

ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

УДК 539.186

В. С. НИКОЛАЕВ, В. С. СЕНАШЕНКО, В. Ю. ШАФЕР

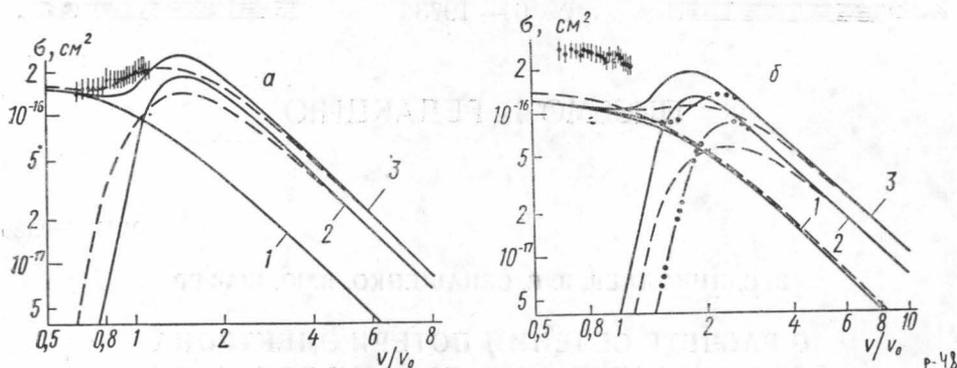
О РАСЧЕТЕ СЕЧЕНИЙ ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОНА МЕТАСТАБИЛЬНЫМИ АТОМАМИ ВОДОРОДА В ВОДОРОДЕ И ГЕЛИИ

В нашей предыдущей работе [1] было проведено довольно подробное рассмотрение сечений потери $1s$ -, $2s$ - и $2p$ -электронов различными водородоподобными ионами в атомарном водороде и гелии. Сечения были вычислены в первом борновском приближении. Кроме того, для форм-фактора атомов гелия использовалось простейшее аналитическое выражение, соответствующее вариационной водородоподобной волновой функции основного состояния, а при вычислении неупругой части сечений, которая соответствует ионизации быстрой частицы с одновременным возбуждением или ионизацией атома среды, для проведения суммирования по всем возможным состояниям атомов мишени применялось правило сумм. При использовании правила сумм вместо различных значений энергии ΔE_c , передаваемой атому среды при переходе его в различные возбужденные состояния, приходится иметь дело с некоторым средним значением переданной атому энергии $\overline{\Delta E}_c$. Путем выбора подходящих значений $\overline{\Delta E}_c$ величину возникающих вследствие этого неточностей при расчете сечений потери $1s$ -электронов, как указано в [1, 2], можно свести к 10%.

Погрешности, возникающие при расчете сечений потери $1s$ -электрона атомами водорода в гелии вследствие использования простейшего форм-фактора гелия, рассмотрены в [3]. Большой интерес представляет рассмотрение аналогичных погрешностей при вычислении сечений потери электрона возбужденными атомами водорода, так как в этих случаях вследствие значительно меньшей энергии связи теряемого электрона можно ожидать, что влияние параметров атомов среды на вычисляемые сечения будет значительно большим. В настоящее время такое рассмотрение может быть проведено, поскольку в работе Белла и Кингстона [4] вычислены сечения потери электрона метастабильными атомами водорода в атомарном водороде и гелии при описании как основного, так и возбужденных состояний атомов гелия достаточно точными волновыми функциями, причем неупругая часть сечений вычислялась путем прямого суммирования по всем наиболее важным возбужденным состояниям атомов мишени, включая состояния непрерывного спектра.

Результаты наших расчетов и расчетов Белла и Кингстона вместе с экспериментальными данными из работы [5] приведены на рис. 1. Из рисунка видно, что, как и в случае потери $1s$ -электрона, наибольшие различия между полными сечениями, вычисленными в указанных работах, имеют место в той области относительных скоростей v сталкивающихся частиц, где неупругие части сечений близки к максимальным значениям и в водороде и гелии достигают соответственно 1,2 и 1,6 раз. В последнем случае эту разницу можно уменьшить также до 20%, если при $s \equiv v/(Z/n)v_0 \ll [3(1 + u_c^2(Z/n)^2)]^{1/2}$ вместо принятых в [1] значений $\overline{\Delta E}_c = [u_c^2 + (Z/n)^2/Z_c^{*2}]I_0$ считать, что $\overline{\Delta E}_c = [(Z_c^* u_c)^{1/2} + (Z/n)^2/Z_c^{*2}]I_0$. (Здесь Z и Z_c — заряды ядер быстрых частиц и атомов среды, n — главное квантовое число начального состояния теряемого электрона, Z_c^* — эффективный заряд, характеризующий водородоподобную функцию основного состояния

атомов среды, u_c^2 — энергия связи электрона в атомах среды в единицах $I_0=13,6$ эв, $v_0=e^2/\hbar=2,19 \cdot 10^8$ см/сек.) В области $v > 5v_0$ полные сечения, полученные в [1] и [4], практически совпадают, различаясь не более чем на 2—3%. Следует отметить, что в случае потери 2s-электрона метастабильными атомами водорода в соударениях с атомами водорода различия между сечениями, вычисленными в [1] и [4], обусловлены только разницей в способе вычисления неупругой части сечения.



Сечение потери 2s электрона возбужденными атомами водорода в соударениях с атомами водорода (а) и гелия (б) в зависимости от их относительной скорости (в атомных единицах v_0). Сплошными и штрих-пунктирными кривыми представлены результаты наших расчетов, при $u_c^2 = u_c^2 + (Z/n)^2/Z_c^2$ и $u_c^2 \approx (Z_c^2 u_e)^{1/2} + (Z/n)^2/Z_c^2$. Штриховыми линиями — результаты расчетов Белла и Кингстона [4]. Цифрами 1, 2 и 3 обозначены $\sigma^{(y)}$, $\sigma^{(ну)}$ и полные сечения потери электрона σ . Точками представлены экспериментальные результаты из работы Гилбоди и др. [5]. В то же время в случае потери 2s-электрона быстрыми атомами водорода в гелии имеется, кроме того, небольшая разница и в псевдоупругой части сечения, соответствующей потери электрона в соударениях, в результате которых состояние атомов среды не изменяется. Эта разница обусловлена различиями в использованных волновых функциях основного состояния атомов гелия, и в области v от $0,5 v_0$ до $2 v_0$ не превышает 20%, а при $v > 2v_0$ не превышает 5%. В области скорости $v \geq 5v_0$, где погрешности, связанные с использованием правила сумм, практически отсутствуют, упрощение форм-фактора атомов гелия также практически не сказывается на величине полного сечения.

Из сравнения вычисленных сечений с экспериментальными следует, что в соответствии с выводами, сделанными в [2], в случае потери 2s-электрона совпадение сечений, вычисленных в борновском приближении, с экспериментальными начинается примерно при вдвое меньших значениях v , чем в случае потери 1s-электрона из основного состояния атома водорода. Следует отметить, что расчеты, выполненные с использованием правила сумм, согласуются с экспериментом практически не хуже, чем расчеты, выполненные путем суммирования парциальных сечений.

Таким образом приближение, принятое в работе [1], значительно упрощая технику расчета, приводит, тем не менее, к надежным количественным результатам, практически не уступающим по точности результатам более детальных расчетов с использованием достаточно точных волновых функций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев В. С., Сенашенко В. С., Шафер В. Ю. «Вестн. Моск. ун-та», физ., астрон., 14, № 3, 1973.
2. Дмитриев И. С., Жилейкин Я. М., Николаев В. С. ЖЭТФ, 49, 500, 1965.
3. Bell K. L., Dose V., Kingston A. E. J. Phys. (Atom. Molec. Phys.), 2B, 831, 1969.
4. Bell K. L., Kingston A. E. J. Phys. (Atom. Molec. Phys.), 4B, 162, 1971.
5. Gilbody H. W., Browning R., Reynolds R., Riddell G. I. J. Phys. (Atom. Molec. Phys.), 4B, 94, 1971.

Поступила в редакцию
14.5 1973 г.

НИИЯФ