_{10} E_{20} \cos[(\omega_0 + \omega_d + \omega_0)t + (\varphi_2 + \varphi_1)] \right\}
 \end{aligned}$$

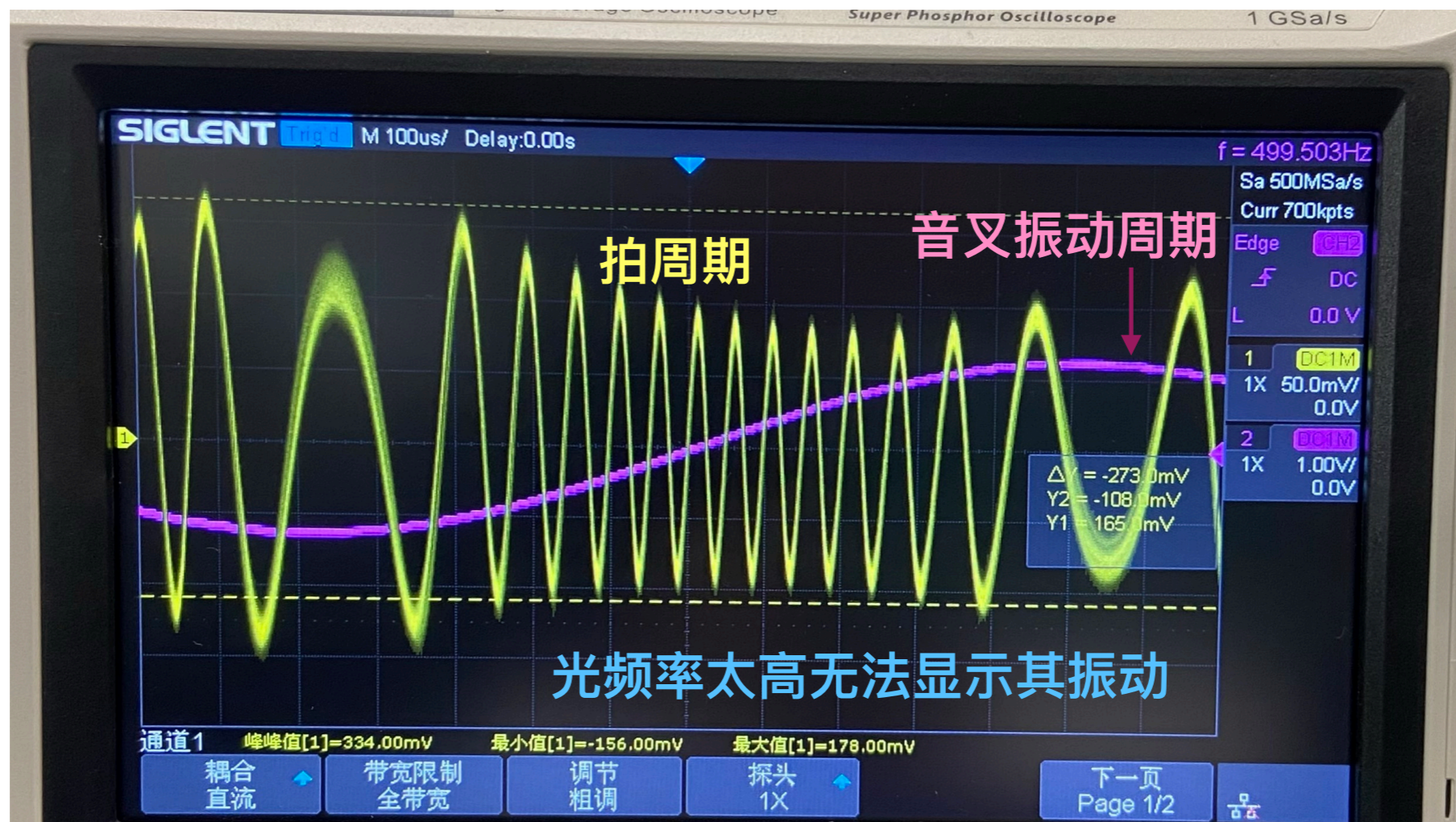
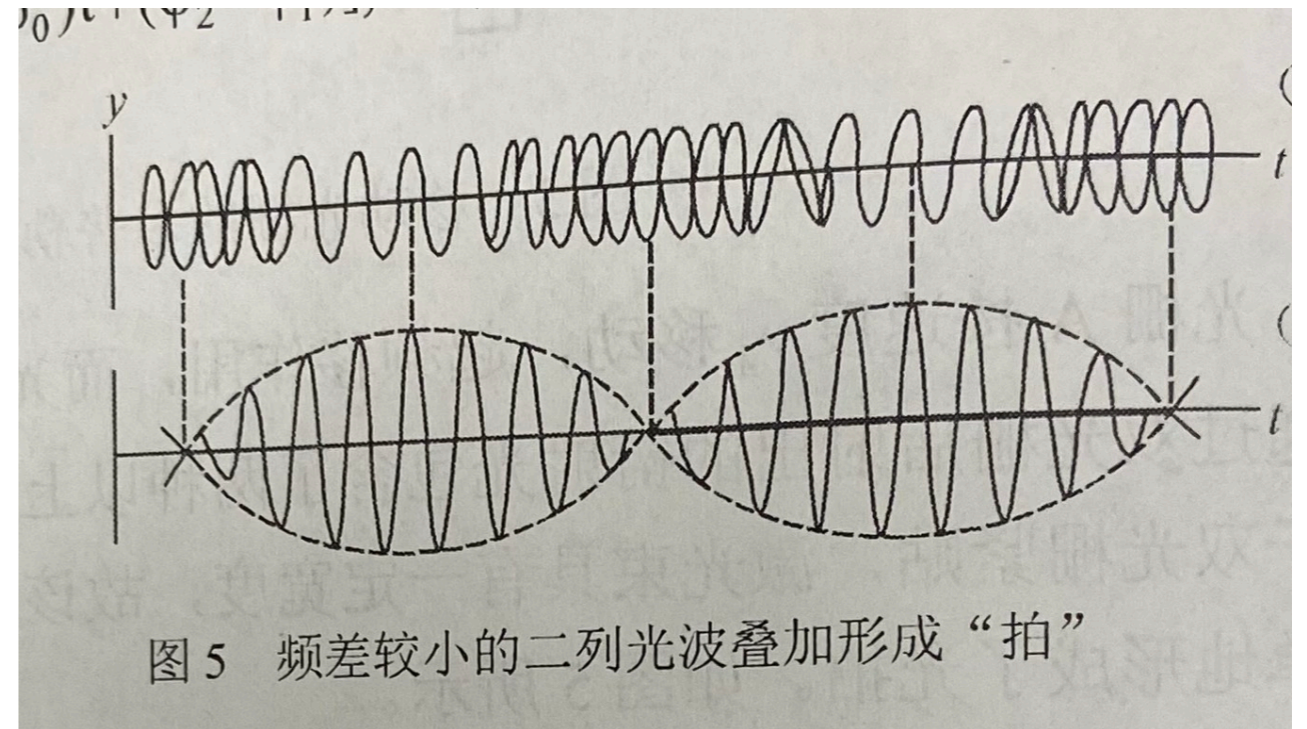
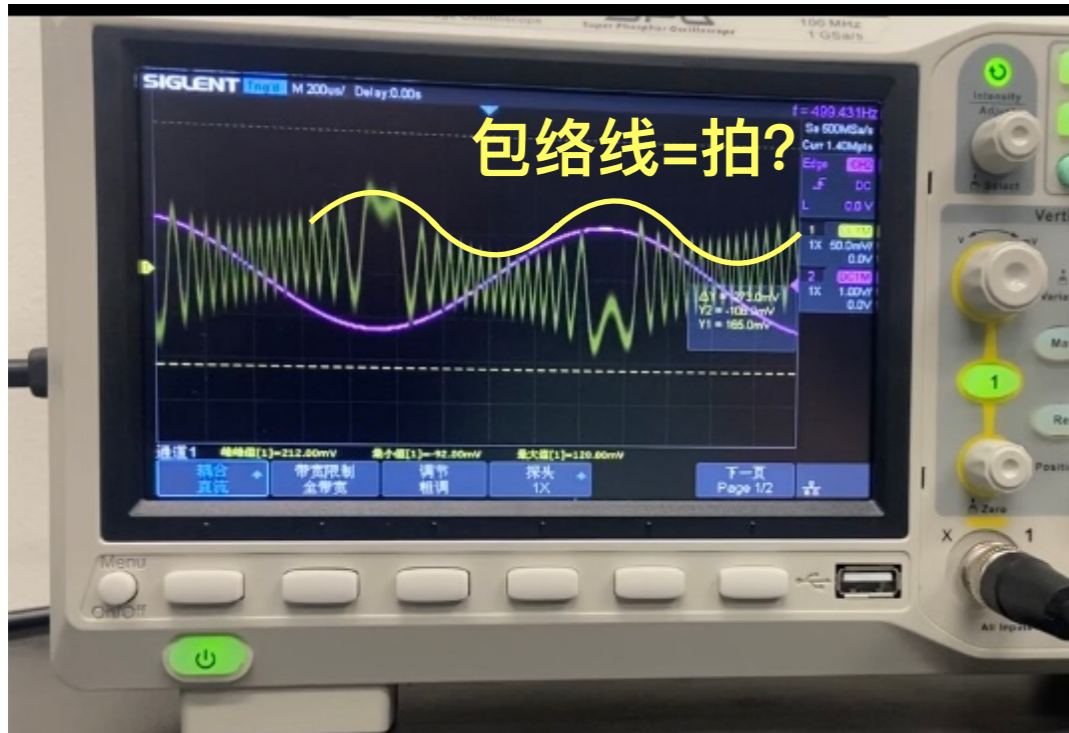
实验装置



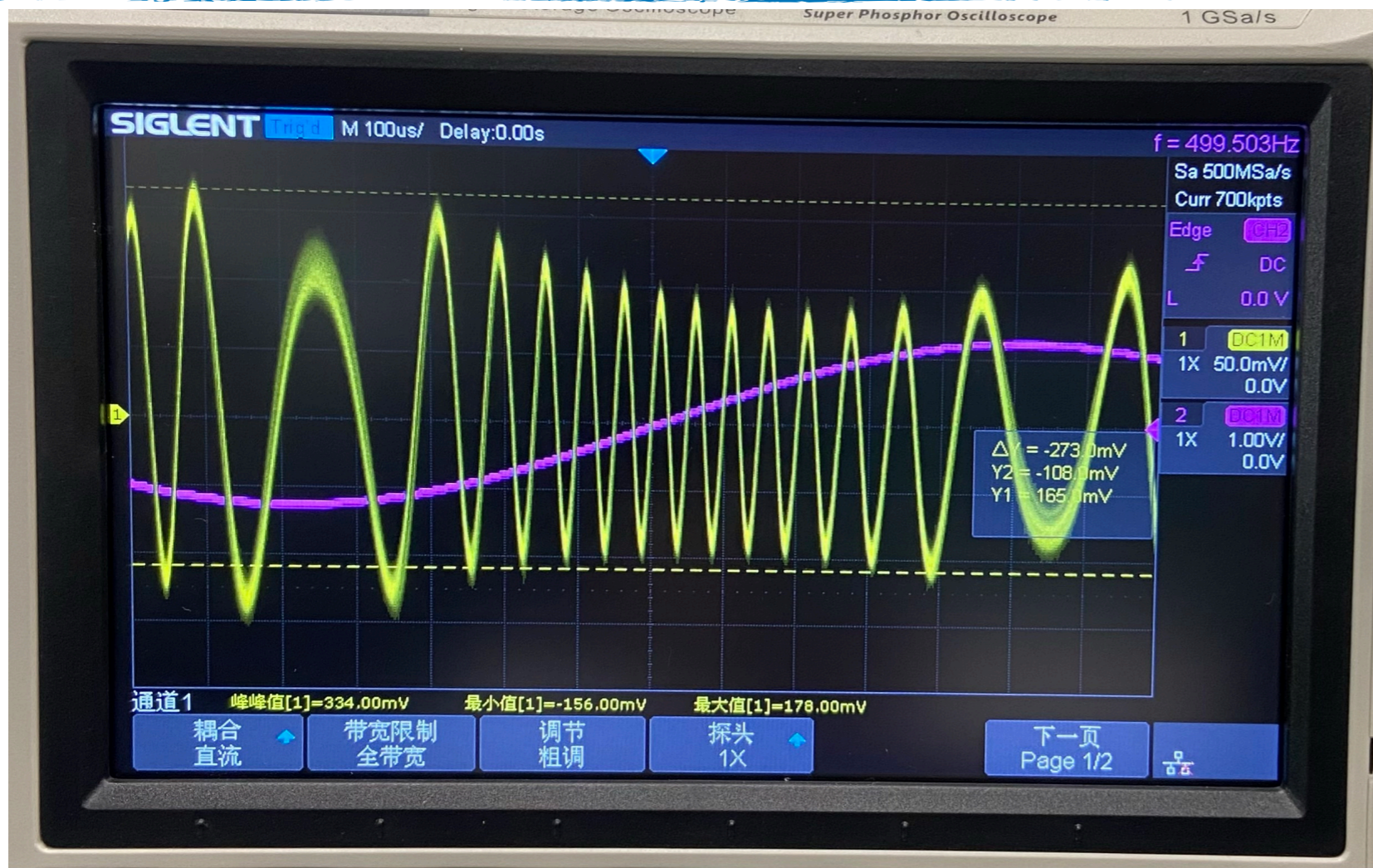
实验装置



实验结果



波形分析



- 1, 拍疏密周期性变化, 反映了光栅 (音叉) 振动速度的周期变化。

$$\omega_d = \frac{v \sin \theta_1}{\lambda} 2\pi = 2\pi \frac{v \lambda}{\lambda d} = 2\pi \frac{v}{d}$$

作为课堂问题向学生提出

- 2, 在音叉振动的波峰位置, 拍相位反转表征速度的反向。
- 3, 拍的振幅随音叉振动周期变化的原因? 留给学生探索解答

振幅与波数， 振动实验内容

音叉的一个周期内， 出现复数次拍

波数

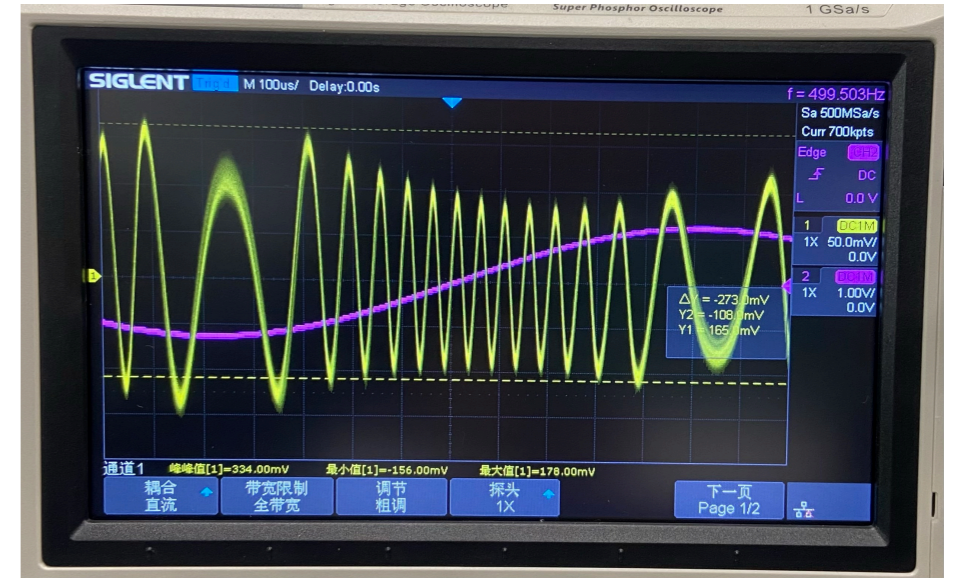
$$\omega_d = \frac{v \sin \theta_1}{\lambda} 2\pi = 2\pi \frac{v \lambda}{\lambda d} = 2\pi \frac{v}{d} \rightarrow F_{\text{拍}} = v n_{\theta}$$

n为光栅密度（正比与目数）

对Fdt积分即得到波数。

波数

振幅



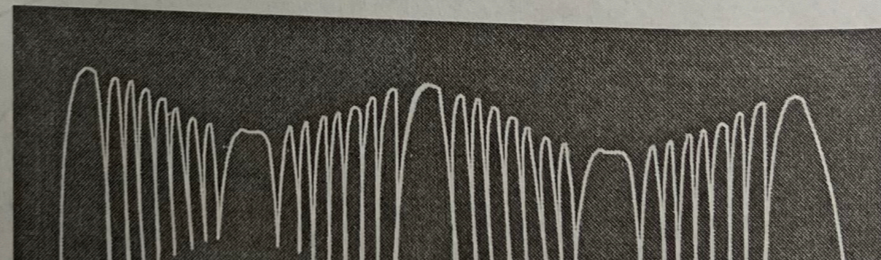
3. 微弱振动位移量的检测

从式(7)可知， $F_{\text{拍}}$ 与光频率 ω_0 无关，且当光栅密度 n_{θ} 为常数时，只正比于光栅移动速度 v_A ，如果把光栅粘在音叉上，则 v_A 是周期性变化的。所以光拍信号频率 $F_{\text{拍}}$ 也是随时间而变化的，微弱振动的位移振幅为：

$$A = \frac{1}{2} \int_0^{T/2} v(t) dt = \frac{1}{2} \int_0^{T/2} \frac{F_{\text{拍}}(t)}{n_{\theta}} dt = \frac{1}{2n_{\theta}} \int_0^{T/2} F_{\text{拍}}(t) dt \quad (8)$$

式中T为音叉振动周期， $\int_0^{T/2} F_{\text{拍}}(t) dt$

表示T/2时间内的拍频波的个数。所以，只要测得拍频波的波数，就可得到较弱振动的位移振幅。



- 实验的主要内容：
- 1.利用数波数的方法来测量光栅（音叉）振幅
 - 2.测量音叉共振曲线及品质

拓展内容（第二、三周内容）

实验的原理很精彩，但实验内容（基本都是振动）和原理结合不紧密。

实验内容单一，无法覆盖三周，探索性不足。

拓展内容

波形的深度挖掘 包络线

原理的深入理解 动静光栅换位

毛刺现象的观察及其成因分析

提高仪器敏感度调试研究

关于共振的探究

不同目光栅组合的影响

请自主选择2-3项