

ОБРАЗОВАНИЕ ВЫСОКОВОЗБУЖДЕННЫХ АТОМОВ В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕЗАРЯДКИ

Е.С.Соловьев, Р.Н.Ильин, В.А.Опарин, И.Т.Серенков, Н.В.Федоренко

Высоковозбужденные атомы (атомы с главными квантовыми числами n около 10 и выше) по своему строению сходны с атомом водорода и должны обладать большим временем жизни. Одним из методов регистрации таких атомов является ионизация их в электрическом поле [1]. Хотя о существовании высоковозбужденных атомов различных элементов известно [2], но подробно исследовались свойства лишь высоковозбужденных атомов водорода [3–8]. В настоящей работе рассматривается образование высоковозбужденных атомов гелия, азота, кислорода и неона в процессе перезарядки быстрых ионов He^+ , N^+ , O^+ и Ne^+ в парах магния и особенности ионизации их электрическим полем.

В работе использовалась экспериментальная установка, описанная ранее [3, 6]. Пучок быстрых атомов получался путем перезарядки быстрых ионов в камере, наполненной парами магния, очищался от заряженных частиц и пропусклся через область с сильным электрическим полем E до 200 кВ/см, которое вызывало ионизацию высоковозбужденных атомов. Измерялась величина I – отношение числа атомов, ионизованных в поле E , к полному потоку атомов (относительный выход высоковозбужденных атомов). Величина I для атомов различных элементов, полученных в процессе перезарядки соответствующих ионов со скоростью

$v = 1,2 \cdot 10^8$ см/сек и ионизованных в поле $E = 120$ кэ/см (за время $t = 10^{-10}$ сек), приведена в таблице:

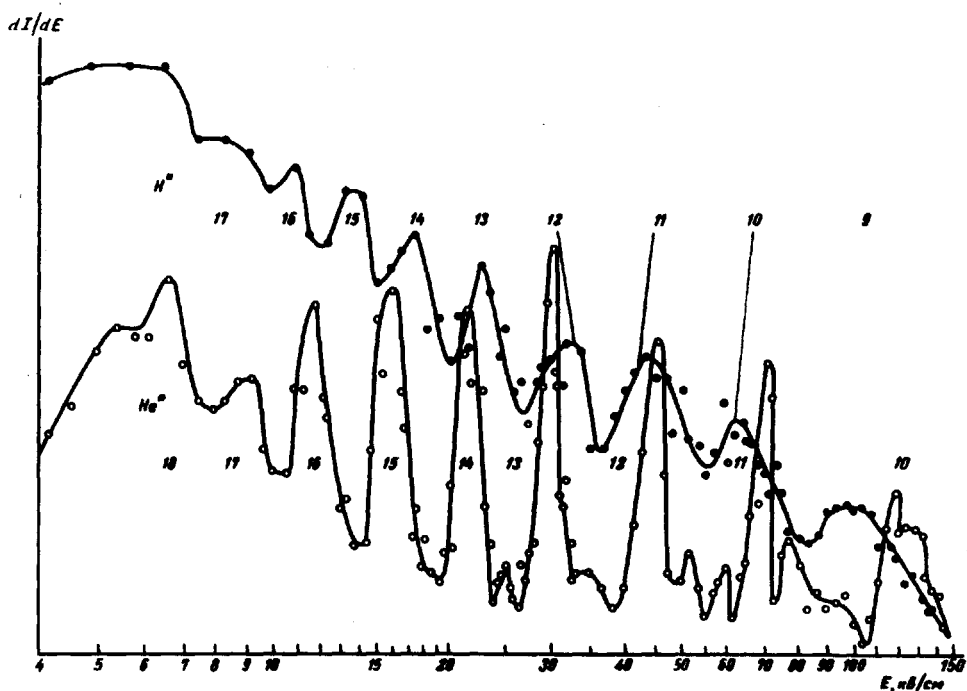
Возбужденный атом	H*	He*	N*	O*	Ne*
$I, \%$	0,5	0,6	1,5	1,0	0,75

При исследовании зависимости $I(E)$ оказалось, что величина I , также как и в случае перезарядки протонов с образованием высоковозбужденных атомов водорода [3, 6, 8], пропорциональна \sqrt{E} , что соответствует заселенности высоковозбужденных состояний, пропорциональной n^{-3} . Высоковозбужденные атомы N^* и O^* наблюдались также и в процессах диссоциации быстрых ионов N_2^+ и O_2^+ в парах магния. Высоковозбужденных долгоживущих молекул N_2^* и O_2^* обнаружить не удалось.

Более детально было исследовано образование высоковозбужденных атомов гелия, которые получались в процессе перезарядки быстрых ионов He^+ с энергией $30 - 180$ кэв на атомах Ne, Na или Mg. Было измерено сечение образования высоковозбужденных атомов гелия σ_c^n (по методу, описанному нами подробно в [6, 8]). Оказалось, что это сечение, также как и в случае образования высоковозбужденных атомов водорода при перезарядке протонов, максимально при скорости быстрого иона, равной скорости внешнего электрона в атоме мишени, а величина сечения при этой скорости пропорциональна $V^{-5/2}$, где V – ионизационный потенциал атома мишени.

Более подробные сведения о характере заселения уровней внутри одного значения n можно получить из исследования дифференциальной зависимости $dI/dE = f(E)$, представляющей собой своего рода "электрический" спектр атома. Этот спектр регистрировался путем наложения на постоянное ионизирующее поле E малого добавочного поля ΔE (в виде прямоугольных импульсов) и измерения путем счета отдельных ионов соответствующей добавки ΔI . Такой спектр был снят для высоковозбужденных атомов гелия, образующихся при перезарядке быстрых ионов He^+ с энергией 120 кэв в парах магния (см. рисунок). На том же рисунке для сравнения приведен и спектр высоковозбужденных атомов водорода, полученных в аналогичных условиях (величины dI/dE даны в произвольных единицах, различных для водорода и гелия). В обоих случаях на кривых четко видны максимумы, соответствующие различным n , но форма этих

максимумов различна. В случае водорода характер кривой и положение максимумов на ней хорошо согласуется с другими аналогичными экспериментальными данными [3–5] и с теоретическими расчетами [9]; максимумы довольно широкие и такая их форма может быть интерпретирована при предположении статистического заселения штарковских уровней (то есть уровней, характеризуемых разностью параболических квантовых чисел n_1 и n_2) внутри одного значения n . В случае гелия максимумы, соответствующие каждому n , более узкие, по ширине близкие к ширине одного штарковского уровня [4], и сопровождаются дополнительными меньшими по высоте максимумами.



Дифференциальная зависимость $dI/dE = f(E)$ для высоковозбужденных атомов гелия He^* (главные квантовые числа $n = 10 - 18$) и водорода H^* ($n = 9 - 17$). I — относительный выход высоковозбужденных атомов; E — ионизирующее электрическое поле. Энергия атомов He^* и H^* 120 кэВ. Мишень — пары магния.

Одной из причин, вызывающей различие в электрических спектрах гелия и водорода, является следующая. Из-за вырожденности уровней атома водорода линейный эффект Штарка для высоких n имеет место уже при очень малых полях (например, для $n = 10$ — при поле около 0,2 в/см) [10]. Поэтому, для больших n в момент столкновения заселяются штарковские уровни, а не уровни характеризуемые орбитальными

квантовыми числами ℓ ; кроме того, эти уровни из-за малой длительности столкновения обладают конечной шириной. В случае же гелия, вероятно, происходит захват в состояния, характеризующиеся орбитальными квантовыми числами, и спектр $dI/dE = f(E)$ является отражением такого первоначального заселения.

Таким образом, высоковозбужденные атомы различных элементов по ряду свойств, зависящих от главного квантового числа n , близки к высоковозбужденным атомам водорода. Однако, при рассмотрении свойств, связанных с другими квантовыми числами (ℓ, n_1, n_2), между водородом и другими элементами появляются заметные различия.

Физико-технический институт

им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
1 августа 1969 г.

Литература

- [1] Н.В.Федоренко, В.А.Анкудинов, Р.Н.Ильин. ЖТФ, 35, 585, 1965.
- [2] С.Е.Куприянов, ЖЭТФ, 55, 460, 1968; Письма в ЖЭТФ, 5, 245, 1967.
- [3] Р.Н.Ильин, Б.И.Кикиани, В.А.Опарин, Е.С.Соловьев, Н.В.Федоренко. ЖЭТФ, 47, 1235, 1964.
- [4] A.C.Riviere, D.R.Sweetman. Comptes rendus de la VI Conference internationale sur les phenomenes d'ionisation dans les gaz. 1963, Paris. V. I. p.105.
- [5] A.H.Futch, C.C.Damm. Nucl. Fusion, 3, 124, 1963.
- [6] Р.Н.Ильин, В.А.Опарин, Е.С.Соловьев, Н.В.Федоренко. Письма в ЖЭТФ, 2, 310, 1965; ЖТФ, 36, 1241, 1966.
- [7] Е.С.Соловьев, Р.Н.Ильин, В.А.Опарин, Н.В.Федоренко. ЖЭТФ, 53, 1933, 1967.
- [8] В.А.Опарин, Р.Н.Ильин, Е.С.Соловьев. ЖЭТФ, 52, 369, 1967.
- [9] J.R.Hiskes. Phys. Rev., 137 A, 361, 1965; Phys. Lett., 15, 42, 1965.
- [10] H.A.Bethe, E.E.Salpeter. Quantum mechanics of one- and two-electron atoms. Berlin 1957 (русский перевод: Г.Бете, Э.Солпитер. Квантовая механика атомов с одним и двумя электронами. М., Физматгиз, 1960).