




班级		学号		姓名		教师签字	王屹
实验日期	2024. 11. 6 T5803			预习成绩	2	总成绩	

实验名称 光强调制法测光速（虚拟仿真实验）

一. 实验预习

1. 请简述光强调制法测量光速的基本原理。

答：在本实验中，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后分为两路，一束输入到双踪示波器的X通道，另一束从出射孔射出。出射光经过直角反射镜改变传播方向，从接收孔又进入到仪器内，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形。直角反射镜靠近出射孔时，两束信号之间的相位差相等，示波器上得到一条直线。将反射镜移远的过程中，李萨如图形变化为椭圆。当示波器上再度出现直线时，说明示波器中Y分量相位改变了 $\pi$ ，即这束调制光光程变化了半个波长。考虑到光经过两次平面镜的反射，半个波长等于直角反射镜移动距离 $l$ 的两倍，有 $\lambda=4l$ 。已知调制频率 $f$ ，即可得到光在空气中的传播速度为

$$c=\lambda f=4lf$$

2. 利用光强调制法如何测量透明介质的折射率？

答：让光透过光路中一定长度 $L$ 的某种透明介质，将示波器上图形调节为直线。然后移去液体(透明介质)，这时示波器上图形为一椭圆。移动直角反射镜一段距离 $\Delta x$ ，直至示波器上又得到直线。这说明强度调制波在空气中通过 $2\Delta x$ 产生的相位变化，相当于波在待测介质中通过 $L$ 产生的变化，则有以下公式

$$(n-1)L=2\Delta x$$

可以求得介质的折射率 $n$ 。

二. 实验现象及原始数据记录

1. 利用光强调制法测光速实验，实验步骤如下：

- (1) 调节示波器初始状态，并进行校准。
- (2) 根据光强调制法测光速原理，正确进行实验连线。
- (3) 开启光速测定仪，并调节光路共轴。
- (4) 测量光在空气中速度和光在水中的速度。
- (5) 记录实验数据，并完成相应的数据处理。

2. 测量光的调制的频率  $f=$  54.1 MHz

3. 测量光在空气中的传播速度

仪器上光的发射孔 A 和接收孔 B 外各有一个凸透镜，调节透镜位置，使发射孔处于其焦点附近。这样，光通过透镜后就大体上成为平行光。在底板上前后移动直角反射镜，使得它反射的光经过另一个透镜会聚到接收孔 B。为此，首先调节两个反射镜片背后的螺钉，使镜片垂直于底板目彼此成直角。其次，调节透镜的位置，使光线会聚到仪器的接收孔 B。完成光路调节后，这时调节光速测定仪上的相位旋钮，令李萨如图形成为一直线，记录此时直角反射镜的坐标  $X_1$ ；将反射镜向着仪器方向移动，当反射镜靠近接收孔时，示波器的上的李萨如图形又成为一条直线，它的斜率应与开始时直线在不同象限，记录此时反射镜坐标  $X_2$ 。

- (1) 直角反射镜坐标  $X_1=$  1.591 m
- (2) 直角反射镜坐标  $X_2=$  0.204 m
- (3)  $X_1$  与  $X_2$  之间的距离=1.387 m
- (4) 根据公式，求得调制光强的波长:  $\lambda=$  5.548 m
- (5) 测量得到的光速  $V=$   $3.00468 \times 10^8$  m/s

4. 测量光在液体介质中的传播速度

调节相位旋钮，使李萨如图成为一条直线，记录反射镜的坐标  $X_1$ ；然后去掉水管，移动反射镜的位置，直至示波器上的图形又成为一条直线，记录此时反射镜的坐标  $X_2$ 。设反射镜调节前后的两次位置之差为  $\Delta L$ ，计算光在水中传播的速度  $V_s$ ，以及水的折射率  $n$ 。(已知水管长度为 1 米)

- (1) 直角反射镜坐标  $X_1=$  1.265 m
- (2) 直角反射镜坐标  $X_2=$  1.365 m
- (3) 直角反射镜调节前后两次位置之差  $\Delta L=$  0.100 m
- (4) 计算光在水中传播的速度  $V_s=$   $2.501 \times 10^8$  m/s
- (5) 水的折射率  $n=$  1.200

教师	姓名
签字	

### 三. 实验数据处理

1. 分别计算空气和水中的光速。

2. 计算水的折射率。

答：根据记录的实验数据及以下公式先求出调制光的波长

$$\lambda = 4(X_2 - X_1) = 4 \times (1.591 - 0.204) = 5.548(\text{m})$$

则可根据以下公式及已知的调制光的频率值 ( $f = 54.1\text{MHz}$ ) 求出空气中的光速

$$V = \lambda f = 5.548 \times 54.1 \times 10^6 = 3.001468 \times 10^8 (\text{m/s})$$

根据记录的实验数据及以下公式可以求出水的折射率 (已知水管长度  $l$  为  $1\text{m}$ )

$$n = 1 + \frac{2(X_2 - X_1)}{l} = 1 + \frac{2 \times (1.365 - 1.265)}{1} = 1.200$$

则可计算出该实验中水中的光速为

$$V_s = \frac{V}{n} = \frac{3.001468 \times 10^8}{1.200} = 2.501 \times 10^8 (\text{m/s})$$

### 四. 讨论题

1. 红光的波长约为  $0.6$  微米, 在空气中只走  $0.3$  微米就会产生相位差。而我们在实验中却将直角反射镜移动了  $1.5$  米左右的距离, 李萨如图表明两信号之间的相位才改变。这是为什么?

2. 光从直角反射镜的一块镜片被反射到另一块镜片, 其间约为  $10$  厘米作用。而计算光速时却并未考虑到它。为什么?

3. 设水管两端的玻璃片厚度均为  $2$  毫米, 玻璃的折射率为  $1.5$ 。本实验中忽略的影响会对测量产生多大的误差?

答: 1. 这是因为红光的相位变化与实际光程的变化密切相关。在实验中, 由于光经过反射镜的反射导致的光程变化相对较大, 特别是直角反射镜的思路和实验设计使得光的传播时间和相位关系在移动反射镜时有显著的变化。因此, 虽然在空气中传播的相位差受到波长影响, 但实际的反射和相位变化是依赖于整个光程的改变, 而不仅仅是单纯的波长和直线传播。

2. 因为光速测定的关键在于光经过的整体光程, 而非每个具体反射过程中的小距离。在整体连贯光的传播和相位变化下, 主导因素是全程反射引起的相位延迟, 而不是各个小光路的其实长度改变。因此, 实验主要关注的是光在空气和水中的整体传播速度, 而非细节反射间距的微小影响。

3. 根据以下公式

$$(n-1)l = 2\Delta L$$

可以发现, 水管两端的玻璃片的存在会对该式左侧产生影响, 进行修正后有以下式子

$$n \cdot l + 1.5 \times 0.002 \times 2 - (l + 0.002 \times 2) = 2\Delta L$$

可计算出修正后的  $n$  的准确值

$$n = \frac{2\Delta L - 1.5 \times 0.002 \times 2 + (l + 0.002 \times 2)}{l} = \frac{2 \times 0.100 - 0.006 + 1 + 0.004}{1} = 1.198$$

相对误差为

$$E = \frac{1.200 - 1.198}{1.198} \times 100\% = 0.167\%$$

可见, 虽然水管两端的玻璃片的存在会对  $n$  值的计算造成误差, 但误差的量级很小, 在实验中可以忽略不计。