

О заселенностях уровней водорода в горячей плазме и связи интенсивности излучения со скоростью ионизации

В. А. АБРАМОВ, Э. И. КУЗНЕЦОВ, В. И. КОГАН

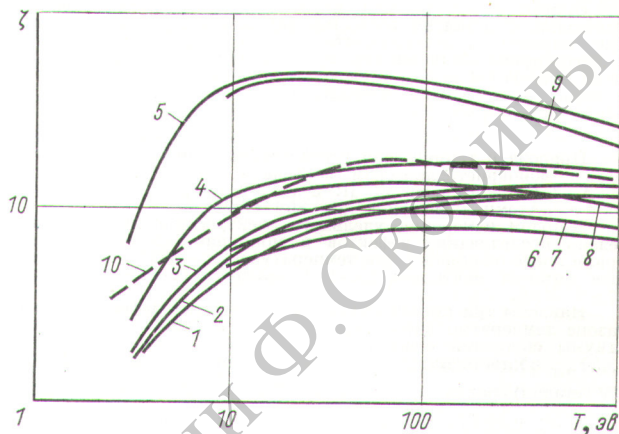
УДК 533.9.082.74:621.039.667.4

При исследованиях плазмы в системах «Токамак» важно знать среднее время жизни заряженных частиц в плазме. Это время связано со скоростью ионизации, наоборот, в свою очередь, удается связать с интенсивностью излучения квантов определенной спектральной линии водорода. Кроме того, весьма полезным в плане спектроскопической диагностики оказывается знание абсолютных заселенностей возбужденных уровней водорода.

В работе [1] была впервые введена и вычислена (в пренебрежении ступенчатыми процессами, т. е. в корональном пределе $n_e \rightarrow 0$) величина ζ — среднее число актов ионизации на один квант бальмеровской серии. В работе [2] проведен расчет заселенностей уровней водорода в горячей плазме с учетом ступенчатых процессов и рассчитано значение ζ на один квант линии H_α . В работе [3] даны результаты расчета ζ для линии H_α (методика расчета не приводится), которые при малых n_e (10^{10} – 10^{12} см $^{-3}$) в два–шесть раз отличаются от результатов, полученных в [2], но близки к данным, приведенным в [1]*. По мнению авторов работы [3], это расхождение обусловлено тем, что в [2] взяты некорректные значения вероятностей радиационных переходов $A(p, q)$.

Вызванное расхождение в значениях величины ζ (с учетом возросшего уровня требований к ее точности) достаточно ощутимо, поэтому было решено провести заново расчет заселенностей на основе схемы, использованной в работе [2]. В настоящей работе приводятся результаты расчета для заселенностей уровней водорода с p , равным 2–5, и для отношения интенсивностей бальмеровских линий H_α/H_β в диапазоне температур 3–1500 эВ. Результаты расчета коэффициента ζ сравниваются с данными [1–3] (при этом приведенные в работе [1] значения ζ , соответствующие числу актов ионизации на один «средний» бальмеровский квант, пересчитаны на кванты H_α путем умножения на 5/3 [1]). Сравнение результатов расчета заселенностей с [2] показывает, что в последней работе допущено заметное (в несколько раз) превышение заселенности уровней $p=3$ при малых n_e , что и обусловило, в частности, соответствующее занижение величины ζ . Полученные значения ζ , как видно из рисунка, вполне удовлетворительно согласуются с вычисленными в работе [3].

Допущенную в работе [2] погрешность, по-видимому, нельзя объяснить неточностями в вероятностях радиационных переходов, однако это противоречит мнению авторов [3] (возможно, навянутому необоснованным замечанием авторов настоящей работы в [2] в связи с некоторым расхождением с результатами [4]). Действительно, поскольку при $n_e \rightarrow 0$ $\zeta \propto A_{31}/A_{32}$, значение ζ мало чувствительно к основному возможному источнику погрешности в $A(p, q)$ — выбору асимптотических



Зависимость среднего числа актов ионизации на один квант линии H_α от температуры.

Результаты настоящей работы: 1 — $n_e = 10^8$ см $^{-3}$; 2 — 10^{11} см $^{-3}$; 3 — 10^{13} см $^{-3}$; 4 — 10^{13} см $^{-3}$; 5 — 10^{14} см $^{-3}$.
Результаты работы [3]: 6 — 10^{10} см $^{-3}$; 7 — 10^{12} см $^{-3}$; 8 — 10^{13} см $^{-3}$; 9 — 10^{14} см $^{-3}$. 10 — результаты работы [1].

($p \gg 1$, $q \gg 1$) значений $A(p, q)$ эта неточность в $A(p, q)$ не превышает 20–30%. (Тем не менее в настоящей работе были использованы точные значения $A(p, q)$ [5].)

По-видимому, источник погрешности в [2] сводится к какой-то ошибке при численном счете на ЭВМ. Так или иначе, следует признать, что в [2] авторы недооценили реальность расхождений результатов расчета заселенностей с данными работы [4] и значений ζ — по сравнению с [1] (следует учитывать, что при низких n_e условия близки к рассмотренному в [1] корональному пределу).

(№ 616/6767. Поступила в Редакцию 1/II 1972 г. Полный текст 0,5, 1 рис., 5 табл., 5 библиографических ссылок.)

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Коган. «Атомная энергия», 4, 178 (1958).
2. В. А. Абрамов, Э. И. Кузнецов, В. И. Коган. «Атомная энергия», 26, 516 (1969).
3. D. Dimock et al. Proc. IV Intern. Conf. on the Plasma Phys. and Conf. Nucl. Fusion Res. Madison, 1971, Vol. 1, p. 451.
4. D. Bates, A. Kingston. Planet. Space Sci., 11 (1963).
5. L. Green et al. Astrophys. J. Suppl. Ser., 3, 37 (1957).

* Благодаря Г. В. Шолыным и А. Е. Китайнер были получены результаты (в некоторой упрощенной модели излучения уровней), которые также близки к результатам работ [1, 3].