

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: 张利

班级:

姓名:

学号:

实验日期: 2025 年 11 月 11 日 星期二上午

(此处填实验选课系统内日期)

浙江大学物理实验教学中心

如有实验补做, 补做日期:

情况说明:

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，不超过 300 字，5 分）

实验原理：

本实验采用周期调制信号测量光速。其核心原理是：一个周期性光信号 $I = I_0 + \Delta I_0 \cdot \cos(2\pi \cdot v \cdot t)$ ，传播 Δs 后引起的相位变化可表示为：

$$\Delta \varphi = 2\pi \cdot v \cdot \Delta t$$

而 $\Delta t = \frac{\Delta s}{c}$ ，从而推得光速计算公式：

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

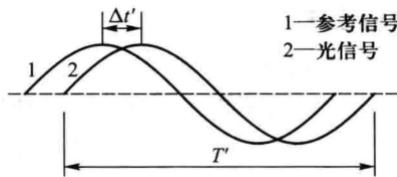


图 1 从示波器读取的信号

实验使用信号 $v = 100MHz$ 但是高频信号较难在示波器上显示，所以将其与一个 $v'' = 99.545Hz$ 的信号叠加，得到合频分量和差频分量，再用低频滤波器滤去和频信号，只留下差频信号 $U = A' \cos(2\pi(v - v'')t - \Delta \varphi)$ 。对应新的传播时间为 $\Delta t'$ 和叠加信号的周期 T' 可从示波器上读得，最终光速的计算公式为：

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

实验时，调节折光器位置直到两波型示波器上同相位，记录当前位置为 s_1 。改变折光器位置为 s_2 ，则光在空气中走过 $\Delta s = 2(s_2 - s_1)$ ，同时光电信号在示波器上波形相对参考波形走过 $\Delta t'$ ，光速测量值计算公式：

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

实验方法：

- 1、对准与归零：调整光路，将光信号与参考信号同时显示在示波器上。在起始位置 s_1 处，调整折光器使两路信号的波形完全重合。
- 2、测量：移动折光器至一个新的终止位置 s_2 ，并记录 s_1 与 s_2 的读数。
- 3、读数：在示波器上精确读出此时两个波形之间的时间差 $\Delta t'$ 。
- 4、计算：将测得的数据代入公式计算出光速 c 。为减小误差，需进行多次测量并求取平均值。

实验现象：

当移动直角折光器，改变光光程时，在示波器上可以清晰地观察到代表光信号的波形相对于参考信号的波形发生了明显的时间平移（ $\Delta t'$ ）。光程改变的距离越大，时间差也越显著。

2. 实验重点（3分）

（简述本实验的学习重点，不超过100字，3分）

- 1、理解通过测量光程差引起的信号相位差来计算光速的“调制法”思想。
- 2、领会难以测量的高频信号相位差，转换为易于观测的低频信号时间差的巧妙之处。
- 3、学会使用示波器精确测量两个波形之间的时间差。

3. 实验难点（2分）

（简述本实验的实现难点，不超过100字，2分）

- 1、光路调整的精确性：需要非常仔细地调整光路，确保移动折光器时光束始终能准确地射入接收器。
- 2、示波器读数的准确性：精确地使初始波形完全重合，以及从屏幕上准确读取微小的时间差 $\Delta t'$ ，是实验成功的关键，也是误差的主要来源

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。)

$$v = 100 \text{ MHz}$$

$$v' = 458.71 \text{ kHz}$$

1、第一次: s_1 不变, 只改变 s_2

表 1 第一次测量数据

实验次数	s_1/mm	s_2/mm	$\Delta t'/\mu\text{s}$	$c(10^8 \text{ m/s})$	$\bar{c}(10^8 \text{ m/s})$
1	50.0	130.0	120	2.91	2.99
2		210.0	235	2.97	
3		290.0	345	3.03	
4		370.0	460	3.03	
5		450.0	585	2.98	
6		530.0	700	2.99	

平均值: $c_1 = 2.99 \times 10^8 \text{ m/s}$

作图法: 首先建立坐标系, 以测量出的时间差 $\Delta t'$ 作为横坐标, 以光程差 $\Delta s = 2(s_2 - s_1)$ 作为纵坐标。然后, 将实验中测得的多组数据在坐标系中一一描出对应的点。理论上, Δs 与 $\Delta t'$ 应该成正比关系, 所以这些点应该大致分布在一条过原点的直线上。我们使用对这些数据点进行线性拟合, 计算这条拟合出的直线的斜率 k 。所以, 光速的计算就变成了: $c = k \times \left(\frac{v}{v'}\right)$ 。

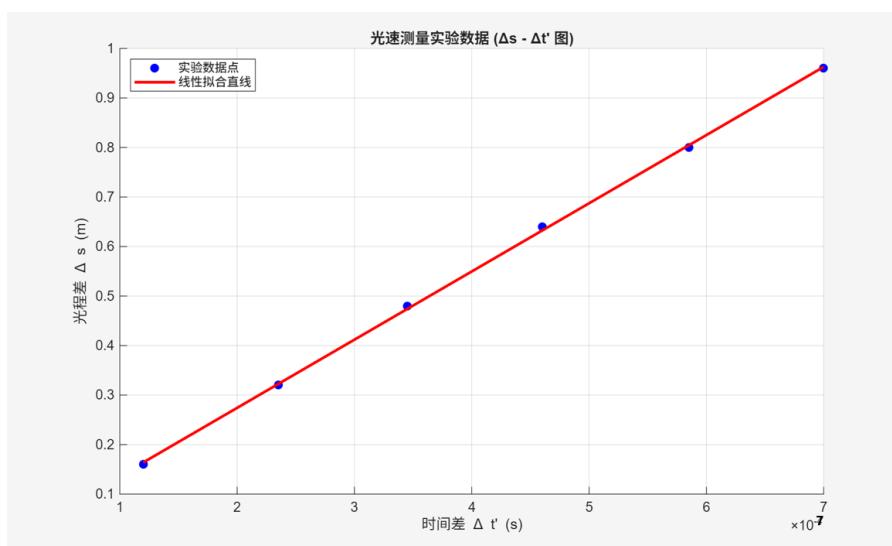


图 2 作图法求光速

求得 $k = 1377.16 \text{ m/s}$

计算出的光速为: $c'_1 = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$

2、第二次: s_1 和 s_2 均改变, 为了数据处理的便利, 选择保持 $(s_2 - s_1)$ 为一恒定值

表 2 第二次测量数据

实验次数	s_1/mm	s_2/mm	$\Delta t'/\mu\text{s}$	$c(10^8 \text{ m/s})$	$\bar{c}(10^8 \text{ m/s})$
1	50.0	300.0	365	2.99	2.98
2	100.0	350.0	360	3.03	
3	150.0	400.0	365	2.99	
4	200.0	450.0	370	2.95	
5	250.0	500.0	365	2.99	
6	300.0	530.0	340	2.95	

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。)

对两次的数据分别进行不确定度的计算:

第一次:

$$u_{A1} = \sqrt{\frac{\sum (c_i - \bar{c})^2}{n(n-1)}} = 0.01 \times 10^8 \text{ m/s}$$

最终结果为:

$$c_1 = (2.99 \pm 0.01) \times 10^8 \text{ m/s}$$

第二次:

$$u_{A2} = \sqrt{\frac{\sum (c_i - \bar{c})^2}{n(n-1)}} = 0.01 \times 10^8 \text{ m/s}$$

最终结果为:

$$c_1 = (2.98 \pm 0.01) \times 10^8 \text{ m/s}$$

误差分析:

本次实验设计了两种不同的测量方案。第一组保持起始位置 s_1 不变, 通过移动反射镜, 系统地测量了一系列递增的光程差 Δs 以及其对应的时间差 $\Delta t'$ 。

通过将数据绘制成 $\Delta s - \Delta t'$ 图像并进行线性拟合, 可以根据直线的斜率精确计算出光速。作图法能够直观地展示物理规律, 并有效地平均掉随机误差, 是处理此类数据的首选科学方法。

第二组实验保持光程差 $(s_2 - s_1)$ 大致恒定, 其设计思想是希望通过选取较大的测量区间来减小相对误差, 从而提高测量精度。光速的计算公式表明, 结果的精度直接受 Δs 和 $\Delta t'$ 测量精度的影响。在测量过程中, 由仪器或估读产生的绝对误差是相对固定的。因此, 通过选择一个远大于绝对误差的、较大的光程差 Δs 进行重复测量, 固定的读数误差在总测量值中所占的

比重就会显著降低，从而有效提高单次测量的精度。

综合两组实验，测量结果与光速的公认值（ $2.9979 \times 10^8 m/s$ ）非常接近，但仍存在一定的偏差。这些误差的可能来源主要有以下几点：

1、系统误差

频率源的准确性：实验的核心原理基于高频信号的调制与混频。实验所用的光调制信号频率和差频信号频率如果存在系统性的偏移，即其真实值与标称值不符，将会直接导致光速计算结果产生一个固定的、系统性的偏差。

2、随机误差

示波器读数误差：在示波器上读取两个波形之间的时间差 $\Delta t'$ 是本次实验误差的主要来源。在对齐波形起始点或峰值时，由于波形本身存在一定的噪声和宽度，操作者的判断会带有主观性，尤其是在移动反射镜后重新对齐波形时，从而引入随机的读数误差。

位置测量误差：在光具座的米尺上读取反射镜的起始位置 s_1 和终止位置 s_2 时，存在估读误差和视差。尽管通过多次测量和作图法可以在一定程度上减小这种随机误差的影响，但它依然是构成总不确定度的一部分。

3、操作及环境误差

光路对准与调节：光路是否严格共轴直接影响返回光信号的强度和波形质量。如果光路未调节至最佳状态，接收到的信号可能会变弱或发生畸变，这会增加在示波器上精确判断波形重合点的难度。

环境因素影响：实验室内的环境光、空气扰动、以及仪器长时间工作产生的温度漂移，都可能对光电探测器和电子线路的稳定性产生微弱影响，导致测量数据出现随机波动。

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。）

本实验采用周期调制信号测光速。通过移动反射镜改变光程 Δs ，在示波器上可观测到光信号波形相对参考波形产生一个明显的时间差 $\Delta t'$ 。实验过程即是记录多组对应的光程差 Δs 与时间差 $\Delta t'$ ，最后代入公式 $c = \left(\frac{\Delta s}{\Delta t'}\right) \cdot \left(\frac{v}{v'}\right)$ 计算出光速值。

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？

在实验中，波形假移位是指因信号强度变化而非光程差改变导致的波形水平移动。要克服此问题，必须在每次测量时在初始位置 s_1 将信号波形调节到一个标准的参考幅度，移动至新位置 s_2 后，在读取时间差 $\Delta t'$ 之前，必须先通过调节仪器增益或示波器垂直灵敏度，将被测信号的幅度精确地恢复到之前的参考幅度。只有当两次测量的波形幅度完全相同时，它们之间的水平位移才是由光程差引起的真实时间延迟。

2、分析影响实验精度的主要因素。

影响本实验精度的主要因素可归结为三个方面。首先，最主要的随机误差来源于示波器上时间差 $\Delta t'$ 的读取。由于波形本身具有一定宽度且可能伴有噪声，在视觉上将测量信号与参考

信号的波形完全对齐存在主观判断误差。其次，未能有效克服波形“假移位”，特别是因光强变化导致信号幅度改变所引起的虚假平移。最后，实验的准确度受到信号源频率 v 和 v' 的准确性与稳定性影响。这两个频率在计算公式中作为定值，它们的任何实际偏差都将直接导致最终计算出的光速值偏离真实值。

3、描述光速测量的其他实验方法。

旋转齿轮法：该方法通过调节齿轮的转速，使从齿缝射出并经远处反射镜返回的光线恰好被下一个齿轮挡住，从而根据齿轮转速和光程计算出光速。

空腔谐振法：通过测量微波在已知尺寸的谐振腔体内形成驻波时的谐振频率，利用频率与波长的关系来确定光速。

克尔盒法：其核心部件是克尔盒，一个充满硝基苯等液体的容器，在外加电场时能像快门一样高速控制光的偏振方向，从而实现对光束的超高频率“斩波”。实验时，由克尔盒产生的光脉冲经过长距离光程反射回来，必须恰好在克尔盒再次“开启”的瞬间到达才能被观测到。通过调节斩波频率或光程，当观测到的光强最大时，就意味着光的往返时间恰好是斩波周期的整数倍，根据这个关系、光程和频率即可精确计算出光速。

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。

浙江大学物理实验教学中心制