

## 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).

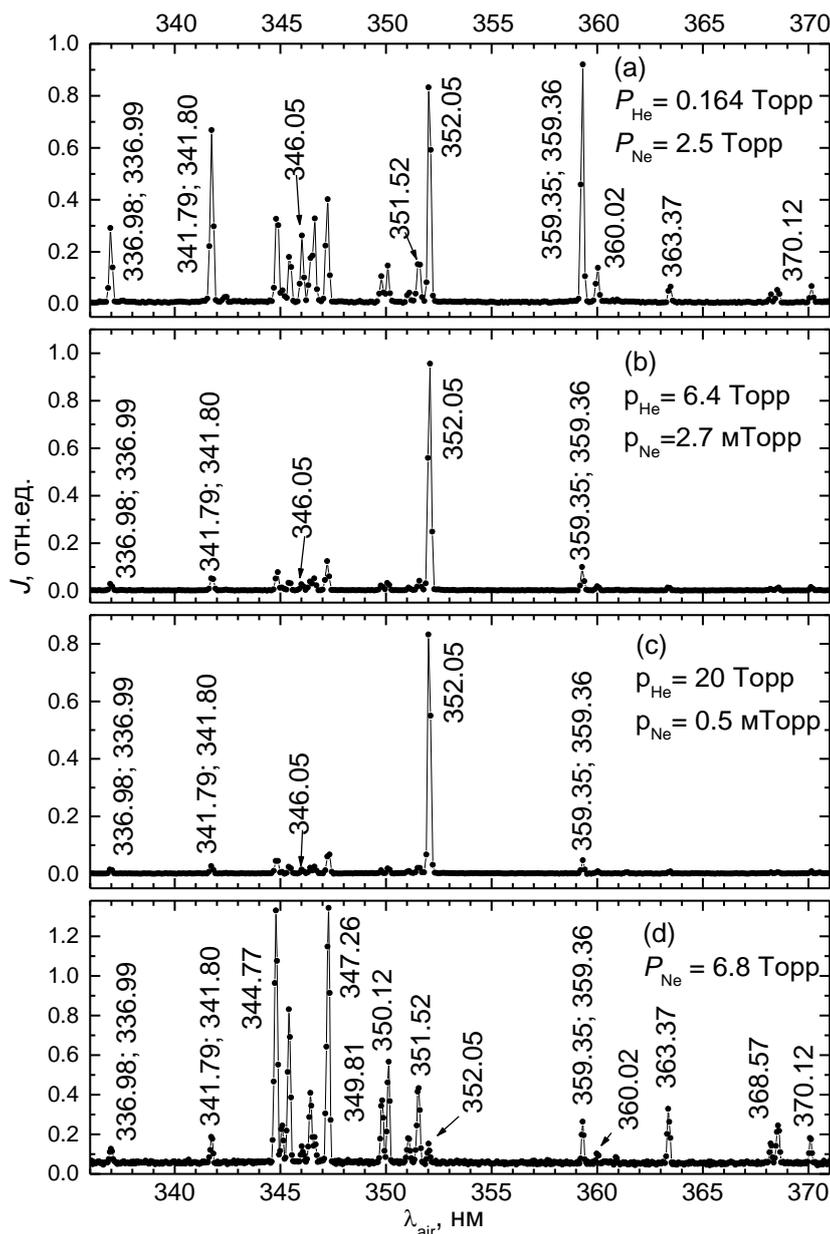


Рис.1. Спектры послесвечения разряда в смеси He-Ne (a, b, c) и в чистом неоне (d).

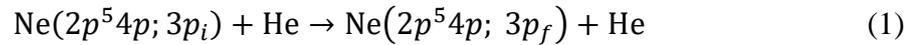
Данный факт на первый взгляд представляется неожиданным, поскольку рост давления и, следовательно, увеличение концентрации атомов и частоты столкновений должны

<sup>1</sup> 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 термами  $Ne(2p^54p, 3p_j) + He$   $j = 2, 10$ . 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  $10^{-16} - 10^{-15}$  см<sup>2</sup> 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  $10^{-18}$  см<sup>2</sup>. 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  $3p_j, j = 2, 10$ .

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  $\Gamma_{3p_j}$  – 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 уровнями  $3p_1, 3p_4, 3p_2$  (рис.2).

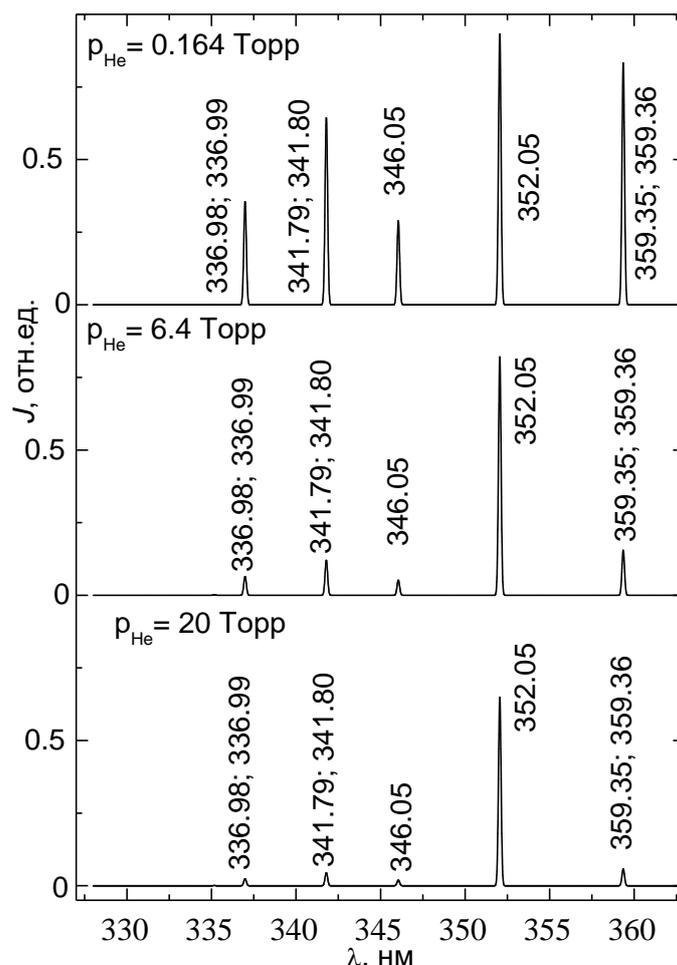


Рис.2. Результаты численного моделирования спектров излучения в смеси He-Ne

Сравнение спектров на рис.1 и рис.2 свидетельствует о сходстве картины модификации экспериментального и модельного спектров при увеличении  $p_{\text{He}}$ . 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 реализовываться 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.