

$^{23}\text{Na}^{39}\text{K}$ 分子 $D^1\Pi \rightarrow X^1\Sigma^+$ 激光感生荧光 光谱及强度研究*

黄志伟 陈金锐

(福建师范大学实验中心, 福州 350007)

摘 要 实验获得了 Ar^+ 激光 514.5 nm 线诱导 $^{23}\text{Na}^{39}\text{K}$ 分子产生的 $D^1\Pi \rightarrow X^1\Sigma^+$ 跃迁荧光光谱. 通过测量激光感生荧光光谱强度随泵浦功率、热管炉温度及缓冲气压变化规律, 详细研究了其跃迁机制. 用最小二乘法拟合获得 $^{23}\text{Na}^{39}\text{K}$ 分子 $X^1\Sigma^+$ 态振动常数. 理论计算了各跃迁谱支波长值及 Franck-Condon 因子和光谱强度值, 与实验观测值符合得相当好, 充分表明本文对激光感生荧光光谱的归属以及对各支谱线振、转量子数的赋值是合理的.

关键词 $^{23}\text{Na}^{39}\text{K}$ 分子, 激光感生荧光, Franck-Condon 因子.

1 引 言

1934年, Loomis 等^[1]首次研究了 NaK 分子某些电子态的吸收谱和磁转动谱. 由于受到 Na_2 分子和 K_2 分子强谱带的干扰, 妨碍了对 NaK 分子谱线的进一步分辨. 到 70 年代末, 激光感生荧光光谱技术的应用才促进了对 NaK 分子单重、三重电子态的势能曲线、分子常数和电子跃迁偶极矩的准确测定,^[2~11] 还观察到束缚 \rightarrow 自由跃迁.^[3,7,12] 1989年, Clark 等^[13]首次实现光泵 NaK 分子 $A^1\Sigma^+ \rightarrow X^1\Sigma^+$ 激光振荡输出. 1978年 Janoschek 等^[14]首次用 ab initio 和赝势能方法对 NaK 分子几个较低电子态势能曲线进行计算; 1984年 Stevens 等^[15]全面地计算出 NaK 分子最低 22 个分子态势能曲线, 并预计 NaK 分子几乎所有的激发态都受到微扰. Ratcliff 等^[16]还计算了 NaK 分子电子跃迁偶极矩. 对 NaK 分子单重态和三重态结构、跃迁偶极矩等理论计算与实验结果能够较好地符合, 而且 NaK 分子不具中心对称性的特点, 增大了单态和三态间相互混合的几率性, 促进对 NaK 分子三重态的直接观察^[8,9,17]与理论计算^[18]. 本文报道用 Ar^+ 激光器 514.5 nm 激光激发 NaK 分子产生 $D^1\Pi \rightarrow X^1\Sigma^+$ 跃迁荧光光谱, 详细分析了激光感生荧光跃迁机制并拟合出 NaK 分子 $X^1\Sigma^+$ 态振动常数, 得到了满意的结果.

2 实验及结果

NaK 分子在加热区长 40 cm 的不锈钢十字热管炉中产生. 实验时将含杂质钠 2% 的金属

* 福建省教委青年科学基金资助项目

收稿日期: 1993年5月26日; 收到修改稿日期: 1993年12月8日

钾样品 10 g 放在热管炉中心位置, 并根据实验需要充 1.7 kPa~13.7 kPa 的 Ar 气为缓冲气体, 工作温度在 190~360°C 之间, 热平衡时 250°C 钾金属蒸气中所含有的各成分饱和蒸气压及密度经有关公式^[6, 19~21]计算, 各成分饱和蒸气压和相应的密度分别为 K 原子 6.8 Pa, $9.8 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$; Na 原子: 0.26 Pa, $1.3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$; K_2 分子 $1.3 \times 10^{-2} \text{ Pa}$, $1.8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$; Na_2 分子: $4.4 \times 10^{-4} \text{ Pa}$, $2.1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 和 NaK 分子: $6.4 \times 10^{-2} \text{ Pa}$, $3.1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$.

本实验采用横向非增益接收方式, 如图 1 所示. 连续 Ar^+ 激光器 (Innova 70-3 型, Coherent Inc.) 输出的 514.5 nm 线 (线宽 10 GHz, 最大功率 1.7 W) 经机械斩波后由透镜聚焦到炉臂长 30 cm 的热管炉中心激发 NaK 分子, 收集到的激光感生荧光经 44 W 平面光栅单色仪色散后被光电倍增管 R928 接收, 然后信号馈给锁相放大器 (SR530, SRS Inc.) 复合后, 接入 x-y 函数记录仪记录光谱图, 用标准钨带灯对整个测量系统进行

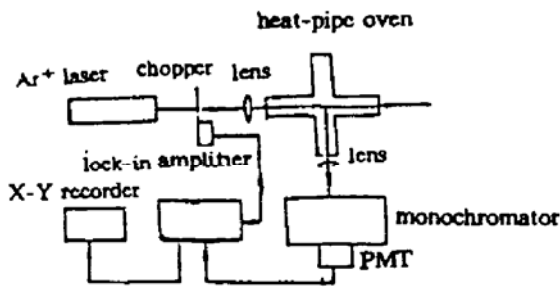


Fig. 1 The experimental set-up

强度校正.

利用上述装置获得了 Ar^+ 激光 514.5 nm 线诱导 NaK 分子的荧光光谱, 并对其中各支谱线作了归属, 如图 2 所示. 可见获得的荧光谱明显分为: 较强的单重态 $D^1\Pi \rightarrow X^1\Sigma^+$ 跃迁分立谱 (490~570 nm), 较弱的三重态 $d^3\Pi \rightarrow a^3\Sigma^+$ 跃迁连续谱 (610~710 nm) 以及 Na 原子荧光 (589.0 nm, 589.6 nm). 对图 2 中不同 Q 支序列激光感生荧光谱线 (536.32 nm, 536.01 nm 和 553.26 nm), 测量了其光谱强度随泵浦功率变化关系如图 3 所示. 图 4 是激光感生荧光光谱强度随热管温度 (已换算成 NaK 分子密度) 变化曲线. 图 5 给出了激光感生荧光光谱强度与缓冲气压变化的实验曲线.

3 光谱分析

图 6 为 NaK 分子有关的势能曲线以及 $D^1\Pi \rightarrow X^1\Sigma^+$ 激发、发射过程示意图. NaK 分子的基态 $X^1\Sigma^+$ 和第二电子激发态 $D^1\Pi$ 都属于 Hund 耦合 (a) 情形^[4], $X^1\Sigma^+ \leftrightarrow D^1\Pi$ 间跃迁满足电偶极跃迁条件 $\Delta s = 0$, $\Delta \Lambda = \pm 1$. 由于必须满足对称性选择定则 $+\leftrightarrow -$, 对于 Q 支激发 ($\Delta J = 0$), $D^1\Pi \rightarrow X^1\Sigma^+$ 跃迁只产生 Q 支单序列荧光谱, 对于 P 支或 R 支激发 ($\Delta J = \pm 1$), 将产生 P、R 支双序列荧光谱.

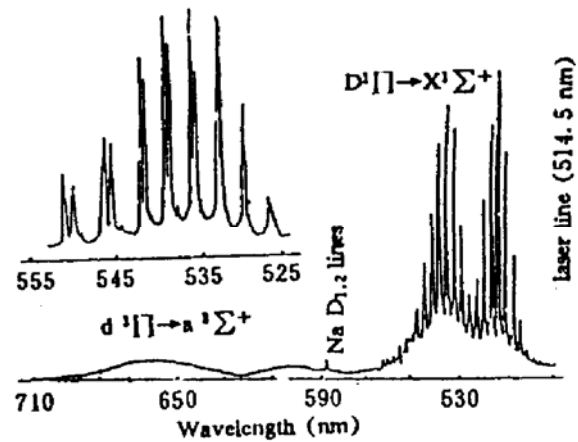


Fig. 2 The assignment spectrum for $D^1\Pi (V' = 1, J' = 67) \rightarrow X^1\Sigma^+ (V'' = 0 - 19, J'' = 67)$, $D^1\Pi (V' = 1, J' = 95) \rightarrow X^1\Sigma^+ (V'' = 0 - 19, J'' = 95)$ and $D^1\Pi (V' = 3, J' = 122) \rightarrow X^1\Sigma^+ (V'' = 0 - 23, J'' = 122)$ Q-branch transitions of NaK excited by 514.5 nm of Ar^+ laser. ($I_p = 1.55 \text{ W}$, $T = 253^\circ\text{C}$, $P_{\text{Ar}} = 1.9 \text{ kPa}$)

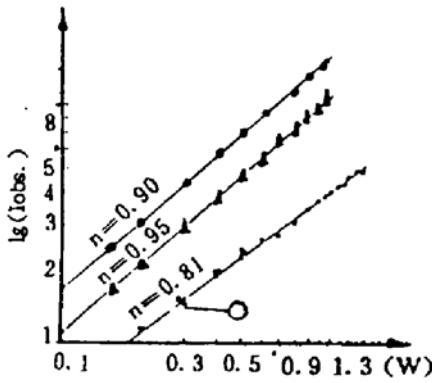


Fig. 3 LIF intensity versus pumping power ($\lambda_p = 514.5$ nm, $T = 276^\circ\text{C}$, $P_{Ar} = 1.6$ kPa)

- - 536.32 nm $D^1\Pi(1,67) \rightarrow X^1\Sigma^+(12,67)$;
- ▲ - 536.01 nm $D^1\Pi(1,95) \rightarrow X^1\Sigma^+(11,95)$;
- - 553.26 nm $D^1\Pi(3,122) \rightarrow X^1\Sigma^+(17,122)$

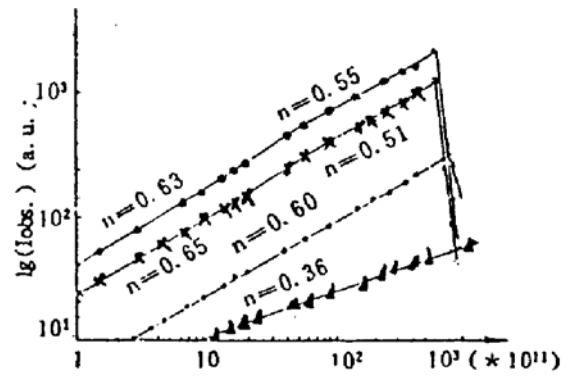


Fig. 4 LIF intensity versus density of NaK. ($\lambda_p = 514.5$ nm, $I_p = 1.7$ W, $P_{Ar} = 1.6$ kPa)

- - 536.32 nm $D^1\Pi(1,67) \rightarrow X^1\Sigma^+(12,67)$;
- × - 536.01 nm $D^1\Pi(1,95) \rightarrow X^1\Sigma^+(11,95)$;
- - 553.26 nm $D^1\Pi(3,122) \rightarrow X^1\Sigma^+(17,122)$;
- △ - 665 nm $d^3\Pi \rightarrow a^3\Sigma^+$

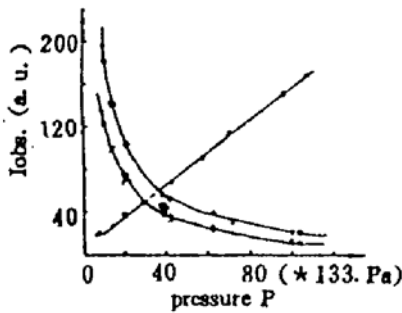


Fig. 5 LIF intensity versus pressure P of Ar buffer gas. ($\lambda_p = 514.5$ nm, $I_p = 1.7$ W, $T = (348 \pm 2)^\circ\text{C}$)

- - 539.38 nm $D^1\Pi(1,67) \rightarrow X^1\Sigma^+(13,67)$;
- × - 539.08 nm $D^1\Pi(1,95) \rightarrow X^1\Sigma^+(12,95)$;
- - 665 nm $d^3\Pi \rightarrow a^3\Sigma^+$

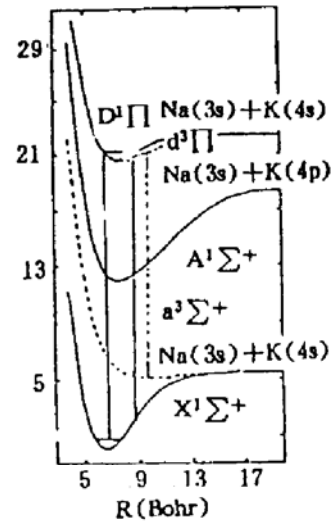


Fig. 6 The schematic diagram of energy levels of NaK and excitation and emission processes of $D^1\Pi \leftrightarrow X^1\Sigma^+$ transition

根据上述理论和图 2 所示的激光感生荧光光谱中反斯托克斯线的数目、强度分布及其波长测量值, 可以用文献[8, 10]报道的 NaK 分子 $X^1\Sigma^+$ 和 $D^1\Pi$ 态分子常数, 代入荧光跃迁频率公式:

$$v(v', J'; v'', J'') = T'(v', J') - T''(v'', J'') + \Delta T'(v', J') \quad (1)$$

$$T(v, J) = \sum_{l, k} Y_{lk} (v + 1/2)^l [J(J + 1) - A^2]^k,$$

$$\Delta T'(v', J') = \delta \sum_{l, k} Y_{lk} (v' + 1/2)^l [J'(J' + 1) - A^2]^k \quad (2)$$

(2) 式中 Y_{lk} 是 Dunham 系数, 对 Q 支跃迁 ($\Delta J = 0$), $\delta = 0$; 对 P 支或 R 支跃迁 ($\Delta J = \pm 1$), $\delta = 1$. 从(1)式可计算出 514.5 nm 激光线引起 NaK 分子共振吸收跃迁上、下能级的振、转量子数为: 1) $X^1\Sigma^+(v'' = 5, J'' = 67) \rightarrow D^1\Pi(v' = 1, J' = 67)$, 2) $X^1\Sigma^+(v'' = 4, J'' = 95)$

$\rightarrow D^1\Pi (v' = 1, J' = 95), 3) X^1\Sigma^+ (v'' = 4, J'' = 122) \rightarrow D^1\Pi (v' = 3, J' = 122)$. 因此, 从 $D^1\Pi (1, 67)$, $D^1\Pi (1, 95)$ 和 $D^1\Pi (3, 122)$ 三个能级向 $X^1\Sigma^+$ 能级跃迁将产生图 2 所示 (490 ~ 570 nm 谱区) 的三组 $D^1\Pi \rightarrow X^1\Sigma^+ Q$ 支谱带序列. 第一组较强的 $D^1\Pi (v' = 1, J' = 67) \rightarrow X^1\Sigma^+ (v'' = 0 \sim 19, J'' = 67) Q$ 支跃迁谱, 第二组次强的 $D^1\Pi (v' = 1, J' = 95) \rightarrow X^1\Sigma^+ (v'' = 0 \sim 19, J'' = 95) Q$ 支跃迁谱; 第三组较弱的 $D^1\Pi (v' = 3, J' = 122) \rightarrow X^1\Sigma^+ (v'' = 8 \sim 23, J'' = 122) Q$ 支跃迁谱. 为了便于看谱, 图 2 中还给出 525 ~ 555 nm 范围慢扫描的标识谱, 可以看出 Q(67), Q(95) 和 Q(122) 三个谱支序列, 各谱支序列中相邻的荧光谱线间隔 $\Delta G''$ 都约为 120 cm^{-1} , 与 NaK 分子基态 $X^1\Pi$ 相邻的振动能级间隔一致^[21].

经分析可知, K_2 分子对 514.5 nm 线几乎不吸收, 观测不到 K_2 分子荧光带^[22]. 514.5 nm 线虽能激发出 Na_2 荧光, 但只要选择适当比例的钾和钠 (本实验用掺杂 Na 仅 2% 的金属钾), 可使 NaK 分子饱和蒸气压和密度是 Na_2 分子的两个量级以上, 就能抑制 Na_2 分子荧光的出现^[6]. 为了进一步说明, 作者用 Na_2 分子 $X^1\Sigma_g^+$ 、 $B^1\Pi_u$ 态分子常数^[21] 计算出 514.5 nm 线激发 Na_2 产生的 $B^1\Pi_u \rightarrow X^1\Sigma_g^+$ 跃迁^[23] 的谱线位置, 各谱支序列相邻的谱线间隔 $\Delta G''$ 约 150 cm^{-1} ^[21]. 但在本实验中均观察不到, 仅观测到的 53 根荧光波长测量值 λ_{obs} 与计算出的 NaK 分子三组 Q 支序列波长值 λ_{cal} 符合得相当好 (见表 1), 说明本实验消除了 Na_2 分子荧光的影响, 获得的仅是 NaK 分子 $D^1\Pi \rightarrow X^1\Sigma^+$ 跃迁谱, 同时也说明作者对激发跃迁振、转量子数的赋值是合理的.

Table 1 The calculated and observed wavelengths and observed intensities of $D^1\Pi \rightarrow X^1\Sigma^+ Q$ -branch transitions of NaK induced by 514.5 nm of Ar^+ laser

(a) $D^1\Pi (V' = 1, J' = 67) \rightarrow X^1\Sigma^+ (v'', J'' = 67)$ $X^1\Sigma^+ (v'' = 5, J'' = 67) \rightarrow D^1\Pi (V' = 1, J' = 67)$					(b) $D^1\Pi (V' = 1, J' = 95) \rightarrow X^1\Sigma^+ (v'', J'' = 95)$ $X^1\Sigma^+ (v'' = 4, J'' = 95) \rightarrow D^1\Pi (V' = 1, J' = 95)$					(c) $D^1\Pi (V' = 3, J' = 122) \rightarrow X^1\Sigma^+ (v'', J'' = 122)$ $X^1\Sigma^+ (v'' = 4, J'' = 122) \rightarrow D^1\Pi (V' = 3, J' = 122)$				
v''	λ_{cal} (nm)	λ_{obs} (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	I_{obs} (a. u.)	v''	λ_{cal} (nm)	λ_{obs} (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	I_{obs} (a. u.)	v''	λ_{cal} (nm)	λ_{obs} (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	I_{obs} (a. u.)
0	499.303	499.31	-0.007	7	0	502.453	502.46	-0.007	8.2	0	502.774			
1	502.337	502.36	-0.023	10.6	1	505.470	505.46	0.010	10.5	1	505.721			
2	505.382	505.36	0.022	29.5	2	508.497	508.49	0.007	23	2	508.674			
3	508.438	508.39	0.048	77.8	3	511.532	511.44	0.092	163.1	3	511.634			
4	511.503	511.44	0.063	163.1	4	514.576	514.54	0.036	*	4	514.599			
5	514.579	514.54	0.039	*	5	517.627	517.53	0.097	13	5	517.569			
6	517.663	517.61	0.053	188.5	6	520.685	520.59	0.095	16	6	520.543			
7	520.755	520.70	0.055	122	7	523.750	523.72	0.030	13	7	523.520			
8	523.856	523.89	-0.034	45.2	8	526.820	526.76	0.060	12	8	526.499	526.48	0.019	20
9	526.963	526.89	0.073	32	9	529.895	529.85	0.045	32	9	529.479			
10	530.077	529.98	0.097	101.2	10	532.974	532.89	0.084	75.5	10	532.460	532.41	0.050	19
11	533.196	533.12	0.076	176.9	11	536.056	536.01	0.046	123.2	11	535.440	535.45	-0.010	26
12	536.320	536.32	0.000	199	12	539.140	539.08	0.060	136.8	12	538.418	538.45	-0.042	22.5
13	539.448	539.38	0.068	182	13	542.225	542.15	0.075	110.5	13	541.393	541.31	0.083	16.8
14	542.579	542.57	0.009	121.1	14	545.310	545.28	0.030	77	14	544.364	544.29	0.074	16.8
15	545.712	545.68	0.032	70.2	15	548.354	548.43	-0.036	44.5	15	547.330	547.32	0.010	18
16	548.845	548.80	0.045	40	16	551.476	551.45	0.026	23.3	16	550.289	550.22	0.069	27
17	551.979	551.96	0.019	17	17	554.555	554.48	0.075	12	17	553.240	553.26	-0.020	28
18	555.112	555.10	0.012	9.5	18	557.629	557.54	0.089	7	18	556.181	556.13	0.051	22.5
19	558.242	558.26	-0.018	7.5	19	560.698	560.59	0.108	5	19	559.111	559.06	0.051	15
										20	562.028	561.98	0.048	9.2
										21	564.930	564.89	0.040	6
										22	567.817			
										23	570.684			

Note: * is laser line position. The missing observed intensities are due to too weak or covered by other stronger LIF lines.

表 2 给出了对表 1 中波长测量值 λ_{obs} 进行最小二乘法拟合获得的 $X^1\Sigma^+$ 态振动常数. 拟合出的数值与文献已报道相比较, 结果是令人满意的, 尤其与 Ross 等人^[8]用高分辨傅里叶变换光谱仪对 1758 条荧光拟合出的数值符合得较好. 存在一定的误差与本实验波长测量精度、拟合谱线数目有限(仅 53 条)以及略去转动项作用等因素有关忽略转动畸变项作用是造成本文拟合的 w_e^+ 值比文献报道值偏大的主要原因.

Table 2 The fitting constants of $X^1\Sigma^+$ state of NaK comparing with the other works (in cm^{-1})

	This work	Ref[11]	Ref[8]	Ref[2]
w_e^+	124.3525	124.02927	124.0124444	124.134
$w_e^+x_e^+$	0.4202147	0.49628547	0.4894474	0.511
$w_e^+y_e^+$	-5.189495E-3	-6.6703877E-4	-1.800291E-3	-7.9E-5
$w_e^+z_e^+$	8.81179E-5	2.5693217E-5	8.495773E-5	2.47E-7

对图 3 分析可知, 各谱支荧光随泵浦功率变化是斜率接近 1 的线性关系, 证实 514.5 nm 线激发 NaK 分子产生的 $D^1\Pi \rightarrow X^1\Sigma^+$ 跃迁是单光子过程, 而不可能来自其它非线性过程. 图 4 获得的荧光强度随热管炉温度变化规律, 说明在给定的缓冲气压下有一能使荧光强度最大的最佳工作温度. 本实验得到: $P_{Ar} = 1.6 \text{ kPa}$ 时, $T_{opt} = 586 \text{ K}$, NaK 分子密度为 $6.7 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$. 温度继续升高时, 各种竞争过程(如: Na_2 对 514.5 nm 光吸收增大, NaK 分子 $D^1\Pi$ 态碰撞猝灭效应显著增大^[7]等)最终导致高温区荧光强度的急剧下降. 缓冲气压升高, Q 支荧光强度呈双曲下降趋势而三重态荧光强度(665 nm 峰位)不断增大(见图 5), 可见 Ar 缓冲气体对单重态荧光有显著的碰撞猝灭作用, 对三重态荧光具有碰撞增强效应, 这实际上反映了两种跃迁来自不同的布居机制. 另外, 实验在测量 490~570 nm 谱区分子荧光带随泵浦光强度、热管温度、缓冲气压变化过程中, 均未观察到新的荧光出现, 只观测到三个 Q 支谱带序列谱线强度的变化, 但各谱线间的位置和相对强度变化基本不变, 进一步证实 NaK 分子激发态 $D^1\Pi$ 主要来自 514.5 nm 单光子激发布居, 而其它原子、分子间碰撞能量转移布居的贡献相对是非常小的.

610~710 nm 谱区较弱的连续谱属于 $d^3\Pi \rightarrow a^3\Sigma^+$ 跃迁, 这个令人感兴趣的束缚 \rightarrow 自由跃迁三重态荧光有可能成为可调谐的激光振荡输出, 主要来源于 $D^1\Pi$ 态与 $d^3\Pi$ 态间强烈微扰以及碰撞诱导转移^[24].

4 光谱强度计算

分子从初态跃迁到末态自发发射的光谱强度为^[25]:

$$I_{\nu' \nu''} \propto \gamma^4 \left| \int \varphi_{\nu'}^* R_e(r) \varphi_{\nu''} dr \right|^2 \quad (3)$$

式中 γ 和 $R_e(r)$ 分别为跃迁频率和电子跃迁偶极矩. $\varphi_{\nu'}$, $\varphi_{\nu''}$ 为初态、末态振动波函数. 在 Born-Oppenheimer 近似下(也称 Condon 近似), 上、下态电子波函数近似是核间距 r 的缓变函数, $R_e(r)$ 可认为是一平均常数 \bar{R}_e . 提出积分号外, 则(3)式可写为:

$$I_{\nu' \nu''} \propto \nu^4 \bar{R}_e^2 q_{\nu' \nu''} \quad (4)$$

$$q_{\nu' \nu''} = \left| \int \varphi_{\nu'}^* \varphi_{\nu''} dr \right|^2 \quad (5)$$

\bar{R}_e 是电子跃迁偶极矩平均值. $q_{v',v''}$ 是跃迁的 Franck-Condon 因子, 它是上、下能级振动波函数 $\varphi_{v'}$, $\varphi_{v''}$ 的重叠积分, 表征处于 v' 振动能级分子向 v'' 振动电子态跃迁几率. 因此荧光谱线的强度与 Franck-Condon 因子成正比.

作者用文献[8,10]给出的分子常数计算 NaK 分子 $D^1\Pi$ 态和 $X^1\Sigma^+$ 态的 Morse 势 $V(r)$, 上、下能态的振动波函数可用数值方法^[26]求解径向薛定谔方程得出.

$$\left\{ \frac{d^2}{dr^2} + \frac{2\mu}{\hbar} \left[E - V(r) - \frac{J(J+1)}{r^2} \right] \right\} \varphi_v(r) = 0 \quad (6)$$

求出振动波函数 $\varphi_v(r)$ 后代入(5)式, 用 Simpson 积分法求出了 Franck-Condon 因子. 将 F-C 因子代入(4)式就能得到荧光谱线的相对强度 $I_{v',v''}$. 图 7(a), (b) 分别给出了 NaK 分子 $D^1\Pi(v' = 1, J' = 67) \rightarrow X^1\Sigma^+(v'' = 0 \sim 19, J'' = 67) Q$ 支跃迁和 $D^1\Pi(v' = 3, J' = 122) \rightarrow X^1\Sigma^+(v'' = 5 \sim 23, J'' = 122) Q$ 支跃迁的计算强度(Cal. 1)及相应的激光感生荧光光谱测量强度(Obs.), 强度归一化分别取在 $v'' = 12$ 和 $v'' = 17$ 位置, $D^1\Pi(1,95) \rightarrow X^1\Sigma^+(v'',95) Q$ 支跃迁的强度分布与图 7(a)相似, 不再列举

从图 7 可以看到, 随着 v'' 增加(也就是核间距 r 增大), Condon 近似下的强度计算值(cal. 1)与实验测量值 obs. 偏差增大. 这主要是由于 NaK 分子 $D^1\Pi$ 态受到附近离子态(K^+ 和 Na^- 或 K^- 和 Na^+)的影响引起电子跃迁偶极矩 $R_e(r)$ 增加^[3], 认为 $R_e(r)$ 为一平均值 \bar{R}_e 的 Condon 近似计算会出现较大的误差, 必须考虑 $R_e(r)$ 随核间距的变化. 作者采用 Ratcliff 等人^[16]理论计算的 NaK 分子 $D^1\Pi \rightarrow X^1\Sigma^+$ 跃迁偶极 $R_e(r)$, 对强度重新进行计算, 此时理论计算值(cal. 2.)与实验测量值(obs.)符合的相当好. 以上分析表明 NaK 分子 $D^1\Pi \rightarrow X^1\Sigma^+$ 跃迁偶极矩 $R_e(r)$ 随核间距有明显的变化, 同时也证明了本文对 NaK 分子激光感生荧光光谱振、转量子数的赋值是正确的.

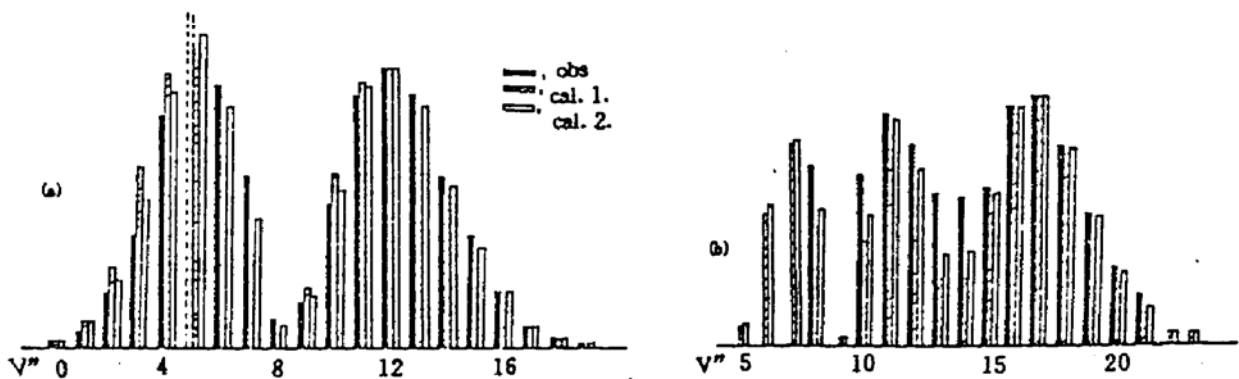


Fig. 7 Comparison between calculated and observed intensities of $D^1\Pi \rightarrow X^1\Sigma^+$ Q-branch transition of NaK

(a) $D^1\Pi(v' = 1, J' = 67) \rightarrow X^1\Sigma^+(v'' = 0 \sim 19, J'' = 67)$. Intensity is normalized to 1 for $v'' = 12$

(b) $D^1\Pi(v' = 3, J' = 122) \rightarrow X^1\Sigma^+(v'' = 5 \sim 23, J'' = 122)$. Intensity is normalized to 1 for $v'' = 17$

本文结果对研究碱金属二聚物激光介质如何选择最佳工作参数, 以及对 NaK 分子 $X^1\Sigma^+$ 态、 $D^1\Pi$ 态能级信息和激光感生荧光光谱跃迁机制的研究都是非常有意义的.

参 考 文 献

- [1] F. W. Loomis, M. J. Arvin, The band spectrum of NaK. *Phys. Rev.*, 1934, **46**(1): 286~291
- [2] M. Allegrini, L. Moi, E. Arimondo, Investigation of $C^1\Pi$ state in NaK by laser excitation and collision-induced dissociation. *Chem. Phys. Lett.*, 1977, **45**(2): 245~249
- [3] E. J. Breford, F. Engelke, Laser-induced molecular fluorescence in supersonic nozzle beams: application to NaK $D^1\Pi \rightarrow X^1\Sigma^+$ and $D^1\Pi \rightarrow a^3\Sigma^+$ system. *Chem. Phys. Lett.*, 1978, **53**(2): 282~286
- [4] E. J. Breford, F. Engelke, The $a^3\Sigma$ state of NaK. high resolution spectroscopy of NaK using laser-induced fluorescence. *J. Chem. Phys.*, 1979, **71**(5): 1994~2004
- [5] D. Eisel, D. Zevgolis, W. Demtröder, Sub-Doppler laser spectroscopy of NaK. *J. Chem. Phys.*, 1979, **71**(5): 2005~2011
- [6] J. Pfaff, M. Stock, D. Zevgolis, Transition dipole moment of NaK and its dependence upon internuclear distance. *Chem. Phys. Lett.*, 1979, **65**(2): 310~315
- [7] H. Katô, C. Noda, Laser-induced fluorescence of NaK and the dissociated atoms. *J. Chem. Phys.*, 1980, **73**(10): 4940~4945
- [8] A. J. Ross, C. Effantin, J. d' Incan *et al.*, Long-range potential for $X^1\Sigma^+$ and $a^3\Sigma^+$ states of NaK. *Mol. Phys.*, 1985, **56**(4): 903~912
- [9] P. Kowalczyk, High resolution laser spectroscopy of $c^3\Sigma^+ \leftarrow X^1\Sigma^+$ and $b^3\Sigma \leftarrow X^1\Sigma^+$ forbidden transitions in NaK. *J. Chem. Phys.*, 1989, **91**(5): 2779~2789
- [10] M. M. Hessel, S. G. Gotton, *33rd Symposium on Molecular Spectroscopy*. Columbus, Ohio, 1978
- [11] R. F. Wormsbecher, M. M. Hessel, F. J. Lovas, Microwave optical double resonance of $X^1\Sigma^+$ state of NaK. *J. Chem. Phys.*, 1981, **74**(12): 6983~6985
- [12] J. Huennekens, A. Loza, M. Masters, Near-infrared bound-free emission from NaK. *J. Chem. Phys.*, 1988, **88**(10): 6013~6021
- [13] B. K. Clark, W. T. Luh, J. Huennekens, NaK $2^1\Sigma^+ \rightarrow 1^1\Sigma^+$ band optically pumped laser near 1.02 μ . *Appl. Phys.*, 1989, **B49**(): 155~161
- [14] R. Janoschek, H. U. Lee, Ab initio pseudopotential energy curves for NaK. *Chem. Phys. Lett.*, 1978, **58**(1): 47~52
- [15] W. J. Stevens, D. D. Konowalow, L. B. Ratcliff, Electronic structure and spectra of lowest five $^1\Sigma^+$ and $^3\Sigma^+$ states, and lowest three $^1\Pi$, $^3\Pi$, $^1\Delta$, and $^3\Delta$ states of NaK. *J. Chem. Phys.*, 1984, **80**(3): 1215~1224
- [16] L. B. Ratcliff, D. D. Konowalow, Electronic transition dipole moment functions for NaK. *J. Mol. Spectrosc.*, 1985, **110**: 242~255
- [17] P. Kowalczyk, Perturbation facilitated observation of $d^3\Pi$ state in NaK. *J. Mol. Spectrosc.*, 1989, **136**(1): 1~11
- [18] R. J. LeRoy, W. J. Keogh, M. S. Child, An inversion procedure for oscillatory continuum spectra: method and application to NaK. *J. Chem. Phys.*, 1988, **89**(8): 4564~4578
- [19] A. N. Nesmeyanov, *Vapor Pressure of the Chemical Elements*. Elsevier, New York, 1963: 423
- [20] S. Gozzini, S. A. Abdullah, M. Allegrini *et al.*, Heteronuclear energy pooling collisions: the Na(3P)+K(4P) reaction. *Opt. Commun.*, 1987, **63**(2): 97~102
- [21] K. P. Huberg, G. Herzberg, *Molecular Spectra and Molecular Structure. IV. Constants of Diatomic Molecules*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1979: 354: 432: 442
- [22] Ya. P. Klyavinsh, M. L. Yanson, Population processes of certain atomic and molecular states in laser-excited potassium vapor. *Opt. Spectrosc.*, 1982, **52**(4): 376
- [23] W. Demtröder, M. Stock, Molecular constants and potential curves of Na_2 from laser-induced fluorescence. *J. Mol. Spectrosc.*, 1975, **55**(): 476~486
- [24] 黄志伟, 陈金铠, 激光诱导荧光光谱法研究 NaK 分子 $d^3\Pi$ 态布居的机制. *量子电子学*, 1993, **10**(2): 135~138
- [25] R. N. Zare, Calculation of intensity distribution in the vibrational structure of electronic transitions. *J. Chem. Phys.*, 1964, **40**(7): 1934~1936
- [26] J. W. Cooley, An improved eigenvalue corrector formula for solving the Schrödinger equation for central field. *Math. Comput.*, 1961, **15**: 363~374

Study of LIF Spectrum and Intensity of $D^1\Pi \rightarrow X^1\Sigma^+$ of $^{23}\text{Na}^{39}\text{K}$

Huang Zhiwei Chen Jinkai

(Experiment Center, Fujian Normal University, Fuzhou 350007)

(Received 26 May 1993; revised 8 December 1993)

Abstract In this paper, we have obtained LIF spectrum of $D^1\Pi \rightarrow X^1\Sigma^+$ of NaK induced by 514.5 nm of CW Ar⁺ laser, assigned the spectrum by the known molecular constants, analysed and discussed the emission mechanism of LIF in detail. The vibrational constants of $X^1\Sigma^+$ state have been provided by using the least-square fit. The calculated wavelength values are in good agreement with the measured results. We also calculate Franck-Condon factors and intensities of each Q-branch transition. The computed intensities coincide with the observed very well in considering dependence of transition dipole moment $R_e(r)$ on r . It proves that the values of vibrational and rotational quantum numbers (v, J) we have determined are reasonable.

Key words $^{23}\text{Na}^{39}\text{K}$, LIF, Franck-Condon factor.

江苏省第二届光电技术和激光医学学术 研讨会在连云港市召开

由江苏省激光与光学工程学会组织的江苏省第二届光电技术和激光医学学术研讨会于1994年7月26日至28日在连云港市召开。出席会议的有江苏省、北京、上海的高等院校、科研单位及医务界的近40个单位、共60余位代表。会议由江苏省激光与光学工程学会理事长、南京理工大学理学院院长兼应用物理系主任贺安之教授主持、连云港市科协主席王树根到会表示祝贺。

贺安之教授在会上做了2000年江苏省激光与光学工程发展规划的报告,提出要发展应用科学、以产业化为目标,加快江苏省的科研体制改革,鼓励高级技术人员直接进入产业,发挥江苏省技术基础好,人才密集的优势,以技术引进和自主开发相结合的方针。加速产业化进程。

研讨会共录用光电技术方面论文35篇,激光医学方面论文17篇,论文内容涉及到:激光理论与技术、光通信,光纤技术、全息术、光纤制备工艺、军用激光及激光医学等几个方面。其中许培英教授报告的“光通信用的光隔离器研制的新进展”一文已能提供样品使用,正向产业化方向努力。

会议期间,还分别召开了江苏省激光与光学工程学会理事会和光电专业委员会会议。

1994年江苏、山东、黑龙江、河南四省的光学、激光年会将于今年10月下旬在南京举行。