

## СЕЛЕКТИВНОЕ ЗАСЕЛЕНИЕ УРОВНЯ $n = 3$ OVIII ПРИ РАЗЛЕТЕ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ В ГЕЛИИ

С.П. Жуков, В.В. Корухов, Б.И. Трошин, А.А. Черненко

Показано, что при разлете лазерного плазменного факела, содержащего многозарядные ионы кислорода, в атмосферу гелия происходит селективное заселение уровней кислорода OVIII за счет процесса перезарядки ядер кислорода на ионах гелия.

В работе <sup>1</sup> было предложено использовать процесс перезарядки в качестве механизма получения инверсной заселенности уровней многократнозаряженных ионов с целью создания источников излучения в области далекого ультрафиолета. Известны существенные трудности в применении этого метода для возбуждения уровней в условиях экспериментов с лазерной плазмой <sup>1, 2</sup>. Результаты данной работы, по-видимому, впервые представляют экспериментальную реализацию механизма образования инверсной населенности уровней многозарядных ионов на основе процесса перезарядки.

Экспериментальная установка состояла из лазерной системы на неодимовом стекле, вакуумной камеры и рентгеновского спектрографа. Эксперименты были выполнены с пространственным разрешением вдоль оси плазменного факела, плотность потока лазерной системы обеспечивала значительное выгорание гелиисподобных ионов кислорода на поверхности мишени из ВеО. Длительность импульса лазерной системы примерно равна 0,5 нс.

Экспериментальные результаты представлены на рис. 1 зависимостями  $I_3/I_2$ ,  $I_4/I_2$ ,  $I_4/I_3 = f(l)$  отношений наблюдаемых интенсивностей излучения резонансных линий OVIII ( $I(1s - 2p) \equiv I_2$ ,  $I(1s - 3p) \equiv I_3$ ,  $I(1s - 4p) \equiv I_4$ ) от расстояния до поверхности мишени ( $l$ ) для случаев разлета плазмы в вакуум и в гелий. До расстояния от поверхности мишени  $l \lesssim 1$  мм ход кривых  $I_3/I_2$ ,  $I_4/I_3$  при разлете плазмы в вакуум и в гелий примерно одинаков. При  $l \gtrsim 1$  мм ход зависимостей качественно меняется: вместо падения величины  $I_3/I_2$  и роста  $I_4/I_3$  при разлете плазмы в вакууме наблюдается увеличение отношения  $I_3/I_2$  и уменьшение  $I_4/I_3$  при разлете плазмы в гелии. В то же время зависимости  $I_4/I_2 = f(l)$  практически совпадают для всей области значений  $l$  для обоих случаев проведения экспериментов. Представленные данные указывают, что при  $l \gtrsim 1$  мм происходит преимущественное заселение уровня с главным квантовым числом  $n = 3$  OVIII. Этот результат мы связываем с проявлением эффекта перезарядки ядер кислорода на ионах гелия по следующим причинам.

По данным работы <sup>3</sup> были определены отношения населенностей резонансных уровней OVIII в функции от плотности электронов  $N_e$  ( $10^{20} \div 10^{18}$  см<sup>-3</sup>) для ряда фиксированных значений температуры электронов  $T_e$  ( $= 176, 88, 44$  эВ). В эти диапазоны  $N_e$ ,  $T_e$  попадают значения температуры и плотности электронов, которые реализуются в условиях экспериментов. Анализ показал, что изменения параметров плазмы, которыми сопровождается разлет факела в атмосферу газа, не могут привести к наблюдаемым результатам как в качественном так и количественном отношении.

Теоретические расчеты сечений заселения уровней  $n = 2, 3, 4$  OVIII при перезарядке ядер кислорода на атомах и ионах гелия были выполнены по результатам работы <sup>4</sup>, см. рис. 2. В соответствии с рис. 2 для характерной скорости ионов равной  $\sim 10^7$  см/с ( $\sim 0,05$  ат. ед.) перезарядка на атомах гелия должна привести к преимущественному заселению уровня  $n = 4$ , а на ионах гелия — уровня  $n = 3$ . На основании этих расчетов и данных работ <sup>5, 6</sup> следует считать, что селективное возбуждение может обеспечиваться перезарядкой на ионах гелия. Кроме этого, вероятность ионизации электронным ударом атомов гелия при параметрах плазмы, соответствующим условиям эксперимента, примерно в 10 раз больше вероятности перезарядки, а для ионов гелия вероятности этих процессов становятся величинами одного порядка.

Целесообразно также сравнить расчетные зависимости населенности уровня  $n = 3$  OVIII от расстояния до поверхности мишени, которые можно получить в модели ударно-излучательной рекомбинации <sup>3</sup> и в предположении селективного заселения уровня при перезарядке.

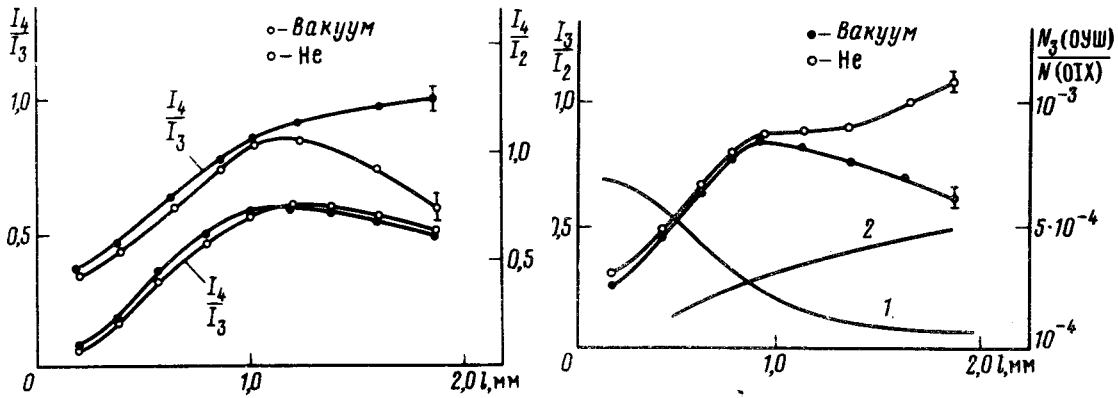


Рис. 1. а и б — Экспериментальные зависимости отношений, наблюдаемых интенсивностей резонансных линий OVIII —  $I_3/I_2$ ,  $I_4/I_2$ ,  $I_4/I_3$  от расстояния до поверхности мишени при разлете плазмы в вакуум и в гелий, а и б. Расчетные зависимости заселенности уровня  $n = 3$  OVIII при рекомбинационной накачке (кривая 1) и при накачке за счет перезарядки (2), б

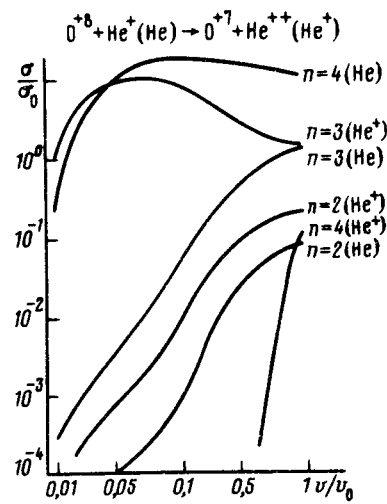


Рис. 2. Расчетные зависимости эффективных сечений перезарядки ядер кислорода на атоме и ионе гелия с захватом на уровни  $n = 2, 3, 4$  от скорости иона (атомные единицы)

Для расчетов были приняты некоторые модельные зависимости температуры и плотности электронов  $T_e, N_e = f(l)$ , которые были получены на основе данных работы <sup>7</sup>. Ионный состав плазмы задавался соотношением  $N(OVII) : N(OVIII) : N(OIX) = 0,5 : 1 : 1$ . Сечение перезарядки ядер кислорода на ионах гелия принималось равным  $\sigma = 10^{-15}$  см<sup>2</sup>. Расчетные зависимости населенности уровня приведены на рис. 1, б и представлены относительно-

но плотности ядер кислорода  $N(OIX)$ . Как видно из рисунка, процесс перезарядки может действительно стать определяющим фактором заселения уровня  $n = 3$  O VIII, если обеспечить эффективное смешение газа и плазмы. Оценки показывают, что вдали от поверхности мишени ( $l \cong 1 \div 2$  мм) столкновительная длина свободного пробега иона гелия в плазме превосходит линейный размер плазменного объема, а длина области перезарядки становится сравнима с ним.

Абсолютная населенность уровня  $n = 3$  O VIII, обусловленная процессом перезарядки, сопоставима с населенностью, которая обеспечивается за счет рекомбинационного механизма накачки. Однако, возбуждение посредством перезарядки достигается в области меньших значений  $N_e$ , что ослабляет ограничения по коэффициенту усиления вследствие эффектов Штарка и пленения излучения.

В заключение авторы выражают глубокую признательность В.П.Чеботаеву за внимание к работе и благодарят В.М.Тарасова за помощь в постановке экспериментов.

#### Литература

1. Виноградов А.В., Собельман И.И. ЖЭТФ, 1972, 63, 2113.
2. Бункин Ф.В., Держиев В.И., Яковленко С.И. Квантовая электроника, 1981, 8, 1621.
3. McWhirter R.W., Herh A.G. Proc. Soc., 1963, 82, 641.
4. Абрамов В.А., Барышников Ф.Ф., Лисица В.С. ЖЭТФ, 1978, 74, 897.
5. Iwai T. et al. Phys. Rev. A, 1981, 26, 105.
6. Okino K. et al. Phys. Rev. A, 1983, 28, 127.
7. Корухов В.В., Никулин Н.Г., Трошин Б.И. Квантовая электроника, 1982, 9, 1711.

Институт теплофизики  
Академии наук СССР  
Сибирское отделение

Поступила в редакцию  
20 июля 1984г.  
11 сентября 1984г.