

# 浙江大学

## 物理实验报告

实验名称: 光速测量

实验桌号: \_\_\_\_\_

指导教师: 张俊香

班级: 机械工程

姓名: CyanHaze

学号: \_\_\_\_\_

实验日期: 2025 年 12 月 18 日 星期 四 下午

# 一、预习报告（10分）

（注：将已经写好的“物理实验预习报告”内容拷贝过来）

## 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。）

本实验旨在利用光调制法在实验室环境中测量光速。其基本原理是通过测量光波在一定距离内传播的时间差来计算光速。

- 光调制：利用正弦波信号（参考信号  $U_1 = A_1 \cos(2\pi\nu t)$ ）对光源发出的光强进行周期性调制，使其满足  $I = I_0 + \Delta I_0 \cos(2\pi\nu t)$ 。
- 信号接收与延迟：光束经过距离  $\Delta s$  传播后被光电探测器接收，转换为电信号  $U_2$ 。由于光的传播需要时间  $\Delta t = \frac{\Delta s}{c}$ ，接收信号相对于参考信号存在相位延迟  $\Delta\varphi = 2\pi\nu\Delta t$ 。
- 相位差测量：通过混频技术（外差法），将高频信号（100MHz）转换为低频差频信号（kHz），由于混频过程中相位差  $\Delta\varphi$  保持不变，只需测量低频信号的相位差即可。
- 光速计算：实验中改变光程差  $\Delta s$ ，测量对应的时间差  $\Delta t$ （或相位差变化）。根据公式  $c = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ ，利用作图法拟合  $\Delta s - \Delta t$  关系直线，其斜率即为光速  $c$ 。

## 2. 实验重点（3分）

（简述本实验的学习重点，不超过100字。）

本实验的学习重点在于理解光调制法测量光速的物理机制，掌握利用相位差（时间差）法间接测量极短时间间隔的技术。学会操作光速测量仪和示波器，特别是利用示波器的光标功能精确测量两个正弦波信号之间的时间差，并运用线性拟合方法处理数据以求得光速。

## 3. 实验难点（2分）

（简述本实验的实现难点，不超过100字。）

实验的难点主要在于光路的调节与微小时间差的精确测量。

- 光路准直：需要仔细调节平行光管和折光器，确保反射光束能准确、强强度地进入接收器，以获得高信噪比的信号。
- 示波器读数：测量的时间差  $\Delta t$  只有纳秒（ns）量级，需要熟练使用示波器的时间轴缩放和光标追踪功能，准确捕捉波峰位置，减小人为读数误差。

# 二、原始数据（20分）

（将有老师签名的“自备数据记录草稿纸”的扫描或手机拍摄图粘贴在下方，完整保留姓名，学号，教师签字和日期。）

# 三、结果与分析（60分）

## 1. 数据处理与结果（30分）

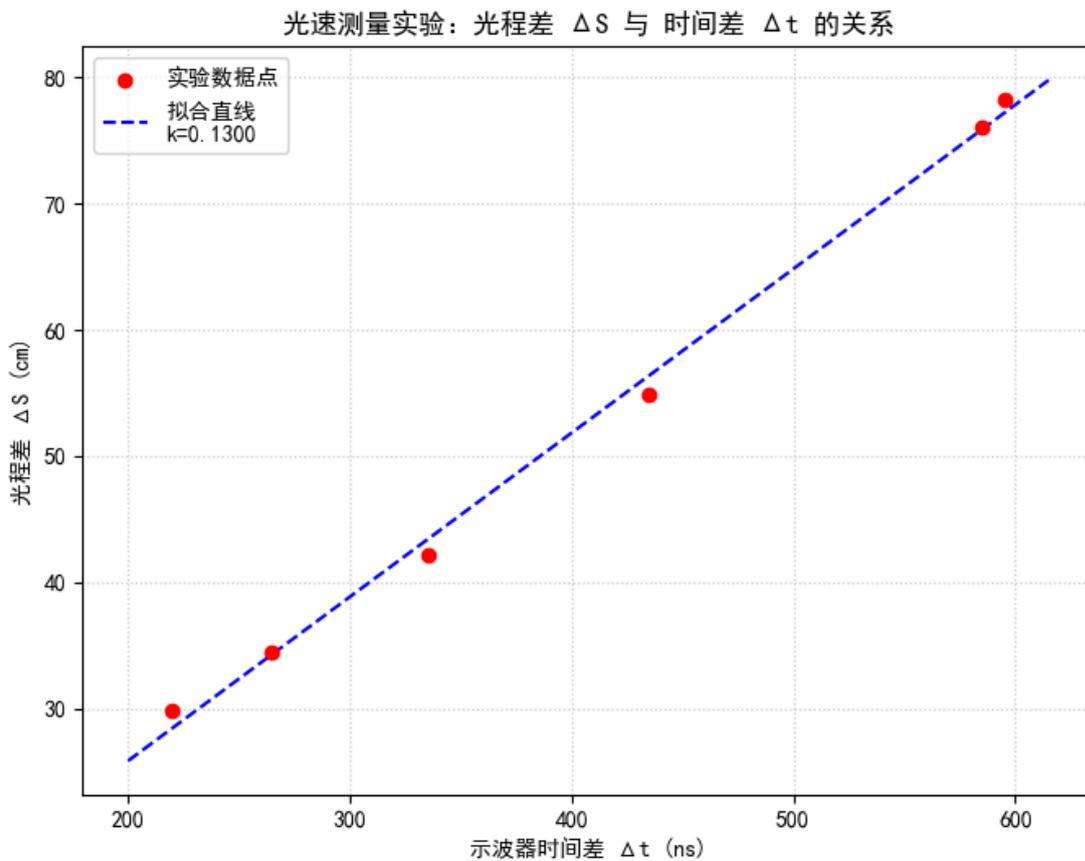
（列出数据表格、选择适合的数据处理方法、写出测量或计算结果。）

$\nu = 100MHz, \nu' = 458.2kHz$  实验数据记录如下表：

实验次数	$S_1/cm$	$S_2/cm$	$\Delta S/cm$	$\Delta t/ns$	$c/(10^8 \text{ m/s})$
------	----------	----------	---------------	---------------	------------------------

1	9.99	24.92	29.86	220	2.96
2	9.99	31.04	42.10	335	2.74
3	9.99	37.44	54.90	435	2.75
4	9.99	49.10	78.22	595	2.87
5	13.49	30.68	34.38	265	2.83
6	13.49	51.52	76.06	585	2.84

python 作图的结果如下：



拟合方程： $\Delta S = 0.1300 \times \Delta t + -0.1611$

拟合优度  $R^2 : 0.99678$

斜率  $k : 0.12997(cm/ns)$

计算出的光速  $c : 2.8366 \times 10^8 m/s$

相对误差：5.38%

## 2. 误差分析（20分）

（运用测量误差、相对误差或不确定度等分析实验结果，写出完整的结果表达式，并分析误差原因。）

## 2.1 相对误差分析

取真空中光速理论值为  $c = 2.9979 \times 10^8 \text{m/s}$

根据之前的拟合计算结果，测量值  $\hat{c} = 2.84 \times 10^8 \text{m/s}$

$$\begin{aligned} E_r &= \frac{|c-\hat{c}|}{c} \times 100\% \\ &= \frac{|2.84-2.9979|}{2.9979} \times 100\% \\ &\approx 5.27\% \end{aligned}$$

实验测得光速与理论值偏差约为 5.3%，在近代物理实验中属于允许误差范围内（通常允许 5%-10% 的误差），但结果偏小。

## 2.2 不确定度分析

带入不确定度的公式后得到斜率的相对不确定度 = 2.84%，因此得到的光速测量结果为

$$c = (2.84 \pm 0.16) \times 10^8 \text{m/s}$$

## 2.3 误差原因分析

实验结果偏小（2.84 vs 3.00），且存在约 5% 的误差，主要原因分析如下：

### 1. 随机误差

- 示波器判读误差：
  - 波形对齐困难：实验通过观察正弦波的峰值来判断相位差。由于波峰比较平缓，确定“最大值”的确切时刻非常依赖人眼判断，容易产生  $\pm 10\text{ns}$  甚至更大的读数误差。
  - 光标分辨率：数字示波器的光标移动有最小步进（通常 2ns 或 4ns），这直接引入了量化误差。
- 导轨读数误差：在移动滑块时，肉眼读取标尺位置存在视差。

### 1. 系统误差

- 空气折射率的影响：理论值  $c$  是真空光速，在空气中， $c$  由于折射率的影响会导致光速相对减小。
- 仪器频率误差：信号发生器的 100MHz 和 458.2kHz 若有漂移，会导致放大倍数  $K$  发生改变，直接影响最终结果。

## 3. 实验探讨（10分）

（对实验内容、现象和过程的小结，不超过 100 字。）

本实验采用调制电信号与拍频法测定光速，通过 100 MHz 光脉冲与 99.545 MHz 信号混频，得到 458.2 kHz 拍频信号，将微小传输时间  $\Delta t$  放大为易测量的  $\Delta t'$ 。实验通过改变光程差  $\Delta S$ ，利用示波器光标法测量  $\Delta t'$ ，代入公式计算光速。两组数据分别测得平均光速  $2.84 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ，与标准值相对误差为 5.38%。实验现象显示  $\Delta S$  与  $\Delta t'$  基本呈线性关系，验证了方法的可行性。主要误差来源于初始相位不稳定、滤波器非理想特性及光标读取主观性。

## 四、思考题（10分）

（解答教材或讲义或老师布置的思考题，请先写题干，再作答。）

### 1. 实验中有可能出现波形假移位，如何克服？

假移位通常源于信号不稳定。确保信号发生器工作稳定，并充分预热。在移动接收器过程中，

必须保证光斑始终准确地落在光敏二极管的接收面上。任何微小的偏离都会导致信号幅度剧烈变化，在通过滤波器后引起波形假移位。因此，导轨需要平直，移动接收器时，应缓慢、匀速进行，并观察波形是否随之连续、平滑地移动。如果出现跳动，应退回原位重新开始，并检查上述环节。测量  $\Delta t'$  时，应选取波形清晰、稳定的位置进行。

## 2. 分析影响实验精度的主要因素。

理论要求实验开始时参考信号与光信号严格同相位。但实际上，电路元件的温度特性、分布参数等会导致一个固定的初始相位差，且在测量过程中该相位差还可能缓慢漂移。滤波器对不同频率的相移不同，这会给拍频信号附加一个与频率相关的额外相移，从而歪曲  $\Delta t'$  的测量值。测量的  $\Delta S$  是导轨上的机械位移，但实际光程变化可能与之有细微差别。如果光路在移动过程中未保持完美准直，实际光程差  $\Delta L$  将不等于  $2\Delta S$ ，引入几何误差。

## 3. 描述光速测量的其他实验方法。

- ①天文法：通过观测木星卫星的星食周期变化来测量光速。当地球朝向木星运动时，星食间隔时间变短；远离时变长。通过分析这个时间差和地球公转轨道的直径，可以计算出光速。
- ②齿轮法：让光束通过一个高速旋转齿轮的齿缝，射向远处的反射镜再返回。调整齿轮转速，当返回的光线恰好被下一个轮齿挡住时，根据齿轮转速、齿数和到反射镜的距离，即可算出光速。
- ③旋转镜法：使用一个高速旋转的平面镜代替齿轮。光束射向旋转镜，反射至固定反射镜，再返回旋转镜。在光往返的时间内，旋转镜已经转过一个微小角度，使得返回光束发生偏移。通过测量偏移量、镜子的转速和光路长度计算光速。
- ④微波谐振腔法/激光干涉法：通过精确测量电磁波（微波或激光）的波长  $\lambda$  和频率  $\nu$ ，利用公式  $c = \lambda \nu$  直接计算光速。

### • 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。