

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ  
ДОЛГОЖИВУЩИХ АВТОИОНИЗАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ  
ИОНОВ  $Ca^+$  и  $Sr^+$

С. Е. Куприянов

Недавно обнаружены [1] автоионизационные состояния литийподобных ионов  $N^{4+}$  и  $O^{5+}$ , сохраняющих свое возбуждение  $\sim 5 \cdot 10^{-8}$  сек. Время жизни атомов [2] лития, калия и рубидия в автоионизационном состоянии значительно больше  $\sim 5 \cdot 10^{-6}$  сек,  $9 \cdot 10^{-5}$  сек и  $7,5 \cdot 10^{-5}$  сек, соответственно. Из других работ [3,4] известно, что при столкновении электронов с атомами кальция происходят быстрые автоионизационные процессы.

Из анализа всех этих работ можно было ожидать, что ионы  $Ca^+$  и  $Sr^+$  могут образовываться в автоионизационных состояниях, сохраняющих свое возбуждение достаточно долго ( $> 10^{-6}$  сек), чтобы их удалось обнаружить при помощи масс-спектрометра. Другими словами, мы ожидали, что при столкновении электронов с атомами  $Ca$  и  $Sr$  у ионов  $Ca^+$  и  $Sr^+$  изoeлектронных, соответственно,  $K$ - и  $Rb$ , могут достигаться возбужденные состояния, времена жизни которых как к испусканию фотона, так и электрона много больше характерных времен этих процессов для незапрещенных переходов. Доказательство этого и являлось целью данной работы.

Работа проводилась на двойном масс-спектрометре [5]. Пучок ускоренных до 2,8 кэв ионов  $\text{Ca}^+$  или  $\text{Sr}^+$  выделялся первым магнитным анализатором и направлялся через щель в камеру, расположенную между первым и вторым магнитными анализаторами. Образовавшиеся в камере двухзарядные ионы  $\text{Ca}^{2+}$  или  $\text{Sr}^{2+}$  выделялись из пучка исходных однозарядных ионов вторым магнитным анализатором и регистрировались электрометрическим усилителем. Эти двухзарядные ионы могли возникнуть из однозарядных ( $\text{A}^+$ ) в результате трех основных процессов: 1) автоионизации  $\text{A}^+ \rightarrow \text{A}^{2+} + e$ , 2) обдирки при столкновении с атомами и молекулами остаточных газов  $\text{A}^+ + \text{M} \rightarrow \text{A}^{2+} + \text{M} + e$ , 3) ионизации вблизи металлических поверхностей  $\text{A}^+ + \text{Me} \rightarrow \text{A}^{2+} + \text{Me}$ . Меняя условия опыта, можно выделить тот или иной процесс, а другие полностью подавить или их вклад свести к минимуму.

Для установления процесса, приводящего к появлению этих двухзарядных ионов, нами изучено влияние на их интенсивность и интенсивность исходных однозарядных ионов следующих факторов: изменения энергии электронов от 5 до 120 эв, тока электронов от 0,2 до 2,0 ма, давления постороннего газа (воздуха) в камере от  $3,10^{-7}$  до  $3,10^{-5}$  мм рт.ст. Изменялась геометрия щелей, интенсивность пучка исходных ионов. При этом контролировался и пучок двухзарядных ионов, образованных в источнике ионов при столкновении электронов с атомами.

Аналогичные измерения проводились и с ионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Sr}^{2+}$ , возникшими из однозарядных ионов  $\text{Ca}^+$  и  $\text{Sr}^+$  в области между ионным источником и магнитным полем первого анализатора.

Проведенные опыты показывают, что ионные токи  $I$  двухзарядных ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Sr}^{2+}$ , возникших из однозарядных ионов, изменяются от давления  $p$  газа как  $I = K + ap$ , где  $K$  и  $a$  - постоянные. Их интенсивность прямопропорциональна интенсивности исходных однозарядных ионов и току электронов.

На рис. 1 и 2 приведены ионизационные кривые в произвольных единицах для  $\text{Ca}$  и  $\text{Sr}$ , автоматически записанные на электронном потенциометре. Магнитное поле в источнике ионов отсутствовало. Можно видеть, что ионизационные кривые  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Sr}^{2+}$  имеют необычный вид.

Ионные токи ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Sr}^{2+}$  (кривые 2), образованных в ионном источнике, резко возрастает при энергии электронов  $\approx 10$  эв над их порогами. Такое поведение в случае кальция было объяснено [3,4] быстрыми автоионизационными процессами, происходящими в источнике

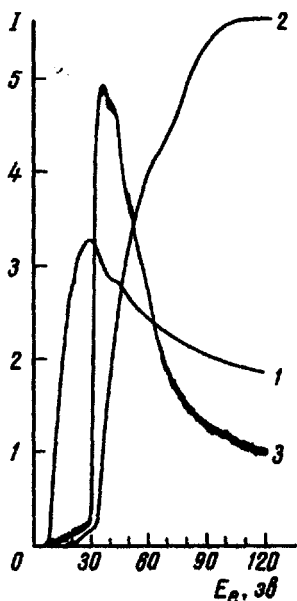
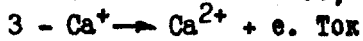
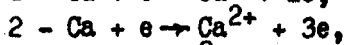
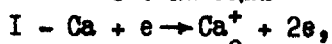


Рис.1. Ионизационные кривые кальция



электронов 0,5 ма, давление

в камере  $\sim 9 \cdot 10^{-7}$  мм рт.ст.

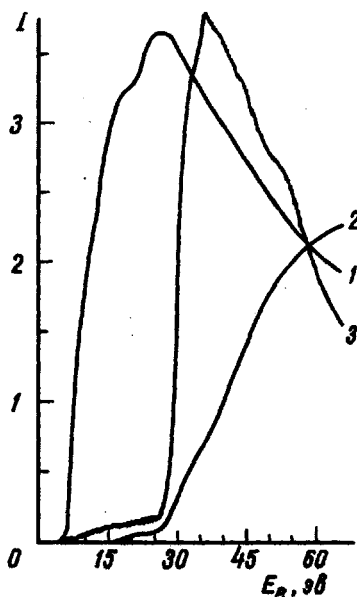
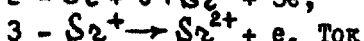
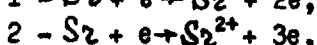
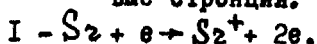


Рис.2. Ионизационные кривые стронция.



электронов 0,8 ма, давление

в камере  $\sim 3 \cdot 10^{-7}$  мм рт.ст.

ионов при энергии электронов  $\sim 31$  эв, соответствующей энергии связи одного из  $3p^6$  внутренних электронов  $\text{Ca}$ . Аналогично этому излом кривой 2 в случае  $\text{Sr}^{2+}$  можно объяснить быстрыми автоионизационными процессами в источнике ионов, так как он появляется при энергии электронов, близкой к энергии связи одного из  $4p^6$  внутренних электронов  $\text{Sr}$ , которая по данным [6]  $\sim 27$  эв. Изломы на кривых 3 в пределах ошибок опыта  $\pm 1$  эв совпадают с этими энергиями. Но эти кривые характеризуют двухзарядные ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Sr}^{2+}$ , образовавшиеся из соответствующих однозарядных ионов в камере в условиях, при ко-

торых вклады процессов [2,3] малы. Следовательно, при этих энергиях электронов в пучке однозарядных ионов появляется примесь сильно возбужденных ионов, сохраняющих свое возбуждение  $\geq 10^{-5}$  сек и превращающихся в двухзарядные ионы путем автоионизации. Форма кривых 3 характерна для возбуждения оптически запрещенных состояний.

Можно ожидать, что у других ионов, изоэлектронных изученным, будут образовываться автоионизационные состояния с большим временем жизни.

Научно-исследовательский  
физико-химический институт

Поступило в редакцию  
19 июля 1966 г.

#### Литература

- [1] И.С.Дмитриев, Л.И.Виноградова, В.С.Николаев, Б.М.Попов. Письма ЖЭТФ, 3, 35, 1966.
- [2] P.Feldman, R.Novick. Phys. Rev. Lett, II, 278, 1963.
- [3] P.Fiquet-Fayard, M.Lahmani. J.Chim. Phys. et Phys.-chim. Biol., 59, 1050, 1962.
- [4] У.Капекс, J.Капомато. J.Phys. Soc. Japan, 18, 1823, 1963.
- [5] С.Е.Куприянов, А.А.Перов. ЖТФ, 33, 823, 1963.
- [6] J.C.Slater. Phys. Rev., 98, 1039, 1955.