

# 不等频两步激发 Li 蒸汽产生 红外受激辐射特性研究

李永放 李祥生 郇宜贤 傅克德  
(陕西师范大学物理系)

## 提 要

本文首次报道了利用不等频两步激发 Li 蒸汽, 获得了五条红外受激辐射和串级辐射。并对受激辐射特性进行了研究。

关键词: 两步激发, 红外受激辐射。

在金属蒸气中通过等频双光子泵浦获得受激辐射和相干辐射已被人们所采用<sup>[1~3]</sup>。本文利用氮分子激光器泵浦两台染料激光器, 不等频共振泵浦 Li 蒸气, 获得了一系列红外受激辐射和串级辐射。同时还获得一条紫外相干辐射。

在实验中, 我们将一台用 DOM 的染料激光器, 其输出波长对应于  $2s-2p$  态共振使 Li 原子由基态激发到第一激发态; 另一台使用 C460 或 C420 染料的染料激光器, 其输出波长对应于  $2$  态与  $4d$  或  $5s$  共振, 从而形成以不等频双光子将 Li 原子由基态激发到高能态, 实现了对下能级的粒子数反转。这样探测到了以  $4d$ ,  $4f$ ,  $4p$ ,  $4s$  和  $3p$  为上能级而产生的五条红外受激辐射。

## 一、实验与结果

实验装置示于图 1。染料激光器 2 和 3 是由同一台氮分子激光器所泵浦。激光器 2 和 3 的输出能量分别为  $3\mu\text{J}$  和  $7\mu\text{J}$ 。输出带宽约为  $0.5\text{\AA}$ 。来自激光器 3 的输出光束经分束器 4 与激光器 2 的输出光束相重合。并由透镜 5 与之共线聚焦于热管炉 6 的中心。不

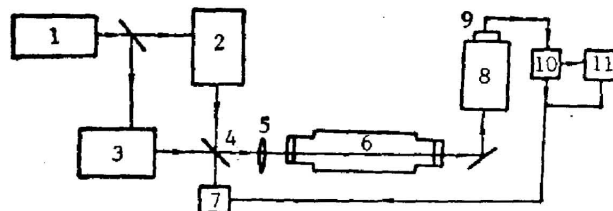


Fig. 1 Experimental setup

1— $\text{N}_2$  laser; 2, dye laser; 3, dye laser; 4 splitter; 5 lens; 6; heat-pipe oven; 7, triggering detector; 8, grating monochromator; 9, infrared detector; 10, signal processing system; 11, oscilloscope or chart recorder

锈钢热管炉总长约为 70 cm; 加热区长为 25 cm。其入射和出射窗分别装有 K<sub>9</sub> 和石英玻璃窗片。热管炉内装有约 10 g 纯 Li, 并充有数 Torr 氩气作为缓冲气体。样品加热温度由温控仪控制在 550°C 左右。在该温度下, 热管炉内 Li 原子浓度约为  $7 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 。由热管炉前向出射的定向红外辐射经光栅单色仪分光后, 由 PbS 接收, 再经过采样积分处理后, 由示波器显示, 或由记录仪记录。经测定, 定向红外辐射的发散角约为 8 mrad, 与该实验条件下所测定泵浦光发散角大约相同。

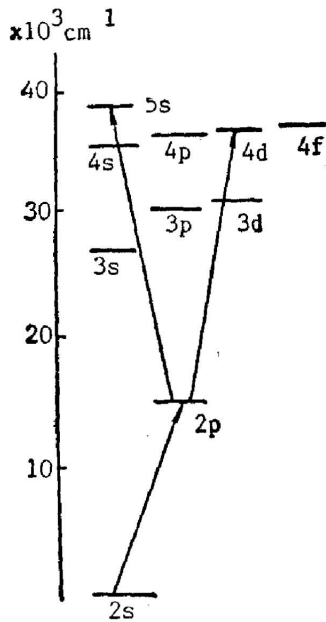


Fig. 2 Mechanism of the two-step resonance

泵浦机理如图 2 所示。通过不等频双光子将 Li 原子激发到高能态 4d, 从而在 4d 与 3p 态之间, 3p 与 3s 态之间形成粒子数反转, 产生  $1.755 \mu\text{m} (4d-3p)$ ,  $2.68 \mu\text{m} (3p-3s)$  的受激辐射。而 4f 态和 4d 态之间能级只相差  $6.8 \text{ cm}^{-1}$ , 因而获得粒子布居的 4d 态很易通过碰撞感应过程, 将粒子部分转移到 4f 态, 使其也获得一定粒子数布居, 这样在 4f 态与 3d 态之间形成粒子数反转, 产生  $1.87 \mu\text{m} (4f-3d)$  的受激辐射, 其辐射强度与  $1.755 \mu\text{m} (4d-3p)$  强度相当, 这表明由于两能级相差很近, 这种碰撞能量转量过程是很有效的。同时在紫外波段, 我们利用光电倍增管探测到了 323.3 nm 的相干辐射。

它是由两束泵浦光  $\omega_1, \omega_2$  和受激辐射信号  $1.755 \mu\text{m} (4d-3p)$  混频产生的  $[\omega_1 + \omega_2 - \omega_s (4d-3p)]$ 。

改变第二个光子频率, 使得第一个光子激发到 2p 的粒子激发到 5s 态, 这样我们利用 PbS 探测到由 4p, 3p 以及 4s 为上能级而产生的串级辐射。如表 1 所列。

Table 1 Data of the stimulated emission by optically pumped Li vapor

Pump transition wavelength(nm)	Stimulated emission wavelength ( $\mu\text{m}$ )	Remarks
Laser 3 $2s^2s_{1/2} - 2p^2p_{1/2,3/2}$ 670.8	$4d^2D_{3/2,5/2} - 3p^2p_{1/2,3/2}$ 1.75 (s)	$T > 400^\circ\text{C}$
Laser 2 $2p^2p_{1/2,3/2} - 4d^2D_{3/2,5/2}$ 460.3	$3p^2p_{1/2,3/2} - 3s^2s_{1/2}$ 2.68 $\mu$ (w)	Cascade radiation $4d-3p-3s$
	$4f^2F_{5/2,7/2} - 3d^2D_{3/2,5/2}$ 1.87 (s)	Collision induced ( $4d-4f$ ) $T > 500^\circ\text{C}$
Laser 3 $2s^2s_{1/2} - 2p^2p_{1/2,3/2}$ 670.8	$4p^2p_{1/2,3/2} - 3d^2D_{3/2,5/2}$ 1.98 (s)	Cascade radiation $5s-4p-3d$
Laser 2 $2p^2p_{1/2,3/2} - 5s^2s_{1/2}$ 427.3	$4s^2s_{1/2} - 3p^2p_{1/2,3/2}$ 2.44 (s)	$5s-4p-4s-3p$
	$3p^2p_{1/2,3/2} - 3s^2s_{1/2}$ 2.68 (w)	$4s-3p-3s$

Nota. s=strong, w=weak

## 二、受激辐射特性研究

利用不等频双光子激励 Li 原子产生受激辐射是很有效的方法。但两束光强的变化对辐射强度之影响是各不相同的。如图 3 所示,当紫光衰减 35% 时,受激辐射信号  $1.755 \mu\text{m}(4d-3p)$  强度衰减了 50%,而红光衰减 35% 时,信号却衰减了 35%,受激辐射强度受第二束光——紫光的强度变化影响较大。

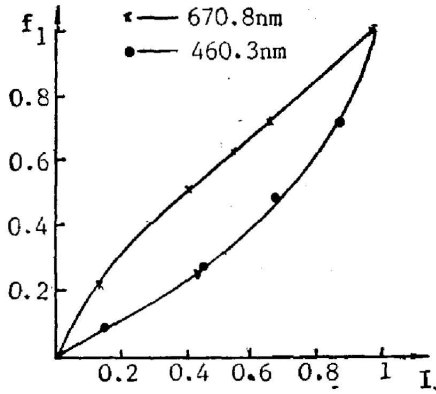


Fig. 3 Dependence of stimulated emission intensity on the pumping wavelength of laser 2 and laser 3

在利用不等频双光子泵浦 Li 原子的过程中受激辐射强度受两束泵浦光与有关能级共振与否影响亦很大。我们对两泵浦光对能级各种离共振情况下,受激辐射强度变化规律进行了研究。在实验中;当固定第二光子频率  $\omega_2$  (紫光) 不变,而改变第一个光子的频率  $\omega_1$  (红光),使它偏离对  $2p$  态的共振位置,这时发现当  $\Delta_1(\omega_1 - \omega_i, \omega_i \hbar = E_{2p} - E_{2s}) = 0$  时,为共振状态,这时信号最强,而当  $\Delta_1 = +2 \text{ cm}^{-1}$  时,信号强度远小于共振状态时的信号强度,但它却大于  $\Delta_1 = -2 \text{ cm}^{-1}$  时的信号强度。且  $\Delta_1 > 0$  时,  $\omega_1$  调谐范围要大于  $\Delta_1 < 0$  时,  $\omega_1$  的调谐范围。如图 4(a) 所示。而当固定  $\omega_1$ , 并使它与  $3s-2p$  态保持共振,而调  $\omega_2$ , 由于  $4f$  态略高于  $4d$  态,故由于两能级间相互影响,使得当  $\Delta_2 = +5 \text{ cm}^{-1}$  时 ( $\Delta_2 = \omega_2 - \omega_{4p}, \omega_{4p} \hbar = E_{4d} - E_{2p}$ ) 泵浦光能量位于  $4f$  态附近,这时受激辐射信号强度仍然很大,约为共振时的信号强度  $1/3$ , 而  $\Delta_2 = -5 \text{ cm}^{-1}$  时则信号强度远小于共振时的信号强度,且信号随着  $\Delta_2$  的增加而很快消失。如图 4(b), 最后我们保持  $\omega_1 + \omega_2 = [(E_{4d} - E_{2s})/\hbar]$  不变,同时改变  $\omega_1$  以及  $\omega_2$ , 如图 4(c) 所示,这时受激辐射信号强度对中间能级离共振情况呈几乎对称变化规律,但强度已减小,并随着对中间能级离共振量的增加而很快消失。

上述实验结果表明,不等频双光子激励过程中,对中间能级共振与否,直接影响着原子

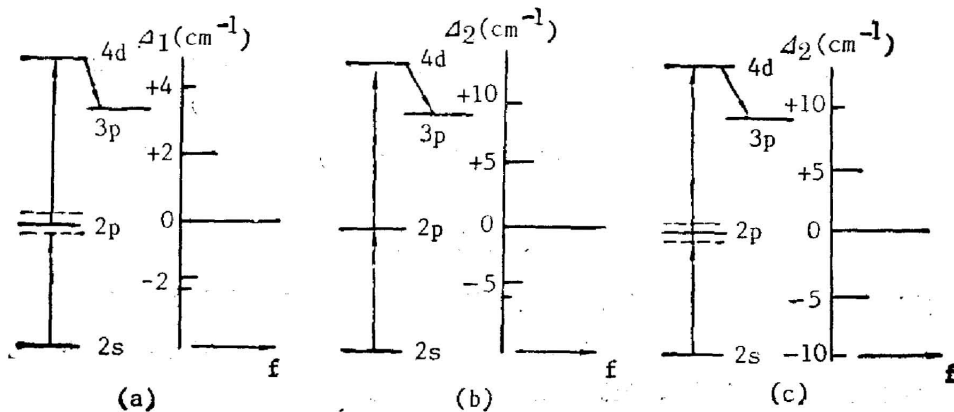
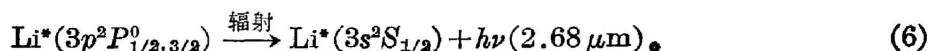
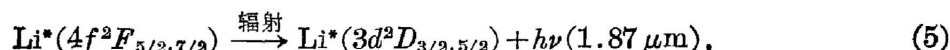
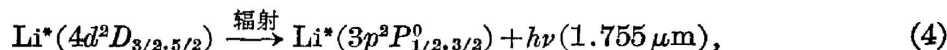
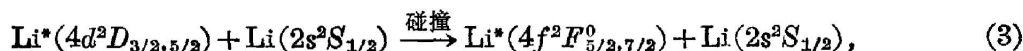
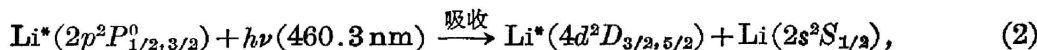
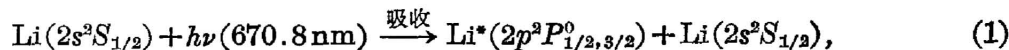


Fig. 4 Dependence of stimulated emission intensity on the pumping wavelength off resonance

对双光子吸收几率的影响,且受影响的程度及其变化规律与具体的能级特点有很大关系。而在共振状态下产生受激辐射还是十分有效的。

两步不等频双光子泵浦 Li 蒸气的激发与辐射机制可以表示为如下形式。



### 三、结 束 语

利用不等频双光子泵浦 Li 蒸气,在 Li 原子中产生了 5 条受激辐射信号,和一条相干紫外信号。此方法也适用于其它样品产生受激辐射。

### 参 考 文 献

- [1] 王祖庚等;《光学学报》,1986, 6, No. 12 (Dec), 1063~1070.
- [2] 王祖庚等;《光学学报》,1986, 6, No. 12 (Dec), 1081~1085.
- [3] B. Nikolaus, D. Z. Zhang *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1981, 47, No. 3 (20 Jul), 171~173.
- [4] A. N. Nesmeyanov; *Vapor Pressure of Chemical Elements*, (AKAD NAUK USSR, Moscow, 1961)
- [5] S. Bashkin, J. O. Stoner; *Atomic Energy Level and Grotrian Diagrams* Vol. 1 (North-Holland, Amster., 1978)

## Characteristics of IR stimulated emission from two-step excitation of Li-vapor at different frequencies

LI YONGFANG, LI XIANGSHENG, HU YIXIAN AND FU KEDU  
(Department of Physics, Shaanxi Normal University)

(Received 20 January 1988)

### Abstract

In this paper, we report the five lines of IR stimulated emission and cascade radiation from two-step excitation of Li-vapor at different frequencies. The characteristics of the stimulated radiation are discussed.

**Key words:** two-step excitation; IR stimulated radiation.