

# 用克尔快门测量与脉冲宽度相比拟 的克尔液体的弛豫时间

张行愚

张包铮 林美荣

(山东大学光学系, 250100)

(南开大学物理系, 300071)

**提要:** 本文介绍一种当克尔液体的弛豫时间与脉冲宽度相比拟时, 用克尔快门测量克尔液体弛豫时间的方法。

**关键词:** 克尔快门, 弛豫时间

## Measurement of relaxation time comparable with pulse width in Kerr liquid

Zhang Xingyu

(Optics Department, Shandong University, Jinan)

Zhang Baosheng, Lin Meirong

(Physics Department, Nankai University, Tianjin)

**Abstract:** This paper presents a method in which the relaxation time of Kerr liquid comparable with pulse width nitrobenzene is measured and the results is agreeable to the results obtained from the references.

**Key words:** Kerr shutter, relaxation time

以往用克尔快门测量克尔液体弛豫时间都是超短脉冲宽度远小于克尔液体弛豫时间的情况, 本文介绍一种当克尔液体的弛豫时间与超短脉冲宽度相比拟时, 用克尔快门测量克尔液体弛豫时间的方法, 测量了硝基苯的弛豫时间, 所得结果与文献报道的结果一致。

### 一、测量原理

设克尔快门的开门光脉冲为  $I(t)$ , 克尔液体在  $I(t)$  的作用下出现各向异性, 使得信号光的非常光与寻常光折射率差为<sup>[1]</sup>

$$\Delta n(t) = \delta n_{\parallel} - \delta n_{\perp} = \frac{n_{2B}}{2\tau_r} \int_{-\infty}^t I(t') \exp\left(-\frac{t-t'}{\tau_r}\right) dt' \quad (1)$$

其中,  $n_{2B}$  为克尔系数,  $\tau_r$  为克尔液体的弛豫时间。

当克尔盒厚度为  $L$  时, 非常光与寻常光的相位差为

$$\delta(t) = \frac{2\pi}{\lambda} L \cdot \Delta n(t) \quad (2)$$

克尔快门的瞬时透过率为

$$T_i(t) = \frac{1}{2} T_1 T_2 \sin^2 \left[ \frac{\delta(t)}{2} \right] \quad (3)$$

其中,  $T_1$  和  $T_2$  分别为起偏镜和检偏镜对平行于它的光轴的偏振光的透过率,  $1/2$  是自然光起偏带来的因子。

设信号光脉冲  $I'(t)$  相对开门光脉冲的延迟为  $t'$ , 实验上观测到的信号脉冲的积分透过率为

$$T(t') = \int_{-\infty}^{+\infty} I'(t-t') T_i(t) dt \quad (4)$$

若信号光脉冲  $I'(t)$  是开门光脉冲  $I(t)$  的倍频光, 且倍频效率远小于 1, 而且整个克尔快门的透过率远小于 1, 即  $\delta(t) \ll \pi$ , 则有

$$I'(t) = AI^2(t) \quad (5)$$

$$\sin^2 \left[ \frac{\delta(t)}{2} \right] \approx \left[ \frac{\delta(t)}{2} \right]^2 \quad (6)$$

其中  $A$  为常量。

将(1)、(2)、(6)式代入(3)式, 再将(3)、(5)式代入(4)式, 可得

$$\begin{aligned} T(t') &= C \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} I^2(t-t') \cdot \left[ \int_{-\infty}^t I(t'') \exp\left(-\frac{t-t''}{\tau_r}\right) dt'' \right]^2 dt \\ &= C \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} I^2(t-t') \cdot [I(t) \otimes g(t)]^2 dt \end{aligned} \quad (7)$$

其中  $C = \frac{AT_1 T_2 \pi^2 L^2 n_{2B}^2}{8\lambda^2 \tau_r^2}$  为常量 [ $C$  中的  $\tau_r$  只影响  $T(t')$  的幅度, 而不影响它的形状],  $\otimes$  代表卷积,  $g(t)$  如下式所示:

$$g(t) = \begin{cases} \exp(-t/\tau_r) & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases} \quad (8)$$

当脉冲  $I(t)$  的宽度  $\tau_I$  远小于克尔液体的弛豫时间  $\tau_r$  时, (7)式可以写为

$$\begin{aligned} T(t') &= C \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} I^2(t-t') \cdot [I(0) \exp(-t/\tau_r)]^2 dt \\ &= C \cdot I^4(0) \exp(-2t'/\tau_r) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\ln [T(t')] = B - \frac{2t'}{\tau_r} \quad (10)$$

其中  $B = \ln [C \cdot I^4(0)]$  为常量。由(10)式知: 从直线  $\ln [T(t')] \sim t'$  的斜率可求得  $-2/\tau_r$ , 从而求得弛豫时间  $\tau_r$ , 这也就是通常用克尔快门测量克尔液体弛豫时间的方法。

当脉冲  $I(t)$  的宽度  $\tau_I$  不是远小于克尔液体弛豫时间  $\tau_r$  时, 就无法用(10)式直接求  $\tau_r$ , 必须消除脉冲宽度对  $\tau_r$  的影响, 本文提出的在此情况下测量克尔液体弛豫时间的原理为:

1. 首先获得激发脉冲  $I(t)$  的宽度和形状, 有关用克尔快门测量脉冲宽度和形状的测定原理详见文献[2]。

2. 在待测克尔液体组成的克尔快门的透过率  $T(t')$  被测量后, 将脉冲  $I(t)$  代入(7)式, 以  $\tau_r$  为变量来拟合(7)式, 获得最佳拟合时的  $\tau_r$  即为待测样品的弛豫时间。

## 二、测量结果及讨论

根据上述原理和方法,测量了硝基苯克尔液体的弛豫时间,硝基苯是天津化学试剂二厂生产的分析纯样品。

实验装置如图 1 所示, YAG 被动锁模激光器产生的超短光脉冲经  $\text{LiNbO}_3$  晶体倍频后,由  $OE$  双输出棱镜分为两束,其中基频光经  $M_2$  反射后作为开门脉冲,倍频光经延迟线  $VD$  后,由透镜  $L$  会聚于克尔盒  $C$ ,作为信号脉冲,信号由 MRD500 光电二极管检测,用 Tektronix 466 快速存储示波器进行显示。倍频效率小于 10%, 整个克尔快门的透过率约 3%, 以保证 (5), (6) 两式的成立。

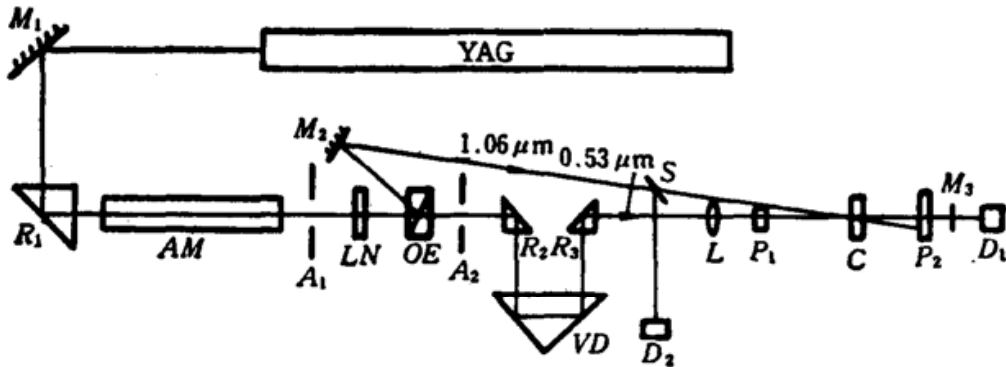


Fig. 1 Experimental setup

YAG—YAG laser; AM—amplifier; R—prism; A—aperture; LN— $\text{LiNbO}_3$  crystal; OE—beam splitter; M—mirror; L—lens; S—beam splitter; C—kerr cell; P—polarizer; D—detector; VD—variable optical delay line

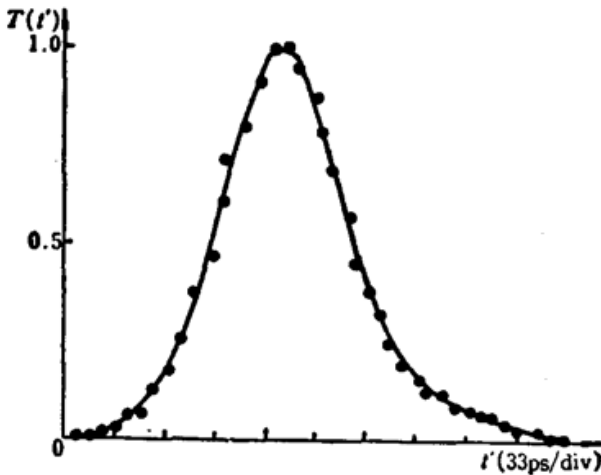


Fig. 2 Experimental result of  $T(t')$

●—The experimental data; —The fitted curve

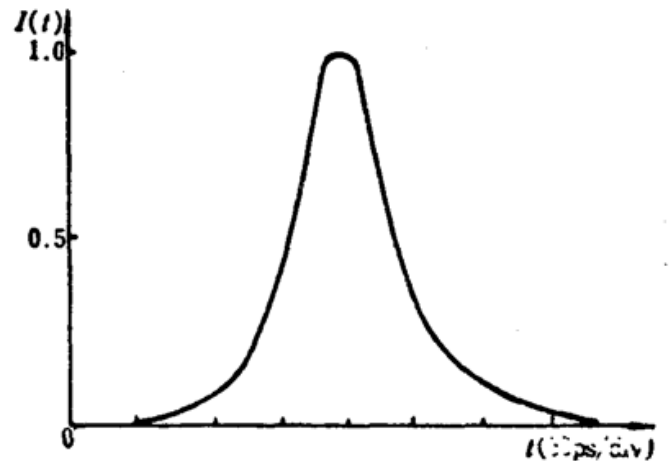


Fig. 3 The pulse shape

图 2 给出了  $T(t')$  的测量结果,其中每点是多次测量(不少于 5 次)的平均值,它的左半部分可以拟合为  $\exp(-1.1t'^2)$  与一个四阶多项式乘积的形式,右半部分可以拟合为  $\exp(-0.8t'^{1.65})$  与一个四阶多项式乘积的形式。

根据文献[2]的方法测量的激光脉冲  $I(t)$  如图 3 所示,脉冲宽度为 78 ps。

将  $I(t)$  代入 (7) 式,按上述原理在 Apple II 微机上进行运算,得到结果为  $\tau_r = 36 \pm 7$  ps,图 4 是实验曲线与将脉冲  $I(t)$  和  $\tau_r = 36$  ps 代入 (7) 式所得结果的比较。

Table 1. Comparison between the results obtained in this paper and the result obtained from the references

Present results (ps)	Reference results (ps)					
	references	[1]	[3]	[4]	[5]	[6]
$\tau_r = 36 \pm 7$	meas. method	Kerr shutter	Kerr shutter	Kerr shutter	light scattering	light scattering
	results	32	27.5	32	39	50

表 1 列出了本文的测量结果与文献结果的比较,从表 1 可以看出,测量结果与文献一致。

本方法测量的弛豫时间  $\tau_r$  的误差范围  $\Delta\tau_r$  可用以下方法来估计。

在透过率曲线  $T(t')$  被测量后,用以下公式计算曲线  $T(t')$  的标准偏差  $\sigma$ :

$$\sigma = \left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n - 1 \right]^{1/2} \quad (11)$$

其中  $n$  为测量点数,  $x_i$  为实验数据,  $\bar{x}$  为拟合曲线上数据。由于对曲线  $T(t')$  实行幅度归一化(见图 2), 标准偏差  $\sigma$  的存在可以等效为曲线  $T(t')$  的宽度  $\tau_T$  有一变化范围, 其变化范围为  $\Delta\tau_T = \Delta\tau_{T1} + \Delta\tau_{T2}$ , 其中  $\Delta\tau_{T1}$  和  $\Delta\tau_{T2}$  的意义如图 5 所示, 同理,  $I(t)$  的宽度也有一个变化范围, 而当  $I(t)$  和  $T(t')$  的宽度有一变化范围时, 由本文方法所得的弛豫时间  $\tau_r$  必然有一变化范围, 这可以认为是  $\tau_r$  的误差范围。

本方法适用于克尔液体的弛豫时间与脉冲宽度相比拟的情况, 当  $\tau_r/\tau_I$  太小时, 脉冲  $I(t)$  和透过率  $T(t')$  的标准偏差将使此法失效, 而当  $\tau_r/\tau_I$  较大时, 可以直接由(10)式确定  $\tau_r$ , 为了具体估计本方法的适用范围, 计算如下:

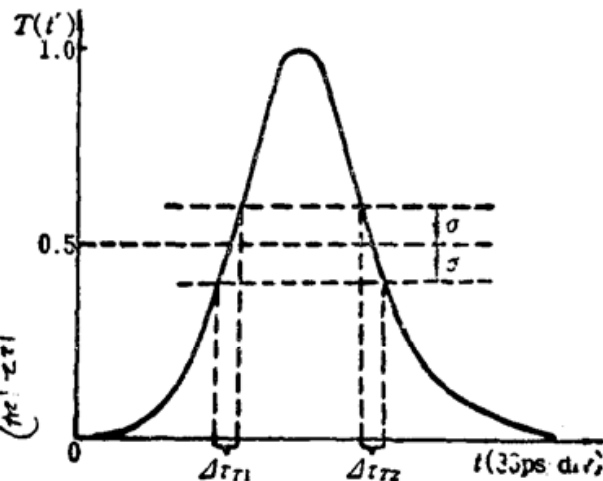


Fig. 5  $\Delta\tau_{r1}$  and  $\Delta\tau_{r2}$

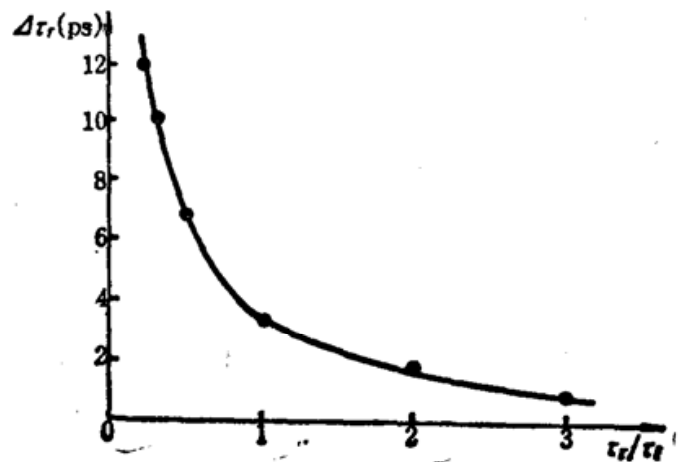


Fig. 6 Curve  $\Delta\tau_r \sim \frac{\tau_r}{\tau_I}$

对于下限, 我们认为不论弛豫时间  $\tau_r$  为多大, 实验所测量的  $I(t)$  和  $T(t')$  的标准偏差不变, 在这个前提下, 计算不同的弛豫时间  $\tau_r$  所具有的误差范围  $\Delta\tau_r$ , 其  $\Delta\tau_r$  随  $\tau_r/\tau_I$  变化关系如图 6 所示, 当  $\tau_r/\tau_I < 1/3$  时, 其相对误差范围  $\Delta\tau_r/\tau_r > \frac{10.5}{\tau_I/3} \approx 40\%$ , 而且随着  $\tau_r/\tau_I$  的减小, 其相对误差范围  $\Delta\tau_r/\tau_r$  急剧上升, 我们认为  $\tau_r/\tau_I = 1/3$  为本方法适用范围的下限。

对于上限, 我们将脉冲  $I(t)$  和  $\tau_r$  的不同值 (记为  $\tau_{r*}$ ) 分别代入 (7) 式求得该  $\tau_{r*}$  所具有的透过率  $T(t')$ , 然后用  $T(t')$  的后沿求由 (10) 式确定的弛豫时间, 记为  $\tau_{r测}$ , 则  $\tau_{r测}$  与  $\tau_{r*}$  之差的绝对值随  $\tau_r/\tau_I$  的变化关系如图 7 所示, 从图 6 和图 7 知: 当  $\tau_r/\tau_I > 3$  时,  $\tau_{r测}$  与  $\tau_{r*}$  之差已降到由  $I(t)$  和  $T(t')$  的标准偏差引起的  $\tau_r$  的误差范围内, 此时可以认为  $\tau_r \gg \tau_I$  了。

所以, 本方法适用范围大致为  $1/3 < \tau_r/\tau_I < 3$ 。

如果对脉冲  $I(t)$  做高斯型近似, 可以简化测量和计算, 但同时也带来误差。

设

$$I(t) = \exp[-(t/\tau')^2] \tag{12}$$

其中  $\tau' = \tau_I/2\sqrt{\ln 2}$ , 则有

$$I^2(t) = \exp[-2(t/\tau')^2] \tag{13}$$

$I(t)$  的单延迟四阶相关函数  $T_4(t')$  为

$$T_4(t') = \int_{-\infty}^{+\infty} I^2(t-t') I^2(t) dt = \exp[-(t'/\tau')^2] = I(t') \tag{14}$$

在图 1 装置中, 如果用一种  $\tau_r \ll \tau_I$  的克尔液体组成克尔快门, 其透过率  $T(t')$  正是  $I(t)$  的单延迟四阶相关函数  $T_4(t')$ , 即将  $\tau_r \ll \tau_I$  代入 (7) 式, 可得

$$T(t') = C \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} I^2(t-t') I^2(t) dt = T_4(t') \cdot C \tag{15}$$

也就是说, 如果脉冲  $I(t)$  为高斯型, 可先用一种弛豫时间  $\tau_r \ll \tau_I$  的克尔液体组成克尔快门, 其透过率  $T_4(t')$  也就是脉冲  $I(t')$ , 当用待测克尔液体组成克尔快门时, 它的透过率可以写为

$$T(t') = C \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} T_4^2(t-t') \cdot [T_4(t) \otimes g(t)]^2 dt \tag{16}$$

这样, 只测量两个透过率就可求得弛豫时间, 可以省去根据文献 [2] 方法求脉冲  $I(t)$  的麻烦。

当然, 因为脉冲通常是非高斯型的, 对脉冲做高斯型近似必然带来误差。为了估计这种误差的大小, 我们把图 3 的脉冲  $I(t)$  作为真实脉冲, 记为  $I_*(t)$ , 对于某一个实际的弛豫时间  $\tau_r$ ,

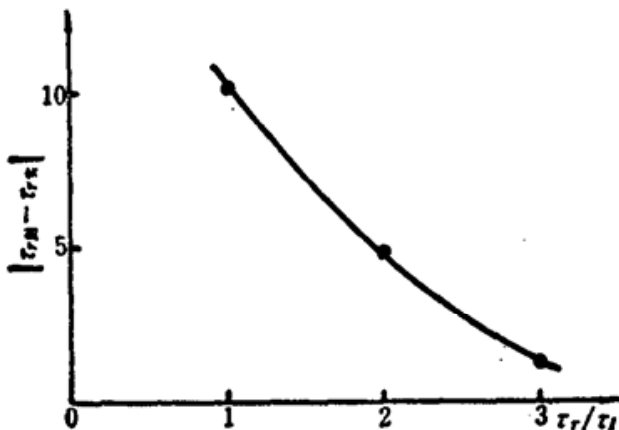


Fig. 7 Curve  $|\tau_{r \text{ Meas}} - \tau_{r \text{ Exp}}| \sim \frac{\tau_r}{\tau_I}$

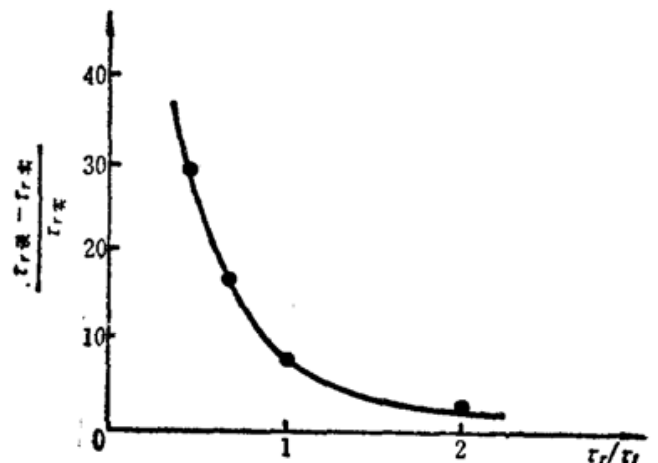


Fig. 8 Curve  $\frac{\tau_{r \text{ Error}} - \tau_{r \text{ Exp}}}{\tau_{r \text{ Exp}}} \sim \frac{\tau_r}{\tau_I}$

(记为  $\tau_{r*}$ ), 可用(7)式求得它所具有的透过率  $T(t')$ , 然后认为  $T(t')$  已知, 计算出与  $I_*(t)$  的单延迟四阶相关函数最近的高斯型作为有误差的脉冲, 记为  $I_{**}(t)$ , 用本文方法求代入  $I_{**}(t)$  情况下的弛豫时间  $\tau_r$ , 其结果记为  $\tau_{r**}$ , 则  $\frac{\tau_{r**} - \tau_{r*}}{\tau_{r*}}$  随  $\tau_r/\tau_I$  的变化关系如图 8 所示。从图 8 可知, 随着  $\tau_r/\tau_I$  的减小, 由脉冲误差引起的弛豫时间的相对误差急剧上升, 而当  $\tau_r\tau_I > 1$  时, 这个误差已小于 10%。

### 参 考 文 献

- 1 M. A. Duguay, J. W. Hansen, *Appl. Phys. Lett.*, **15**, 192(1969)
- 2 张包铮 *et al.*, 光学学报, **9**(8), 685(1989)
- 3 G. Mourou, M. M. Malley, *Opt. Commun.*, **13**, 412(1975)
- 4 P. P. Ho, W. Yu *et al.*, *Chem. Phys. Lett.*, **37**, 91(1976)
- 5 G. I. A. Stegeman, B. P. Stoicheff, *Phys. Rev.*, **A7**, 1160(1973)
- 6 V. S. Starunov, E. V. Tiganov *et al.*, *Sov. Phys. JETP Lett.*, **4**, 176(1966)

## “中国光学文献数据库”通过院级鉴定并开始对用户服务

1991年3月2日, 中国科学院技术科学局在长春光机所主持召开了“中国光学文献数据库”项目鉴定暨验收会。该项目是国家七·五重点项目和中科院“科学数据库及其信息系统”工程之一。由长春光机所负责, 联合上海光机所、上海技物所、成都光电所、西安光机所、安徽光机所和南京天文仪器厂共同完成。

该库收录了自1985年以来发表在国内500余种公开科技期刊、会议录、学位论文、图书和专利上的中国作者的最新文献记录20017篇, 内容包括光学基础理论、光度学、色度学、辐射与发光、几何光学、物理光学、光谱学、激光、非线性光学、信息光学、集成光学、纤维光学、薄膜光学、摄影、光电技术和器件、光学测试材料和工艺、光学仪器和光学应用等。年更新量约4000余篇, 全部有文摘, 题目中英文对照, 用数据库自编的“光学叙词表”标引。

数据库编辑部将为广大用户提供包括课题论证、查新、新产品开发等在内的全面情报检索服务, 欢迎广大用户使用“中国光学文献数据库”。编辑部地址: 中国科学院长春光机所情报室; 邮政编码: 130022, 联系人: 赵桂云。

“中国光学文献数据库”编辑部

## IQEC'92 征稿启事

第18届国际量子电子学会议(IQEC'92)将于1991年6月14~19日在奥地利维也纳举行。本次会议的议题为: 1. 激光光谱学; 2. 量子光学; 3. 非线性光学过程; 4. 光与凝聚态物质的相互作用; 5. 超快现象; 6. 激光源物理; 7. 激光应用。

会议要求35字摘要和200~500字摘要的原件 and 复印件各一份, 寄: IQEC'92, ICOS Congress Service, Schleifmühlgasse 1, A-1040 Vienna, Austria-Europe. 截稿期为1991年12月13日。