

О МЕХАНИЗМЕ СЕЛЕКТИВНОГО ЗАСЕЛЕНИЯ $3p_1$ УРОВНЯ АТОМА НЕОНА В He-Ne ПЛАЗМЕ

В экспериментах [1] по исследованию процессов, формирующих спектры излучения плазмы в He с малой примесью Ne, была обнаружена ярко выраженная селективность заселения верхнего из группы уровней $Ne(2p^54p)$. С ростом давления в линии 352.05 нм ($1s_2 \leftarrow 3p_1$ по Пашену) концентрировалось более 60% всего светового потока, излучаемого во всех переходах с уровней конфигурации $2p^54p$ (рис.1).

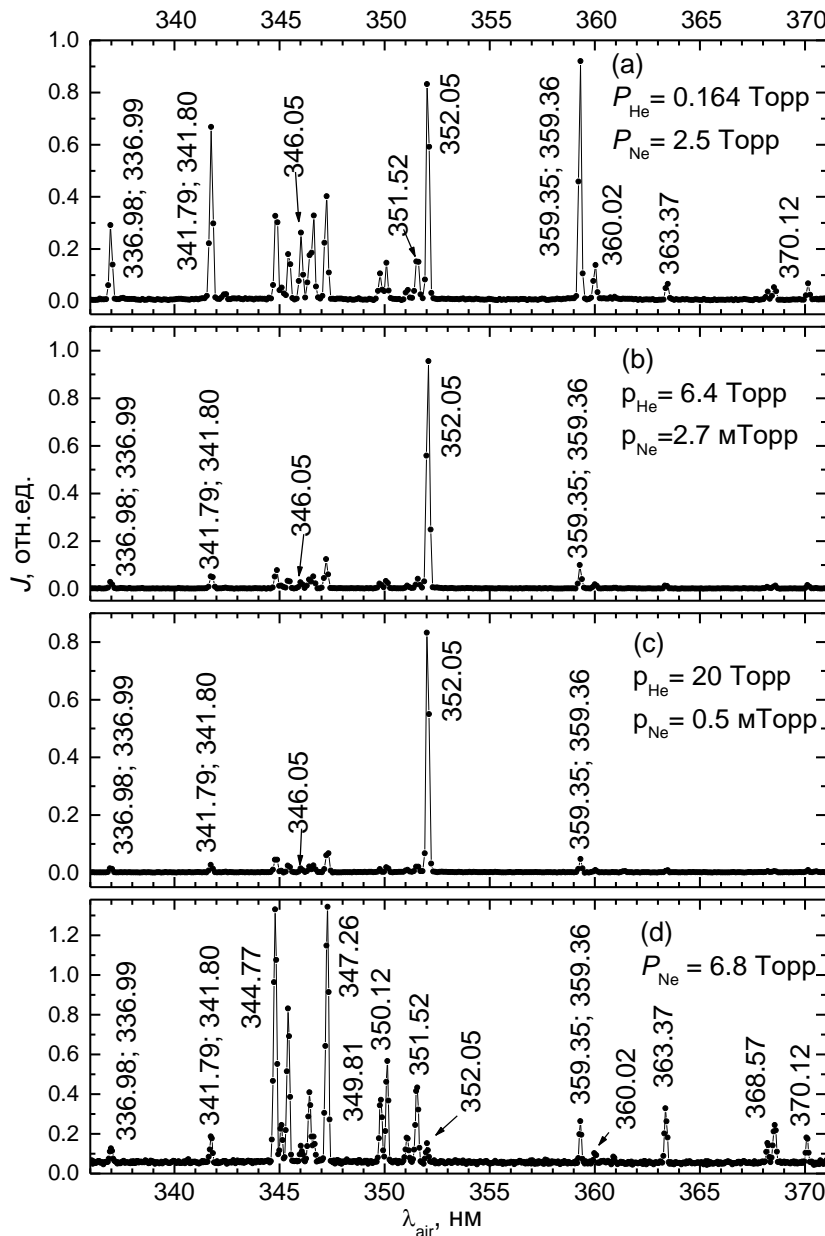


Рис.1. Спектры послесвечения разряда в смеси He-Ne (a, b, c) и в чистом неоне (d).

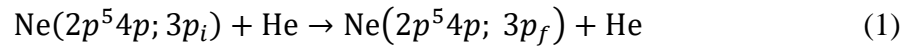
Данный факт на первый взгляд представляется неожиданным, поскольку рост давления и, следовательно, увеличение концентрации атомов и частоты столкновений должны

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

приводить к ускорению релаксации в системе энергетических уровней. Эксперимент, напротив, показывает, что переход к большему давлению He приводит к увеличению населенности верхнего уровня $2p^54p$ конфигурации по отношению к населенностям уровней, лежащих ниже. Очевидно, что селективное заселение какого-либо уровня может быть обусловлено либо большим потоком заселения данного уровня, либо более интенсивными процессами расселения других уровней, либо обеими этими причинами. В данной работе рассматривается второй вариант реализации селективного заселения. Распределение потоков заселения уровней считается фиксированным и прослеживается изменение населенностей, обусловленное ростом давления и, следовательно, скорости переходов между уровнями вследствие столкновений.

Авторы полагают, что причиной увеличения населенности уровня $3p_1$ по отношению к населенностям лежащих ниже уровней с ростом давления He может быть чрезвычайно малая скорость девозбуждения $Ne(3p_1)$ при столкновениях с атомами He, обусловленная особенностями взаимодействия атомов $Ne(2p^54p)$ и He. Действительно, из результатов расчетов квазимолекулярных термов $Ne(2p^54p) + He$ [2] следует, что у термина $Ne(2p^5p, 3p_1) + He$ отсутствуют точки пересечения с лежащими ниже терминами $Ne(2p^54p, 3p_j) + He$ $j = 2, \dots, 10$. Поэтому вероятности переходов с уровня $3p_1$ на уровни $3p_j$ при столкновениях с атомами He должны быть малы. Должны быть малы также и вероятности переходов с уровня $3p_1$ на лежащие ниже уровни других конфигураций, поскольку их термы $Ne(2p^5nl) + He$ лежат ниже термов $Ne(2p^54p) + He$ и поэтому не могут приблизиться к терму $Ne(2p^5p, 3p_1) + He$.

Эти соображения подтверждаются приведенными в обзоре [3] данными о результатах измерения сечений передачи возбуждения внутри группы уровней $2p^54p$:



Сечения достигают значений $10^{-16} - 10^{-15}$ см² для $i = 2, 4 \rightarrow f = 2, \dots, 10$. При давлениях более 3 Торр скорость столкновительного перемешивания (1) начинает превосходить скорость радиационного распада состояний $2p^54p$ для всех уровней, кроме верхнего $3p_1$. По данным [3], сечения передачи возбуждения на уровень $3p_1$ составляют 10^{-18} см². Константы скорости обратных переходов $3p_1 \rightarrow 3p_4, 3p_1 \rightarrow 3p_2$, пересчитанные по принципу детального равновесия, остаются на 1–2 порядка меньше констант скорости переходов между нижними уровнями $3p_j, j = 2, \dots, 10$.

Для проверки возможности объяснения наблюдаемой селективности заселения уровня $3p_1$ были проведены расчеты населенностей трех верхних уровней конфигурации $2p^54p$: $3p_1, 3p_4, 3p_2$ на основе уравнений баланса:

$$\begin{aligned} \Gamma_{3p_1} &= -N_{3p_1} \left\{ \sum_L A_{L \leftarrow 3p_1} + \sum_{3p_f} [He] k_{3p_f \leftarrow 3p_1} \right\} + N_{3p_4} [He] k_{3p_1 \leftarrow 3p_4} + N_{3p_2} [He] k_{3p_1 \leftarrow 3p_2}, \\ \Gamma_{3p_4} &= -N_{3p_4} \left\{ \sum_L A_{L \leftarrow 3p_4} + \sum_{3p_f} [He] k_{3p_f \leftarrow 3p_4} \right\} + N_{3p_1} [He] k_{3p_4 \leftarrow 3p_1} + N_{3p_2} [He] k_{3p_4 \leftarrow 3p_2}, \\ \Gamma_{3p_2} &= -N_{3p_2} \left\{ \sum_L A_{L \leftarrow 3p_2} + \sum_{3p_f} [He] k_{3p_f \leftarrow 3p_2} \right\} + N_{3p_1} [He] k_{3p_2 \leftarrow 3p_1} + N_{3p_4} [He] k_{3p_2 \leftarrow 3p_4}. \end{aligned}$$

Здесь Γ_{3p_j} – потоки заселения состояний $3p_1, 3p_4, 3p_2$, которые определялись по полной скорости разрушения каждого из уровней по спектру, полученному в эксперименте при $p_{He} = 0.164$ Торр, и оставались неизменными для давлений 6.4 Торр и 20 Торр; N_{3p_j} – концентрация атомов $Ne(3p_j)$; $A_{L \leftarrow 3p_j}$ – вероятности радиационных переходов: $2p^53s \leftarrow 2p^54p$; $2p^54s \leftarrow 2p^54p$; $2p^53d \leftarrow 2p^54p$ [4]; $k_{3p_f \leftarrow 3p_i}$ константы скорости процессов (1) $3p_f \leftarrow 3p_i$, $[He]$ – концентрация атомов гелия. По полученным значениям населенностей рассчитывались интенсивности спектральных линий, излучаемых при переходах с уровня $3p_1, 3p_4, 3p_2$ (рис.2).

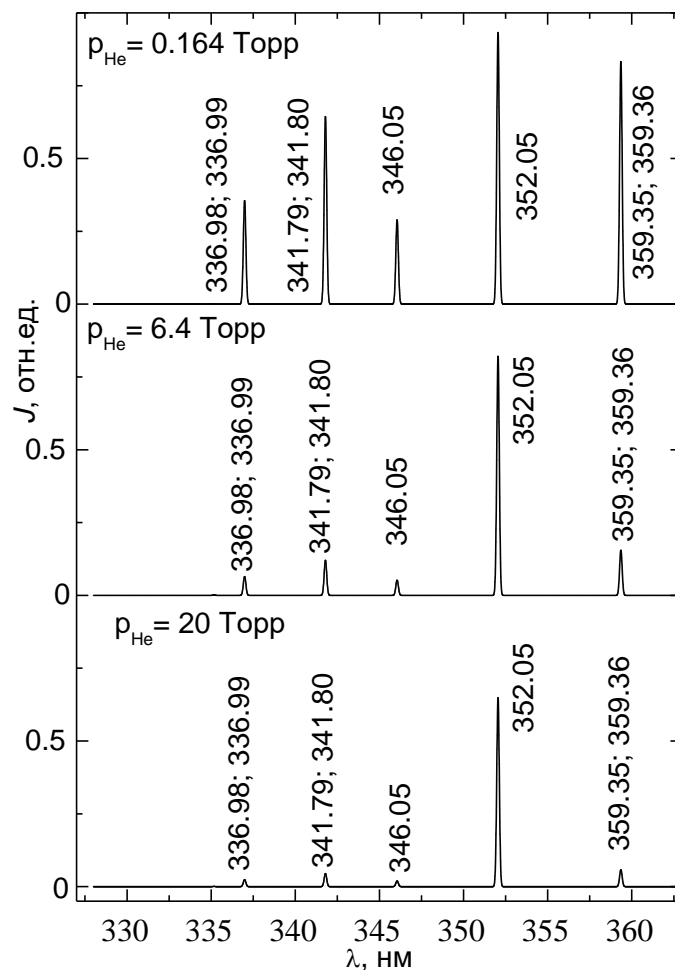


Рис.2. Результаты численного моделирования спектров излучения в смеси He-Ne

Сравнение спектров на рис.1 и рис.2 свидетельствует о сходстве картины модификации экспериментального и модельного спектров при увеличении p_{He} . По мнению авторов, это является аргументом в пользу предложенного механизма селективного заселения уровня $3p_1$. Добавим также, что рассматриваемый механизм опустошения нижних уровней конфигурации $2p^5 4p$, не затрагивающий в то же время верхний уровень $3p_1$, должен реализоваться именно для смеси He-Ne, но не для чистого неона, поскольку существенно связан со спецификой взаимного расположения термов квазимолкул $\text{Ne}(2p^5 4p) + \text{He}$. В чистом неоне не наблюдается и селективное заселение уровня $3p_1$. Линия 352.05 нм ничем принципиально не отличается от других линий неоновых спектров в ближней ультрафиолетовой области (Рис. 1d).

Ключевые слова: плазма, гелий, неон, селективное заселение, передача возбуждения

Список литературы

1. V.A.Ivanov, Yu.E.Skoblo, On the selectivity of population of the neon excited levels // Оптика и спектроскопия, 2019, т.127, вып.5, с.757.
2. Загребин А.Л., Леднев М.Г. Взаимодействие возбужденных атомов $\text{Ne}(2p^5 4p)$, $\text{Ar}(3p^5 4p)$, $\text{Kr}(4p^5 5p)$ с атомами He и Ne. Процессы столкновительной деполяризации // Оптика и спектроскопия, т.69, вып.6, с.1238-1244.
3. A.Z.Devdariani, A.L.Zagrebin, K.Blagoev, Excitation transfer and intermultiplet transitions in collisions of He and Ne atoms at thermal energies // Annales de physique, 1990, Vol.17, N.5, p.365-470.
4. M.J.Seaton, Oscillator strengths in Ne I // Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics, 1998, Vol.31, p.5315-5336.