

【实验目的】

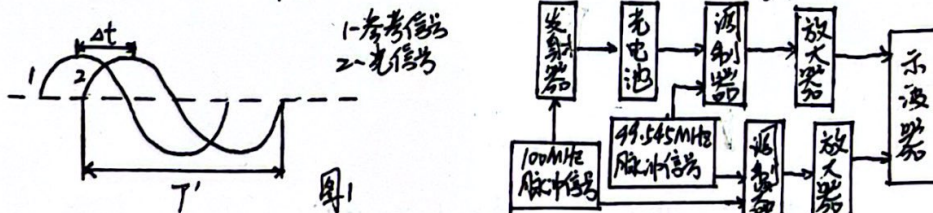
- ① 掌握利用调制法测量光速的基本原理和方法。
- ② 学会用示波器测量光波信号时间差。

【实验原理】（电学、光学画出原理图）

① 光速测量原理

一个强度依时间变化的周期性光信号满足： $I = I_0 + \Delta I \cdot \cos(2\pi \cdot \nu \cdot t)$ ，而光信号能因一个将光转换为具有同样时间变化行为的电压信号的接收器加以测量： $U = A \cos(2\pi \cdot \nu \cdot t)$ 。设接收器距光源 ΔS ，则时间延迟为 $\Delta t = \frac{\Delta S}{c}$ 。它引起的相位差为： $\Delta \varphi = 2\pi \nu \Delta t = 2\pi \frac{\Delta S}{T}$ ，其中 ν 为光信号调制频率， T 为周期。若忽略光强的衰减，则接收器测量到的相变信号为： $U = A \cos(2\pi \cdot \nu \cdot t - \Delta \varphi)$ ，从而推得光速计算公式： $c = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\Delta S}{\frac{\Delta \varphi}{2\pi \nu}}$

当 ν 非常高时，很短的 ΔS 即可获得可观的 $\Delta \varphi$ 。实验中 $\nu = 100 \text{ MHz}$ ，接收到的信号将与 $\nu' = 99.545 \text{ MHz}$ 的信号叠加，有叠加后的输出信号： $U = A''(\cos(2\pi(\nu + \nu')t - \Delta \varphi) + \cos(2\pi(\nu - \nu')t - \Delta \varphi))$ 。其中高频信号可被低通滤波器滤去。因此只剩下： $U = A'' \cos(2\pi(\nu - \nu')t - \Delta \varphi)$ ，从而 $\nu' = \nu - \nu'' = 455 \text{ kHz}$ 。视在为一个时间 $\Delta t'$ ，可从示波器上读出。叠加信号的周期 T' 也可读出，故相变为： $\Delta \varphi' = 2\pi \frac{\Delta t'}{T'}$ ，从而实际通过 ΔS 的光信号传输信号传输时间为： $\Delta t = \frac{\Delta t' \cdot T}{T' \cdot \nu} = \frac{\Delta t'}{T' \cdot \nu}$ ，于是光速的最终计算公式为： $c = \frac{\Delta S}{\Delta t} = T' \cdot \nu$



由于信号在电路及仪器中的传输时间不可忽略，所以需将实验室提供的参考信号调整至与接收光信号一致。当光信号走了 ΔS 位移，此时示波器上显示相变 $\Delta \varphi'$ 就是由传输时间 $\Delta t'$ 引起的相位。

② 仪器基本原理

100MHz 发射光用脉冲，其与 99.545MHz 时钟脉冲信号叠加，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 455kHz 正弦波光电信号波形。再设置一个 100MHz 时钟脉冲信号和 99.545MHz 时钟脉冲信号叠加，也经过低通滤波器和放大电路形成 455kHz 正弦波信号作为参考波形。

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，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 $\Delta S = 2(S_2 - S_1)$ ，同时光电信号在示波器上波形相对参考波形走过 $\Delta t'$ ，从而：

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



【实验内容】（重点说明）

①仪器调整

开启仪器电源。根据出射的红光位置，调整直角折光器，使光束能进入到接收器。将市交流信号测相接口与示波器CH1和CH2端相连

开启示波器，观察示波器上双踪显示的亮信号与参考信号波形图像，再次调整直角折光器位置，使亮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），记录此时亮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 $c = \frac{2(S_2 - S_1)}{\Delta t'} \cdot \frac{v}{v'}$ 即可得到光速值。

②光速测量

【实验器材及注意事项】

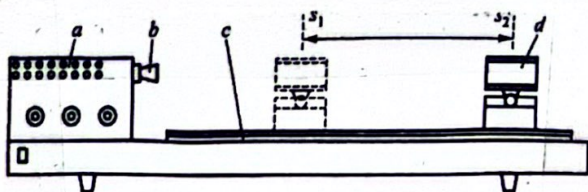


图 5-4-3

（a—信号发射与接收器，b—平行光管，c—导轨，d—直角折光器）

①如上个

②示波器。

【数据处理与结果】

① 利用方波测量光速

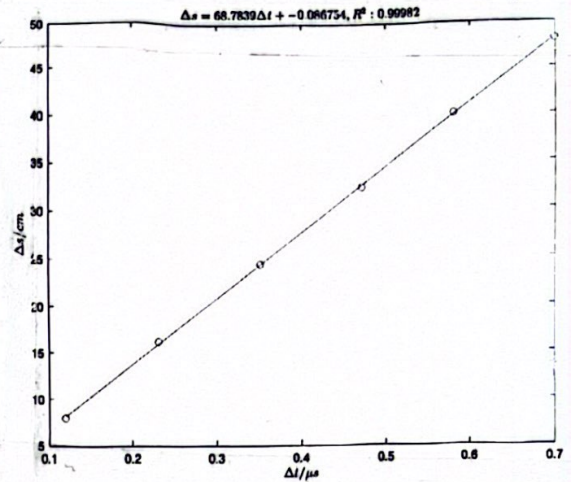
$$\nu = 100 \text{ MHz}, \nu' = 457.1 \text{ kHz}$$

实验次数	S_1/cm	S_2/cm	$\Delta t'/\mu\text{s}$	$C/(\text{m/s})$	$\bar{C}/(\text{m/s})$
1	1.00	9.00	0.120	2.92	2.99
2	1.00	17.00	0.230	3.04	
3	1.00	25.00	0.350	3.00	
4	1.00	33.00	0.470	2.98	
5	1.00	41.00	0.580	3.02	
6	1.00	49.00	0.700	3.00	

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{6 \times 5} \sum_{i=1}^6 (C_i - \bar{C})^2} = 0.02 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\therefore C = (2.99 \pm 0.02) \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{相对误差} = \frac{3.00 - 2.99}{3.00} \times 100\% = 0.33\%$$



② 利用正弦波测量光速

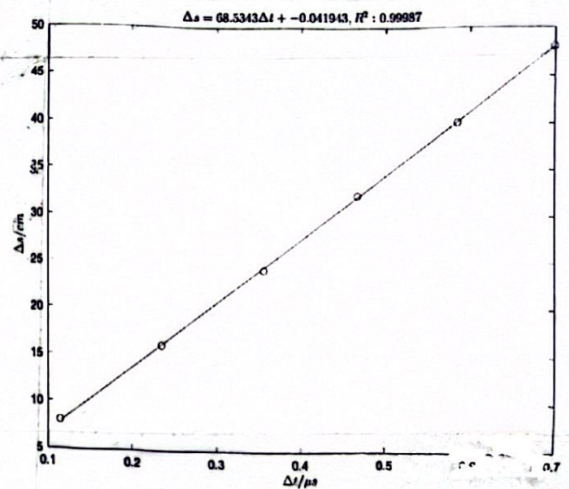
$$\nu = 100 \text{ MHz}, \nu' = 456.6 \text{ kHz}$$

实验次数	S_1/cm	S_2/cm	$\Delta t'/\mu\text{s}$	$C/(\text{m/s})$	$\bar{C}/(\text{m/s})$
1	1.00	9.00	0.115	3.05	3.01
2	1.00	17.00	0.235	2.98	
3	1.00	25.00	0.355	3.05	
4	1.00	33.00	0.465	3.01	
5	1.00	41.00	0.585	3.00	
6	1.00	49.00	0.700	3.00	

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{6 \times 5} \sum_{i=1}^6 (C_i - \bar{C})^2} = 0.01 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\therefore C = (3.01 \pm 0.01) \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{相对误差} = \frac{3.01 - 3.00}{3.00} \times 100\% = 0.33\%$$



③ 斜率法

根据 $C = \frac{2\Delta S}{\Delta t'} \cdot \frac{\nu}{\nu'}$, 有 $\Delta S = \frac{\nu' C}{2\nu} \Delta t'$ 作 $\Delta S - \Delta t'$ 图线有 $C = \frac{2\nu k}{\nu'}$, 整理量纲有 $C = \frac{2\nu k}{\nu'} \times 10^4$

$$\text{对方波测量光速, } C = \frac{2 \cdot 100 \times 10^6 \cdot 68.7839}{457.1 \times 10^3} \times 10^4 = 3.01 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{对正弦波测量光速, } C = \frac{2 \cdot 100 \times 10^6 \cdot 68.5343}{456.6 \times 10^3} \times 10^4 = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$$



【误差分析】

- ① 光电二极管表面上各点的灵敏度不同和电子渡越时间的不一致。
- ② 实验装置本身存在系统误差，如示波器波形不稳定，折射器无法调整至特别精确从而移动时导致光斑上下移动，高频信号在连接时的误差等。
- ③ 读数时，示波器波形本身存在一定宽度，虚线难以精准对齐， Δt 测量不准确。
- ④ 温度影响空气密度，进而影响光速。

【实验心得及思考题】

① 实验心得。

本次实验我掌握了利用调制法测量光速的基本原理和方法，学会用示波器测量光波信号时间差。本次实验数据一开始非常不理想，后来发现需要将示波器的波形横向展开得足够大才能减少因定位光斑不准产生的巨大实验误差，才得以记录一系列较为准确的数据。

② 思考题

(1) Q: 实验中有可能出现波形假移位，如何克服？

A: 产生假移位的主要因素，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。在滑块前或回程光路上置光栏片，用折射器依次让这回程光通过，使两光束在光敏面上反射的光经透镜成像于光轴上。

(2) Q: 分析影响实验精度的主要因素。

A: 温度、折射器角度、光强、光敏转换器 and 示波器的误差、读数。

(3) Q: 描述光速测量的其他实验方法

A: 伽利略举灯法、罗默卫星蚀法、布莱德雷光行差法、菲索齿轮法、克尔法、空腔共振法……



【数据记录及草表】

$\nu = 100 \text{ MHz}$ $\nu' = 457.1 \text{ kHz}$

实验次数	S_1/cm	S_2/cm	$\Delta t'/\mu\text{s}$	$C/10^8 \text{ m/s}$	$\bar{C} (10^8 \text{ m/s})$
1	1.00	9.00	0.120	2.92	
2	1.00	17.00	0.230	3.04	
3	1.00	25.00	0.350	3.00	
4	1.00	33.00	0.470	2.98	
5	1.00	41.00	0.580	3.02	
6	1.00	49.00	0.700	3.00	
					2.99

$\nu = 100 \text{ MHz}$ $\nu' = 456.6 \text{ kHz}$

实验次数	S_1/cm	S_2/cm	$\Delta t'/\mu\text{s}$	$C/10^8 \text{ m/s}$	$\bar{C} (10^8 \text{ m/s})$
1	1.00	9.00	0.115	3.05	
2	1.00	17.00	0.235	2.98	
3	1.00	25.00	0.355	3.05	
4	1.00	33.00	0.465	3.01	
5	1.00	41.00	0.585	3.00	
6	1.00	49.00	0.700	3.00	
					3.01

教师签字: 11月 11日

