

Акцептор протона (интервал концен- траций, моль/л)	Кр, л/моль (Т, К)	Энтальпии, ккал./моль		Изменения ФК слагаемых, ккал./моль, $\pm 0.2$	
		$W_g$	$W_e$	$\Delta\omega_g$	$\Delta\omega_e$
Ацетонитрил ( $10^{-3}$ — $10^{-2}$ )	12.4 (273)	4.8	5.9	0.2	0.15
	67 (231)	$\pm 0.3$	$\pm 0.4$	—	—
ТГФ ( $4 \cdot 10^{-3}$ — $3 \cdot 10^{-2}$ )	50 (273)	5.0	6.4	0.3	0.15
	260 (231)	$\pm 0.2$	$\pm 0.3$	—	—
ДМСО ( $2 \cdot 10^{-4}$ — $2 \cdot 10^{-3}$ )	1100 (263)	6.4	8.0	0.5	0.2
	4800 (231)	$\pm 0.2$	$\pm 0.3$	—	—
ГМП ( $2 \cdot 10^{-5}$ — $4 \cdot 10^{-4}$ )	$3.2 \cdot 10^4$ (273)	7.7	9.9	0.4	0.4
	$4.2 \cdot 10^5$ (231)	$\pm 0.4$	$\pm 0.5$	—	—

классов молекул — как доноров, так и акцепторов протона, и для полос различной природы —  $\pi\pi^*$  и  $\pi\pi^*$ . Значение  $\Delta W$  обычно в несколько раз меньше, чем  $W_g$ , а последнее определяется с ошибкой  $5 \div 10\%$ . Нетрудно видеть, что значение  $15 \div 20\%$  от  $\Delta W$  обычно не превышает указанных  $5 \div 10\%$  от величины  $W_g$ , поэтому можно пренебречь слагаемыми  $\Delta w_{e(g)}$ , т. е. заменить  $\Delta W$  через  $\delta\nu_a$  или  $\delta\nu_f$  почти без увеличения погрешности значения  $W_e$ . В тех случаях, когда не удается зарегистрировать и поглощение, и флуоресценцию, для определения  $W_e$  можно использовать данные только по поглощению или только по флуоресценции.

#### Литература

- [1] A. S. N. Murthy, C. N. R. Rao. Appl. Spectr. Revs., 2, 69, 1968.
- [2] J. Jawed. Bull. Chem. Soc. Japan, 50, 2602, 1977.
- [3] J. N. Spencer, R. S. Harnner, C. D. Penturelli. J. Phys. Chem., 79, 2488, 1975.
- [4] M. Remko. Adv. Molec. Relax. Proc., 14, 37, 1979.
- [5] M. D. Josten, R. S. Drago. J. Am. Chem. Soc., 84, 2696, 1962.
- [6] Т. Г. Мейстер, Г. Я. Зеликина, В. П. Клиндухов. Опт. и спектр., 36, 668, 1974.
- [7] И. С. Перелыгин, А. М. Афанасьев. Ж. прикл. спектр., 30, 676, 1979.
- [8] Ф. Россотти, Х. Россотти. Определение констант неустойчивости и других констант равновесия в растворах. «Мир», М., 1965, с. 324.
- [9] G. Nemethy, A. Ray. J. Phys. Chem., 77, 64, 1973.
- [10] В. П. Клиндухов, Т. Г. Мейстер. В сб.: Молекулярная спектроскопия, вып. 4, с. 12. Изд. ЛГУ, 1977.
- [11] Т. Г. Мейстер, В. П. Клиндухов. Adv. Molec. Relax. Proc., 13, 107, 1978.

Поступило в Редакцию 22 мая 1980 г.

УДК 621.373 : 535

## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ИЗЛУЧЕНИЯ НЕОДИМОВОГО ЛАЗЕРА В ВИДИМУЮ ОБЛАСТЬ СПЕКТРА В ПАРАХ РУБИДИЯ

В. Г. Архипкин, Н. П. Макаров, А. К. Попов,  
В. П. Тимофеев и В. Ш. Эпитейн

В работах [1, 2] сообщалось о преобразовании частоты излучения неодимового лазера на гранате с  $\lambda=1.06$  мкм в синюю область спектра 420 нм с коэффициентом преобразования (КП) по мощности  $\eta_p \approx 10^{-6}\%$  на основе резонансного четырехфотонного параметрического процесса  $\nu_s=2\nu_1 - \nu_3$

в парах рубидия. Здесь  $\nu_1, \nu_3, \nu_s$  — частоты накачки, преобразуемого и генерируемого излучений соответственно. В качестве лазера накачки использовался многомодовый лазер на красителе родамин Б с  $\lambda=604$  нм, частота излучения которого настраивалась поочередно в двухфотонные резонансы с переходами  $5s-15d$  и  $5s-16d$ . Излучение неодимового лазера было также многомодовым, что и объясняло столь низкий экспериментальный КП. Было замечено также, что существует возможность резкого увеличения КП путем использования гауссовских полей накачки и преобразуемого излучения.

В данной работе сообщается о доведении данного КП до уровня порядка 0.1%, что стало возможным благодаря усовершенствованию экспериментальной установки (см. рисунок). Измерения проводились только для случая использования двухфотонного резонанса частоты излучения накачки с переходом  $5s-16d$ . В данном эксперименте частота излучения одномо-

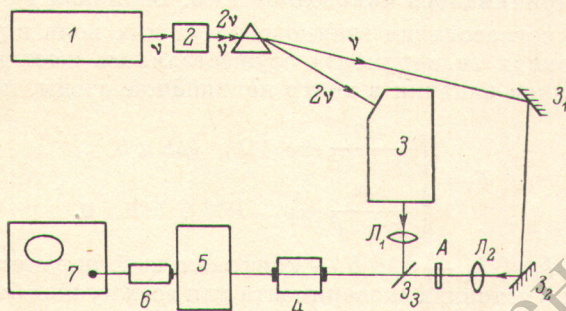


Схема экспериментальной установки по преобразованию излучения  $\lambda=1.06$  мкм в парах рубидия.

1 — ЛТИПЧ-8, 2 —  $\text{LiNbO}_3$ , 3 — лазер на красителе, 4 — кювета с парами Rb, 5 — монохроматор SPM-2, 6 — ФЭУ, 7 — осциллограф С1-75.

вого ( $\text{TEM}_{00}$ ) неодимового лазера на гранате удваивалась в кристалле ниобата лития и отделялась от второй гармоники с помощью дисперсионной призмы. Излучение на удвоенной частоте использовалось для накачки лазера на красителе родамин Б, генерирующего также в одномодовом режиме на длине волны 604 нм с шириной спектра  $\approx 1-2$   $\text{см}^{-1}$  и выходной мощностью 10 кВт. В кювете с парами рубидия, активная длина которых составляла 4 см, первая гармоника смешивалась с излучением лазера на красителе с помощью зеркала  $Z_3$ . Коэффициент пропускания зеркала на длине волны 604 нм составлял 0.1%, а на длине волны 1.06 мкм  $\approx 64\%$ . Фокусирующие системы  $L_1$  и  $L_2$  служили для согласования волновых фронтов взаимодействующих пучков. С помощью калиброванных ослабителей  $A$  мощность преобразуемого излучения могла изменяться. Генерируемое излучение с  $\lambda=420$  нм выделялось монохроматором SPM-2 и регистрировалось ФЭУ и осциллографом С1-75. Экспериментальные значения КП при мощности преобразуемого излучения 700 Вт составили 0.1%.

Полученная экспериментальная зависимость относительной амплитуды сигнала генерации от концентрации паров рубидия в основном идентична данным работ [1, 2], и максимальный сигнал имел место при  $N=5 \cdot 10^{16}$   $\text{см}^{-3}$ , что соответствует давлению  $P=2.2$  тора и температуре 325° С.

Согласно [3], для гауссовских полей накачки КП по мощности можно представить в следующем виде

$$\eta_p = \frac{W_s}{W_3} = \nu_3 \nu_s F_2 \left| \frac{16\pi^3}{c} N W_1 \nu_1 \right|^2 \langle |\langle \chi^{(3)} \rangle_\nu|^2 \rangle_\delta. \quad (1)$$

Это выражение записано в системе СГСЭ, но частоты  $\nu_j$  даны в обратных сантиметрах. Здесь  $W_j$  — мощность излучения на частоте  $\nu_j$ ,  $N$  — концентрация атомов рубидия,  $\langle |\langle \chi^{(3)} \rangle_\nu|^2 \rangle_\delta$  — усредненный по спектру квадрат модуля от усредненной по скоростям движущихся атомов кубической

восприимчивости. Поскольку в данном случае выполняется условие двухфотонного резонанса и доплеровское уширение линии двухфотонного перехода преобладает над ударным, выражение для нелинейной восприимчивости в приближении независимых мод приобретает вид

$$\langle |\langle \chi^{(3)} \rangle_v|^2 \rangle_\delta = \frac{8 + \pi \sqrt{2\pi}}{2k_1 \bar{v} \delta^4 \sqrt{\pi}} \left| (2\pi \text{ch})^{-3} \sum_{m, l} \frac{d_{gm} d_{mn} d_{nl} d_{lg}}{(\nu_{mg} - \nu_l)(\nu_{lg} - \nu_s)} \right|^2, \quad (2)$$

где  $\delta$  — спектральная ширина линии излучения,  $2k_1 \bar{v}$  — доплеровская ширина линии двухфотонного перехода,  $k_j$  — модуль волнового вектора на частоте  $\nu_j$ ,  $\bar{v}$  — наивероятнейшая скорость движения атомов нелинейной среды,  $d_{ij}$  — проекции дипольных моментов переходов  $ij$  на направление соответствующих полей. При расчете (2) распределение по скоростям движения атомов принималось максвелловским. Величина  $F_2$  отвечает за условия фазового согласования взаимодействующих волн в условиях фокусировки. В условиях эксперимента осуществлялась жесткая фокусировка гауссовских пучков накачки в центр нелинейной среды, поэтому

$$F_2 = \begin{cases} \frac{4\pi^2}{(\alpha + 1)^2} \exp(b\Delta k), & b\Delta k \leq 0, \\ \frac{4\pi^2}{(\alpha + 1)^2} \exp(-ab\Delta k), & b\Delta k \geq 0. \end{cases} \quad (3)$$

Здесь  $\alpha = (2k_1 + k_3)/(2k_1 - k_3)$ ;  $b$  — конфокальный параметр гауссовского пучка, который в условиях эксперимента для всех пучков был одинаковым;  $\Delta k = k_s - (2k_1 - k_3)$  есть модуль вектора фазового рассогласования. Величина  $F_2$  принимает следующее максимальное значение:

$$F_{2 \max} = \frac{4\pi^2}{(\alpha + 1)^2} \text{ при } b\Delta k = 0. \quad (4)$$

Экспериментальное значение  $\alpha = 1.79$ , а знак  $\Delta k$  был отрицательным. Поэтому максимальное значение КП в (1) получается не при максимальных  $N_1$  и  $F_2$ , а при таких, которые вычисляются из максимизации величины произведения  $N^2 F_2$ . Из этой максимизации следует, что КП максимален при  $\Delta kb = -2$ , когда  $F_2(\Delta kb = -2) = 0.686$ . Расчет нелинейной восприимчивости по формуле (2) для экспериментальной ситуации дает величину порядка  $[\langle |\langle \chi^{(3)} \rangle_v|^2 \rangle_\delta]^{1/2} = 1.5 \cdot 10^{-29}$ . Из всего сказанного следует, что теоретическое значение КП, рассчитанное по формуле (1) для данных экспериментальных условий, равно  $\eta_p = 0.7\%$  и выше экспериментального. Это можно объяснить как погрешностью измерений, так и сделанными теоретическими приближениями.

#### Литература

- [1] В. Г. Архипкин, А. К. Попов, В. П. Тимофеев. Письма ЖТФ, 4, 183, 1978.
- [2] V. G. Arkhipkin, A. K. Popov, V. P. Timofeev. Opt. Commun., 25, 114, 1978.
- [3] В. П. Тимофеев. Автореф. канд. дисс., Красноярск, 1978.
- [4] E. A. Starraerts. Infrared image up-conversion in alkali metal vapors. G. L. Report № 2569. Stanford Univ., Stanford, California, 1976.

Поступило в Редакцию 9 июня 1980 г.