

### 【实验目的】

1. 掌握利用调制法测量光速的基本原理和方法
2. 学会用示波器测量光波信号差

### 【实验原理】（电学、光学画出原理图）

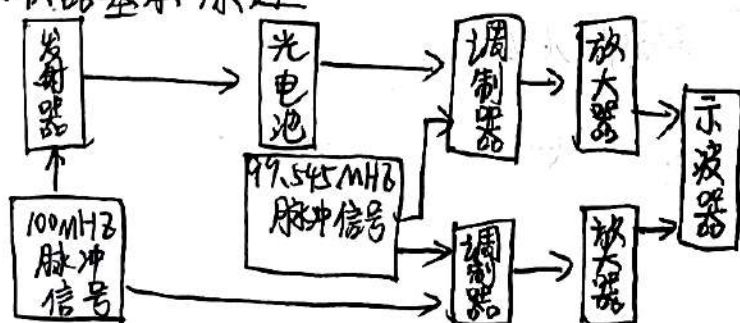
#### 1. 光速测量原理

光信号能用一个将其转变为具有同样时间变化行为的电压信号的接收器加以测量： $U = A \cos(2\pi \nu t)$ 。设接收器距光源  $\Delta S$ ，则时间延迟  $\Delta t = \frac{\Delta S}{c}$ 。它引起的相位变化  $\Delta \varphi = 2\pi \nu \Delta t = 2\pi \frac{\nu \Delta S}{c}$ ，忽略光强衰弱则接收器测量到的相变信号为  $U = A \cos(2\pi \nu t - \Delta \varphi)$ ，由此可得  $c = \frac{\Delta S}{\Delta \varphi} \cdot 2\pi \cdot \nu$

当  $\nu$  很高时，很小的  $\Delta S$  即可获得可观的相位变化。但高频使得在示波器上显示接收到的信号较为困难，因此接收到的信号与一个  $\nu' = 99.545 \text{ MHz}$  的信号叠加，此功能由 LM1496 集成实现。

叠加后输出信号为  $U = A' \cos(2\pi \nu t - \Delta \varphi) \cdot \cos(2\pi \nu' t) = A'' (\cos(2\pi(\nu + \nu')t - \Delta \varphi) + \cos(2\pi(\nu - \nu')t - \Delta \varphi))$ 。其中高频信号成分可被低频滤波器滤去，因此只剩下： $U = A'' \cos(2\pi(\nu - \nu')t - \Delta \varphi)$ 。相变  $\Delta \varphi$  并未因叠加而改变，但现在对应另一个传播时间  $\Delta t'$ ，它可以从示波器上读得，而叠加信号的周期  $T'$  也可读得。所以  $\Delta \varphi' = 2\pi \frac{\Delta S}{c} \cdot \frac{T'}{T}$ ，由上得光信号实际通过  $\Delta S$  传输时间  $\Delta t = \frac{\Delta S}{c}$ ，最终光速计算公式为  $c = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\Delta S}{\Delta \varphi'} \cdot \frac{T'}{T} = \frac{\Delta S}{\Delta \varphi'} \cdot \nu \cdot \nu'$

#### 2. 仪器基本原理



$$c = \frac{2(S_2 - S_1)}{\Delta t} \cdot \frac{\nu}{\nu'}$$

## 【实验内容】（重点说明）

## 1. 仪器调整

开启仪器电源。根据射出的红光位置，调整直角折光器，使光束能进入到接收器。将带交流符号侧相接口与示波器 CH1 和 CH2 端相连。

开启示波器，观察示波器上双踪显示的光信号与参考信号波形图像，再次调整直角折光器位置，使光信号与参考信号波形重合。然后移动直角折光器装置，记录直角折光器起始位置  $s_1$  和终止位置  $s_2$ （即光走过的路程），记录此时光信号与参考信号波形间相对时间差  $\Delta t$ 。把  $v$ 、 $v'$ 、 $s_1$ 、 $s_2$  和  $\Delta t$  代入  $c = \frac{2(s_2 - s_1)}{\Delta t} \cdot \frac{v}{v'}$  就得到光速值

## 2. 光速测量

按上述步骤操作，并记录数据填写表格。

## 【实验器材及注意事项】

实验器材：光速测量仪、示波器

注意事项：

1. 光路一定要调正确
2. 远程光和近程光必须保证进入光电池
3. 入射光要通过声光移频器
4. 禁止打开机壳
5. 实验结束后及时关闭电源
6. 讲究卫生，整理好桌面



## 【数据处理与结果】

## 1. 实验1数据记录表

$$\nu' = 455 \text{ kHz}$$

实验次数	初始位置 $s_1/\text{cm}$	终止位置 $s_2/\text{cm}$	$\Delta t'/\text{ns}$	$c/(\text{m/s})$
1	2.24	47.75	695	$2.88 \times 10^8$
2	1.92	47.25	735	$2.71 \times 10^8$
3	5.19	48.40	690	$2.76 \times 10^8$
4	3.64	52.85	770	$2.81 \times 10^8$
5	4.00	49.94	750	$2.69 \times 10^8$
6	6.70	50.60	680	$2.84 \times 10^8$

$$\bar{c} = 2.78 \times 10^8 \text{ m/s} \quad E_1 = \frac{|\bar{c} - c|}{c} = 7.3\%$$

$$u_A(c) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2} = 0.03 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\therefore c = (2.73 \pm 0.03) \times 10^8 \text{ m/s}$$

## 2. 实验2数据记录表

实验次数	初始位置 $s_1/\text{cm}$	终止位置 $s_2/\text{cm}$	$\Delta t'/\text{ns}$	$\Delta t/\text{ns}$
1	4.00	9.00	100	0.455
2		14.00	175	0.796
3		19.00	265	1.20
4		24.00	345	1.657
5		29.00	435	1.98
6		34.00	515	2.34

用计算机软件拟合得:  $\Delta s = 0.1311 \Delta t - 0.0072$

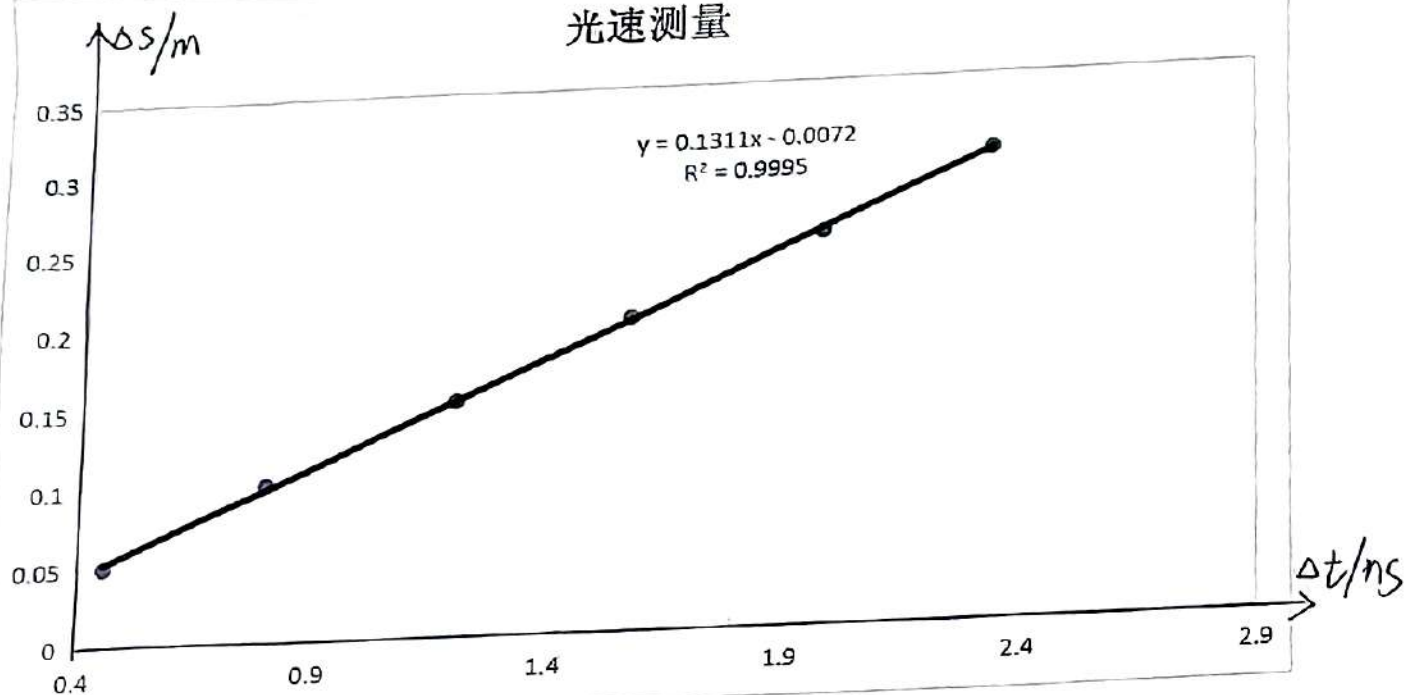
$$\therefore c' = 2k = 2 \times 0.131 \times 10^9 = 2.62 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$E_2 = \frac{|c' - c|}{c} = 12.7\% \quad u_A(c) = \frac{s_y}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta t_i - \bar{\Delta t})^2}} \quad (s_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - a - b x_i)^2}{n-2}})$$

$$s = 0.005 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\therefore c' = (2.62 \pm 0.05) \times 10^8 \text{ m/s}$$

# 光速测量



$$u_A(C) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2} = 0.05 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\therefore C = (2.73 \pm 0.05) \times 10^8 \text{ m/s}$$

## 2. 实验2数据记录表

实验次数	初始位置 $s_1/\text{cm}$	终止位置 $s_2/\text{cm}$	$\Delta t'/\text{ns}$	$\Delta t/\text{ns}$
1	4.00	9.00	100	0.455
2		14.00	175	0.796
3		19.00	265	1.20
4		24.00	345	1.657
5		29.00	435	1.98
6		34.00	515	2.34

用计算机软件拟合得:  $\Delta s = 0.1311 \Delta t - 0.0072$

$$\therefore C' = 2k = 2 \times 0.131 \times 10^9 = 2.62 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$E_2 = \frac{|C' - C|}{C} = 12.7\% \quad u_A(C) = \frac{s_r}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta t_i - \bar{\Delta t})^2}} \quad (s_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2}{n-2}})$$

$$s = 0.005 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\therefore C' = (2.62 \pm 0.05) \times 10^8 \text{ m/s}$$



## 【误差分析】

- ① 示波器光标读数横坐标最小移动距离为  $5\text{ns}$ ，且移动光标时凭肉眼确定零点坐标，容易测量有偏差，对  $\Delta t$  的测量结果产生误差，从而影响到光速  $c$  的计算
- ② 标尺采用游标卡尺，精确度为  $0.1\text{mm}$ ，而实际  $\Delta s$  的测量会有误差，从而使光速  $c$  产生误差
- ③ ~~整套示波器~~ 在我的两次测量结果中，相对误差都比较大，这可能是因为我实验中  $\Delta s$  不够大造成的

## 【实验心得及思考题】

实验心得：通过本次实验，掌握了利用调制法测量光速的基本原理，让人感慨 ~~在~~ 在现代科技背景下，一套简单的实验装置就能测出光速这个极快的物理量。

思考题1. 产生假位移的主要因素在于光电二极管光敏面上各点灵敏度不同和电子渡越时间不一致。为了克服假位移，在滑块前或近程光路上置一光栏片，用斩光器依次让远近程光通过。观察二光束在光敏面上反射的光经透镜成像在光轴上，以确保近程光和远程光同轴

思考题2. 光敏转换器仪器误差、示波器仪器误差、人为读射、折光器位置、入射光强等。

思考题3. 斐索齿轮法、傅科旋转镜法、迈克逊旋转棱镜法、克尔盒法。

【数据记录及草表】

$$\frac{\Delta t' \cdot v'}{v} = \Delta t \quad v = 100 \text{ MHz}$$

$$C = \frac{2\Delta S}{\Delta t'} \cdot \frac{v'}{v}$$

次数	初始位置 $s_1/\text{cm}$	终止位置 $s_2/\text{cm}$	$\Delta t'/\text{ns}$	$C/(\text{m/s})$	平均值
1	2.24	47.75	695	$2.88 \times 10^8$	
2	1.92	47.25	735	$2.71 \times 10^8$	
3	5.14	48.40	690	$2.76 \times 10^8$	
4	3.64	52.85	770	$2.81 \times 10^8$	
5	4.00	49.94	750	$2.69 \times 10^8$	
6	6.70	50.60	680	$2.84 \times 10^8$	

次数	初始位置 $s_1/\text{cm}$	终止位置 $s_2/\text{cm}$	$\Delta t'/\text{ns}$
1		9.00	100
2		14.00	175
3	4.00	19.00	265
4		24.00	345
5		29.00	435
6		34.00	515

教师签字: 李新