

Экспериментальные данные степени деполаризации  $\rho$  линий ВКР пиридина

Вещество	Концентрация	$\rho_{\nu_0}$	$\rho_{\nu_1}$	$\rho_{\nu_{1A}}$	$\rho_{\nu_2}$	Общее
Пиридин	100%	0.14	0.17	—	0.20	0.19
Пиридин—уксусная кислота	3 : 2	0.18	0.22	0.21	0.20	0.25
Пиридин—муравьиная кислота	2 : 2	0.26	0.22	0.25	0.25	0.31

Концентрация растворов взята в виде отношения числа молекул пиридина к числу молекул растворителя. Она подбиралась таким образом, чтобы линии ассоциатов молекул пиридина с частотой  $\nu_{1A}$  и линия мономерных молекул с частотой  $\nu_1$  были в спектре приблизительно одинаковой интенсивности. Это облегчало измерение их степени деполаризации. Степень деполаризации измерялась с точностью  $\pm 0.01$ .

В этой же таблице приведена для сравнения степень деполаризации суммарного излучения ВКР пиридина ( $\rho_{\text{общее}}$ ), измеренная без спектрографа с помощью термобатарей. Видно, что степень деполаризации отдельных линий, измеренная фотографическим методом, соответствует степени деполаризации суммарного излучения, полученной с помощью термобатарей. Такое соответствие служит определенной гарантией надежности полученных результатов.

Полученные данные показывают, что линии ВКР пиридина имеют заметную деполаризацию по сравнению с излучением гигантского импульса рубинового лазера. В растворах степень деполаризации линий ВКР несколько возрастает по сравнению с чистым пиридином. Однако излучения одиночных молекул (линия с частотой  $\nu_1$ ) и ассоциированных ( $\nu_{1A}$ ) имеют практически одинаковые степени деполаризации. Это дает возможность заключить, что межмолекулярное взаимодействие непосредственно не оказывает заметного влияния на степень деполаризации линий ВКР пиридина.

Обращает на себя внимание тот факт, что степени деполаризации возбуждающей линии и линий ВКР имеют близкие значения. По-видимому, их деполаризация вызвана каким-то общим процессом.

Не исключено, что наблюдаемая деполаризация спектра пиридина обусловлена в какой-то мере явлением самофокусировки лазерного излучения. Как было установлено ранее, в нитях самофокусировки сероуглерода [7] и бромбензола [8] за счет волноводных эффектов наблюдается заметная деполаризация света. Количественные измерения для сероуглерода [7] дали значение деполаризации света, равное 10%. Степень деполаризации линий ВКР пиридина, измеренная в настоящей работе, оказалась несколько большей. Возможно, что, кроме самофокусировки, на деполаризацию линий ВКР оказывают влияние и другие процессы.

Литература

- [1] M. Geller, D. P. Bortfeld, W. R. Sooy. Appl. Phys. Lett., 3, 36, 1963.
- [2] B. P. Stoicheff. Phys. Lett., 7, 186, 1963.
- [3] W. Kaiser, M. Maier, J. A. Giordmaine. Appl. Phys. Lett., 6, 25, 1965.
- [4] Н. И. Кондиленко, П. А. Коротков, В. И. Малыш. Опт. и спектр., 31, 909, 1971.
- [5] Н. И. Резаев, М. Б. Табиби. Ж. прикл. спектр., 21, 680, 1974.
- [6] Н. И. Резаев, М. Б. Табиби. Опт. и спектр., 38, 861, 1975.
- [7] E. Garmire, R. Y. Chiao, C. H. Townes. Phys. Rev. Lett., 16, 347, 1966.
- [8] P. Lallemand, N. Bloembergen. Phys. Rev. Lett., 15, 1010, 1965.

Поступило в Редакцию 20 июля 1977 г.

УДК 539.184 : 546.291

О ДОЛГОЖИВУЩИХ СОСТОЯНИЯХ В ГЕЛИИ

С. А. Багаев, О. В. Огинец, В. Б. Смирнов и Ю. А. Толмачев

В работах [1, 2] нами изучены экспериментальные кривые распада заселенностей возбужденных состояний He I с  $n=5$ , полученные методом многоканального временного анализа. Разложение кривых распада на экспоненциальные составляющие про-



водилось с помощью ЭВМ. На основании анализа зависимости от давления эффективных вероятностей распада показано, что при столкновениях нормальных атомов He I с возбужденными атомами в состояниях 5F и 5G



образуется единое «смешанное» состояние. Величина сечения этой реакции  $\sigma(5F-5G) \sim 10^{-13} \text{ см}^2$ , поэтому вероятность переноса энергии возбуждения между уровнями 5F и 5G уже при давлениях  $p \sim 10$  мтор становится больше вероятности спонтанного излучения с этих уровней. В излучении и при неупругих столкновениях с передачей энергии возбуждения на другие уровни смешанное 5FG-состояние проявляется как единый уровень с  $\gamma' \approx 5.5 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ . Кроме того, в распаде 5FG-состояния и состояний, связанных с ним переносом энергии возбуждения, присутствует компонента с вероятностью  $\gamma''$ , соответствующая процессу установления квазиравновесной заселенности между состояниями 5F и 5G. С ростом давления величина вероятности  $\gamma''$  быстро увеличивается, а относительный вклад ее в суммарный распад заселенности уровней уменьшается, поэтому при давлениях  $p > 100$  мтор эту компоненту трудно наблюдать в эксперименте.

Прямое наблюдение излучения со смешанного 5FG-состояния связано с экспери-

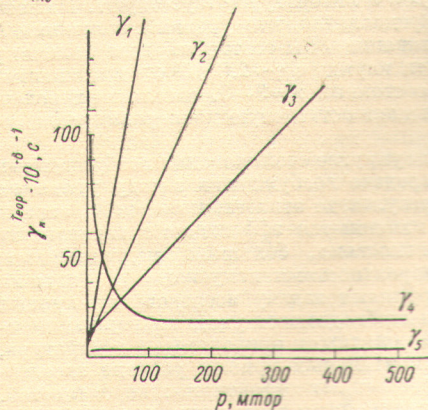


Рис. 1. Зависимость от давления эффективных вероятностей распада заселенности синглетных уровней He I с  $n=6$ .

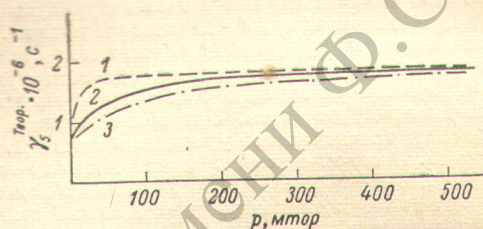


Рис. 2. Зависимость от давления эффективной вероятности распада заселенности смешанного 6FGH-состояния.

- 1 —  $\sigma(6F-6G) = 1000 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ ,  $\sigma(6G-6H) = 1000 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ ,  $\sigma(6^1D_2-6F) = 500 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ ,  
 2 —  $\sigma(6F-6G) = 100 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ ,  $\sigma(6G-6H) = 400 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ ,  $\sigma(6^1D_2-6F) = 500 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ ,  
 3 —  $\sigma(6F-6G) = 50 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ ,  $\sigma(6G-6H) = 50 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ ,  $\sigma(6^1D_2-6F) = 500 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ .

ментальными трудностями, так как соответствующие переходы лежат в инфракрасной области спектра. Однако участие этого состояния в столкновительных процессах переноса возбуждения дает возможность измерить его эффективную вероятность излучения, наблюдая переходы с других уровней с тем же главным квантовым числом. Нами показано [2] наличие обеих компонент  $\gamma'$  и  $\gamma''$  в распаде заселенности  $5^1P_1$ ,  $1^1D_2$ ,  $3^1D$ -уровней. Энергия возбуждения передается на них из 5FG-состояния в результате неупругих столкновений с нормальными атомами гелия. Кроме того, компоненты  $\gamma'$  и  $\gamma''$  должны проявляться в каскадных переходах на уровни  $3^1D$  и  $4^1, 3^1D$ . Анализ полученных нами кривых распада заселенности с  $n=6$  показал наличие составляющих  $\gamma'$  и  $\gamma''$  со значительным вкладом. Более отчетливо они проявляются в распаде триплетных состояний, так как сечения электронного возбуждения триплетных состояний при наших условиях возбуждения ( $E=38 \text{ эВ}$ ) меньше, чем сечения возбуждения синглетных [3].

Естественно предположить, что образование смешанного состояния 5FG не является особенностью переноса энергии возбуждения только между уровнями с  $n=5$ . С ростом главного квантового числа в процессах передачи энергии возбуждения при столкновениях могут участвовать состояния с большими  $L$ . Это должно привести, с одной стороны, к увеличению числа компонент в кривых распада заселенности возбужденных состояний, а с другой — к установлению квазиравновесной заселенности между отдельными парами или группами уровней. Подчеркнем, что эти уровни начиная с определенных давлений должны проявляться в излучении и столкновениях как единые состояния.

Исходя из этого предположения, мы провели расчет зависимости эффективных вероятностей распада заселенностей  $\gamma(p)$  для синглетных уровней с  $n=6, 7$  при различных наборах сечений передачи возбуждения. Одна из полученных зависимостей  $\gamma_k(p)^{\text{теор}}$  для  $n=6$  показана на рис. 1. Компонента  $\gamma_1^{\text{теор}}$  описывает изменение эффективной вероятности распада заселенности  $6^1P_1$ -состояния с учетом столкновений и пленения излучения. Компонента  $\gamma_3^{\text{теор}}$  соответствует  $6^1D_2$ -уровню,  $\gamma_1^{\text{теор}}$  и  $\gamma_2^{\text{теор}}$  соответствуют релаксации заселенностей между 6F-, 6G- и 6H-состояниями,  $\gamma_4^{\text{теор}}$  есть вероятность распада образовавшегося смешанного 6FGH-состояния. Обращает на себя внимание тот факт, что начиная с давления  $p \sim 10$  мтор эффективная вероятность  $\gamma_5^{\text{теор}} \sim 2.8 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$  ( $\tau_{\text{эфф.}} \sim 360 \text{ нс}$ ) практически не зависит от давления газа, ана-



логично тому как это наблюдалось в эксперименте для состояний с  $n=5$ . Уровень «насыщения» значения  $\gamma_5^{\text{теор.}}$  мало зависит от соотношения сечений передачи возбуждения между  $6F$ -,  $G$ -,  $H$ - и  ${}^1D_2$ -состояниями. При уменьшении величины сечений меняется только значение давления, при котором устанавливается насыщение (рис. 2). Нами были проанализированы экспериментальные кривые распада заселенности уровня  $6{}^1D_2$  при разных давлениях. При давлении 50 мтор, например, был получен следующий набор вероятностей:  $\gamma_1 \sim 110 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ ,  $\gamma_2 \sim 45 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ ,  $\gamma_3 \sim 22 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ ,  $\gamma_4 \sim 2.75 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ ,  $\gamma_5 \sim 1.8 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ ,  $\gamma_6 \sim 0.3 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ . Вероятности  $\gamma_5$  и  $\gamma_6$  соответствуют, по-видимому, каскадным переходам с вышележащих состояний и рекомбинационным процессам. Их вклад в суммарный распад  $\sim 5\%$ . Вероятности  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  описывают перераспределение заселенностей между уровнями с  $n=6$  в результате столкновений, а  $\gamma_4$  — величину вероятности распада смешанного  $6FGH$ -состояния. Теоретическое значение  $\gamma_5^{\text{теор.}} \sim 2.8 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$  удовлетворительно согласуется с полученным экспериментально  $\gamma_4 \sim 2.75 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ .

Аналогичные измерения выполнялись и для состояний с  $n=7$ . Расчетные вероятности радиационного испускания уровней с  $L > 3$  в литературе отсутствуют. В связи с этим мы вычислили вероятности переходов, предполагая, что уровни с большими  $L$  являются водородоподобными. Для  $n=7$  смешивание  $FGH$ -состояний дает величину вероятности  $\gamma \sim 1.8 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ . Учет этой компоненты наряду с  $\gamma \sim 2.8 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$  при анализе кривых распада заселенностей нижележащих состояний  $n=3-5$ , заселяемых вследствие каскадных переходов, существенно уменьшает остаточную дисперсию разложения.

Таким образом, уже при малых давлениях неупругие столкновения возбужденных атомов с нормальными в гелии приводят к передаче возбуждения между уровнями с одинаковым главным квантовым числом. В результате этих столкновений распады заселенностей уровней усложняются: сильно изменяются эффективные вероятности испускания; появляются компоненты с вероятностями, большими радиационных; образуются смешанные состояния с малыми вероятностями испускания и большим статистическим весом. Эти обстоятельства затрудняют задачу исследования кривых распада заселенностей уровней, в частности при необходимости учета каскадных переходов. В связи с этим представляется не совсем понятными приводимые в литературе, например [4-6], варианты разложения экспериментальных кривых распада заселенностей возбужденных уровней гелия. Помимо собственных эффективных вероятностей, авторы дают набор значений  $\gamma_k$ , близких к радиационным значениям вышележащих  $F$ -состояний. Пренебрежение ролью состояний с  $L > 3$  в процессах переноса энергии возбуждения должно приводить к большим погрешностям при количественных расчетах.

#### Литература

- [1] Г. С. Кватер, О. В. Огинец, В. Б. Смирнов, Ю. А. Толмачёв, С. А. Багаев. *Опт. и спектр.*, **38**, 840, 1975.
- [2] С. А. Багаев, О. В. Огинец, Г. С. Кватер, В. Б. Смирнов, Ю. А. Толмачёв. *Опт. и спектр.*, **41**, 687, 1976.
- [3] И. П. Запесочный. *ДАН СССР*, **171**, 559, 1966.
- [4] R. V. Kay, R. H. Hughes. *Phys. Rev. A*, **154**, 61, 1967.
- [5] W. R. Pendlleton, R. H. Hughes. *Phys. Rev. A*, **138**, 683, 1965.
- [6] R. J. Anderson, R. H. Hughes, J. G. Norton. *Phys. Rev. A*, **181**, 198, 1969.

Поступило в Редакцию 8 июля 1977 г.

УДК 621.373 : 535

## ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА НА НЕОДИМОВОМ СТЕКЛЕ С РЕШЕТЧАТЫМ ЗЕРКАЛОМ

В. К. Аблеков, В. С. Белыев, В. И. Виноградов, В. Г. Марченко,  
В. М. Марченко и А. М. Прохоров

Характеристика излучения лазеров, резонатор которых образован сплошным и решетчатым зеркалами, представляет интерес в связи с выводом энергии из резонатора мощных лазеров ИК диапазона сквозь решетку отверстий. Некоторые особенности генерации лазера на стекле с неодимом с подобным резонатором экспериментально были выявлены в работе [1]. К настоящему времени появились работы [2, 3], позволяющие целенаправленно проводить исследования таких резонаторов.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования [2, 3] показали, что в резонаторе с решетчатыми зеркалами существуют собственные типы колебаний — периодические моды, структура поля которых зависит от расстояния между зеркалами.