

# 用 633 毫微米激光饱和吸收光谱研究 $^{127}\text{I}_2$ 谱线的超精细结构

李 复 胡希肯\* 罗高来\*\*  
张培林 赵朔嫣 欧震亚

(清华大学)

**提要:** 由饱和吸收光谱观测到碘分子  $B \leftarrow X$  电子跃迁 11-5 带  $R_{(127)}$  和 6-3 带  $P_{(33)}$  全部超精细结构分量。激光器单频可调范围经塞曼效应展宽后达 2500 兆赫以上。超精细结构分量是采用三次谐波法进行检测的。

## Investigation on hyperfine structure of $^{127}\text{I}_2$ by saturated absorption spectroscopy at 633 nm

Li Fu, Hu Xiken, Luo Gaolai, Zhang Peilin, Zhao Shuoyan, Ou Zhenya

(Qinghua University)

**Abstract:** The full hyperfine components of R(127) line in 11-5 band and P(33) line in 6-3 band of  $B \leftarrow X$  electronic transition of molecular iodine were observed by saturated absorption spectroscopy. Its frequency tuning range broadened by Zeeman effect was more than 2500 MHz. The method of the third-derivative signal was used for the detection of the components.

### 一、引 言

碘分子  $^{127}\text{I}_2$  的  $B^3\Pi_{ou}^+ \leftarrow X^1\Sigma_{og}^+$  电子态跃迁 11-5 带  $R_{(127)}$ , 6-3 带  $P_{(33)}$  的吸收谱线落在氦-氟激光器输出 633 毫微米波长范围内。 $R_{(127)}$  和  $P_{(33)}$  的超精细结构是由核电四极矩与分子电场作用、核自旋与电子转动和自旋的磁场作用, 以及核自旋与核自旋的相互作用所引起的。 $R_{(127)}$  和  $P_{(33)}$  各有 21 条超精细结构分量<sup>[1]</sup>。各精细结构分量之间的

频率间隔一般远小于  $\text{I}_2$  的多普勒宽度。但如将  $\text{I}_2$  吸收室置于氦-氟激光腔内, 由饱和吸收产生的反拉姆凹陷的宽度是  $\text{I}_2$  谱线自然宽度量级, 小于超精细结构各分量的间距。因此利用饱和吸收光谱能够检测这些超精细结构分量。由于激光器频率扫描范围不够, Morinaga 和 Tanaka<sup>[4]</sup> 用 1.9 米腔长的激光器观测到  $R_{(127)}$  的全部分量, 但  $P_{(33)}$  只观

收稿日期: 1982 年 5 月 2 日。

\*) 现在北京光电技术研究所;

\*\*) 现在中国环境科学研究院。

测到 10 个分量。Hanes 及其合作者<sup>[2,3]</sup> 用 2 米腔长的激光器观测到  $R_{(127)}$  的 14 个分量和  $P_{(33)}$  的全部分量。本文用一个激光器同时测得  $R_{(127)}$  和  $P_{(33)}$  的全部分量,所用的激光器腔长和增益管长反而比 [2~4] 更短。

## 二、实验装置

$^{127}\text{I}_2$  的 11-5 带  $R_{(127)}$  和 6-3 带  $P_{(33)}$  的超精细结构分量,分布宽度超过 1600 兆赫,而且基本上位于氙原子 633 毫微米谱线中心频率低频的一侧。要想全部测出这些分量,激光器必须是单频输出,扫描范围要达到 2500 兆赫。氙-碘激光器是低增益的,氙的多普勒宽度只有 1500 兆赫,因此需选用长增益管。但长腔激光器将有许多纵模同时起振,我们使用三镜腔进行选频<sup>[5]</sup>。实验装置如图 1 所示。其中  $M_4$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  镜构成选频副腔, $M_2$  是部分透射部分反射镜,按布氏角放置以减少损耗。用压电陶瓷  $\text{PZT}_4$  调谐副腔长。 $M_1$ 、 $M_3$  是激光器主谐振腔,使用电子频率跟随系统保证频率扫描过程中主、副腔始终谐振。

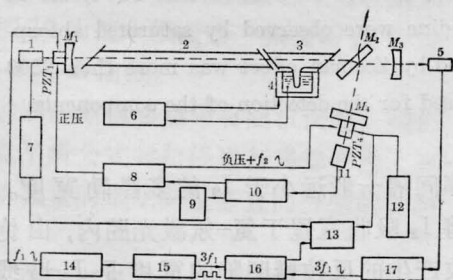


图 1 实验装置

- 1—PD3; 2—He-Ne 增益管; 3— $\text{I}_2$  吸收室;  
4—制冷器; 5—PD1; 6—控温系统; 7—功率计;  
8—频率跟随; 9—示波器; 10—选频放大 2;  
11—PD2; 12—三角波电压发生器; 13—记录仪;  
14—滤波器; 15—晶体振荡器和数字分频;  
16—锁定放大器; 17—选频放大 1

激光器主腔长 1020 毫米; 副腔长 45~130 毫米, 可调; 增益管放电长度 700 毫米;

$M_1$  端最大输出功率(碘室温度  $10^\circ\text{C}$ ) 500 微瓦, 加上 600 奥斯特横向磁场后, 单频可调区间超过 2500 兆赫。

碘吸收室长 10 厘米, 通过温差电致冷器控制  $\text{I}_2$  蒸气压(控温精度  $< \pm 0.05^\circ\text{C}$ )。碘室置入主腔近  $M_3$  镜一端, 此处接近高斯光束的光腰。碘室温度为  $10^\circ\text{C}$  时, 腔内最大功率密度约为 30 瓦/厘米<sup>2</sup>。

$\text{I}_2$  饱和吸收所引起的反拉姆凹陷很小, 只为背景光强的千分之几, 不易直接检测, 故使用三次谐波检测技术<sup>[6]</sup>。为了实现三次谐波检测, 在  $\text{PZT}_1$  上加频率为  $f_1$  的正弦电压以调制激光腔长, 用光电二极管接收自  $M_3$  镜输出光强的三次谐波信号送入锁定放大器, 同时将  $f_1$  的三倍频方波电压送入锁定放大器作为参考信号。锁定放大器输出信号送到 X-Y 记录仪, 记录与超精细结构各分量相对应的三次谐波信号, 此信号中间零点的位置即为该分量的频率位置。调制用的基频正弦电压和三倍频方波电压, 用同一晶体振荡器由数字分频及滤波电路产生。本实验中同时使用  $f_2$ (频率跟随电路) 和  $f_1$ (光谱信号检测) 两个调制信号, 因此必须注意频率的配合。经理论分析和实验研究, 取  $f_2 = 1$  千赫,  $f_1 = 1.7$  千赫, 效果较好。

## 三、 $R_{(127)}$ 超精细结构分量的观测

加在压电陶瓷  $\text{PZT}_1$  上的调制电压幅度直接影响检测结果的信噪比和分辨率。调制电压幅度可以用它引起激光频率变化的峰-峰值  $K_{pp}$  表示, 经过实验比较,  $K_{pp} = 3 \sim 4$  兆赫较好。

锁定放大器同步积分时间、相敏检波时间常数和激光频率扫描速度要适当选择和配合, 很容易观测到  $R_{(127)} \alpha-r$  共 18 个超精细结构分量(如图 2 所示)。其中  $p$ 、 $q$  分量距离只有 3 兆赫, 所以图上未能分开。

$R_{(127)}$  的  $S$ 、 $T$  分量在  $P_{(33)}$  的  $e-f$ 、 $f-g$

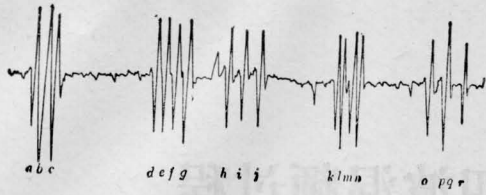


图2  $R_{(127)}$ 谱线的a-r分量

分量之间,由于P线强度远远超过R线(30~50倍),彼此间距离又近,故较难分辨。为此,实验时将 $K_{pp}$ 降到1兆赫,就观测到S、T分量如图3所示。但u分量仍观察不到, Morinaga等<sup>[4]</sup>认为它被 $P_{(33)}$ 的g分量所掩盖。

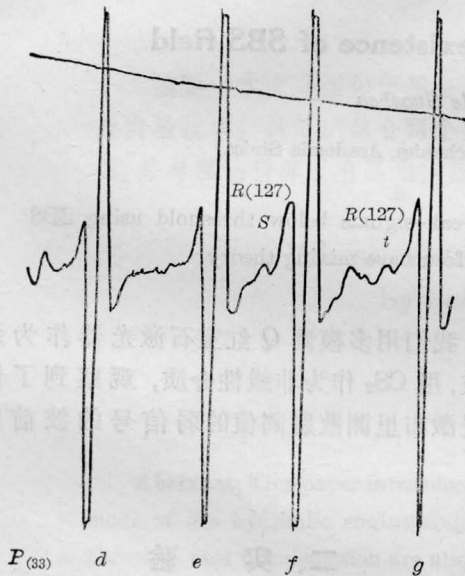


图3  $R_{(127)}$ 谱线的s、t分量

#### 四、 $P_{(33)}$ 超精细结构分量的观测

观测 $P_{(33)}$ 谱线的关键在于扩大单频扫描范围。为此采取以下措施。

1. 降低腔内损耗,增大腔内光强。这包

括降低主、副腔内各反射镜 $M_1 \sim M_4$ 的损耗,以及碘吸收室的插入损耗。 $I_2$ 蒸气的吸收分为二部份,一是背景线性吸收,在激光起振区域内可以认为与频率无关;另一部份是饱和吸收,与频率有关。 $P_{(33)}$ 的吸收系数比 $R_{(127)}$ 大几十倍,故观测 $P_{(33)}$ 超精细结构时,碘室温度可以稍低以减少损耗。

2. 在放电管上加上横向磁场,利用塞曼效应使氖原子能级分裂,让增益曲线变得平坦,起振区间得到展宽。使用600奥斯特的磁场时,单频可调范围超过2500兆赫。

图4是碘室温度 $6^\circ\text{C}$ , $K_{pp}=5$ 兆赫下记录的 $P_{(33)}$ a-u全部21个超精细结构分量的三次谐波信号曲线。

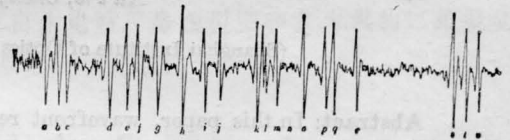


图4  $P_{(33)}$ 谱线的a-u分量

本文使用的碘吸收室是由中国计量科学研究院提供,并得到该院量子室沈乃激同志的热情帮助,表示感谢。

#### 参 考 文 献

- [1] M. Kroll; *Phys. Rev. Lett.*, 1969, **23**, 631.
- [2] G. R. Hanes, C. E. Dahlstrom; *Appl. Phys. Lett.*, 1969, **14**, 362.
- [3] G. R. Hanes et al.; *J. Mol. Spectr.*, 1971, **39**, 506.
- [4] A. Morinaga, K. Tanaka; *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **32**, 114.
- [5] P. W. Smith; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1965, **QE-1**, 342; 1966, **QE-2**, 77.
- [6] 沈乃激等;《计量学报》,1980, **1**, 93.