

CW CO 激光跃迁的相关作用

归振兴 张顺怡

(中国科学院上海光机所)

提要: 报导了连续波 CO 激光跃迁相关作用的实验结果, 发现在低气压下 P_{11-10} (21) 和 P_{12-11} (16) 的跃迁分别和 R_{17-16} (25) 和 R_{17-16} (23) 重迭而发生共振吸收泵浦, 以及由于 $P-R$ 支重迭往往使得选支 CO 激光器中 P 支振荡被抑制。

Investigation on correlation of CW CO laser lines

Gui Zhenxing, Zhang Shunyi

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: The experimental results are reported on the correlation of CW CO laser lines. It has been observed that P_{11-10} (21) and P_{12-11} (16) transitions overlap with R_{17-16} (25) and R_{17-16} (23) respectively at lower pressures, and resonant absorption pumping occurs. Due to the overlapping of $P-R$ branch oscillation, P branch in a frequency selected CO laser is often suppressed.

一、引言

由于 CO 分子的非谐性振动, 容易引起共振自吸收与泵浦过程, 致使一些谱线因而无法出现。本文通过实验证实了这一现象的实际存在, 同时也观察到振动能级的 $V-V$ 泵浦作用和转动能级之间的能量转移效应。

二、实验装置

实验装置见图 1。放电管长 3.2 米, 内径 15 毫米, 管内充 18 托的 CO、Xe、He 混合气体。放电电流为 17 毫安, 冷却水温 10°C

左右。

M_1GM_0 和 M_2GM_0 分别组成振荡波长为 λ_1 和 λ_2 的光栅色散腔。 M_0 是曲率半径为 8 米的全反射镜, G 是闪耀波长为 5 微米的平面镀金复制光栅 (150 线/毫米), 一级集

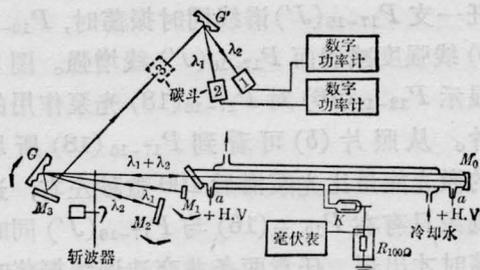


图 1 实验装置示意图

收稿日期: 1982 年 7 月 28 日。

光效率约 80% 作反射振荡, 零级作衍射输出。 M_1 和 M_2 分别是条形镀金平面反射镜, 它们分别固定在两个光栅调整台上。 M_0G 间距约 3.5 米, M_1G 间距 0.4 米, M_2G 间距 0.35 米, M_1 和 M_2 相邻边重迭, 以保证相邻两谱线足够近。谱线的组合分别通过转动 G 、 M_1 和 M_2 来完成。用 1 米红外单色仪进行波长测定, 输出光强度由光栅 G' 分光后由数字功率计读出。

三、实验结果

本器件输出谱线在 $P_{9-8}(18)$ 到 $P_{19-18}(16)$, 波长为 5.3648 到 6.1635 微米范围内, 约有 70 多条振转谱线。每条谱线自身振荡以及与其它谱线同时振荡时的强度出现相关作用。主要结果如下。

1. 不同振动态的 $P-R$ 支交迭线的自吸收现象

在 CO 激光器中, 当某一较低振动态的 $P(J)$ 支跃迁和高振动态的 $R(J')$ 跃迁的频率交迭时, 便发生 $P(J)$ 支辐射被 $R(J')$ 支吸收而减弱的现象, 这种作用称为自吸收效应, 由 Lacina 和 Mcallister 首先提出的^[1], 并己为实验证实^[2]。但他们的实验主要是在压力加宽的条件下得到的。我们在低气压连续 CO 激光器中也观察到这种现象, 特别是对高振动能级的泵浦作用, 其中典型的是图 2 中 $P_{12-11}(16)$ (交迭线是 $R_{17-16}(23)$) 对 $P_{17-16}(J')$ 的共振吸收泵浦作用。在 $P_{12-11}(16)$ 和任一支 $P_{17-16}(J')$ 谱线同时振荡时, $P_{12-11}(16)$ 线强度减弱而 $P_{17-16}(J')$ 线增强。图 3 是显示 $P_{12-11}(16)$ 对 $P_{17-16}(18)$ 光泵作用的照片。从照片 (b) 可看到 $P_{17-16}(18)$ 所增加的激光能量比光泵滞后 100 微秒左右, 这种现象只有在 $P_{12-11}(16)$ 与 $P_{17-16}(J')$ 同时振荡时才出现, 任意两条非交迭谱线振荡时并无此现象, 这和文献 [3] 的理论是基本一致的。

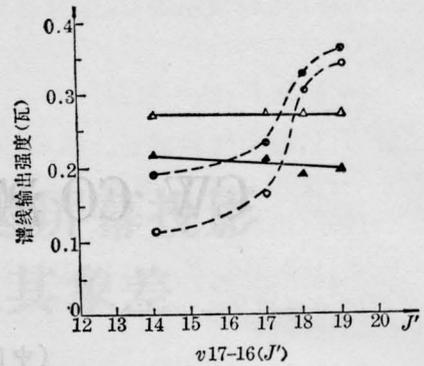
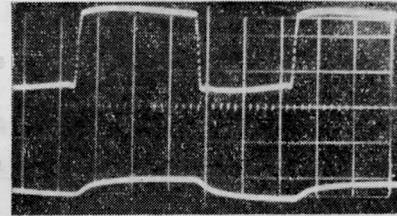
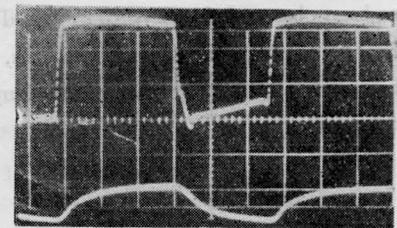


图 2 交迭线 $P_{12-11}(16)$ 对 $P_{17-16}(J')$ 输出功率的相互影响

\triangle 、 \circ —分别表示 $P_{12-11}(16)$ 和 $P_{17-16}(J')$ 单波长振荡时的输出强度; \blacktriangle 、 \bullet —分别表示 $P_{12-11}(16)$ 和 $P_{17-16}(J')$ 双波长振荡时的输出强度



(a)



(b)

图 3 $P-R$ 支的吸收光泵效应

- (a) $P_{17-16}(18)$ 单独振荡时的光-电流波形;
(b) $P_{17-16}(18)$ 在和 $P_{12-11}(16)$ 同时振荡时, $P_{17-16}(18)$ 的光-电流波形

照片中上面的扫描线是激光波形, 下面的扫描线是光电二极管电流波形 (扫描时间 1 毫秒/格, 电流幅度 1 毫安/格)

实验还发现, 由于自吸收, 许多交迭线的 P 支谱线在选支激光器中被抑制, 称为“缺线”, 这一现象与腔结构是无关系的。表 1 给出了在室温连续 CO 激光器中可能存在的 $P-R$ 支交迭线以及本实验文献 [4] 所观察的结果。另一方面, 由于自吸收使交迭线的 P 支所处的振动带的谱线分布也发生了“畸变”,

表1 室温 CO 激光器中 P-R 支跃迁共振谱线对照表

(计算 R 支范围 ν 从 10→20, J 从 1→25)

P 支跃迁谱线*		R 支跃迁(计算值)**		$\Delta\nu = \bar{\nu}_P - \bar{\nu}_R$	实验观察结果***	
振 转 支	频率(厘米 ⁻¹)	振 转 支	频率(厘米 ⁻¹)	(厘米 ⁻¹)	本 器 件	文 献 [4]
7→6P(22)	1897.61998	12→11R(12)	1897.64137	-0.02139	无	缺
8→7P(16)	1897.65599	12→11R(12)	1897.64137	+0.01462	无	有
10→9P(6)	1885.76417	13→12R(17)	1885.76481	-0.00064	无	无
10→9P(9)	1874.45184	13→12R(13)	1874.44543	0.00641	无	无
10→9P(18)	1838.7139	15→14R(19)	1838.72266	-0.00876	缺	缺
10→9P(25)	1804.74467	15→14R(7)	1804.71878	0.02589	缺	缺
11→10P(11)	1841.30085	15→14R(20)	1841.8134	-0.01255	无	缺
11→10P(21)	1801.12256	17→16R(25)	1801.13437	-0.0118	增强 $\nu 17 \sim 16$	有
12→11P(16)	1796.43225	17→16R(23)	1796.4376	-0.00535	增强 $\nu 17 \sim 16$	有
12→11P(21)	1776.11123	17→16R(15)	1776.12067	-0.00944	缺	缺
13→12P(19)	1759.33649	17→16R(9)	1759.31121	0.02528	缺	缺
14→13P(9)	1772.8909	16→15R(5)	1772.91452	-0.0236	无	无
16→15P(7)	1729.75965	19→18R(17)	1729.76569	0.00604	无	无
17→16P(3)	1718.438	20→19R(23)	1718.44543	-0.00743	无	无

* P 支频率由光谱仪测定并由[5]确定;

** R 支频率为 $\bar{\nu}_{R(J)} = T(\nu+1, J+1) - T(\nu, J)$, 光谱项 $T(\nu, J)$ 由[6]给出;

*** 无-指处在 $P(J)$ 附近的激光不能发生;

缺-指处在 $P(J_n) - P(J_m)$ 中的 $P(J_i)$ 不振荡 ($m < i < n$)。

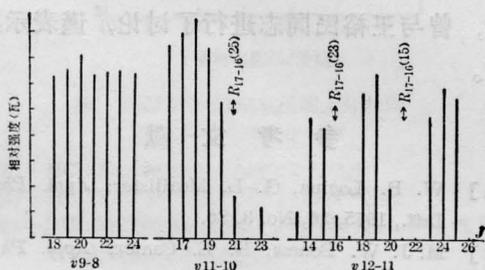


图4 交叉线对 $P(J)$ 支谱线强度分布的影响

典型结果见图4。

由此可见, 在建立 CO 激光器动力学模型时, 必须考虑到自吸收作用才能更接近于实际。

2. 不同振动态的振动能级间的 V-V 泵浦效应

文献 [5] 计算了在无或有辐射场时的振动粒子数分布, 当低振动支发生辐射时, 高振动态的粒子数减少, 因而导致高振动支的谱线强度减弱。本实验也证实了这点。图5给出了 $P_{11-10}(17)$ 与 $P_{14-13}(J')$ 线同时振荡时, $P_{14-13}(J')$ 输出功率的变化。

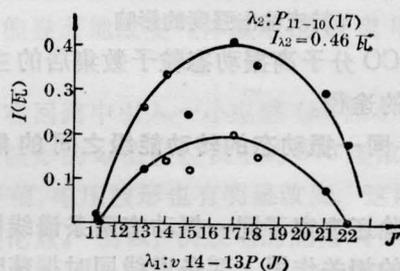


图5 双波长振荡时, 高振动支 $P(J')$ 的强度变化

●—表示 $P_{14-13}(J')$ 单独振荡时的输出强度
○—表示 $P_{11-10}(17)$ 和 $P_{14-13}(J')$ 同时振荡时, $P_{14-13}(J')$ 的输出强度

实验发现, 低振动支输出强度越大, 则高振动支的强度越弱, 这和高振动支的转动量子数无关, 典型结果见图6和图7。

由此可见, 在自由腔(称为不选支)激光器中, 由于低振动支增益高, 易振荡, 其输出光谱主要分布在低振动端, 而大部分高振动支不能振荡, 即使振荡其强度也是很弱的。相反, 在选支激光器中, 输出谱线明显见强而密集, 原因也在于此。这也充分说明了 V-V

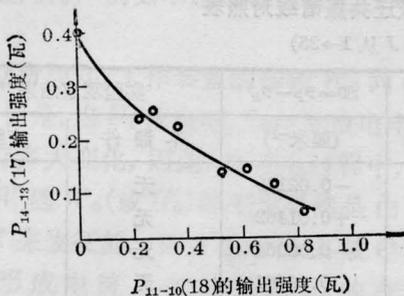


图6 低振转支强度变化对高振转支输出强度的影响

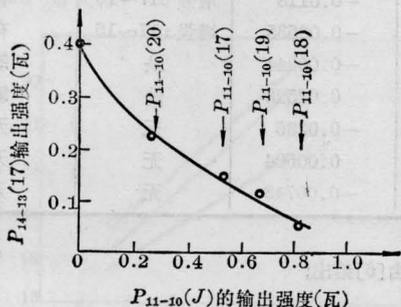


图7 低振转支谱线变换对高振转支输出强度的影响

泵浦是 CO 分子高振动态粒子数集居的主要而有效的途径。

3. 同一振动态的转动能级之间的能量转移

实验还观察了同一振动态两条谱线同时振荡时的相关作用。两条谱线同时振荡时的强度分别比各自单独振荡时的低，减少的程度与两条谱线的转动量子数差(即谱线靠近的程度)和强度有关。图 8 给出了 $P_{12-11}(25)$ 与 $P_{12-11}(J)$ 同时振荡以及 $P_{14-13}(25)$ 与 $P_{14-13}(J)$ 同时振荡时谱线强度的变化。可以看到随着 ΔJ 减少，甚至出现强线振荡而

弱线停振的“波长竞争效应”。这说明在谱线 $P(J)$ 发生振荡时，邻近转动能级的粒子数向 J 能级转移。

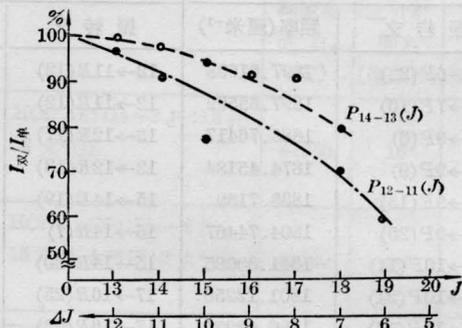


图8 同一振动态双波长振荡时，谱线强度变化与 J 的关系

固定谱线: $P_{12-11}(25)$ 单独振荡输出强度 0.40 瓦
 $P_{14-13}(25)$ 单独振荡输出强度 0.13 瓦

此外，实验中还观察了相邻能级间两谱线的相互关系，发现在连续 CO 激光器中，级联作用并不明显。

本工作曾得到王润文同志的指导和帮助，曾与王裕民同志进行了讨论，谨表示感谢。

参 考 文 献

- [1] W. B. Lacina, G. L. Mcallister; *Appl. Phys. Lett.*, 1975, **26**, No. 3, 86.
- [2] M. J. W. Boness, R. E. Center; *Appl. Phys. Lett.*, 1975, **26**, 511.
- [3] W. B. Lacina; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1975, **QE-11**, No.6, 297.
- [4] 王裕民、张顺怡、归振兴等;《科学通报》,1980, **2**, No.24, 1116.
- [5] 高智,孙文超;《物理学报》,1980, **29**, No.7, 903.
- [6] Won B. Roh et al.; *J. of Molecular Spectroscopy*, 1974, **49**, No. 2, 317~321.