物理实验预习报告

实验名称： 光速测量

指导教师：

班级：

姓名：

学号：

实验日期： 2025 **年** 10 **月** 28 **日** **星期** 二 **下午**

浙江大学物理实验教学中心

一、预习报告（10 分）

1. 实验综述（5 分）

（自述实验现象、实验原理和实验方法，包括必要的光路图、电路图、公式等。不超过 500 字。）

本实验采用“光调制法”在实验室内测量光速。

实验原理： 实验的基本思想是：让光源发出的光强度随高频信号 ν（本实验中 $\nu = 100$ MHz）进行周期性调制，其光强可表示为 $I = I_0 + \Delta I_0 \cos(2\pi\nu t)$。此光信号被光电探测器接收后，转换为同频率的电信号 $U(t)$。

1. 相位延迟：设参考信号为 $U_1 = A_1 \cos(2\pi\nu t)$。光波在空气中传播距离 Δs 后被接收器接收，信号 U_2 相对于 U_1 会产生一个时间延迟 $\Delta t = \Delta s/c$。因此，测量信号为 $U_2 = A_2 \cos(2\pi\nu(t - \Delta t)) = A_2 \cos(2\pi\nu t - \Delta\phi)$。其中，$\Delta\phi$ 是由光程差 Δs 引起的相位差：

$$\Delta\phi = 2\pi\nu\Delta t = 2\pi\nu\frac{\Delta s}{c} \tag{1}$$

原理上，通过测量 $\Delta\phi$ 和 Δs，即可求出光速 c：

$$c = \frac{2\pi\nu\Delta s}{\Delta\phi} \tag{2}$$

2. 频率变换：由于高频信号的相位 $\Delta\phi$ 难以直接精确测量，本实验采用“频率变换”的方法将其转换为低频信号的相位差。如图1所示，将高频 ν（100 MHz）的参考信号和测量信号分别与一个频率为 ν''（99.5 MHz）的本地振荡信号进行混频（调制），然后通过低通滤波器，滤去高频的和频分量，仅保留差频分量 $\nu' = \nu - \nu'' = 0.5$ MHz。

处理后的参考信号变为 $U_1' = A_1' \cos(2\pi\nu' t)$，测量信号变为 $U_2' = A_2' \cos(2\pi\nu' t - \Delta\phi)$。关键在于，高频信号的相位差 $\Delta\phi$ 被完整地保留到了低频信号中。

3. 公式推导：我们实际测量的是低频差拍信号 U_1' 和 U_2' 之间的相位差。如图3所示，该相位差 $\Delta\phi$ 在示波器上表现为两波形的时间差 $\Delta t'$。它们的关系是：

$$\frac{\Delta\phi}{2\pi} = \frac{\Delta t'}{T'} \quad \text{其中} T' = \frac{1}{\nu'} \tag{3}$$

联立公式1可得：$\frac{2\pi\nu\Delta s/c}{2\pi} = \frac{\Delta t'}{1/\nu'}$，即：

$$\frac{\nu\Delta s}{c} = \nu'\Delta t' \quad \Longrightarrow \quad c = \frac{\nu}{\nu'}\frac{\Delta s}{\Delta t'} \tag{4}$$

实验中，光程差的变化量为 $\Delta s = 2(s_2 - s_1)$（s_1, s_2 为折光器位置），对应的时间差变化量为 $\Delta t'$。因此，最终的光速计算公式为：

$$c = \frac{2(s_2 - s_1)\nu}{\Delta t'\nu'} \tag{5}$$

实验方法： 本实验在思想方法上主要运用了：

(1) 相位法：将直接测量光传播的微小时间（$\Delta t \approx 10^{-9}$s）这一难题，转化为测量调制信号的相位差（$\Delta\phi$）的问题。

(2) 频率变换：将难以精确测量的高频信号相位差（$\Delta\phi$），通过混频（见图1）和滤波，“平移”到低频信号上，使其表现为易于在示波器上精确读数的时间差（$\Delta t'$）。

(3) 差分测量：实验不测量 Δs 和 $\Delta t'$ 的绝对值，而是测量光程的改变量 $\Delta s = 2(s_2 - s_1)$ 和时间差的改变量 $\Delta t'$。这可以有效消除由仪器内部电路延迟等因素造成的固定系统误差。

(4) 线性回归：通过多次测量不同光程差 Δs_i 及其对应的 $\Delta t'_i$，绘制 $\Delta s - \Delta t'$ 关系图。根据公式4，图线的斜率 $k = \Delta s/\Delta t'$。通过线性拟合求出斜率 k，再代入 $c = k \cdot (\nu/\nu')$ 计算光速，可有效减小随机误差。

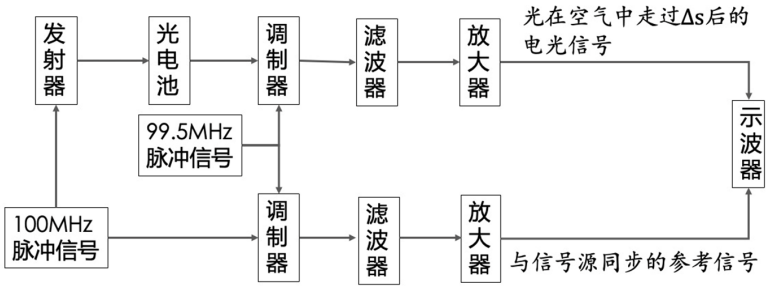


图 1: 仪器原理框图

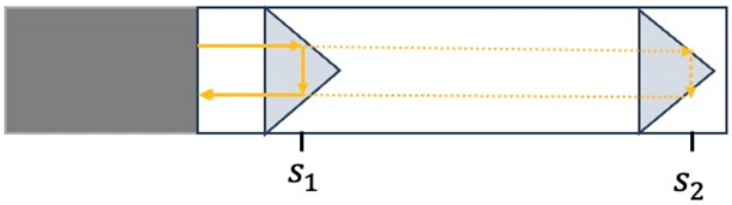


图 2: 光路示意图

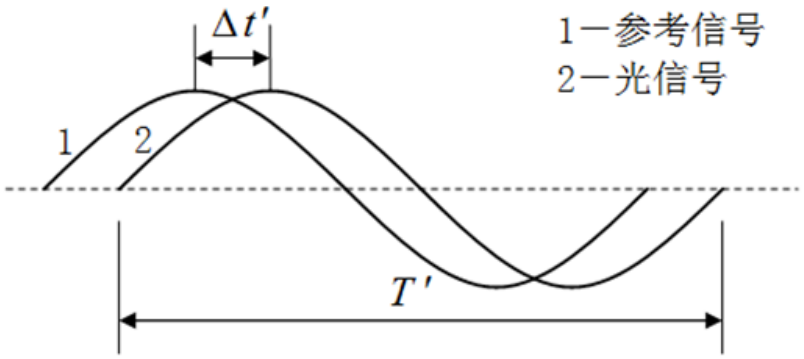


图 3: 示波器上观测到的低频信号波形示意图

2. 实验重点（3 分）

（简述本实验的学习重点，不超过 100 字。）

1. 掌握利用“相位法”和“频率变换法”测量光速的基本原理（见公式1至5）。
2. 学会使用数字示波器，特别是其“Track”（光标）功能，精确测量两个周期信号之间的时间差（$\Delta t'$）。

3. 实验难点（2 分）

（简述本实验的实现难点，不超过 100 字。）

1. 光路调节：保证从发射器发出的光经平行光管准直后，能被直角折光器（见图2），准确反射回接收器中，以获得稳定且幅值足够大的测量信号。

2. 数据读数：在示波器（见图3）上准确读取时间差 $\Delta t'$。由于信号可能存在噪声，需精确对准波形的同一特征位置（如峰值点），以减小测量误差。

注意事项：

1. 用 PDF 格式上传“实验报告”，文件名：学生姓名 + 学号 + 实验名称 + 周次。

2. “实验报告”必须递交在“学在浙大”本课程内对应实验项目的“作业”模块内。

3. “实验报告”成绩必须在“浙江大学物理实验教学中心网站”-“选课系统”内查询。

4. 教学评价必须在“浙江大学物理实验教学中心网站”-“选课系统”内进行，学生必须进行教学评价，才能看到实验报告成绩，教学评价须在本次实验结束后 3 天内进行。

浙江大学物理实验教学中心制