

双向环形 CO₂ 激光器稳态 间的自转换

N. B. Abraham L. M. Hoffer G. L. Lippl

(Department of Physics, Bryn Mawr College, Bryn Mawr, PA19010, USA)

J. R. Tredicce

(Department of Physics and Atmospheric Science, Drexel University,
Philadelphia, PA 19104, USA)

F. T. Arecchi

(Istituto Nazionale di Ottica, Largo Enrico Fermi 6, 50125 Firenze, Italy)

摘要——实验观察到双向环形 CO₂ 激光器的各种不同脉冲形式，这种脉冲可区分为自 Q 锁定或稳态间的转换。最近对均匀加宽介质环型激光器模型的理论研究预言了稳态间的一种转换形式，而对自 Q 锁定还需要对该模型进一步修正，以便把未完全激发的 CO₂ 气体的饱和吸收或别的非均匀性效应包括在内。

一、实验结果

我们的实验数据是采用图 1 所示的双向环形激光器得到的，其增益池的压力比为

$$\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:1:8.$$

在很宽的运转条件范围内，两个探测器都可以接收到自发脉冲信号，我们实验得到的一些脉冲波形的例子示于图 2，其中(a)、(b)为自 Q 锁定，其基频脉冲频率为 1~5 kHz (为粒子数衰减速率数量级)，振荡频率约为 20 kHz (约等于预计的弛豫振荡频率)；(c)为方波，其锁定频率是变化的，图中约为 40 Hz，图中尖峰与低频削角是由于探测器响应限造成的。(a)、(c)中的第 2 模的行为说明观察到的脉冲类型。图 2 是在图 3 所示的相图中

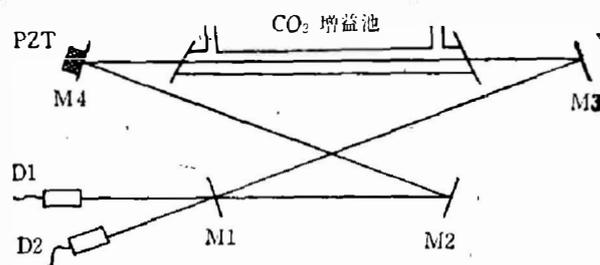


图 1 双向 CO₂ 激光示意图

Fig. 1 Schematic of bidirectional CO₂ ring laser.

PZT: 压电反射镜转换器; D₁ 和 D₂: 用于接收前进与后向输出强度的快响应热释电探测器; 镜 M₁、M₂、M₃、M₄ 的曲率半径分别为: 80%, 5 m; 100%, 5 m; 100%; 2 m 和 100%, 2 m

本文 1987 年 10 月 15 日收到。

的各种运转条件下发现的。图 3 中的区域为: I 区为方型锁定,可能有一种频率(I')或两种频率(I''); II 区为自 Q 锁定; III 区为非规则脉冲。在低压下,激发随放电电流的增大而增强,但在高压下,激发随放电电流进一步的增大而下降,这种现象可用 IV 区解释,该区与单向双稳特性相对应。对低激发情况,这正符合了理论预计。

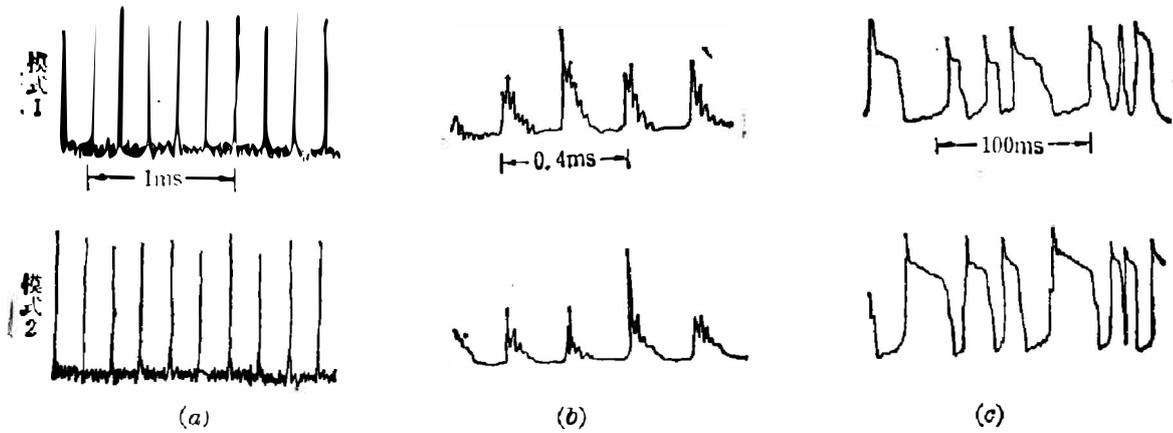


图 2 三个随时间变化的输出脉冲波形实例
Fig. 2 Three samples of time-dependent outputs from two detectors.

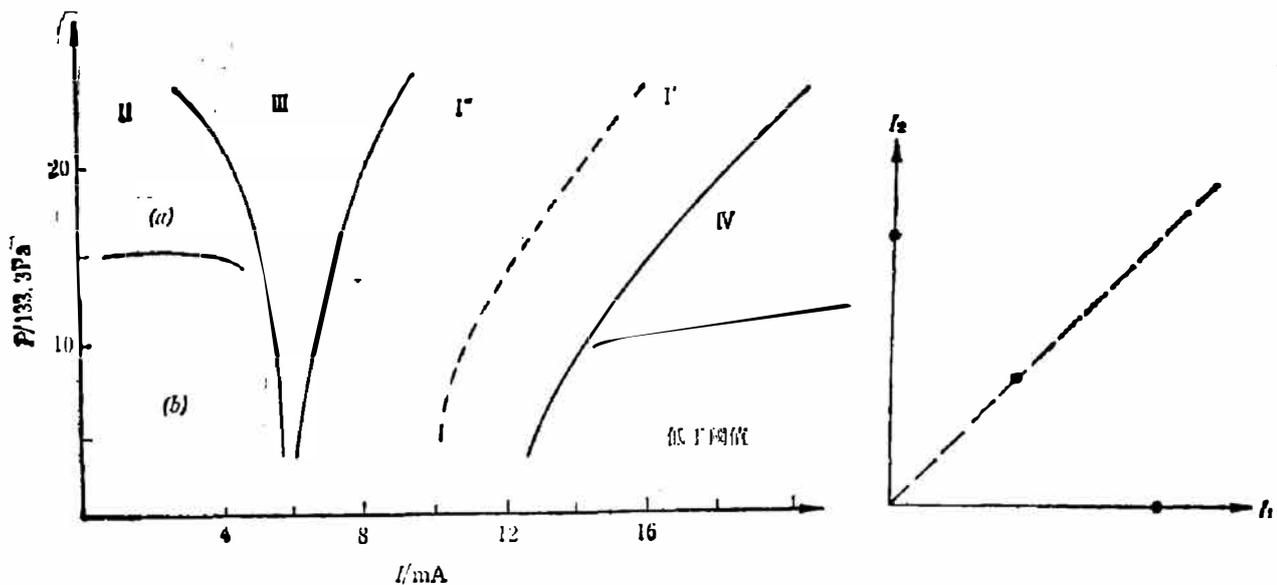


图 3 总气压 P 与放电电流 I 相图
Fig. 3 Phase diagram for total pressure and discharge current.

图 4 理论模型中稳态 I_1 和 I_2 相图
Fig. 4 (I_1, I_2) phase diagram indicating the steady state solutions of the theoretical model.

二、理论模型

在均匀加宽的激光介质中,当极化速度比粒子数反转及腔场驰豫快得很多时,介质可以简化为仅仅是粒子数反转与光场的相互作用。对双向环形激光,须保留两个场的位相,因此,有关场振幅的每一方程都是复数的。在双向场出现的情形下,粒子数反转形成了一个空间光栅,这是由于互相干涉的两个波的合强度所产生的纵向非均匀增益饱和所致。这样,粒子数反转必需由两个方程来描述,其中一个用来描述空间平均反转的实数振幅,而另一个用

来描述空间调制的复数振幅。

这一模型及其方程的解已有详细报道^[1~6]。它要求求解关于实变量的7个方程,并且,这些解有几个显著的特点。首先,存在4个稳态解:零解($I_1=I_2=0$)、两个非零的单向激光解($I_1=0, I_2 \neq 0$ 和 $I_1 \neq 0, I_2=0$)和一个双向解($I_1=I_2 \neq 0$),这些解示于图4。其次,这些解中只有单向解在激光阈值以上是稳定的,但它们可以因腔与介质共振频率的微小失调而失去稳定。第三,适当的失调使稳态解失稳,由此可以找到周期性的、混沌的或方波形式的随时间变化的解,当失调量大到足以使稳态失稳时,随时间变化的解只有近方波的稳态之间互调的形式。图5为一个数值解的实例(图中实线为模式1的解,虚线为模式2的解),该解可以作为“失稳后的单向稳态解之间的自转换”。对于其它参数,在这一模型中已观察到周期性和混沌形式的脉冲,但是到目前为止,我们还没有发现自动Q调的脉冲模,而这些脉冲在实验中已经观察到了(参看图2(a)、(b))。

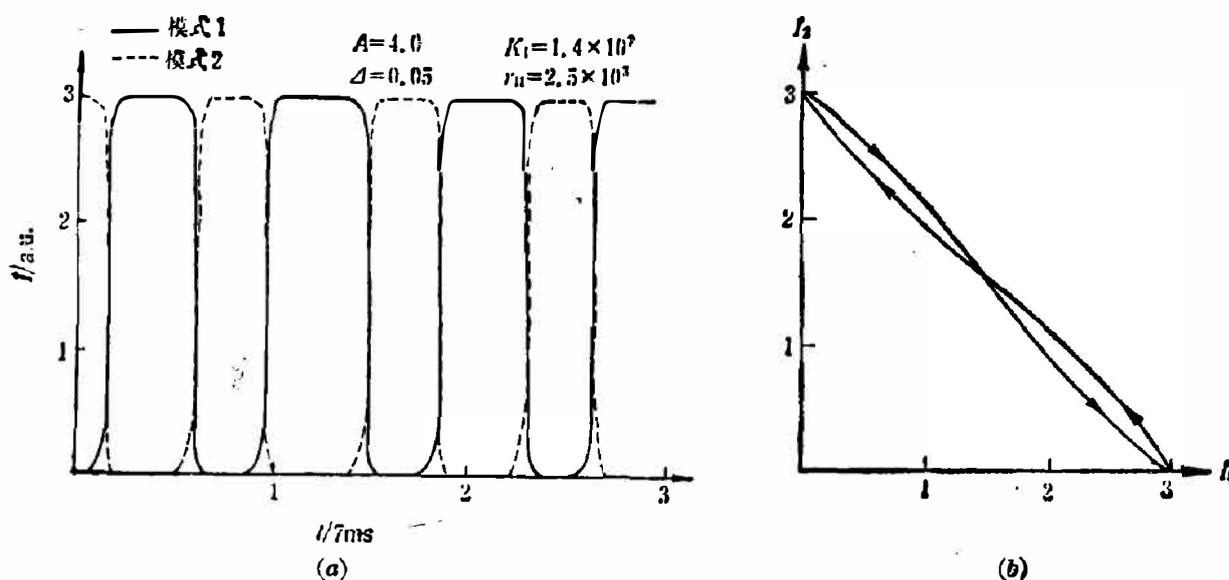


图5 在很小失调下非稳态边界处该模型的数值解
Fig. 5 Numerical solutions of the model near the instability boundary for small detunings.

三、讨 论

用最普通的模型来解释Q调脉冲仍有一些疑问。由图2可看到这种脉冲的两种类型,在图(a)中,脉冲窄而且分得很开,峰值比稳态强度大很多。在 I_1, I_2 相图(图4)中,这些脉冲沿 45° 线同时增加或减小,它们几乎从近零稳态解经过(并超越)双向解,并且有比我们用这种激光观察到的其他形式的解更对称的形式。没有发生振荡是由于压力加宽的缘故,压力加宽使粒子数反转弛豫速率大大增加,以致于弛豫振荡不能存在。

在同位相锁定之后,失位相衰减振荡形式的脉冲强度(参看图2(b))也大大超过稳态值。同样,转换从近零解开始,沿着 I_1, I_2 相空间的 45° 直线经过双向解然后垂直于 45° 直线返回。仔细检查测量结果表明:其中一个脉冲强度降到非零基线,可能是由于两个模的损耗不一样而使较强的模占主要地位所致。在这种情况下,脉冲的起始点将是两个双向

解之一。而在任何情况下, 低压时总可以发现振荡, 这时可以预计驰豫振荡, 因为这种情况下场与粒子数反转的驰豫速率差异很大。这些近对称的脉冲图样也许包括在我们考虑的双向环型模型中, 如果注意损耗更不平衡的现象就可能发现, 实验结果有助于继续寻找它们。

另一方面, 这些脉冲图样也许起因于我们的模型未能包括的一些复杂的实验因素。比如: 对于较低的激光电流, 一些没有被完全激发的 CO_2 气体可能作为吸收介质存在, 当激光变成被动 Q 锁定时就会引起更对称的脉冲。如果增益被锁定得足够强, 两个模可能以几乎相同的方式响应, 因而不存在两个模之间的竞争, 而有竞争的情况似乎在其它参数区域占优势, 对于单模激光已观察到的被动 Q 锁模既能使信号脉冲变窄, 又能使脉冲带有振荡, 这与我们观察到的一致, 请参看参考文献[7]。该课题正在进一步研究之中。

致谢——我们感谢 H. Zeghlache 和 P. Mandel 的有益讨论, 感谢 T. Mello 协助我们从该模型求得数值解。

参 考 文 献

- [1] Tredicce J. R. et. al., *Phil. Trans. Royal Society, London*, **A313**(1984), 411.
- [2] Lippi G. L. et. al., *Opt. Commun.*, **53**(1985), 129.
- [3] Lippi G. L. et. al., in *Atti del IV Congresso Nazionale di Elettromica Quantistica e Plasmi*, Certosa, Capri 1984(ENEA, Serie Simposi, 1984), 251.
- [4] Khandokhin P. A. and Khanin Ya. I., *J. Opt. Soc. Am.*, **B2**(1985), 226.
- [5] Khanin Ya. I., in *Optical Instabilities*, Ed. R. W. Boyd et. al., Cambridge U. Press, Cambridge, 1986, P. 212.
- [6] Zeghlache H. et al., *Phys. Rev. A*, (待发表)
- [7] Arimondo E. et. al., *J. Opt. Soc. Am.*, **B2**(1985), 193; and Tachikawa M. et al., *J. Opt. Soc. Am.*, **B4**(1987), 387.

SPONTANEOUS SWITCHING BETWEEN STEADY STATES IN A BIDIRECTIONAL CO_2 RING LASER

N. B. ABRAHAM L. M. HOFFER G. L. LIPPI

(*Department of Physics, Bryn Mawr College*)

J. R. TREDICCE

(*Department of Physics and Atmospheric Science, Drexel University*)

F. T. ARECCHI

(*Istituto Nazionale di Ottica*)

ABSTRACT

Different forms of pulsation have been observed experimentally in a bidirectional CO_2 ring laser. These can be classified as auto- Q -switching or as switching between steady states. The latter form of switching has been predicted in recent theoretical studies of a model of a ring laser with a homogeneously broadened medium. The former may require modifications of the model to include effects of saturable absorption from incompletely excited CO_2 gas or other inhomogeneities.