

ОБНАРУЖЕНИЕ НЕУПРУГОГО КАНАЛА СТОЛКНОВЕНИЙ, ИНИЦИИРУЕМОГО ГЕЛИЕМ, МЕЖДУ СОСТОЯНИЯМИ

ВОЗБУЖДЕННОГО Xe $5d[3/2]_1^o$ и $5d[7/2]_3^o$

А.Г.Верхогляд, Г.В.Крикошев, П.Ф.Курбатов

Впервые приведено экспериментальное доказательство существования неупругого канала столкновений между возбужденными состояниями Xe, инициируемого He.

Известно, что метастабильные атомы играют важную роль в процессах, протекающих в возбужденном газе и слабоионизированной плазме и определяют условия работы газовых лазеров [1 – 3]. В [4, 5] пытались привлечь механизм столкновительного переброса между уровнями группы $5d$ в Xe для объяснения аномально большого коэффициента усиления, наблюдавшегося для лазерных переходов этой группы. Дефект энергии $\Delta E = 1500 \text{ см}^{-1} - 4000 \text{ см}^{-1}$ между уровнями являлся основным аргументом против использования этого механизма [4 – 6]. В [7] были приведены доводы за реальность и необходимость учета таких перебросов при рассмотрении генерации лазера на переходе $5d[3/2]_1^o - 6p[3/2]_1$, и показано, что полученные экспериментальные результаты могут быть поняты с привлечением упомянутого механизма.

В данной работе обнаружен неупругий канал столкновений между возбужденными состояниями Xe $5d[3/2]_1^o$ и $5d[7/2]_3^o$ в реакциях типа (см. рис. 1).

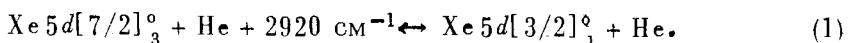


Схема эксперимента представлена на рис. 2. Она состоит из лазера (с дисперсной призмой из LiF), генерирующего в многомодовом режиме одновременно на $\lambda = 2,026 \text{ мкм}$ ($5d[3/2]_1^o - 6p[3/2]_1$) и на $\lambda = 3,51 \text{ мкм}$ ($5d[7/2]_3^o - 6p[5/2]_2$). Дисковый обтюратор, введенный в одно из плеч, например 1, модулировал излучение лазера с $\lambda = 3,51 \text{ мкм}$. На рис. 3 показана зависимость амплитуды сигнала I_1^M , соответствующего переменной составляющей в интенсивности лазера с $\lambda = 2,026 \text{ мкм}$, от давления буферного газа при модуляции в соседнем плече (1). Как и ожидалось I_1^M растет с давлением He. Максимальное значение I_1^M , которое было получено, равнялось 4% от полной мощности генерации, что согласовалось с оценками, проделанными до эксперимента. Появление модуляционного сигнала, пропорционального скорости переброса между оптически несвязанными уровнями, однозначно доказывает существование неадиабатического канала. Последнее возможно только при условии квазипересечения термов $U 5d[3/2]_1^o - U 5d[7/2]_3^o$ в столкновениях с гелием [2]. Очевидно, вкладом от квазипересечения по

нижним термам группы 6р можно пренебречь из-за сильного различия радиационных времен распада (более чем в 30 раз) [8].

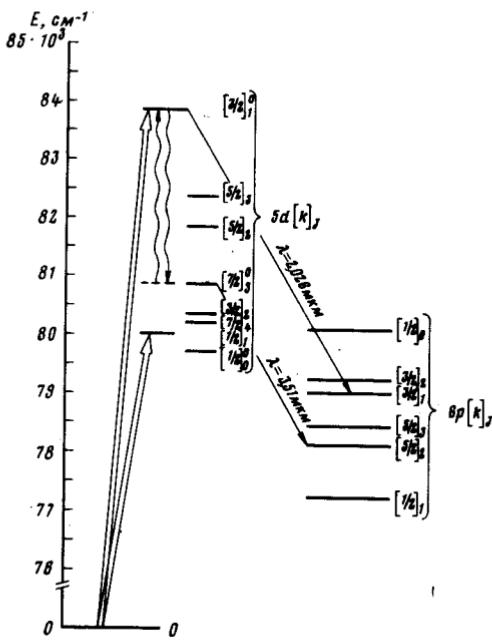


Рис. 1. Энергетическая диаграмма мультиплета 5d - 6p

Отношение модуляционной составляющей $I_1^M(\text{Xe})$ в чистом Xe при давлении 4Па и $I_1^M(\text{Xe} + \text{He})$ в смеси He - Xe при том же парциальном давлении Xe (см. рис. 3) менее

$$\frac{I_1^M(\text{Xe})}{I_1^M(\text{Xe} + \text{He})} < \frac{1}{10}. \quad (2)$$

Поскольку основные параметры разряда Xe изменяются незначительно [9] при добавлении гелия до давлений, используемых в эксперименте, то составляющая вклада столкновений с электронами в канале переброса мала. Простое сравнение скоростей возможных реакций так же согласуется с (2).

Для этого оценим ν — скорость реакции (1) аналогично, как проведено в [7]

$$\nu = N_1 N_2 \langle \nu \sigma \rangle \approx N_1 N_2^{\text{HP}} \bar{v}_{\text{II}} \bar{\sigma} \approx 10^{15} \text{ сек}^{-1}. \quad (3)$$

Параметры для оценки выбирались следующими: плотность метастабильных атомов Xe 5d $N_1 = 10^{10} \text{ см}^{-3}$, плотность неравновесной части $N_2^{\text{HP}} = 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ (10^{-2} от равновесной плотности атомов гелия N_2), относительная скорость столкновения $\bar{v}_{\text{II}} = 1,8 \cdot 10^6 \text{ см} \cdot \text{сек}^{-1}$ сечение реакций (1) $\bar{\sigma} = 10^{-14} \text{ см}^2$. Обоснование их выбора для данной конкретной системы приведено в [7].

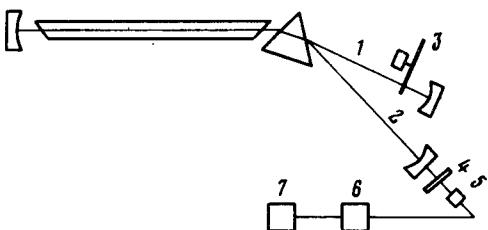


Рис. 2. Экспериментальная установка
1 – лазер с $\lambda = 3,5 \text{ мкм}$; 2 – лазер с $\lambda = 2,026 \text{ мкм}$; 3 – обтюратор; 4 – фильтр; 5 – фотосопротивление; 6 – селективный усилитель У2-8; 7 – самописец

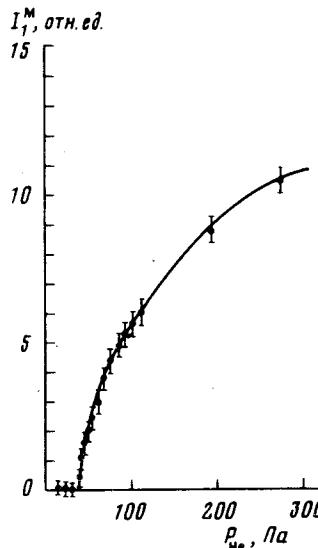


Рис. 3

Здесь использовано то, что в мультиплетном перемешивании группы $5d$ эффективное участие принимает лишь неравновесная часть функции распределения гелия с пороговой энергией $\Delta E \approx m_{\text{He}} \bar{v}_{\Pi}^2 / 2$. Источником, поддерживающим такую неравновесность, являются реакции типа 1, а также другие типы реакций, протекающих в разряде $\text{He} - \text{Xe}$ смеси и из них в первую очередь надо выделить диссоциативную рекомбинацию [10].

Оценка скорости переброса ν_e с участием электронов в процессах, подобных (1), дает

$$\nu_e = N_e N_e \langle \nu_e \sigma_e \rangle \lesssim 10^{13} \text{ сек}^{-1} \quad (4)$$

при $\bar{v}_e = 10^8 \text{ см/сек}$, $N_e = 10^{10} \text{ см}^{-3}$, $\bar{\sigma}_e = 10^{-14} \text{ см}^2$. Значение N_e взято максимально возможным для тлеющего разряда при токе $\approx 12 \text{ мА}$, используемом в эксперименте. Сравнение оценок (2) и (3) с q – скоростью электронной накачки из основного состояния $\text{Xe } 5p^6 1S_0$ на уровень $5d[3/2]_1^0$ показывает [7], что $\nu/q \approx 1$ и $\nu_e/\nu \approx 0,01$, т. е. наиболее существенен канал (1). Отсюда следует, что вклад в переброс связан с процессом (1) и имеет место пересечение термов $U 5d[3/2]_1^0$ и $U 5d[7/2]_3^0$ квазимолекулы $\text{Xe } 5d - \text{He}$.

В заключение отметим, хотя обнаружен пока один из каналов мультиплетного перемешивания, однако и это позволяет утверждать, что такие каналы реальны и должны определять кинетику процессов в $\text{Xe} - \text{He}$ -лазере.

Литература

- [1] Елецкий А.В., Смирнов Б.М. Газовые лазеры. М.: Атомиздат, 1971.
- [2] Галицкий В.М., Никитин Е.Е., Смирнов Б.М. Теория столкновения атомных частиц. М.: Наука, 1981.
- [3] Вайнштейн Л.А., Собельман И.И., Юков Е.А. Возбуждение атомов и уширение спектральных линий. М.: Наука, 1979.
- [4] Bennett W.R. J. Appl. Opt. Suppl. 1, 1962, 24.
- [5] Linford G.J. IEEE J. Quantum Electron, QE-8, 1972, 477.
- [6] Moore C.E. Atomic Energy levels N.B.S. Circular No 467, U.S.Government Printing Office, Washington D.C., vol. 111, 1958
- [7] Верхоляд А.Г., Кривошеков Г.В., Курбатов П.Ф. Квантовая электроника, 8, 1981, 1221.
- [8] Allen L., Jones D.G.C., Schofield D.G. J. Opt. Soc. Amer., 59, 1969, 842.
- [9] Пугинин В.И. Кандидатская диссертация. Рязань, РТИ, 1968.
- [10] Смирнов Б.М. Атомные столкновения и элементарные процессы в плазме. М.: Атомиздат, 1968, стр. 323.