



实验名称：光强调制法测光速

姓名：刘子言 学号：20002462 实验班：G13 组号：15 教师：倪一

## 一、实验目的

1. 掌握光强调制法测量光速的原理；
2. 了解光速测定仪结构；
3. 掌握使用示波器测量同频正弦信号相位差的方法；
4. 理解李萨如图形的成像原理；
5. 掌握利用光强调制法测量水中的光速和水的折射率的测量原理。

## 二、实验原理

1. 利用波长和频率测量光速： $c = \lambda f$

可见光的频率为 $10^{14}$  Hz的数量级，超出了所有仪器的响应。本实验中光源是发光二极管，用50MHz的高频正弦电压信号将光的强度进行调制，对强度调制光检波后就得到了周期大大扩展了的电平信号。

2. 利用调制波测光速  $c$ ：

给光源加载一个调制信号，使其输出的光强度随调制信号的规律变化形成调制光波。调制波的传播速度就是光速，测定调制光波波长，间接测出光速：

$$c = \lambda_{\text{调}} \cdot f_{\text{调}} \quad \text{①}$$

$f_{\text{调}}$ 为调制光频率，即加载的调制信号频率。

3. 相位法测调制波波长 $\lambda_{\text{调}}$ ：

发光二极管所发红光在仪器内调制以后，分为2路，一束输入到示波器的X通道；另一束从出射孔射出。出射光经直角反射镜改变传播方向，从接收孔接入到仪器内，输入到示波器的Y通道。这两个频率相同的强度调制波信号在示波器内相干，屏幕上得到李萨如图





图形。若两信号之间的相位差为0或 $\pi$ ，则李萨如图形为直线， $\Delta\varphi=0$ 时直线在一、三象限， $\Delta\varphi=\pi$ 时直线在二、四象限。

两信号的 $\Delta\varphi$ 与出射光在空气中传播的距离有关，若将直角反射镜移动到合适位置使李萨如图形为一、三象限直线，再将直角反射镜向出射孔移动 $\Delta x$ 的距离，直到李萨如图形再度为直线时，说明示波器中Y分量相位差改变了 $\pi$ ，即这束调制光光程变化了 $\frac{1}{2}\lambda_{\text{调}}$ 。

由于光经过两次平面镜反射，实际 $\Delta x$ 应乘以2，即：

$$\frac{1}{2}\lambda_{\text{调}} = 2 \cdot \Delta x \Rightarrow \lambda_{\text{调}} = 4 \cdot \Delta x \quad (2)$$

则光速测量的测量式为：

$$c = \lambda_{\text{调}} f_{\text{调}} = 4 \Delta x f_{\text{调}} \quad (3)$$

值得注意的是，由于采用差频法测相位，实验中的 $f_{\text{调}} = 1000 \text{ f}$ （信号发生器显示的信号频率），得到的两个差频信号之间的相位差仍保持为 $\Delta\varphi$ 。

#### 4. 透明介质中的光速测量：

让光通过光路中一定长度 $L$ 的某种透明介质，先将示波器上的图形调节为直线，然后移去介质，移动直角反射镜一段距离 $\Delta x$ ，直到示波器上再次得到直线。这说明强度调制波在空气中通过 $2\Delta x$ 产生的相位变化（空气的折射率为1），相当于波在待测介质中通过 $L$ 产生的变化，介质的折射率为 $n$ 。根据公式求得介质的折射率：

$$(n-1)L = 2\Delta x \Rightarrow n = \frac{2\Delta x}{L} + 1 \quad (4)$$

光在这种介质的速度为：

$$v = \frac{c}{n} \quad (5)$$

### 三、实验仪器

光速测定仪、示波器、信号发生器、透镜2个、直角反光镜、1米长的水管。





## 四、实验内容与主要步骤

### 1. 示波器的校准

将示波器校准信号先后与CH1、CH2连接,完成幅度和聚焦的调节,完成增益和时基的校准。

### 2. 直接仪器电路线

开启光速测定仪,将它分别与示波器、信号发生器连线;

在数据表格中点击“连线”模块下的“确定状态”按钮,保存连线状态。

### 3. 调整光路共轴

将透镜与反射镜放置在光速测定仪光路上;

调整透镜位置和反射镜角度,使发射孔和接收孔位置的激光斑都达到最小,反射光点位于接收孔中心。

### 4. 测量空气中的光速

把示波器上“方式”开关拨到“CH2”并按下“X-Y”按钮,此时示波器是双通道模式,调节互角反射镜的位置和相位调节旋钮,使示波器中的李萨如图形成一条一、三象限的直线;记录下此时反射镜的位置  $x_1$ ,

移动反射镜的位置,观察示波器中的李萨如图像,当李萨如图形再次为一条直线且在二、四象限时,记录下此时反射镜的位置  $x_2$ ,

利用两次测量得到的反射镜位置差值  $\Delta x$ ,利用公式<sup>②</sup>计算出调制光的波长  $\lambda$ ,再根据公式<sup>③</sup>求解光速  $c$ ,将计算结果写入表格中,

注意此过程中不可以再调节光速测定仪的相位旋钮。重复上述实验步骤,测量6次。

### 5. 测量水的折射率和水中的光速

把水管拖动到导轨上,并放置在反射镜和透镜之间,调节反射镜的位置,以及相位调节旋钮,使示波器中的李萨如图形为一条一、三象限的直线;记录下此时





反射鏡的位置  $x'_1$ ;

移去水管, 調節反射鏡位置, 使示波器中的干涉圖形再次變為直線, 記下此刻反射鏡的位置  $x'_2$ ;

根據反射鏡兩次測量的位置差值  $\Delta x'$ , 利用公式④計算出水的折射率  $n$ , 再利用公式⑤計算出光在水中的速度, 將計算結果填入表格。

## 五、數據記錄與處理

1. 記錄信號發生器顯示的信號頻率  $f_{\text{發}} = 51.3 \text{ kHz}$

實際調制信號頻率為  $f_{\text{調}} = 1000 \times f_{\text{發}} = 51.3 \text{ MHz}$

2. 計算光在空氣中的傳播速度: (米尺  $\Delta_{\text{儀}} = 0.5 \text{ mm}$ )

	1	2	3	4	5	6
直角反射鏡坐標 $x_1/\text{m}$	1.656	1.656	1.655	1.655	1.657	1.656
直角反射鏡坐標 $x_2/\text{m}$	0.193	0.195	0.191	0.192	0.195	0.193
移動距離 $\Delta x = x_1 - x_2/\text{m}$	1.463	1.461	1.464	1.463	1.462	1.463
調制光波長 $\lambda_{\text{調}} = 4\Delta x/\text{m}$	5.852	5.844	5.856	5.852	5.848	5.852
光速(空氣中) $c = \lambda_{\text{調}} \cdot f_{\text{調}}$	3.002	2.998	3.004	3.002	3.000	3.002

(單位:  $\times 10^8 \text{ m/s}$ )

表格中, 調制光強的波長  $\lambda_{\text{調}}$  與光速  $c$  分別調用了公式②、③進行計算。

由表中數據可以計算光速  $c$  的不確定性; 均值  $\bar{c} = \frac{\sum c_i}{6} = \frac{18.008}{6} \approx 3.001 (\times 10^8 \text{ m/s})$

$$\text{ii) 標準偏差 } S_c = \frac{S_c}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum (c_i - \bar{c})^2}{6 \times 5}} = \sqrt{\frac{2.2 \times 10^{-5} \times 10^{16}}{6 \times 5}} \approx 7.333 \times 10^4 \text{ m/s}$$

$$\text{iii) 不確定度 } U = \sqrt{(t_{0.683}(6-1) \cdot S_c)^2 + \left(\frac{\Delta_{\text{儀}}}{3}\right)^2} = \sqrt{(1.11 \times 7.333 \times 10^4)^2 + \left(\frac{0.005}{3}\right)^2} \approx 0.0008 (\times 10^8 \text{ m/s})$$

3. 計算水的折射率 and 光在水中的傳播速度;

直角反射鏡坐標  $x'_1 = 1.452 (\text{m})$ ,  $x'_2 = 1.602 (\text{m})$ , 水管長度  $L = 1.000 (\text{m})$

直角反射鏡調節前後兩次位置之差  $\Delta x' = x'_2 - x'_1 = 0.150 (\text{m})$

$$\text{由公式④, 水的折射率 } n = \frac{2\Delta x'}{L} + 1 = \frac{2 \times 0.150}{1.000} + 1 = 1.300$$





由公式⑤计算光在水中的传播速度  $v = \frac{c}{n} = \frac{3.001 \times 10^8}{1.300} = 2.308 \times 10^8 \text{ m/s}$

根据参考值  $n_{\text{水}} = 1.330$ , 计算水的折射率的百分比误差:

$$\delta = \frac{|n - n_{\text{水}}|}{n_{\text{水}}} \times 100\% = \frac{0.030}{1.330} \times 100\% \approx 2\%$$

## 六、结果与分析

1. 通过本次实验基本掌握了光强调制法测量光速的原理和方法;
2. 计算光在空气中的传播速率时, 由计算结果可以得到, 光速的不确定度较小, 六次实验计算得到的光速结果的离散性也较小, 且  $\bar{c} = 3.001 \times 10^8 \text{ m/s}$ , 与日常使用的空气中光速值相接近, 可见实验测量结果的准确性较高;
3. 计算水的折射率及光在水中的传播速度时, 由计算结果可得, 水折射率的百分比误差  $\delta = 2\% < 5\%$ , 所以实验测量与计算结果在误差允许的范围;
4. 实验过程中需要调节的示波器按钮较多, 应分清各个按钮与旋钮的功能, 在实验时仔细、认真调节。

## 七、分析讨论题

1. 本实验的主要实验误差来源是什么? 如何减小这些误差?

答: ①实验装置误差: 仪器误差, 虚拟仿真实验中这部分误差会比较小;

②读数误差: 在记录直角反射镜位置的时候可能会有读数误差, 减小误差的方法是多次测量取平均值;

③环境误差: 客观环境的影响, 接收孔处光敏二极管没有调到最小或没有位于中心, 减小误差的方法是仔细调节透镜和反射镜, 使光敏二极管调到要求。

2. 光从直角反光镜的一块镜片被反射到另一块镜片, 其间约为10cm左右, 计算光速时却没有考虑到它, 为什么?

答：由光速计算公式  $c = \lambda \nu = 4 \Delta x \nu$ ，可知，光速  $c$  只与直角反光镜移动的距离  $\Delta x$  有关，而两块镜片间的间距  $d$  并没有发生改变，所以不作考虑。

3、已知二极管发射光的波长为  $600 \text{ nm}$ ，在空气中传播  $0.3 \text{ mm}$  时就会产生  $\pi$  的相位差，而实验中，观察李萨如图形转向时反光镜需  $1.5 \text{ m}$  左右的移动这是为什么？

答：因为本实验采用的是光强调制法， $c = \lambda \nu = 4 \Delta x \nu$ ，实验中测量的是已调制的波的波长  $\lambda$ ，而不是光源光波的波长。

附图：

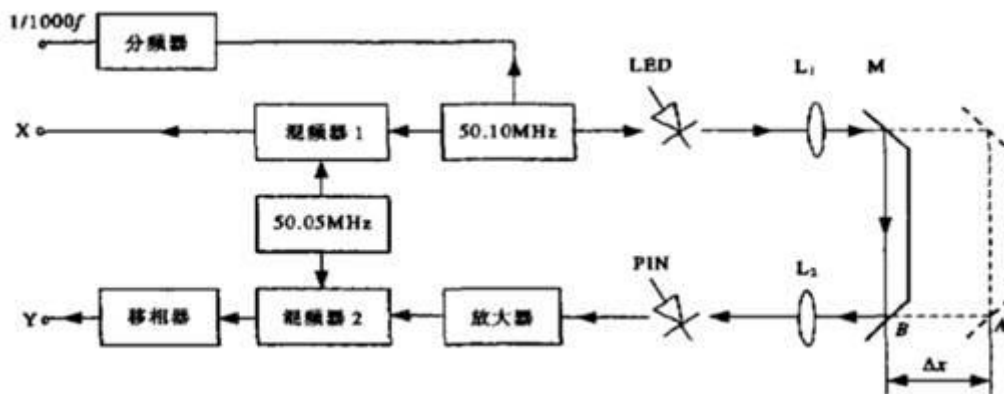


图1 光速测定仪原理图

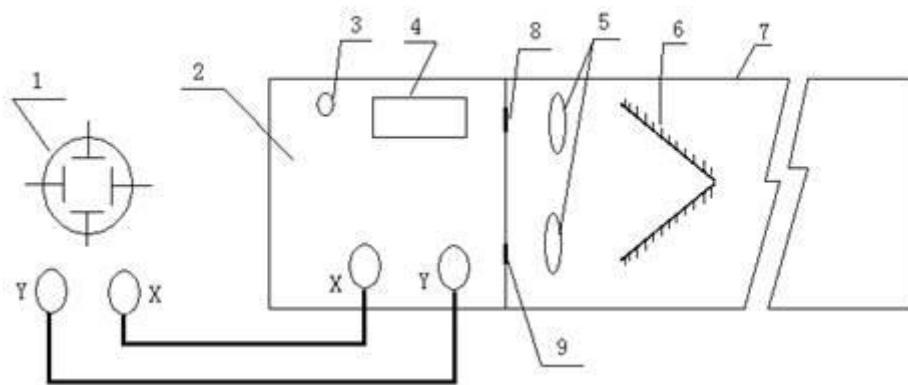


图2 光速测量装置原理图

1. 示波器 2. 光速测定仪 3. 相位调节旋钮 4. 频率显示  
5. 透镜 6. 直角反射镜 7. 地板 8. 发射孔A 9. 接收孔B