

# 液体克尔常数的测量

凌德洪 朱亚一 冷永章

(苏州大学激光研究室)

克尔效应是介质在电场作用下感生的双折射现象, 各种克尔盒已在电光调制方面得到广泛的应用. 因此, 精确测量各种介质的克尔常数具有一定的意义.

提高介质克尔常数实验测量准确度的一种途径, 是提高外加电压, 从而增大感生双折射引起的位相差. 但大多数样品在强场下容易击穿, 因而不宜加很高的电压. 本文采用双光路光度法和检偏振法, 在不太高的电压下, 提高了实验测量的准确度, 并对液体样品硝基苯的克尔常数进行了测量, 两种方法测得的结果较好地吻合, 并与公认值一致.

## 一、实验基本原理

在一级近似下, 克尔效应是外加电场的二次函数, 因此介质的克尔常数  $K$  可以由下式定义:

$$\Delta n = K\lambda E^2, \quad (1)$$

式中  $\Delta n = n_{\parallel} - n_{\perp}$ ,  $n_{\parallel}$ ,  $n_{\perp}$  分别表示介质在入射光波长为  $\lambda$  时, 电矢量平行和垂直于外电场的偏振光的折射率,  $E$  为外电场的强度.

当一束一定偏振方向的激光束进入克尔盒后, 相对于样品的光学主轴, 入射光可分解为两束线偏振光, 一束光的电矢量沿着外加电场方向 (样品的光学主轴沿外加电场方向取向), 另一束光的电矢量与外电场垂直. 由于样品在电场下的双折射效应, 对应于两束线偏振光的折射率之差由 (1) 式表示. 这两束线偏振光通过克尔盒后产生的光程差为

$$\Delta = \Delta n l = K\lambda E^2 l, \quad (2)$$

式中  $l$  为克尔盒的有效长度. 若平板间距和外加电压分别为  $d$  和  $V$ , 对应的位相差则为

$$\delta = 2\pi(\Delta/\lambda) = 2\pi K l V^2 / d^2. \quad (3)$$

如果检偏器和起偏器正交, 而且其透光方向与外加电场方向成  $45^\circ$  角 (图 1, 2), 则由偏振光的干涉理论<sup>[1]</sup>, 不难导出透射光的相对强度为

$$\begin{aligned} I/I_0 &= \sin^2(\delta/2) \\ &= \sin^2(\pi K l V^2 / d^2). \end{aligned} \quad (4)$$

测定了参考光和透射光的光强比值, 即可由公式 (4) 定出  $K$ .

另一方面, 从克尔盒出射的光为椭圆偏振的, 若直接采用一检偏器进行检测, 将得不到准确的消光方向.

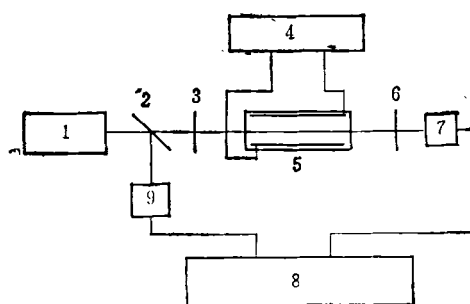


图 1 双光路光度法实验装置

1. He-Ne 激光器; 2. 分束板; 3. 起偏器; 4. 高压电源; 5. 克尔盒; 6. 检偏器; 7. 光电池 2; 8.  $I_0/I_1$  复用光强比率直读仪; 9. 光电池 1

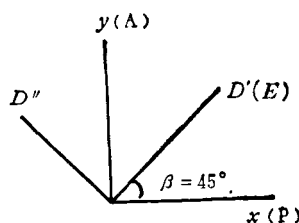


图 2 起偏器 P, 检偏器 A, 样品光轴  $D'(E)$  及  $D''$  的相对取向

本实验通过在检偏器前加入一个  $\lambda/4$  波片, 可得到准确的消光方向, 实验光路如图 3 所示. 现在借助 Jones 矩阵理论进行分析<sup>[1]</sup>.

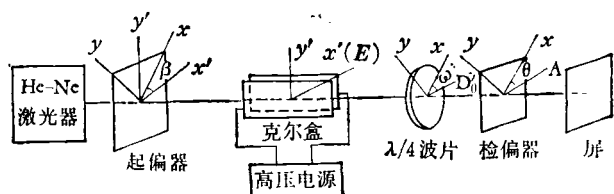


图 3 光的偏振状态检测装置示意图

用  $M$  表示克尔盒的 Jones 矩阵<sup>[1]</sup>,

$$M = \begin{pmatrix} \exp\left(i \frac{\delta}{2}\right) \cos^2 \beta & 2i \sin\left(\frac{\delta}{2}\right) \sin \beta \cos \beta \\ + \exp\left(-i \frac{\delta}{2}\right) \sin^2 \beta & \exp\left(-i \frac{\delta}{2}\right) \cos^2 \beta \\ 2i \sin\left(\frac{\delta}{2}\right) \sin \beta \cos \beta & + \exp\left(i \frac{\delta}{2}\right) \sin^2 \beta \end{pmatrix}, \quad (5)$$

式中  $\delta$  为克尔盒的相位延迟量,  $\beta$  为克尔盒快轴方向与  $x$  轴的夹角。引入克尔盒出射光参量  $k$ , 它定义为

$$k = \frac{E_x}{E_y}. \quad (6)$$

参量  $k$  为一复数比值, 它包含光的偏振状态的全部信息。简单的计算可以导出

$$M = i(|k|^2 + 1)^{1/2} \begin{pmatrix} k & 1 \\ 1 & -k^* \end{pmatrix}. \quad (7)$$

比较(5)式和(7)式, 可以得到

$$\sin\left(\frac{\delta}{2}\right) = (\sin 2\beta)^{-1} (|k|^2 + 1)^{-1/2}. \quad (8)$$

若  $\lambda/4$  波片和检偏器相对于  $x$  轴分别以夹角  $\omega$  和夹角  $\theta$  取向后, 在屏上得到一零光强暗斑, 由 Jones 矩阵理论可导出如下关系:

$$\delta = 2\sin^{-1} \times \left\{ (\sin 2\beta)^{-1} \left( \frac{1 - \cos 2(\omega - \theta) \cos 2\omega}{2} \right)^{1/2} \right\}. \quad (9)$$

选择适当的  $\beta$ , 实验测定  $\omega$  和  $\theta$  后, 便可由(9)式和(3)式算出克尔盒的相位延迟量  $\delta$  以及液体的克尔常数  $K$ .

## 二、实验结果及其讨论

### 1. 双光路光度法

本实验借助本校研制的光强比率直读仪, 采用双光路光度法, 从而消去了激光光强波动的影响。实验光路如图 1 所示。

光强比率直读仪具有暗电流补偿和归一化测量功能, 读数直接与  $\sin^2(\delta/2)$  相联系, 测量的结果由四位数字显示。在已知外加电压  $V$ , 板间距  $d$ , 克尔盒有效

长度  $l$  和入射激光波长  $\lambda_0$  的情况下, 便可准确地求出液体样品的克尔常数。测出硝基苯液体克尔常数的平均值  $\bar{K} = 2.23 \times 10^{-12}(\text{m/V}^2)$ 。

### 2. 检偏振法

实验选择入射激光偏振方向与克尔盒外加电场方向的夹角  $\beta$  为  $45^\circ$ 。由于检偏振法仅与光束的偏振参量  $k$  有关, 由  $k$  的实义可知, 实验结果与入射光强无关。检偏振法也消去了激光光强波动的影响。固定起偏器和外加电场的取向, 在  $V = 0$  的起始位置, 通过选择  $\lambda/4$  波片和检偏器的取向, 在屏上得到一零光强的暗斑。外加一定电压  $V$  后, 旋转  $\lambda/4$  波片和检偏器, 重新在屏上得到一零光强暗斑。对应于同一电压, 在相同实验条件下读出一组  $\omega$  和  $\theta$  数据对, 求出平均值。对应于不同电压作相应测量。然后由(9), (3)式计算出相位延迟  $\delta$  和克尔常数  $K$ 。

由于加入一  $\lambda/4$  波片, 可在屏上得到一对应于零光强的暗斑。实验中利用目视检零, 角度误差小于  $20'$ , 大大提高了实验精度, 测量值偏差小。测出的硝基苯的  $\bar{K}$  值为  $2.22 \times 10^{-12}(\text{m/V}^2)$ 。

根据克尔效应的理论<sup>[4]</sup>, 样品的克尔常数与入射光波长有关。本实验采用 He-Ne 激光作为光源, 测量了硝基苯的克尔常数, 其值为  $2.23 \times 10^{-12}(\text{m/V}^2)$ , 而文献 [5] 给出用钠黄线测得的硝基苯的克尔常数为  $2.44 \times 10^{-12}(\text{m/V}^2)$ 。考虑到波长的差异和由之产生的折射率的差异, 经过计算可以得到, 本实验结果与文献上的公认值基本一致。

## 参 考 文 献

- [1] Max Born and Emil Wolf, Principle of Optics, Pergamon Press, (1983), 694.
- [2] Stewart R. M. Robertson, *Appl. Opt.*, **22**(1983), 2213.
- [3] R. M. A. Azzam and N. M. Bashara, *Ellipsometry and Polarized Light*, North-Holland Publishing Company, (1977), chap. 1.
- [4] Max. Born, *Optik*, published and distributed in the public interest by Authority of the Alien property Custodian under License No. A-100, (1943), § 80.
- [5] F. A. Jenkins, H. E. White, *Fundamentals of Optics*, McGraw-Hill, Inc. (1976), 695.