

# 浙江大学

## 物理实验报告

实验名称: 光速测量

实验桌号: 4

指导教师: 张俊香

班级: \_\_\_\_\_

姓名: \_\_\_\_\_

学号: \_\_\_\_\_

实验日期: 2025 年 10 月 9 日 星期 四 下午

# 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。）

本实验旨在利用周期光调制信号测量光速，通过学习调制法测量光速的基本原理和方法，学会使用示波器测量光波信号时间差，从而实现光速的测量。

### 1. 光速测量原理

一个强度依赖于时间变化的周期性光信号（即周期性调制光信号）满足：

$$I = I_0 + \Delta I_0 \cdot \cos(2\pi \cdot \nu \cdot t)$$

转换为电学电压信号进行测量：

$$U = A \cdot \cos(2\pi \cdot \nu \cdot t)$$

设接收器距离光源 $\Delta s$ ，则时间延迟为：

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{c}$$

它引起的相位变化为：

$$\Delta\varphi = 2\pi \cdot \nu \cdot \Delta t = 2\pi \cdot \nu \cdot \frac{\Delta s}{c} = 2\pi \cdot \frac{\Delta t}{T}$$

其中， $\nu$ 为光信号调制频率， $T$ 为周期。由上述式子推得光速的计算公式：

$$c = 2\pi \cdot \nu \cdot \frac{\Delta s}{\Delta\varphi}$$

当调制信号频率非常高时，很短的 $\Delta s$ 即可获得相当可观的相位变化，实验中 $\nu$ 为 100MHz。但是高频率使得在示波器上显示接收到的信号较为困难，为了仅使用一般的示波器来确定相位变化，接收到的信号将与一个 $\nu''=99.545\text{MHz}$  的信号叠加，借助双重平衡的调制解调器，输出两输入信号的合频分量及差频分量：

$$\begin{aligned} U &= A' \cos(2\pi\nu t - \Delta\varphi) \cos(2\pi\nu'' t) \\ &= A'' [\cos(2\pi(\nu + \nu'')t - \Delta\varphi) + \cos(2\pi(\nu - \nu'')t - \Delta\varphi)] \end{aligned}$$

利用滤波器滤去高频信号，整个过程中相移 $\Delta\varphi$ 不变：

$$\begin{aligned} U &= A'' \cos(2\pi(\nu - \nu'')t - \Delta\varphi) \\ \nu' &= \nu - \nu'' \end{aligned}$$

从示波器读得对应传播时间 $\Delta t'$ 和叠加信号的周期 $T'$ ，如图 1，所以相变为：

$$\Delta\varphi = 2\pi \cdot \frac{\Delta t'}{T'}$$

由上可得光信号实际通过 $\Delta s$ 的传输时间 $\Delta t$ 为：

$$\Delta t = \frac{\Delta t' \cdot T}{T'} = \frac{\Delta t' \cdot \nu'}{\nu}$$

所以光速计算公式为：

$$c = \frac{\Delta s \cdot \nu}{\Delta t' \cdot \nu'}$$

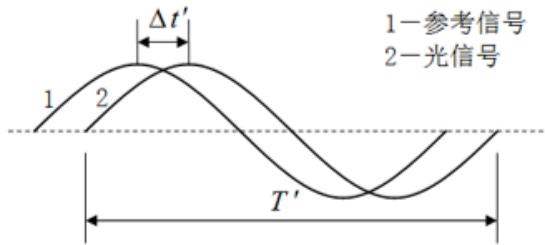


图 1

## 2. 仪器基本原理（如图 2 所示）

实验基本设计思想是：发光二极管以频率 100 MHz 发射光脉冲，该光脉冲信号在空气中行走某一距离后被光电池接受并与频率为 99.545 MHz 电脉冲信号叠加，由 LM1596 组成的调制电路实现，再经过低通滤波器和放大电路在示波器上显示相位不变的 455 kHz 正弦波光电信号波形。然后再设置一个由频率为 100 MHz 电脉冲信号和 99.545 MHz 电脉冲信号叠加，也经过低通滤波器和放大电路在示波器上显示 455 kHz 正弦波形信号作为参考波形。调节折光器位置直到参考波形与光电信号波形在示波器上同相位，并记录当前折光器位置为  $s_1$ 。改变折光器位置为  $s_2$ ，则光在空气中走过  $\Delta s = 2(s_2 - s_1)$ ，如图 3 所示，同时光电信号在示波器上波形相对参考波形走过  $\Delta t'$ ，根据公式就可以算出实验用的光速测量值：

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

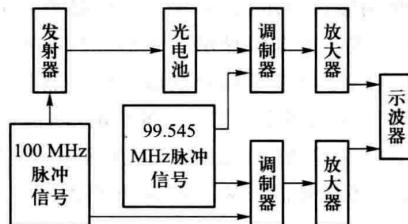


图 2

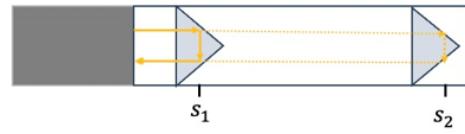


图 3

## 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掌握利用调制法测量光速的基本原理和方法，正确操作光速测量仪，学会使用示波器测量光波信号时间差，并通过数据处理计算出光速值。

## 3. 实验难点（2 分）

（简述本实验的实现难点，不超过 100 字。）

本实验的实现难点在于精确测量相位差（需排除振动、气流等环境干扰），准确标定反射镜距离，避免光路对准偏差导致的信号衰减，确保各仪器同步工作以减少测量误差。

## 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。)

实验中给定调制频率  $\nu = 100\text{MHz}$ , 由示波器测量得到差频信号频率  $\nu' = 456.7\text{kHz}$ 。

根据光速测量仪导轨刻度读出  $s_1$  和  $s_2$ , 计算出  $\Delta s$ ; 由示波器测量得到光电信号相对参考信号的时间差  $\Delta t'$ , 根据上述公式  $c = \frac{2(s_1 - s_2)}{\Delta t'} \cdot \frac{\nu}{\nu'}$  计算出光速值  $c$ 。

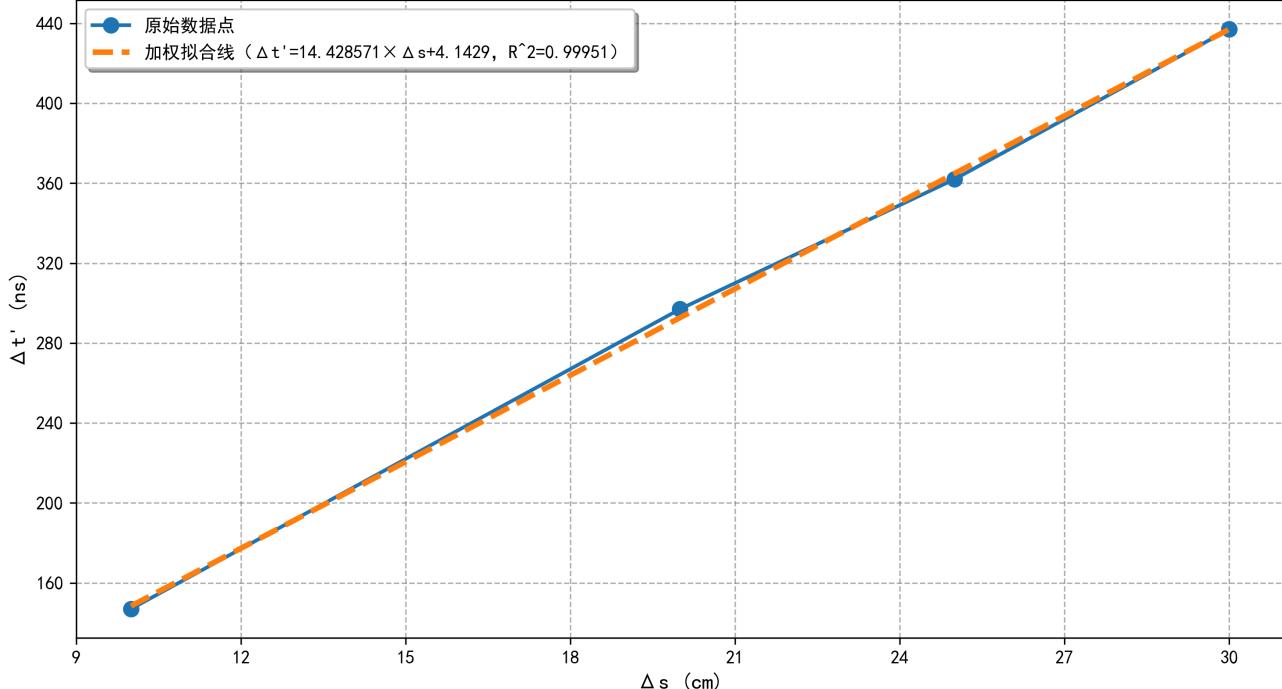
具体数据如下表所示:

实验次数	$s_1/\text{cm}$	$s_2/\text{cm}$	$\Delta s/\text{cm}$	$\Delta t'/\text{ns}$	$c/(10^8\text{m/s})$
1	10.00	20.00	10.00	147	2.979
2	10.00	35.00	25.00	362	3.024
3	8.00	28.00	20.00	297	2.949
4	8.00	38.00	30.00	437	3.006
5	18.00	48.00	30.00	437	3.006

计算得  $c$  的平均值  $\bar{c} = 2.993 \times 10^8 \text{m/s}$

利用 Python 绘制  $\Delta s$  与  $\Delta t'$  关系图如下:

$\Delta s$  与  $\Delta t'$  关系折线图



通过折线图和计算可知:  $R^2 = 0.99951$ ,  $\Delta s$  和  $\Delta t'$  具有非常良好的线性关系, 与实验的计算公式相符。

## 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。)

### (1) 实验结果分析

取光速  $c$  的理论值  $c_0 = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，计算相对误差：

$$\delta = \frac{|\bar{c} - c_0|}{c_0} \times 100\% = 0.167\%$$

计算 A 类不确定度：

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \times \sum_{i=1}^5 (c_i - \bar{c})^2} = 0.013 \times 10^8 \text{ m/s}$$

实验要求中忽略了 B 类不确定度，最终结果为：

$$c = (2.993 \pm 0.013) \times 10^8 \text{ m/s}$$

### (2) 误差可能的原因

1. 示波器上的曲线存在粗细差异，以肉眼判断位置存在主观性，可能导致误差
2. 示波器显示的  $\Delta t'$  最小分度为 5ns，可能对读数的准确性有影响
3. 折光器位置  $s_1, s_2$  的测量可能产生误差
4. 光速测量仪器本身可能存在仪器误差

## 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。)

本实验通过光调制法实现了光速的测量，掌握了利用示波器测量信号时间差、通过折光器位置确定光程差的方法。实验所测得的光速值较为准确，和理论值的相对误差比较小。

## 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位移，如何克服？

实验中波形假位移的出现可能是因为，光电二极管光敏面上各点的灵敏度不同，电子渡越时间的不一致；可以通过将远近光程光沿同一光轴射入来克服。

2. 分析影响实验精度的主要因素。

- (1) 折光器位置误差所导致的光程差误差
- (2) 示波器分辨率以及波形对齐主观性导致的  $\Delta t'$  测量误差

3. 描述光速测量的其他实验方法。

- (1) 斐索法：利用旋转齿轮切割光信号，通过齿轮转速与光传播距离计算光速
- (2) 迈克尔逊旋转棱镜法：以旋转棱镜为光反射器，通过棱镜转速和光程差测量光速

(3) 激光干涉法：利用激光的相干性，通过测量光的波长和频率，由  $c = \lambda\nu$  计算光速

(4) 微波谐振腔法：测量微波在谐振腔内的波长和频率，结合  $c = \lambda\nu$  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。