

## ИОНИЗАЦИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ И ВБЛИЗИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВЫСОКОВОЗБУЖДЕННЫХ АТОМОВ И ИОНОВ БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ

*С.Е.Куприянов*

Ионизация в сильных электрических и магнитных полях быстрых высоковозбужденных атомов водорода, образованных перезарядкой протонов или диссоциацией молекулярных ионов на различных мишенях изучалась в работе Федоренко и др. [1].

Подобные исследования с высоковозбужденными многоэлектронными атомами и ионами, образующимися при электронном ударе [2-4], отсутствуют. В этих частицах только один из электронов возбужден в различные состояния с большими главными квантовыми числами  $n$ , а остальные электроны находятся в основном состоянии. Такие возбужденные частицы являются водородоподобными. Поэтому они должны иметь те же свойства, что и возбужденные атомы водорода: иметь большое время жизни для высоких  $n$ , ионизоваться в электрических и магнитных полях. Из-за малости энергии связи электрона в таких состояниях можно было ожидать, что эти частицы будут ионизоваться вблизи металлической поверхности.

Целью работы являлось исследование ионизации многоэлектронных высоковозбужденных водородоподобных частиц: 1) вблизи металлической поверхности, 2) в сравнительно слабом электрическом поле.

В этом сообщении мы приведем результаты прямых экспериментов, доказывающих наличие этих двух явлений для возбужденных многоэлектронных частиц. Опыты проводились на двойном масс-спектрометре. Доказательство первого осуществлялось постановкой на пути движения пучков возбужденных атомов и ионов металлических сеток, второго — созданием электрического поля  $\sim 10^3 + 10^4$  в/см и изучением их влияния на масс-спектры ионов.

Для получения пучков возбужденных атомов гелия и аргона и ионов аргона и ксенона были разработаны специальные источники, в которых ионизация и возбуждение атомов производились пучками электронов регулируемых энергий и токов. Один из них, был двухкамерный [4], в который была добавлена еще одна сетка. Наличие в источниках дополнительных электродов и сеток позволяло изучать влияние как электрического поля, так и металлических сеток на проходящие через них пучки возбужденных атомов и ионов.

Получены следующие результаты, некоторые из которых приведены на рисунках 1 и 2. Если на пути пучка медленных (тепловых) атомов аргона и гелия ставятся медные сетки, то в масс-спектре появляется столько острых, симметричных пиков, образованных однозарядными положительными ионами, сколько стоит сеток. На рис.1 эти пики обозначены цифрами 1 и 2. Кроме того, имеются еще широкие, несимметричные пики, если атомы проходят через области, в которых созданы электрические поля. Острые пики появляются и в случае отсутствия электрических полей вблизи сеток. Изменяя напряжения на электродах, связанных с сетками, можно перемещать эти пики по шкале масс в масс-спект-

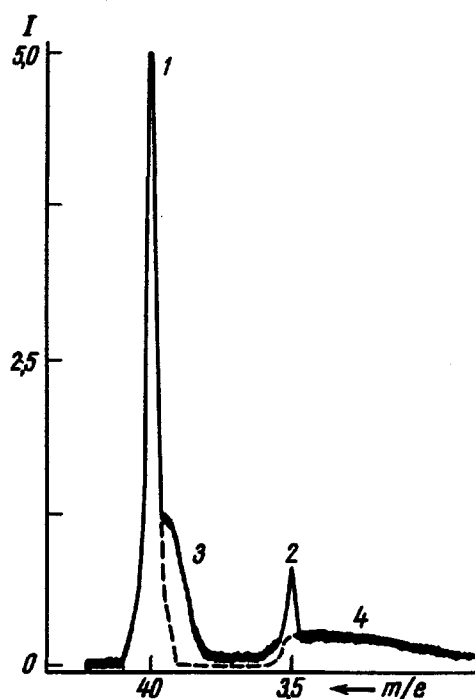


Рис.1. Масс-спектр ионов  $Ag^+$ , возникших при прохождении пучка высоковозбужденных атомов  $Ag^*$  через две сетки. Пунктиром показаны изменения, обусловленные отсутствием второй сетки и электрического поля в области первой

ре и совмещать друг с другом. Если сетка убрана, а на пути пучка атомов создано электрическое поле  $\approx 10^3$  в/см, то в масс-спектре появляется широкий несимметричный пик. На рис.1 он отмечен цифрой 4. Если электрическое поле создано около электрода с сеткой, то широкий пик образует вблизи острого пика "хвост", что отмечено цифрой 3.

Ионы, образующие острые и широкие пики, появляются в масс-спектре аргона и гелия при энергии электронов примерно на  $0,3 \text{ эв}$  ниже порога появления однозарядных ионов (см. рис.2, *a*), что соответствует порогу появления высоковозбужденных атомов [3, 4]. Высоты пиков линейно зависят от давления газа и тока электронов.

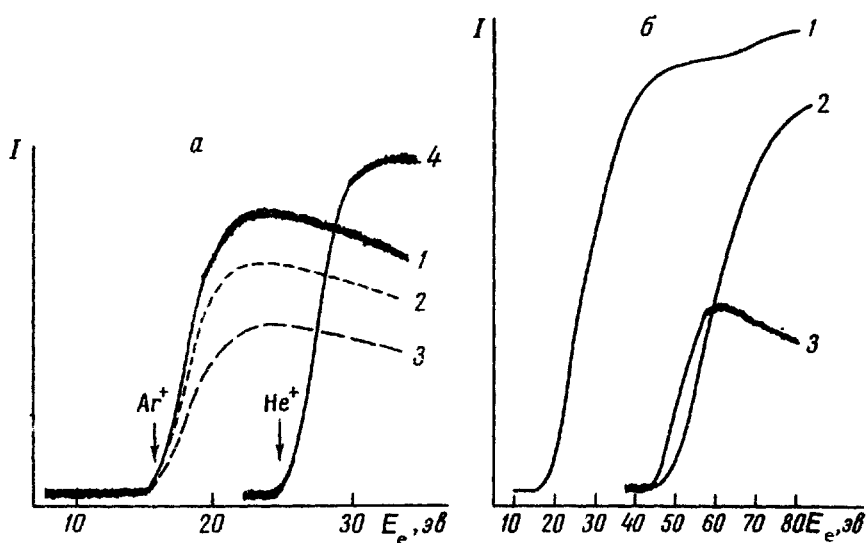


Рис.2. Влияние энергии электронов  $E_e$  на ионные токи  $I$  (в произвольных единицах). *a* – источник атомов. Кривые 1, 2 и 3 относятся к ионам  $\text{Ar}^+$ , пики которых на рис.1 обозначены 1, 3 и 2 соответственно, а 4 –  $\text{He}^+$ . *b* – источник ионов. Кривые 1 и 2 относятся к ионам  $\text{Ar}^+$  и  $\text{Ar}^{2+}$ , соответственно, возникшим при столкновении электронов с атомами аргона. Кривая 3 относится к ионам  $\text{Ar}^{2+}$ , образованным из ионов  $\text{Ar}^{+*}$  при прохождении их через металлическую сетку

Детальное исследование, состоящее в изучении влияния энергии и тока электронов, давления газов, величины электрических полей без сеток и с сетками показывает, что острые пики в  $\text{Ar}$  и  $\text{He}$  образованы однозарядными ионами, возникшими в результате ионизации возбужденных атомов вблизи металлической поверхности, а широкие пики обусловлены однозарядными ионами, образовавшимися в пространстве между электродами в результате ионизации возбужденных атомов в электрическом поле. В этом случае ионы получают разную энергию, а поэтому образуют широкий пик.

Аналогичные опыты были проведены с возбужденными ионами  $\text{Ar}^{+*}$ . В этом случае прикрывание щелей сетками также приводило к появлению новых, острых и симметричных пиков, но образованных двухзарядными ионами  $\text{Ar}^{2+}$ . Эти пики появляются при энергии электронов, примерно на  $0,3 \text{ эв}$  ниже порога появления двухзарядных ионов, возникших

в результате столкновения электронов с атомами, что показано на рис.2, б, т.е. при пороге появления высоковозбужденных однозарядных ионов [2]. Пики перемещаются по шкале масс в зависимости от напряжения на электродах, связанных с сетками. В случае работы с ионами  $\text{Ag}^{+}$  сетки ставились на пути пучка не только в источнике и после него, но и после первого магнитного анализатора двойного масс-спектрометра. Последние опыты были проведены и с ионами  $\text{Xe}^{+}$ . Во всех этих случаях металлические сетки можно было перемещать без нарушения вакуума в приборе. Влияние электрического поля и сеток было аналогичным тому, которое наблюдалось для пучков возбужденных атомов. При работе с ионами  $\text{Xe}^{+}$  изучалось, кроме того, влияние ширины  $l$  щели, стоящей между магнитными анализаторами. Интенсивность однозарядных ионов падает при уменьшении  $l$ , а интенсивность двухзарядных ионов, возникших из возбужденных однозарядных, почти не меняется. В результате этого их относительная интенсивность  $I' \sim l^{-1}$ .

Анализ всех полученных результатов приводит к выводу, что высоковозбужденные многоэлектронные атомы и ионы ионизируются вблизи металлической поверхности и в электрическом поле. Эти процессы в проведенных опытах приводят к появлению в масс-спектрах острых и широких пиков, соответственно. Существование первого следует из того, что острые пики появляются только при наличии сеток или узких коллимирующих щелей на пути движения возбужденных частиц и для их появления не обязательно присутствие электрических полей около сеток. Второе следует из того, что широкие пики появляются только при наличии на пути движения возбужденных частиц электрических полей, изменяются в зависимости от них и для их появления не обязательно наличие сеток.

Можно думать, что атомы и ионы других веществ, находящиеся в высоковозбужденных водородоподобных состояниях, и высоковозбужденные атомы водорода, будут ионизоваться около металлической поверхности. Таким образом, измеряя на коллектор ток положительных ионов, возникших при ионизации возбужденных частиц в результате взаимодействия с металлической поверхностью сетки, или измеряя ток электронов на сетке, можно детектировать атомы и ионы в высоковозбужденных состояниях.

Научно-исследовательский  
физико-химический институт  
им. Л.Я.Карпова

Поступило в редакцию  
11 января 1967 г.

### Литература

- [1] Н.В.Федоренко, В.А.Анкудинов, Р.Н.Ильин. ЖТФ, 35, 585, 1965.
- [2] С.Е.Куприянов, З.З.Латыпов. ЖЭТФ, 47, 52, 1964.
- [3] V.Čermak, Z.Herman. Collect. Czechosl. Chemic. communicat., 29, 953, 1964.
- [4] С.Е.Куприянов. ЖЭТФ, 48, 467, 1965.