

基于两步混合激发 $\text{Na}_2\text{-Na}$ 系统的 可调谐红外受激辐射*

唐 小 玲

(陕西师范大学物理系)

王祖赓 秦莉娟 郑一善

(华东师范大学物理系)

1987年2月24日收到

本文报道了与两步混合激发 $\text{Na}_2\text{-Na}$ 系统相联系的受激电子喇曼散射过程产生了在 $3.38\text{--}3.46\mu\text{m}$ 范围内连续可调谐的红外受激辐射的研究结果。对这种可调谐红外受激辐射的产生机制和实验结果作了仔细分析和讨论。

同时,还计算了该红外受激辐射的相对强度并与实验结果进行了比较,最后指出这一工作与前人所做工作的不同之处及所具有的显著特点。

一、引 言

1975年 Kopeikina 和 Yanson 报道了有关在K蒸气中分子-原子碰撞能量转移过程的实验结果^[1]。1976年他们又进一步对K和Na蒸气中分子-原子碰撞能量转移过程进行了深入的研究^[2]。他们的工作表明,受激发分子与基态原子之间的碰撞能量转移过程,可使原子的激发态获得大量的粒子数布居。

1984年王祖赓、秦莉娟等人在文献[3]中提出了以等频双光子混合共振产生K中基于不等频二步混合共振产生红外受激辐射的机制^[4],以及等频和不等频二步 $\text{Na}_2\text{-K}$ 混合共振机制^[5]。在Na蒸气中,由 $\text{Na}_2\text{-Na}$ 不等频二步混合共振,探测到了Na原子高位态出发的光泵受激辐射和串级受激辐射^[6]。

最近,我们运用等频混合泵浦分子-原子的受激电子喇曼散射过程,获得了可调谐红外受激辐射。当用YAG激光器泵浦的在 $614.5\text{--}617.4\text{nm}$ 范围内调谐的染料激光激发Na蒸气时,如图1所示,第一个泵浦光子可将Na分子由基态 $X^1\Sigma_g^+$ 激发到 $A^1\Sigma_g^+$ 态,通过处于激发态 $A^1\Sigma_g^+$ 的Na分子与处于基态 $3S$ 的Na原子近共振碰撞能量转移过程,使Na原子的 $3P_{1/2}$ 和 $3P_{3/2}$ 态获得粒子数布居。如果泵浦光频率对应于 $3P_{1/2}\text{--}5S$ 跃迁,则第二个等频光子将Na原子从 $3P_{1/2}$ 态共振激发到 $5S$ 态,当然该频率相对于 $3P_{3/2}\text{--}5S$ 跃迁来讲是失谐的,这样就产生了 $5S\text{--}4P$ 的光泵受激辐射(OPSE)和 $3P_{3/2}\text{--}4P$ 的受激电子喇曼散射(SERS)。当泵浦光频率对应于 $3P_{3/2}\text{--}5S$ 跃迁时,第二个光子将Na原子由 $3P_{3/2}$

* 中国科学院科学基金资助的课题。

态共振激发到 5S 态, 而该泵浦光频率对应于 $3P_{1/2}-5S$ 激发来讲是离共振的, 从而产生了 5S—4P 的光泵受激辐射 (OPSE) 和 $3P_{1/2}-4P$ 的受激电子喇曼散射 (SERS). 在泵浦

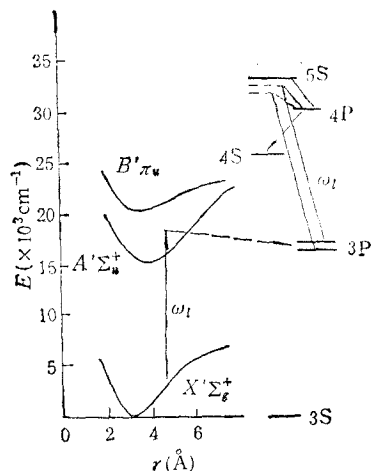


图 1 两步混合激发 $\text{Na}_2\text{-Na}$ 系统的机制

光频率即不对应于 $3P_{1/2}-5S$ 跃迁, 又不对应于 $3P_{3/2}-5S$ 跃迁的一般情况下, 所获得的是 $3P_{1/2}-4P$ 和 $3P_{3/2}-4P$ 的受激电子喇曼散射 (SERS). 当然, 由于原子之间的碰撞感应效应^[7]; Na 原子的 5S 能级仍会有相当的粒子数布居, 从而使 5S—4P 的光泵受激辐射依然存在. 设 $3P_{1/2}-5S$ 和 $3P_{3/2}-5S$ 共振跃迁频率相对于泵浦光频率 ω_l 的失谐量为 Δ_1 和 Δ_2 , 那么, 由该泵浦光所产生的 OPSE 的频率 ω_s 和两个 SERS 对应的斯托克斯受激辐射的频率 ω'_s 和 ω''_s 分别为

$$\omega_s = \omega(5S, 4P), \quad (1)$$

$$\omega'_s = \omega(5S, 4P) - \Delta_1, \quad (2)$$

$$\omega''_s = \omega(5S, 4P) - \Delta_2. \quad (3)$$

当泵浦波长在 614.5—617.4 nm 范围内调谐时, 测得了由 (2) 和 (3) 式所表示的在 3.39—3.46 μm 范围内连续可调谐的红外受激辐射. 同时还测得了由 (1) 式所表达的其波长为 3.41 μm 的 OPSE. 另外, 我们在实验中还观测到了对应于 4P—4S 串级跃迁的波长为 2.20 μm 的红外受激辐射.

本文对这种可调谐红外受激辐射的产生机制和实验结果进行了仔细的分析 and 讨论, 并从理论上计算了本工作的红外受激辐射的相对强度并与实验结果进行了比较. 最后指出了这一工作与前人所做工作的不同之处及所具有的显著特点.

二、实验装置

实验装置如图 2 所示, 以 YAG 的倍频脉冲激光泵浦染料激光器, 在使用 DCM 染料时, 染料激光输出可在 610.0—617.0 nm 范围内调谐. 输出波长在 616.0 nm 处的输出能

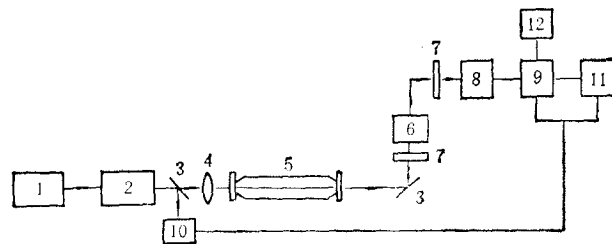


图 2 实验装置图

1 为 YAG 激光器; 2 为染料激光器; 3 为分束镜; 4 为聚焦透镜; 5 为热管炉; 6 为光栅单色仪; 7 为滤光片组; 8 为探测器; 9 为信号处理系统; 10 为信号采样器; 11 为示波器; 12 为记录仪

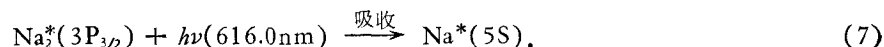
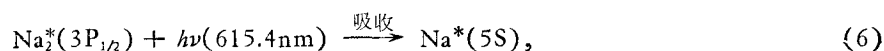
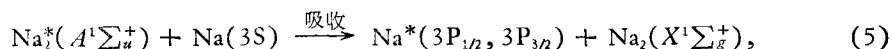
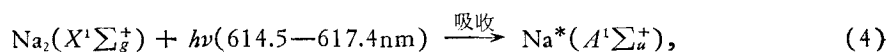
量约为 10mJ, 输出脉宽约为 2ns, 线宽为 0.01nm.

用透镜聚焦系统将作为泵浦光的染料激光聚焦于热管炉中心, 热管炉长 70cm, 加热区长 20cm, 出射窗片为 CaF_2 晶片, 以使红外讯号能透过窗片出射, 在热管炉中装有 10g 的 Na, 由自动控温仪将样品加热到 560°C, 这时热管炉中 Na 分子和 Na 原子的浓度分别为 $6.79 \times 10^{11} \text{cm}^{-3}$ 和 $2.18 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$.

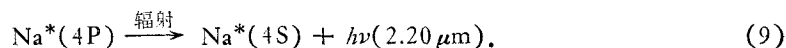
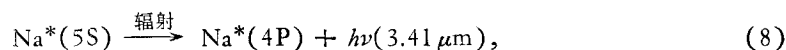
经测定, 由热管炉前向出射的红外定向辐射信号的发散角约为 10mrad, 能量约为 10 μJ . 出射信号经光学成像系统引入光栅单色仪进行光谱分析. 在单色仪和探测器前放有适当的滤光片组, 以滤去从热管炉出射的剩余泵浦光, 并让所需测定的红外信号通过. 用 PbSe 探测器接收从单色仪出射狭缝出射的红外信号, 经信号处理系统处理后, 由记录仪记录, 并同时用示波器观察.

三、实验结果与分析

我们注意到波长在 610.0—650.0nm 范围内, 正好对应于 Na 分子 $X'\Sigma_g^+ - A'\Sigma_u^+$ 的强吸收区^[3]. 实验中我们用染料激光器泵浦 Na 蒸气, 所用染料为 DCM, 当染料激光在 614.5—617.4nm 范围内调谐时, 第一个光子将 Na 分子由基态 $X'\Sigma_g^+$ 激发到 $A'\Sigma_u^+$ 态, 受激发的 Na 分子与处于基态 3S 的 Na 原子碰撞, 把能量转移给 Na 原子, 从而使 Na 原子布居到 $3P_{1/2}$ 和 $3P_{3/2}$, 而分子返回到基态 $X'\Sigma_g^+$. 在这个过程中, 分子所剩余的能量可以认为以振-转能量的形式存留在分子的基态中. 由于 Na 分子基态的振动能级间隔约为 150 cm^{-1} , 而在每一振动能级中又有许多转动能级, 因而整个过程中的能量差值小于 kT 量级. 所以这一能量转移过程可以非常有效地使 Na 原子的 $3P_{1/2}$ 和 $3P_{3/2}$ 能级获得大量的粒子数布居. 而同频率的第二个光子又将 Na 原子从 $3P_{1/2}$ 和 $3P_{3/2}$ 共振或近共振地激发到 5S 态. 当泵浦频率调谐到 $3P_{1/2}-5S$ 和 $3P_{3/2}-5S$ 的共振激发时, 形成 5S 对 4P 的布居反转, 从而产生 5S—4P 的光泵受激辐射和 4P—4S 的串级受激辐射. 这种情形, 实际上是等频混合泵浦 $\text{Na}_2\text{-Na}$ 系统的一个特例, 其抽运机理可表达如下:



实验中所测到的固定频率的光泵受激辐射和串级受激辐射的产生可表达为



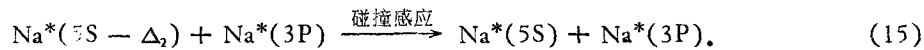
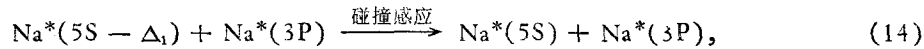
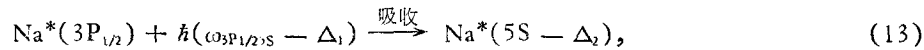
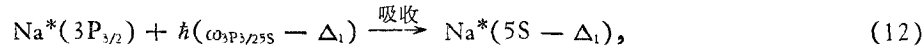
由于 Na 原子的 $3P_{1/2}$ 和 $3P_{3/2}$ 能级间隔为 17.196cm^{-1} . 当泵浦光频率对应于 $3P_{1/2}-5S$ 共振激发时, $3P_{3/2}-5S$ 必定是离共振激发, 因而这时就存在 $3P_{3/2}$ 到 4P 的受激电子喇曼跃迁所对应的斯托克斯辐射. 由此可见, 在上述两种特定情况下, 都分别存在着一个光泵受激辐射和一个斯托克斯受激辐射. 但在一般情况下, 泵浦光频率相对于 $3P_{1/2}-5S$ 和

$3P_{3/2}-5S$ 都是离共振激发,这样就存在分别起始于 $3P_{1/2}$ 和 $3P_{3/2}$ 的两个斯托克斯辐射.设共振跃迁频率 $\omega(3P_{3/2}, 5S)$ 和 $\omega(3P_{1/2}, 5S)$ 相对于泵浦光频率 ω_l 的失谐量分别为 $\Delta_1 = \omega(3P_{3/2}, 5S) - \omega_l$ 和 $\Delta_2 = \omega(3P_{1/2}, 5S) - \omega_l$; 则这两个成份的斯托克斯受激辐射的频率分别为

$$\omega'_s = \omega(5S, 4P) - \Delta_1, \quad (10)$$

$$\omega''_s = \omega(5S, 4P) - \Delta_2. \quad (11)$$

即使在这种离共振激发时,应依然有 $5S$ 到 $4P$ 的光泵受激辐射和 $4P-4S$ 的串级受激辐射,这是由于碰撞感应的结果使 $5S$ 能级仍然有粒子数的布居.我们可以把这种碰撞感应作用表达为



由此可知,除产生(10)和(11)式的斯托克斯受激辐射,还同时存在频率为

$$\omega_r = \omega(5S, 4P) \quad (16)$$

的光泵受激辐射和 $\omega(4P, 4S)$ 的串级受激辐射.当泵浦光频率 ω_l 调谐时,引起(10)和(11)式中 Δ_1 和 Δ_2 的变化,从而产生可调谐的红外受激辐射 ω'_s 和 ω''_s .

综上所述,在一般的 $3P_{1/2}-5S$ 和 $3P_{3/2}-5S$ 离共振激发情况下,将同时存在三个频率 ω_r, ω'_s 和 ω''_s 的红外受激辐射,其中频率为 ω'_s 和 ω''_s 的斯托克斯红外受激辐射随泵浦频率 ω_l 的变化而调谐.在特定情况下, $\Delta_1 = 0$ (或 $\Delta_2 = 0$) 的共振激发,就只存在两个频率成份 ω_r, ω''_s (或 ω_r, ω'_s) 的红外受激辐射.

图3是实验所记录的红外受激辐射的调谐情况.三维坐标图中, λ_l 为泵浦波长, I_r 为相对强度, λ_s 为红外受激辐射波长.由图3可见,当用作泵浦的染料激光在 $614.55-617.45\text{nm}$ 范围内调谐时,所测得的红外受激辐射的调谐范围为 $3.38-3.46\mu\text{m}$, 在 $\lambda_l = 615.42\text{nm}(3P_{1/2}-5S)$ 和 $\lambda_l = 616.07\text{nm}(3P_{3/2}-5S)$ 的共振激发时,仅存在两个成份,

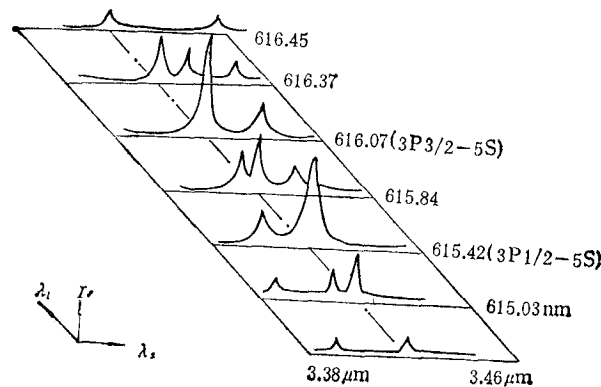
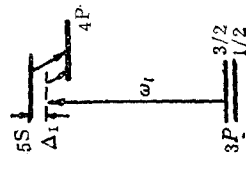
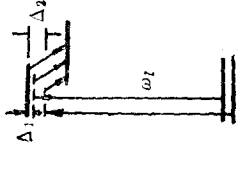
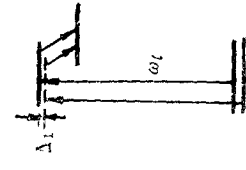
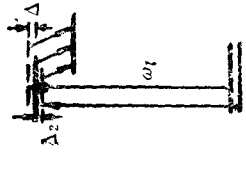
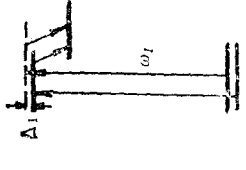
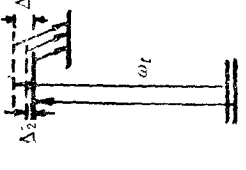
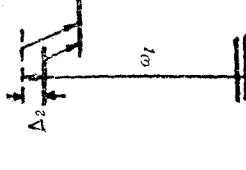


图3 红外受激辐射的调谐情况

表 1 与二步混合激发 $\text{Na}_2\text{--Na}$ 系统相联系的受激电子喇曼散射产生的可调谐红外受激辐射

泵浦波长 (nm)	617.45	616.37	616.07	615.84	615.42	615.03	614.55
第二个光子激发原子情况	 $\Delta_1 = 36.097 \text{ cm}^{-1}$	 $\Delta_1 = 7.787 \text{ cm}^{-1}$ $\Delta_2 = 24.983 \text{ cm}^{-1}$	 $\Delta_1 = 17.196 \text{ cm}^{-1}$	 $\Delta_1 = -6.303 \text{ cm}^{-1}$ $\Delta_2 = 10.893 \text{ cm}^{-1}$	 $\Delta_1 = -17.196 \text{ cm}^{-1}$	 $\Delta_1 = -27.603 \text{ cm}^{-1}$ $\Delta_2 = -10.409 \text{ cm}^{-1}$	 $\Delta_1 = -23.219 \text{ cm}^{-1}$
红外受激辐射表达式	$\omega_s = \omega(5S - 4P)$ $\omega'_s = \omega(5S - 4P) - \Delta_1$ $\omega''_s = \omega(5S - 4P) - \Delta_2$	$\omega_s = \omega(5S - 4P)$ $\omega'_s = \omega(5S - 4P) - \Delta_1$ $\omega''_s = \omega(5S - 4P) - \Delta_2$	$\omega_s = \omega(5S - 4P)$ $\omega'_s = \omega(5S - 4P) - \Delta_1$ $\omega''_s = \omega(5S - 4P) - \Delta_2$	$\omega_s = \omega(5S - 4P)$ $\omega'_s = \omega(5S - 4P) - \Delta_1$ $\omega''_s = \omega(5S - 4P) - \Delta_2$	$\omega_s = \omega(5S - 4P)$ $\omega'_s = \omega(5S - 4P) - \Delta_1$ $\omega''_s = \omega(5S - 4P) - \Delta_2$	$\omega_s = \omega(5S - 4P)$ $\omega'_s = \omega(5S - 4P) - \Delta_1$ $\omega''_s = \omega(5S - 4P) - \Delta_2$	$\omega_s = \omega(5S - 4P)$ $\omega'_s = \omega(5S - 4P) - \Delta_1$ $\omega''_s = \omega(5S - 4P) - \Delta_2$
红外受激辐射计算值 (μm)	$\lambda_s = 3.4151$ $\lambda'_s = 3.4577$	$\lambda_s = 3.4151$ $\lambda'_s = 3.4242$ $\lambda''_s = 3.4445$	$\lambda_s = 3.4151$ $\lambda'_s = 3.4353$	$\lambda_s = 3.4151$ $\lambda'_s = 3.4077$ $\lambda''_s = 3.4279$	$\lambda_s = 3.4151$ $\lambda'_s = 3.3951$	$\lambda_s = 3.4151$ $\lambda'_s = 3.3822$ $\lambda''_s = 3.4030$	$\lambda_s = 3.4151$ $\lambda'_s = 3.3882$
红外受激辐射实验值 (μm)	$\lambda_s = 3.4155$ $\lambda'_s = 3.4573$	$\lambda_s = 3.4155$ $\lambda'_s = 3.4246$ $\lambda''_s = 3.4450$	$\lambda_s = 3.4155$ $\lambda'_s = 3.4358$	$\lambda_s = 3.4155$ $\lambda'_s = 3.4080$ $\lambda''_s = 3.4275$	$\lambda_s = 3.4155$ $\lambda'_s = 3.3959$	$\lambda_s = 3.4155$ $\lambda'_s = 3.3828$ $\lambda''_s = 3.4037$	$\lambda_s = 3.4155$ $\lambda'_s = 3.3886$
$I_s:I'_s:I''_s$ 实验值	1.1:0.8	1.8:1.7:1.0	8.6:8.6:1.8	1.9:1.6:1.3	3.1:1.2:3.1	1.5:0.7:1.0	1.0:0.6
$I_s:I'_s:I''_s$ 计算值	1.01:0.70:0.50	1.24:1.10:0.95	8.59:8.59:1.20	1.70:1.20:1.02	3.05:1.05:3.05	1.07:1.02:1.06	0.90:0.55:0.75

在离共振不太大时,存在三个成份,而离共振过大时,实验中仅能测得两个成份.

表 1 总结了七种典型失谐情况下,所产生可调谐红外受激辐射情况,由表 1 看出红外受激辐射波长的实验值和理论值符合得很好.

例如,当泵浦波长为 616.37nm,即相对于 $3P_{3/2}-5S$ 的离共振 $\Delta_1 = 7.787\text{cm}^{-1}$,相对于 $3P_{1/2}-5S$ 的离共振 $\Delta_2 = 24.983\text{cm}^{-1}$,两者离共振都不是很大,这时实验中可同时测得对应于 Δ_1 和 Δ_2 的 SERS 产生的波长分别为 $\lambda'_s = 3.4246\mu\text{m}$ 和 $\lambda''_s = 3.4450\mu\text{m}$ 的斯托克斯辐射,同时还有 $5S-4P$ 的 OPSE.

一般说来,对应同一频率的泵浦光应同时存在三个频率成份的红外受激辐射,但当 Δ_1 和 Δ_2 中某一个过大时,受激电子喇曼散射中间能级 $5S$ 对它的近共振增强作用将急剧减弱,因而实验中往往只能测得两个频率成份的红外受激辐射. 例如,当泵浦波长为 617.4nm 时, $\Delta_1 = 36\text{cm}^{-1}$, $\Delta_2 = 53\text{cm}^{-1}$,实验中仅可测到对应于 Δ_1 的斯托克斯受激辐射,其波长 $\lambda'_s = 3.4573\mu\text{m}$. 当然,由 OPSE 产生的固定频率 $\omega(5S, 4P)$ 的辐射依然存在.

如果泵浦频率对应于 $3P_{3/2}-5S$ (或 $3P_{1/2}-5S$) 的共振激发时,将只存在一个斯托克斯受激辐射和固定频率的光泵受激辐射. 例如,当泵浦光波长为 616.07nm,即为 $3P_{3/2}-5S$ 共振激发,而 $3P_{1/2}-5S$ 的离共振 $\Delta_2 = 17.196\text{cm}^{-1}$,测得了固定频率的 OPSE 的波长为 $3.4155\mu\text{m}$,同时还测得了对应于 Δ_2 的斯托克斯受激辐射. 其波长为 $3.4358\mu\text{m}$.

四、相对强度的理论计算和实验结果的比较

我们从理论上计算了由 (10) 和 (11) 式表示的频率为 ω'_s 和 ω''_s 的斯托克斯受激辐射的相对强度与泵浦光频率之间的关系,以及由 (16) 式表示的频率为 ω_s 的光泵受激辐射的相对强度与泵浦光频率之间的关系.

从耦合波动方程出发,

$$\frac{\partial E(z, \omega_l)}{\partial z} = 0, \quad (17)$$

$$\frac{\partial E(z, \omega'_s)}{\partial z} = \frac{3i\omega'_s}{2cn_s} \chi_{\text{SERS}, 3P_{3/2}}^{(3)} |E(z, \omega_l)|^2 E(z, \omega'_s), \quad (18)$$

$$\frac{\partial E(z, \omega''_s)}{\partial z} = \frac{3i\omega''_s}{2cn_s} \chi_{\text{SERS}, 3P_{1/2}}^{(3)} |E(z, \omega_l)|^2 E(z, \omega''_s), \quad (19)$$

我们可以求得频率为 ω'_s 和 ω''_s 的斯托克斯受激辐射场的相对强度公式为

$$I(\omega'_s, l) = I'_s(0) \exp(G_{R1}l), \quad (20)$$

$$I(\omega''_s, l) = I''_s(0) \exp(G_{R2}l), \quad (21)$$

其中

$$G_{R1} = -\frac{3\omega'_s}{\epsilon_0 c^2 n_s n_l} \chi_{\text{SERS}, 3P_{3/2}}^{(3)} (-\omega'_s, \omega_l - \omega_l \omega'_s) I_{l0}, \quad (22)$$

$$G_{R2} = -\frac{3\omega''_s}{\epsilon_0 c^2 n_s n_l} \chi_{\text{SERS}, 3P_{1/2}}^{(3)} (-\omega''_s, \omega_l - \omega_l \omega''_s) I_{l0} \quad (23)$$

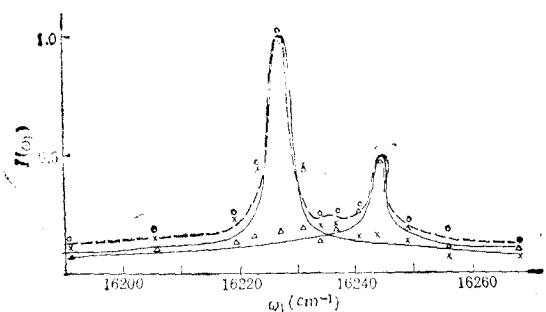


图4 红外受激辐射的相对强度的计算结果与实验值的比较

分别为 $3P_{1/2}-4P$ 和 $3P_{3/2}-4P$ 的受激电子喇曼散射的小信号增益系数, l 为均匀 Na 蒸气的长度, I_0 为入射光强度。

图4中左边一条实线是计算得到的频率为 ω'_1 的红外受激辐射的相对强度 $I(\omega'_1, l)$, “X”表示相应的实验值;右边一条实线是计算所得频率为 ω''_1 的红外受激辐射的相对强度 $I(\omega''_1, l)$, 用“△”表示相应的实验值, 可见计算结果和实验值基本上是符合的。

同时, 由 Carlsen 等人^[7]关于碰撞感应的理论和实验结果, 我们可以求得在不同离共振激发的情况下 $5S-4P$ 的光泵受激辐射的相对强度为

$$I(\omega_s, l) = I_0(0)e^{G_0 l}, \quad (24)$$

其中 $G_0 = B_1(\Delta_1) \frac{1}{|\Delta_1|^2} + B_2(\Delta_2) \frac{1}{|\Delta_2|^2}$ 为光泵受激辐射的小信号增益系数^[7]。

图4中虚线就是由(24)式计算所得到的光泵受激辐射的相对强度随泵浦频率的变化, 用“O”表示相应的实验值, 计算结果和实验值是基本符合的。

五、结 语

从上面理论和实验两方面结果的讨论和分析可看出, 我们所获得的可调谐红外受激辐射是一种利用等频混合泵浦 $\text{Na}_2\text{-Na}$ 系统的受激电子喇曼散射过程, 现将这种过程与若干前人获得的受激电子喇曼散射列表2对比。

从表2可以看出, 以等频混合激发 $\text{Na}_2\text{-Na}$ 系统所产生的受激电子喇曼散射具有以下几个特点:

- 1) 产生可调谐红外受激辐射的是一个分子-原子的混合系统, 而不是纯原子系统。
- 2) 第一个光子激发 Na 分子, 等频的第二个光子激发 Na 原子, 这与双光子直接激发原子的情形有很大不同。
- 3) 初态喇曼能级是 Na 原子的两个激发态 $3P_{1/2}$ 和 $3P_{3/2}$, 因而通常存在两个频率成份的斯托克斯受激辐射。
- 4) Na 原子的 $3P_{1/2}$ 和 $3P_{3/2}$ 的粒子数布居是通过分子-原子间近共振碰撞能量转移而获得的, 而不需要附加的泵浦源使 Na 原子由基态 $3S$ 预置到激发态 $3P_{1/2}$ 和 $3P_{3/2}$ 。
- 5) 描述等频混合激发 $\text{Na}_2\text{-Na}$ 系统的受激电子喇曼散射的极化率仍是简单的三阶极化率 $\chi^{(3)}(-\omega_s, \omega_l - \omega_l, \omega_s)$, 而不是双光子激发原子产生受激电子超喇曼散射的五阶极化

表 2 在碱金属蒸气中获得受激电子喇曼散射的若干例子

系 统	激发方式	喇曼初能级	喇曼末能级	描述该过程的极化率	泵浦光调谐量 (cm^{-1})	文 献
K 原子	二步激发: 第一步 4S-4P 第二步 4P-6S	$4P_{3/2}$	$5P_{3/2}$	$\chi^{(3)}(-\omega_s, \omega_l - \omega_l \omega_s)$	3	[9]
K 原子	4S-5P 的单 光子激发	4S	5S	$\chi^{(3)}(-\omega_s, \omega_l - \omega_l \omega_s)$	1000	[10]
K 原子	4S-3P 单光子 电四极矩激发	4S	3P	$\chi^{(3)}(-\omega_s, \omega_l - \omega_l \omega_s)$	15	[11]
Na 原子	3S-4P 的双光 子激发	3S	4P	$\chi^{(5)}(-\omega_s, \omega_l \omega_l - \omega_l - \omega_l \omega_s)$	160	[12]
Na ₂ -Na	等频混合激发 钠分子-原子	$3P_{1/2}$, $3P_{3/2}$	4P	$\chi^{(3)}(-\omega_s, \omega_l - \omega_l \omega_s)$	60	本文工作

率 $\chi^{(5)}(-\omega_s, \omega_l \omega_l - \omega_l - \omega_l \omega_s)$.

我们看到,在 Na₂-Na 系统中,由与等频混合泵浦相联系的受激电子喇曼过程产生了在 3.38—3.46 μm 范围内连续可调谐的红外受激辐射. 我们对这种可调谐红外受激辐射的产生机制和实验结果作了仔细的分析和讨论,同时分别计算了上述红外受激辐射的相对强度随泵浦频率的变化情况,并将这一计算与实验结果进行了比较,表明二者符合得较好. 这一工作对研究分子-原子的相互作用及分子-原子混合系统的非线性光学特性无疑将提供非常有用的信息.

- 1 E. K. Kopeikina and M. L. Yanson, *Opt. Spectrosc.*, **39**(1975), 442.
- 2 E. K. Kaulina, E. K. Kopeikina and M. L. Yanson, *Chem. Phys. Lett.*, **39**(1976), 565.
- 3 Z.-G. Wang, L.-J. Qin, L.-S. Ma, Y.-Q. Lin and Y.-S. Zheng, *Opt. Commun.*, **51**(1984), 151.
- 4 L.-J. Qin, Z.-G. Wang, K.-C. Zheng, L.-S. Ma, Y.-Q. Lin and Y.-S. Zheng, *Laser Spectroscopy*, Springer-Verlag, New York, (1985), p. 225.
- 5 Z.-G. Wang, L.-J. Qin, K.-C. Zheng and Y.-S. Zheng, *Appl. Phys.*, **B41**(1986), 125.
- 6 蔡莉娟,王祖康,张开昌,郑一善, *光学学报*, **6**(1986), 12.
- 7 J. L. Carlsten, A. Szöke and M. G. Raymer, *Phys. Rev.*, **A15**(1977), 1029.
- 8 K. P. Huber, G. Herzberg, *Constants of Diatomic Molecules*, Van Nostrand Reinhold Company, (1979).
- 9 M. Rokni, S. Yatsiv, *Phys. Lett.*, **24A**(1967), 277.
- 10 D. Cotter, D. C. Hanna, P. A. Kärkainen and R. Wyatt, *Opt. Commun.*, **15**(1975), 143.
- 11 D. Cotter and M. A. Yuratich, *Opt. Commun.*, **29**(1979), 307.
- 12 D. Cotter, D. C. Hanna, W. H. W. Tuttebee and M. A. Yuratich, *Opt. Commun.*, **22**(1977), 190.

TUNABLE IR STIMULATED RADIATION GENERATED BY TWO-STEP HYBRID EXCITING IN $\text{Na}_2\text{-Na}$ SYSTEM

TANG XIAO-LING

(Department of Physics, Shanxi Normal University, Xian)

WANG ZU-GENG QIN LI-JUAN ZHENG YI-SHAN

(Department of Physics, East China Normal University, Shanghai)

ABSTRACT

We report the generation of turnable IR stimulated emission covering 3.39—3.46 μm , by using a new exciting mechanism called “two-step hybrid exciting” in sodium molecular-atomic system. We analyse and discuss carefully this IR emission. The computed relative intensity of the IR emission varies with the pumping detuning. The computational results matched well with experimental data.