

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ СТОЛКНОВИТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДОВ
 $3^1S - 3^1P$ И $3^3S - 3^3P$ В He ПО УШИРЕНИЮ
 СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ В ПЛАЗМЕ

М. А. Мазинг, В. А. Слемзин

Экспериментальное определение сечений и скоростей переходов между возбужденными состояниями атомов и ионов при столкновениях с электронами представляет интерес как для непосредственных приложений, так и для теории. Метод Борна, обеспечивающий хорошую точность расчетов сечений при энергиях электронов $E \gg E_0$ - энергии связи оптического электрона, дает сильно завышенные значения при $E \leq \Delta E$, где ΔE - энергия перехода. Дополнительные операции типа "нормировки" (учет сохранения числа частиц в столкновении) обычно улучшают качество результатов, однако из-за недостатка экспериментальных данных возможность применения таких методов к переходам между возбужденными состояниями изучена слабо.

Вследствие экспериментальных трудностей информацию о сечениях указанных переходов удается получить только косвенными методами путем анализа излучения плазмы. Непосредственно определяемой в эксперименте величиной является $\langle v\sigma \rangle$, где сечение усреднено по максвелловскому распределению скоростей электронов v . И. И. Собельман /1/ показал, что в случае неводородоподобных атомов значения $\langle v\sigma \rangle$ могут быть получены из штарковских ударных ширины линий. Предположим, что ширина δ_0 линии, излучающейся при переходе из состояния n , обусловлена взаимодействием уровня n с возмущающим уровнем m при соударениях с электронами. Если выполняется условие неадиабатичности

$$\beta = \left(r_{nm} \frac{Ry}{|\Delta E_{nm}|} \right)^{1/2} \frac{\pi |\Delta E_{nm}|}{8kT_e} < 0,6, \quad (I)$$

где f_{nm} , ΔE_{nm} - сила осциллятора и энергия перехода, kT_e - электронная температура, основной вклад в γ_e вносит неупругая часть взаимодействия. Учитывая соотношение между сечениями упругого и неупругого рассеяния, а также вклад других возмущающих уровней, величину $\langle v\sigma_{nm} \rangle$ можно получить из экспериментального значения ударной ширины γ_e с помощью выражения:

$$\langle v\sigma_{nm} \rangle = A_{nm}(\beta) \epsilon_n \gamma_e / N_e. \quad (2)$$

Коэффициенты $A_{nm}(\beta) = \sigma_{nm}^0 / (\sigma_n^0 + \sigma_{nm}^0)$ (σ_n^0 - сечение упругого рассеяния в состоянии n) и ϵ_n - относительный вклад уровня n в полную ширину можно рассчитать, пользуясь неадиабатической теорией уширения /2,3/.

В настоящей работе определены величины $\langle v\sigma \rangle$ переходов $3^1S - 3^1P$ и $3^3S - 3^3P$ в HeI по измеренным ширинам линий 728,1 и 706,5 нм в плазме импульсного разряда в гелии при давлении 3-12 тор. Схема экспериментальной установки аналогична описанной в /4/. Плотность электронов на оси разряда и радиальное распределение определялись лазерным интерферометром /5/, а также по штарковскому уширению линий 468,6 нм HeII и 501,6 нм HeI (для них расчеты ширины достаточно надежны и многократно проверялись /6,7/). С изменением давления газа от 3 до 12 тор средняя по объему плотность электронов в момент достижения максимума интенсивности линий (75 мксек при полной длительности импульса 150 мксек) менялась от 2 до $7 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, причем в пределах погрешности ($\pm 15\%$) оба метода давали одинаковый результат. Электронная температура, как и в /4/, была равна $3,0 \pm 0,1$ эв. Контуры линий сканировались по точкам от импульса к импульсу монохроматором с дифракционной решеткой (относительное отверстие 1/7,5, дисперсия 8,9 Å/мм). Аппаратная функция имела гауссовскую форму с полушириной $0,1 - 0,2$ Å. Все линии, кроме 468,6 нм, имели заметную асимметрию из-за квазистатического уширения ионами. Экспериментальная ширина измерялась по неоскаженному крылу. Из полученных значений исключалась гауссовская часть, обусловленная доплеровским и аппаратным уширением, при этом температура тяжелых частиц принималась равной 3 эв. Точность определенных таким образом ударных ширин γ_e составила около 15%.

В таблице I приведены экспериментальные значения γ_e / N_e (в единицах $\text{Å} / 10^{16} \text{ см}^{-3}$) для линий 728,1 и 706,5 нм, коэффициенты $A(\beta)$,

Таблица I

λ , нм	Переход	$\delta\alpha/\alpha_0$ ($A/10^{16}$ см $^{-3}$)	β	$\Delta(\beta)$	ϵ	$\langle v\sigma \rangle \times 10^5$, см 3 /сек			
						Эксперим.	Борн.	Борн. норм.	Квазикл.
728,1	$3^3S - 3^3P$	0,85±0,17	0,15	0,81	0,90	2,2±0,5	3,6	2,4	2,2
706,5	$3^1S - 3^1P$	0,51±0,10	0,24	0,76	0,83	1,2±0,3	2,3	1,3	1,2

ϵ и вычисленные согласно (2) значения $\langle v\sigma \rangle$ переходов $3^1S - 3^1P$ и $3^3S - 3^3P$. В трех последних столбцах даны результаты расчетов $\langle v\sigma \rangle$ для $kT_e = 3$ эв методом Борна, методом Борна с нормировкой /8/ и квазиклассическим методом, аналогичным используемому в неадиабатической теории упрочения /2,3/. Ближайшее к полученному нами значение $\langle v\sigma \rangle = 1,1 \cdot 10^{-5}$ см 3 /сек для перехода $3^3S - 3^3P$ было найдено в /9/ из отношения итарковских ширины линий 706,5 и 318,7 нм HeI в искровом разряде (независимого измерения плотности электронов не производилось). Из сравнения видно, что метод Борна без нормировки сильно завышает величину $\langle v\sigma \rangle$, в то время, как два других метода дают хорошее согласие с экспериментом. Значительный эффект нормировки в нашем случае связан с тем, что максимум максвелловского распределения скоростей электронов близок к максимуму сечений переходов. Аналогичные результаты были получены А. С. Хайкиным, экспериментально определенными $\langle v\sigma \rangle$ ряда переходов между возбужденными уровнями He /10/.

Авторы выражают глубокую благодарность Е. А. Якову за расчет сечений квазиклассическим методом и Д. А. Вайнштейну за обсуждение результатов.

Получена в редакцию
28 февраля 1973 г.

Л и т е р а т у р а

1. И. И. Сосельман. ЖЭТФ, 48, 965 (1965).
2. В. А. Алексеев, Е. А. Яков. Препринт ФИАН, № 87 (1968).
3. И. И. Сосельман. Введение в теорию атомных спектров. Физматгиз, Москва, 1963 г.
4. М. А. Мазинг, В. А. Слезини. Краткие сообщения по физике ФИАН № 2, 37 (1973).

5. В. В. Коробкин, А. А. Малютин, В. Я. Целев. ПТЭ, 2, 223 (1967).
6. P. Kerple. Phys. Rev., A6, 1 (1972).
7. S. M. Bennett, G. R. Griem. Techn. Rep. N71-097, University of Maryland.
8. Л. А. Вайнштейн, В. П. Шевелько. Препринт ФИАН, № 87 (1970).
9. Л. А. Вайнштейн, М. А. Мазинг, П. Д. Серапинас. Препринт ФИАН, № 54 (1967).
10. А. С. Хайкин. Труды ФИАН, 51, 90 (1970).