

光速及透明介质的折射率测定项目

一. 测量方法介绍

一个强度周期性变化的光信号可以表示为

$$I = I_0 + \Delta I_0 \cos(2\pi\nu t) \quad (1)$$

其中为光强度的调制频率。用一个光敏二极管接收这个光信号，滤掉直流成分，光敏二极管上电压为：

$$U = U_0 \cos(2\pi\nu t) \quad (2)$$

如果这个光信号在真空（空气）中走过的路程增加 Δs ，由此导致的时间延迟为 Δt ，相位移 $\Delta\varphi = 2\pi\nu\Delta t$ ，则二极管上的电压信号变为：

$$U = U_0 \cos(2\pi\nu t - \Delta\varphi) \quad (3)$$

得到时间延迟 Δt ，可以求出光速 c 为：

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (4)$$

光的频率很高数量级为 10^{14} Hz ，调制后的光信号频率也达到 10^7 Hz 数量级，这么高的频率，直接转化为电信号，很难从示波器上读出准确的相位移或者时间延迟。如果在电信号上相乘叠加一个频率为 ν' 信号， ν 和 ν' 接近，叠加后的信号为

$$\begin{aligned} U_1 &= U' \cos(2\pi\nu t - \Delta\varphi) \cos 2\pi\nu' t \\ &= \frac{1}{2} U' \{ \cos[2\pi(\nu + \nu')t - \Delta\varphi] + \cos[2\pi(\nu - \nu')t - \Delta\varphi] \} \end{aligned} \quad (5)$$

经过高频滤波后， U_1 变为频率为 $\nu - \nu'$ 的低频信号 U_2 ，

$$\begin{aligned} U_2 &= \frac{1}{2} U' \cos[2\pi(\nu - \nu')t - \Delta\varphi] \\ &= \frac{1}{2} U' \cos[2\pi(\nu - \nu')t - 2\pi\nu\Delta t] \\ &= \frac{1}{2} U' \cos[2\pi(\nu - \nu')(t - \frac{\nu}{\nu - \nu'}\Delta t)] \\ &= \frac{1}{2} U' \cos[2\pi(\nu - \nu')(t - \Delta t_2)] \end{aligned} \quad (6)$$

其中 $\Delta t_e = \Delta t \nu / (\nu - \nu')$ 为滤波后的时间延迟, 可以从示波器上直接读出。代入 (4) 式得到光在真空中的传播速度:

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\Delta s}{\Delta t_e} \frac{\nu}{\nu - \nu'} \quad (7)$$

如果在光路上放入厚度为 d 折射率为 n 的介质, 相当于增加了光程 $\Delta s = (n-1)d$, 代入 (7) 式, 在已知光速 c 时, 可以得到折射率的实验公式为:

$$n = \frac{c}{d} \frac{\nu - \nu'}{\nu} \Delta t_e + 1 \quad (8)$$

注: 如果用一路参考信号, 光信号在位置 s_1 时, 在示波器上光信号相对于参考信号时间延迟为 Δt_1 ; 光信号在位置 s_2 时, 在示波器上光信号相对于参考信号时间延迟为 Δt_2 。则 $\Delta s = |s_2 - s_1|, \Delta t_e = |\Delta t_2 - \Delta t_1|$ 。对折射率的测量方法类似。

二. 实验内容及测量准确度的提高

1. 空气中的光速

调节光源位置, 使示波器上的光信号与参考信号完全重合, 该光源位置即为零位置, 对应得时间延迟记为零。取光源位置分别为 20cm、50cm、80cm、110cm, 记录对应的时间延迟, 代入光速计算公式, 计算结果, 总结位移改变的大小对结果的影响。

2. 水晶折射率测量

实验提供的水晶长为 20cm 左右, 放入光路引起的光程差仅有 10cm 左右, 如何解决光程短造成的结果准确率低的问题, 从而提高实验的准确率。

3. 水折射率测量

除类似 2 的问题外, 水槽引起的光程差影响如何排除?

三. 实验室仪器、设备及注意事项

1. 实验室设备



2. 实验提示:

由于是手动主观确定峰值或零点位置，读数时调节数字示波器的信号强度旋钮,尽可能使光信号的峰高调整到与参考信号相同。