



# 目录

<b>1 实验综述</b>	<b>3</b>
<b>2 实验内容</b>	<b>4</b>
2.1 实验数据 . . . . .	4
2.1.1 不断改变起始位置与终止位置 . . . . .	4
2.1.2 固定起始位置，等间距改变终止位置 . . . . .	4
2.2 结果与误差分析 . . . . .	6
<b>3 实验拓展</b>	<b>6</b>
3.1 调制法测量光速的基本原理 . . . . .	6
3.2 光速测量实验设计 . . . . .	6
3.2.1 实验方法 . . . . .	7
3.2.2 基本原理 . . . . .	7
3.2.3 主要公式 . . . . .	7
<b>4 参考文献</b>	<b>7</b>

# 1 实验综述

光速是物理学中一个具有代表性的基本常数，许多物理概念和物理量都与它有密切的联系。因此，光速的精确测量就显得格外重要。

本实验利用周期光调制信号测光速的方法，通过测量光电二极管输出信号的相位差，计算出光速的值。

光发射器是一个以频率  $100MHz$  发射光脉冲的发光二极管。接收器是能把光信号转换成（与光脉冲同频率）交流电压的光敏二极管。一条信号线将一个与光信号同步且在测量之初同相位的参考信号传输给接收器（作相位对比用）。当接收器移动  $\Delta s$ ，则接收到的信号相位会因传输时间的增加而变化。由此计算出光速。

$$\Delta\Phi = 2\pi v\Delta t \quad (1)$$

在实际操作中，为了增大微小测量值，我们使用一个频率为  $99.545MHz$  与原信号合成，这样通过的频率就是合成后的“拍频”： $v - v' = 0.455MHz$ 。这种合成对传输引起的相位差没有影响，但是相位差所对应的传输时间  $\Delta t$  被放大为了  $\Delta t'$

于是光速可以由以下公式计算：

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t'} \frac{v}{v - v'} \quad (2)$$

在本次实验中，我们期望通过两种方式测量出光速的值：

1. 通过不断改变起始位置与终止位置，分别计算出光速并求平均值。
2. 固定起始位置，等间距改变终止位置，将测得的数据绘制图像，斜率乘以二并单位换算就是光速的值。

## 2 实验内容

### 2.1 实验数据

#### 2.1.1 不断改变起始位置与终止位置

表 1:  $v = 100MHz, v - v' = 458.4KHz$

次数	初始位置 $S_1/m$	终止位置 $S_2/m$	$t/ns$	$c/(\times 10^8 m/s)$	平均值/(m/s)
1	0.0755	0.5270	650	3.03	2.99
2	0.0180	0.4139	580	2.97	
3	0.0426	0.4699	620	3.01	
4	0.0875	0.4743	570	2.96	
5	0.0992	0.5132	605	2.99	
6	0.0797	0.4689	570	2.98	

标准光速为  $299792458m/s$ ，因此相对误差为：

$$\frac{2.99 - 2.99792458}{2.99792458} \times 100\% = 0.264\% \quad (3)$$

由此计算出的光速的 A 类不确定度为：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (c_i - \bar{c})^2}{6(6-1)}} = 0.011 \times 10^8 m/s \quad (4)$$

#### 2.1.2 固定起始位置，等间距改变终止位置

次数	$S_1/m$	$S_2/m$	$t'/ns$	$t/ns$
1	0.0020	0.0755	175	0.8022
2		0.1490	320	1.46688
3		0.2365	460	2.10684
4		0.3240	590	2.70456
5		0.4115	710	3.25464
6		0.5015	840	3.85056

通过绘制图像，我们可以得到如下的图像：

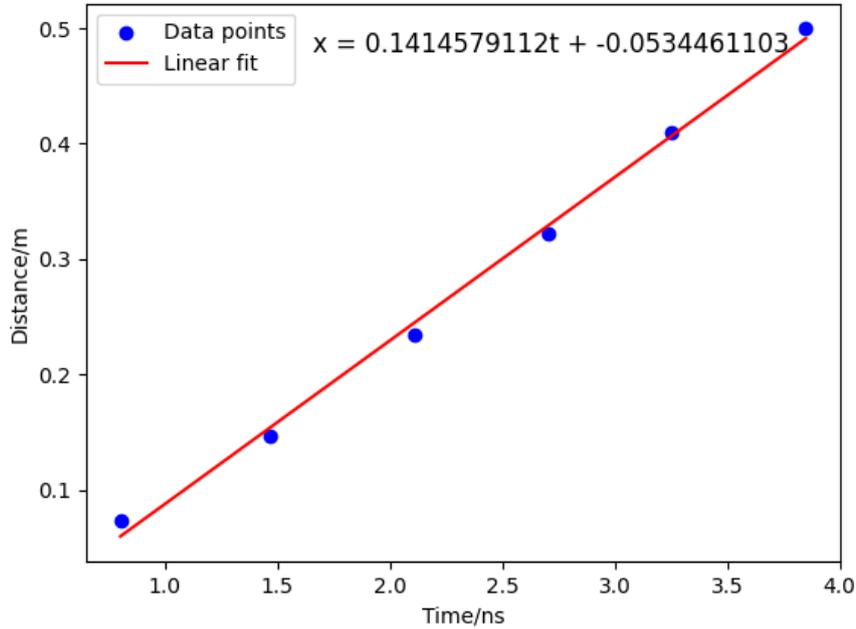


图 1: 线性拟合图像

因此计算出的光速为:

$$c = 0.1414579112 \times 2 \times 10^9 = 2.829158 \times 10^8 m/s \quad (5)$$

相对误差为:

$$\frac{2.829158 - 2.99792458}{2.99792458} \times 100\% = -5.63\% \quad (6)$$

要计算此情况下的 A 类不确定度, 可以使用最小二乘法来计算斜率的不确定度, 最终得到的结果为: 斜率  $a$  的标准误差 (不确定度) 为:

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{S}{(n-2) \sum (t_i - \bar{t})^2}}$$

其中,

$$S = \sum_{i=1}^n (x_i - at_i - b)^2$$

且  $\bar{t}$  为  $t$  的平均值。

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = 2.36428$$

$$S = \sum_{i=1}^n (x_i - at_i - b)^2 = 0.0004584036378101864$$

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{S}{(n-2) \sum (t_i - \bar{t})^2}} = 0.004221955$$

因此，光速  $c$  的不确定度为  $0.009 \times 10^8 m/s$

## 2.2 结果与误差分析

通过两种方法测得的光速值分别为  $2.99 \times 10^8 m/s$  和  $2.83 \times 10^8 m/s$ ，相对误差分别为 0.264% 和 5.63%。很明显第一种方法比较准确，这可能是因为第一种方法里采用了多次测量取平均值的方法，减少了一些读数等的偶然误差，而第二种方法的起始点固定，尽管后面利用线性拟合的方法计算，但是由于实验装置本身的误差，导致了较大的相对误差。

总之，本实验的误差来源有读数带来的误差，假相位的影响与实验装置本身的误差。但整体来看，本实验测得的光速值与标准值相差不大，说明本实验的测量方法是可行的。

## 3 实验拓展

### 3.1 调制法测量光速的基本原理

调制法测量光速的基本原理是通过调制光信号并测量其相位差来计算光速。具体步骤如下：

1. 光源发出调制光信号，通常是周期性的光脉冲。
2. 接收器接收光信号并将其转换为电信号。
3. 同时，参考信号与光信号同步传输到接收器，用于相位对比。
4. 当接收器移动一定距离时，接收到的光信号相位会因传输时间的变化而变化。
5. 通过测量相位差，计算出光信号的传输时间，从而计算出光速。

### 3.2 光速测量实验设计

我打算设计旋转镜实验来测量光速。

### 3.2.1 实验方法

1. **装置设置**: 将一个高强度的光源发出的光束聚焦并射向一个高速旋转的镜子。旋转镜后方放置一个定向的平面镜（固定），使得光束经反射后返回旋转镜。

2. **路径设计**: 调节装置，使得光束从旋转镜反射到固定镜，并经过相同路径返回。当光束返回旋转镜时，如果旋转镜的角速度达到某个值，镜面会发生一个角度偏移，导致光束反射到接收器处。

3. **记录和计算**: 通过调节旋转镜的转速，找到一个刚好使光束在返回时能够对准接收器的速度。记录该速度以及镜子与固定镜的距离，根据计算公式得出光速。

### 3.2.2 基本原理

光在从旋转镜到固定镜、再返回旋转镜的过程中，经历了一段总距离  $d = 2L$ （其中  $L$  是旋转镜和固定镜之间的距离）。当旋转镜以适当的角速度  $\omega$  旋转时，光束在返回旋转镜时恰好偏转一个角度，进入接收器。

若光束返回旋转镜的时间为  $t$ ，则满足关系式：

$$t = \frac{2L}{c} \quad (7)$$

在此时间内，旋转镜旋转了一个角度  $\Delta\theta$ ，满足

$$\Delta\theta = \omega t \quad (8)$$

通过调整到恰好使光束偏转至接收器的最小角速度  $\omega$ ，并结合上述方程，可以解出光速  $c$ ：

$$c = \frac{2L\omega}{\Delta\theta} \quad (9)$$

### 3.2.3 主要公式

综合上述信息，光速  $c$  可以由以下公式表示：

$$c = \frac{2L}{t} = \frac{2L\omega}{\Delta\theta} \quad (10)$$

## 4 参考文献

本实验无参考文献。