

## 【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

强度依时间变化的周期性光信号满足

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

而光信号能用一个将其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

$U = A \cos(2\pi \nu \cdot t)$ 。设接收器距光源  $\Delta S$ ，则时间延迟  $\Delta t = \frac{\Delta S}{c}$ 。引起的相位变化为

$\Delta \varphi = 2\pi \nu \cdot \Delta t = 2\pi \cdot \frac{\Delta S}{c}$  ( $\nu$  为光信号调制频率， $T$  为周期。若忽略光强衰减，则接收器

测量到的相变信号为  $U = A \cos(2\pi \nu \cdot t - \Delta \varphi)$ 。因而可推得  $c = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\Delta S}{\frac{\Delta \varphi}{2\pi \nu}}$

当调制频率非常高时，很短的  $\Delta S$  即可获得相当可观的相位变化。接收到的信号需要与一个  $\nu'' = 99.545 \text{ MHz}$  的信号叠加，产生一个与输入信号电压和载波乘积成正比的输出电压，最后输出的主要成分是两个输入信号的和频分量及差频分量， $U = A' (\cos(2\pi(\nu + \nu'')t - \Delta \varphi) + \cos(2\pi(\nu - \nu'')t - \Delta \varphi))$ 。

其中高频信号成分可被低频滤波器滤去  $\therefore U = A' \cos(2\pi(\nu - \nu'')t - \Delta \varphi)$

相变  $\Delta \varphi$  并未因叠加而改变，但对应另一个传播时间  $\Delta t'$ ，而叠加信号的周期  $T'$  也能从示波器上读得。所以相变为  $\Delta \varphi' = 2\pi \cdot \frac{\Delta t'}{T'}$

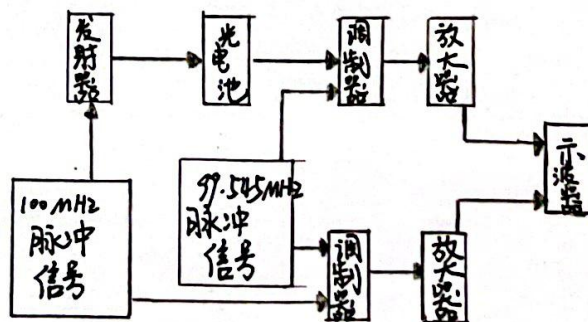
而光信号实际通过  $\Delta S$  的传播时间  $\Delta t$  为  $\Delta t = \frac{\Delta t' \cdot T}{T'} = \frac{\Delta t'}{T' \cdot \nu}$

$\therefore$  光速最终计算公式为  $c = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\Delta S}{\frac{\Delta t'}{T' \cdot \nu}} = \frac{\Delta S}{\Delta t'} \cdot T' \cdot \nu$

### 2. 仪器基本原理 (如右图)

若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  $S_2$ ，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  $\Delta t'$   
 $\therefore$  光速测量值为

$$c = \frac{2(S_2 - S_1)}{\Delta t'} \cdot \frac{1}{\nu}$$





## 【实验内容】（重点说明）

## 1. 仪器调整

① 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，将带交流符号测相接口与示波器 CH<sub>1</sub> 和 CH<sub>2</sub> 端相连。

② 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。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  $S_2$ ，记录此时光信号与参考信号波形间相对时间差  $\Delta t'$ ，把  $v$ 、 $v'$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $\Delta t'$  代入计算中即可获得光速值。

## 2. 记录数据，计算结果

## 【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 必须保证远程光与近程光均进入光电池

② 禁止打开机壳

③ 实验结束后及时关闭电源

④ 入射光要通过声光移频器



## 【数据处理与结果】

1. 散点测量数据表 (其中  $\nu = 100 \text{ MHz}$ ,  $\nu' = 455.015 \text{ kHz}$ )

实验次数	$S_1/\text{m}$	$S_2/\text{m}$	$\Delta t'/\text{s}$	$C/(10^8 \text{ m/s})$	$\bar{C}/(10^8 \text{ m/s})$
1	0.0909	0.2000	$1.62 \times 10^{-7}$	2.960	2.973
2	0.0911	0.2792	$2.80 \times 10^{-7}$	2.953	
3	0.1241	0.2621	$2.00 \times 10^{-7}$	3.033	
4	0.1759	0.3383	$2.44 \times 10^{-7}$	2.926	
5	0.2062	0.3913	$2.82 \times 10^{-7}$	2.885	
6	0.1921	0.4320	$3.42 \times 10^{-7}$	3.083	

2. 等距测量数据表

等距实验次数	累计距离 $S/\text{m}$	累计时间 $t/\text{s}$	转换后时间 $T/\text{s}$	(PS: 转化后时间 $T$ 没有使用标准科学记数法, 仅统一为次数, 此举为方便后续作图 $x$ 轴数据的简化。)
1	0.0009	0	0	
2	0.0899	$1.36 \times 10^{-7}$	$6.188 \times 10^{-10}$	
3	0.1801	$2.72 \times 10^{-7}$	$12.376 \times 10^{-10}$	
4	0.2700	$4.00 \times 10^{-7}$	$18.201 \times 10^{-10}$	
5	0.3600	$5.36 \times 10^{-7}$	$24.389 \times 10^{-10}$	
6	0.4502	$6.72 \times 10^{-7}$	$30.577 \times 10^{-10}$	

1. 数据求得  $S_1, S_2$  与  $\Delta t$  ( $\nu, \nu'$  已知)

由  $C = \frac{2(S_2 - S_1)}{\Delta t} \cdot \frac{\nu}{\nu'}$  可求得光速, 数据已填入表 1 中。

$$\bar{C} = 2.973 \times 10^8 \text{ m/s} \quad E = \frac{|\bar{C} - C_{\text{标}}|}{C_{\text{标}}} = 0.83\% \quad \text{误差较小, 实验结果得以接受。}$$

2. 等距测量拟合线性关系图附图 ( $x$  轴单位为  $10^{-10} \text{ s}$ )。

$$\text{可得关系式 } S = 1.48 \times 10^8 t - 3 \times 10^6$$

$$\therefore k = \frac{C}{2} = 1.48 \times 10^8$$

$$\therefore C = 2.96 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\bar{E} = \frac{|C - C_{\text{标}}|}{C_{\text{标}}} = 1.27\% \quad \text{精确度较法 1 有所下降。}$$



## 【误差分析】

1. 由前数据分析可得, 使用散点各自测定光速后取均值的相对误差 (0.83%) 小于使用等距图像法线性拟合求得的光速 (1.27%), 因为在示波器的  $\Delta t$  数据测量过程中, 其最小测量改变量为  $0.008 \mu s$ , 使得在等距测量时, 随示波器光栅的移动,  $\Delta t$  改变量为 0 或为  $0.008 \mu s$ , 偏小或偏大, 因而在最终拟合过程中引入了较大的误差。

2. 受实验器材限制, 测量过程精度受限, 如  $S_1, S_2$  的测量,  $\Delta r$  约为  $0.01 \text{ cm}$ ,  $\Delta t$  的测量  $\Delta r$  为  $0.008 \mu s$ , 且在示波器上选取正弦图像零点位置, 因为曲线自身线宽与测量参考线的非连续性的移动, 都将带入误差, 影响最终的实验结果。

3. 偶然数据的出现, 如法①中第五组数据, 若排除此组误差相对较大的结果, 则  $\bar{c} = 2.991 \times 10^8 \text{ m/s}$

相对  $E = \frac{|\bar{c} - c_{\text{标}}|}{c_{\text{标}}}$  仅为 0.23%, 与真实数值更加贴近。

## 【实验心得及思考题】

## 思考题 1:

假移位产生的原因: 由于光电二极管光敏面上各点的灵敏度不同和电子渡越时间  $t$  不一致, 因而会产生假移位。

假移位的防止: 实验前调节正负偏压使光路尽量平行导轨运动, 可使用遮挡的方式分别选择远近两光通过, 使其位于同一光轴, 不随偏压器的远近移动而上下移动即可。

## 思考题 2:

① 温度影响空气密度进入会影响标准光速, 从而在计算相对误差时引入误差。

② 实验仪器的各类精度限制, 如“误差分析”中提及的示波器测量  $\Delta t$  与  $S_1, S_2$  数值的测量。

③ 人为读数带有主观性的判断, 也会影响数据的精确度, 从而影响实验精度。

④ 光路实际位移不直接等价于刻度差值的两倍 (未必路径平行于测量导轨)

## 思考题 3:

## 1. 傅科旋转镜法

让镜子以一定速度旋转, 使它在光线发出并且

从一面静止的镜子反射回来的这段时间内, 刚好旋转一圈, 从而测定光速。

## 2. 斐索齿轮法

测量时, 齿轮开始旋转, 灯光从两个齿之间射出, 射到镜子上, 迅速使光路反射, 传到齿轮之间, 根据齿轮的转速计算光速。

## 3. 迈克尔逊旋转镜法

## 4. 克尔盒法

## 实验心得:

一次简单而又复杂的实验经历。

首先是简单, 实验的原理及总体性步骤可谓浅显易懂, 其中用到的测量仪器也没有那么陌生 (特别是数据读取部分)。

但精确的考虑, 便使一个光学实验开始变得复杂, 从准备的调整开始, 一切都丝毫不敢大意, 失之毫厘, 谬以千里, 误差都会谬以千里。再者便是等距拟合的数据测量, 因为示波器精度限制下的失敏与过敏, 要求我在等距选取须尽可能精确, 因为距离带来的时间差异往往难以在  $\Delta t$  上体现出来。所幸, 最后较好的得到数据, 完成了实验, 撒花!