

СПЕКТРАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ НА ПЕРЕХОДЕ 4-3 РЕЛЯТИВИСТСКОГО НЕ-ПОДОБНОГО ИОНА

А.В. Гулов, А.Г. Жидков

Спектральный коэффициент усиления на переходе 4-3 многозарядного релятивистского Не-подобного иона рассчитан с учетом влияния ионного микрополя плазмы на его поуровневую кинетику.

В работах [1-3] рассмотрено шарковское уширение неводородоподобных ионов с учетом релятивистского расщепления уровней на основе теории возмущений по параметру $1/Z$ (Z — заряд ядра иона), развитой для расчета энергетических спектров [4-6]. На основе этого в [1-3] рассчитаны спектры спонтанной эмиссии Не-подобных ионов в плазме на переходах $n = 4,3 - n' = 3,2,1$. Однако указанная теория не полна, поскольку позволяет рассчитывать только спектры спонтанной эмиссии. Для расчета спектрального коэффициента усиления на этих переходах ее необходимо дополнить поуровневой кинетикой, учитывающей изменение релаксационных характеристик состояний с одним главным квантовым числом n , вызванное ионным микрополем плазмы. В данной работе рассчитываются коэффициенты усиления на переходе 4-3 многозарядного Не-подобного иона Ti. Необходимая для такого расчета поуровневая кинетика иона определялась на основе формализма базиса "одетых состояний" [7, 8].

Коэффициент поглощения на переходе $n \rightarrow n'$ неводородоподобного иона при учете доплеровского и хольцмарковского механизмов уширения имеет вид:

$$\kappa_{n-n'}(E) = (\lambda^2/4) \sum_{J,L,S,m,J',L',S',m'} J_{nJLSm} - n'J'L'S'm' (E), \quad (1)$$

$$J_{\alpha\beta} = \frac{c}{v_T \sqrt{\pi}} \int \frac{A_{\alpha\beta}(F)}{E_{\alpha\beta}(F)} H\left(\frac{F}{F_0}\right) \exp\left[-\left(\frac{E - E_{\alpha\beta}(F)}{E_{\alpha\beta}(F) v_T/c}\right)^2\right] \left(N_\alpha - \frac{g_\alpha}{g_\beta} N_\beta\right) \frac{dF}{F_0},$$

где v_T — тепловая скорость ионов; $H(F/F_0)$ — хольцмарковская функция распределения ионного микрополя; F_0 — среднее значение ионного микрополя в плазме; $A_{\alpha\beta}, E_{\alpha\beta}$ — вероятность радиационного перехода и энергия перехода между состояниями α и β , зависящие от напряженности ионного микрополя; N_α, g_α — населенность и статвес состояния α .

Для расчета $A(F)$ и $E(F)$ проводилась диагонализация секулярного оператора энергии $T^{(n)}/4-6/$, в который добавлялся член, учитывающий взаимодействие иона с микрополем плазмы F [1-3]. В результате вычислялись значения $E^{(n)}(F)$, элементы диагонализующей матрицы $S^{(n)}(F)$ и вероятности спонтанного радиационного перехода $A_{\alpha\beta}$. Отметим, что взаимодействие конфигураций с различным значением проекции спина приводит к радикальному изменению спектра. Так, в случае перехода 4-3 Не-подобного иона исчезает несмещенная компонента наиболее "сильного" в изолированном ионе перехода $4^1F - 3^1D$. (В [3] в подписи к рис. 2 имеется опечатка: цифрой 4 фактически обозначен переход $4^3F_4 - 3^3D_3$.)

Расчет населенностей N_α с учетом влияния ионного микрополя проводился в базисе одетых состояний. Поскольку реально перемешивание микрополем необходимо учитывать только для хорошо разделенных компонент, то можно использовать балансовое приближение [8]:

$$\tilde{K} \tilde{N} = \tilde{D}, \quad (2)$$

где \tilde{K} — релаксационная матрица в базисе одетых состояний, \tilde{D} — матрица внешних потоков в этом базисе [8]. Базис одетых состояний определяется при фиксированном значении напряженности ионного микрополя

F по вычисленному значению $S^{(n)}(F)$. Величины \tilde{K} , \tilde{D} связаны с релаксационной матрицей и матрицей потоков в обычном базисе соотношениями /8/:

$$\tilde{K}_{aa}^{\beta\beta} = \sum S_{ai}^* S_{\beta j} K_{ij} / S_{\beta j}^* S_{ai}; \quad \tilde{D}_{aa} = \sum S_{ai}^* D_{ii} S_{ai}.$$

В данной работе релаксационная матрица и матрица потоков в обычном базисе определялись аналогично кинетической модели /9/.

Расчет (2) дает значения населенностей при фиксированном значении напряженности ионного микрополя F. В тех случаях, когда характерное время изменения напряженности ионного микрополя $\tau \cong (v_T N_i^{1/3})^{-1}$ (N_i — плотность плазмы) много больше времени жизни состояний с данным n, полученные значения населенностей следует подставить в (1) и провести усреднение. В противоположном пределе в (1) необходимо подставлять значения населенностей, усредненные по хольцмарковской функции распределения.

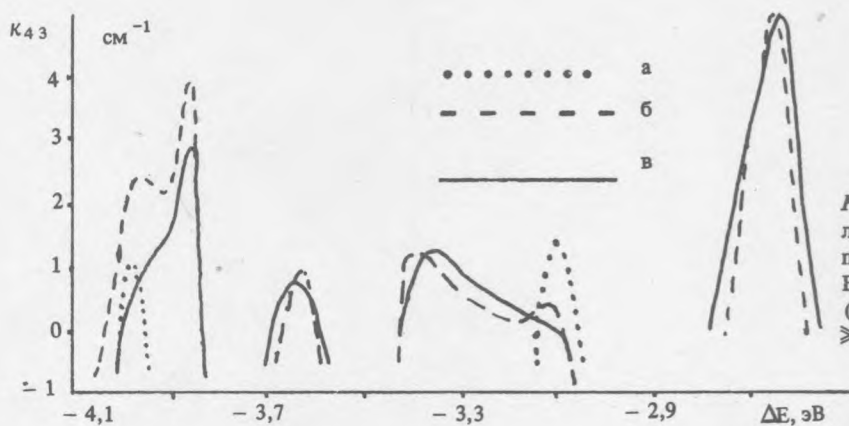


Рис. 1. Спектральный коэффициент усиления на переходе 4-3 иона TiXXI при $N_e = 5 \cdot 10^{12} Z^7 \text{ см}^{-3}$, $T_e = Z^2 \text{ эВ}$. Без учета влияния поля на кинетику (а), с учетом такого влияния при $\tau \gg \gg K_a^{-1}$ (б) и $\tau \ll K_a^{-1}$ (в).

На рис. 1 представлены расчеты коэффициента усиления на переходе 4-3 He-подобного иона Ti, без учета (а) влияния микрополя на кинетику релаксации и с учетом его (б, в) при разных способах усреднения. Учет влияния ионного микрополя приводит к радикальному изменению спектрального коэффициента усиления. Дело в том, что из-за слабого радиационного распада $n^3P \rightarrow 1^1S$ инверсия на триплетных переходах He-подобного иона отсутствует /9/. Перекрывание спектров синглетной (усиливающей) и триплетной (поглощающей) серий приводит к сильному уменьшению коэффициента усиления. Ионное микрополе из-за перемешивания конфигураций с различными значениями спина уменьшает время жизни триплетных состояний, причем это уменьшение более эффективно для состояний с $n = 3$. В результате коэффициент поглощения падает, и соответственно растет результирующий коэффициент усиления, а также возможно возникновение усиления в некоторых спектральных диапазонах.

В данных расчетах различные способы усреднения населенностей привели к близким результатам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жидков А. Г., Ткачев А. Н., Яковленко С. И. В кн. Краткое содержание докладов I Советско-Британского симпозиума по спектроскопии многозарядных ионов. Троицк, изд. Совета по спектроскопии АН СССР, 1986.
2. Жидков А. Г., Ткачев А. Н., Яковленко С. И. В сб. Спектроскопия многозарядных ионов, изд. Совета по спектроскопии АН СССР, 1987, с. 5.

3. Гулов А. В. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 3, 25 (1989).
4. Сафронова У. И., Сенашенко В. С. В сб. Вопросы теории плазмы, т. 12, М. Энергоатомиздат, 1982, с. 3.
5. Сафронова У. И., Сенашенко В. С. Теория спектров многозарядных ионов. М., Энергоатомиздат, 1984.
6. Браун М. А., Гурчумелия А. Д., Сафронова У. И. Релятивистская теория атома. М., Наука, 1984.
7. Яковленко С. И. Радиационно-столкновительные явления. М., Энергоатомиздат, 1984.
8. Жидков А. Г., Яковленко С. И. ЖПС, 47, 971 (1987).
9. Держиев В. И. и др. Препринт ИОФАН № 52, М., 1987.

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 27 февраля 1990 г.