

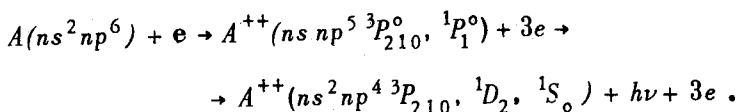
ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКРАТНОЙ ИОНИЗАЦИИ АТОМОВ  
ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ ЗА СЧЕТ ОДНОВРЕМЕННОГО ВЫРЫВАНИЯ  
*s*- И *p*-ЭЛЕКТРОНОВ БОМБАРДИРУЮЩИМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

*В.Ф.З.Папп, В.С.Шевера, И.П.Занесочный*

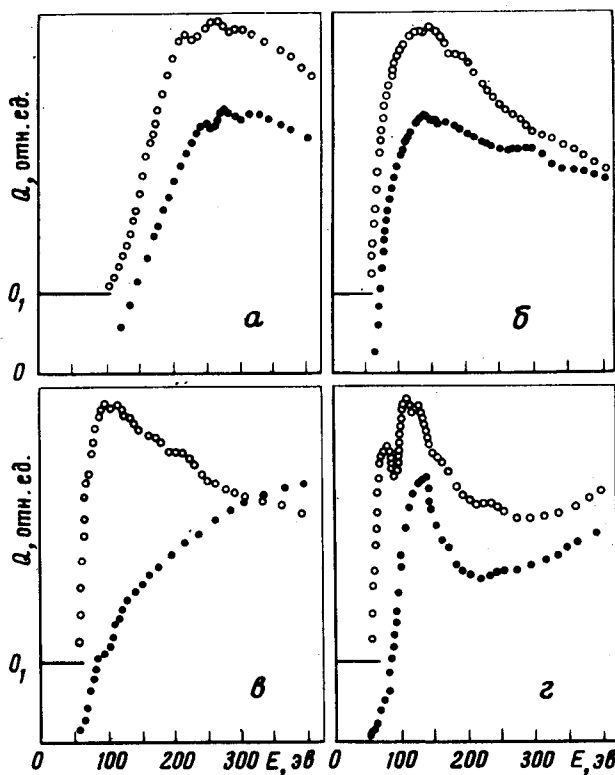
Исследовано явление одновременной *s*- и *p*-ионизации атомов Ne, Ar, Kr и Xe электронным ударом путем детектирования , ультрамягкого рентгеновского излучения ( $\lambda \sim 40 - 120 \text{ нм}$ ), возникающего при распаде состояний  $ns\ n p^5$  ( $^1P_1^o, ^3P_{210}^o$ ) двухкратных ионов. Изучены энергетические зависимости и количественные характеристики исследованного явления.

В обычных экспериментах по ионизации атомов электронным ударом практически невозможно определить вклад ионов, образующихся при удалении электронов из внутренних оболочек. Для атомов инертных газов процесс однократной  $s$ -ионизации изучался по ультрамягкому рентгеновскому излучению, возникающему при заполнении  $s$ -вакансий  $p$ -электронами внешней оболочки [1, 2]. Процессы же с одновременным вырыванием  $s$ - и  $p$ -электронов при образовании двухкратных ионов инертных газов не исследовались, за исключением некоторых сведений в [3].

В настоящей работе впервые и детально исследовано явление одновременной  $s$ - и  $p$ -ионизации электронным ударом атомов неона, аргона, криптона и ксенона, сопровождающееся испусканием ультрамягкого рентгеновского (УМР) излучения:



Измерения выполнены на специальной установке с использованием протяженного ленточного электронного пучка [4]. Детектирование УМР излучения производилось с помощью вакуумного ультрафиолетового монохроматора и вторично-электронного умножителя, работавшего в режиме счета фотоэлектронов. Калибровка чувствительности установки выполнена по данным работы [5] и абсолютные значения эффективных сечений определены с погрешностью  $\pm 30\%$ .



Энергетические зависимости одновременной  $s$ - и  $p$ -ионизации атомов инертных газов в триплетные  $^3P_j^o$  (кружки) и синглетные  $^1P_j^o$  (точки) состояния:  $a$  — Ne,  $б$  — Ar,  $в$  — Kr,  $г$  — Xe

Полученные результаты по измерению эффективных сечений возбуждения некоторых из наиболее интенсивных УМР<sup>с</sup> линий приведены в таблице, а на рисунке показаны их энергетические зависимости. По своему происхождению величины и поведение сечения возбуждения с изменением энергий электронов исследованных УМР линий в достаточной степени описывает непосредственно элементарный процесс одновременной *s*- и *p*-ионизации атомов инертных газов соударениями электронов.

Ион	УМР переход	$\lambda$ , нм	$E_{\text{пор}}$ , эв	$E_{\text{макс}}$ , эв	$Q_{\text{макс}} \times 10^{19}$ см <sup>2</sup>
Ne III	$2s 2p^5 \ ^1P_1^o \rightarrow 2s^2 2p^4 \ ^1D_2$	37,93	98,5	278	0,4
	$2s 2p^5 \ ^3P_2^o \rightarrow 2s^2 2p^4 \ ^3P_2$	48,95*	88,0	—	—
	$2s 2p^5 \ ^3P_2^o \rightarrow 2s^2 2p^4 \ ^3P_1$	49,11*	88,0	—	—
	$2s 2p^5 \ ^3P_1^o \rightarrow 2s^2 2p^4 \ ^3P_2$	48,81*	88,0	—	3,9
	$2s 2p^5 \ ^3P_1^o \rightarrow 2s^2 2p^4 \ ^3P_1$	48,96*	88,0	264	—
	$2s 2p^5 \ ^3P_1^o \rightarrow 2s^2 2p^4 \ ^3P_0$	49,03*	88,0	—	—
	$2s 2p^5 \ ^3P_0^o \rightarrow 2s^2 2p^4 \ ^3P_1$	48,89*	88,1	—	—
Ar III	$3s 3p^5 \ ^1P_1^o \rightarrow 3s^2 3p^4 \ ^1D_2$	76,92	61,3	136	1,5
	$3s 3p^5 \ ^1P_1^o \rightarrow 3s^2 3p^4 \ ^3P_1$	88,74	57,5	142	1,3
Kr III	$4s 4p^5 \ ^1P_1^o \rightarrow 4s^2 4p^4 \ ^1D_2$	78,66	56,2	400	4,2
	$4s 4p^5 \ ^3P_1^o \rightarrow 4s^2 4p^4 \ ^3P_2$	83,77	53,4	116	3,4
Xe III	$5s 5p^5 \ ^1P_1^o \rightarrow 5s^2 5p^4 \ ^3P_0$	90,18	48,1	108	2,7
	$5s 5p^5 \ ^3P_2^o \rightarrow 5s^2 5p^4 \ ^3P_2$	101,77	45,5	134	7,6

\* — линии спектроскопически не разрешались.

Как следует из результатов, такие процессы характеризуются сравнительно большой эффективностью ( $\sigma \approx 10^{-18} - 10^{-19}$  см<sup>2</sup>), при этом максимальные значения сечений возрастают с увеличением порядкового номера элемента. Переходы с общим верхним уровнем (даже при различных *j*) для данного атома имеют идентичные энергетические зависимости. Для разных атомов имеет место заметное различие и наблюдается также определенная структура на них, которая наиболее рельефно проявляется у тяжелых атомов.

Вследствие полного отсутствия теоретических данных по исследованному процессу не представляется возможным провести детальное

обсуждение результатов. Можно лишь высказать некоторые предположения. Величина сечений и энергетическое поведение одновременной  $s$ - и  $p$ -ионизации при ее исследовании методом УМР спектроскопии может изменяться вследствие радиационных каскадных переходов с более высоких возбужденных уровней на состояния иона  $A^{+4}$  ( $ns\ np^5\ ^3P_{210}^o$ ,  $^1P_1^o$ ) распада автоионизационных состояний, а также конфигурационного взаимодействия.

Из спектроскопических данных [6] следует, что радиационные каскадные переходы в неоне и аргоне не наблюдаются, а в криптоне и ксеноне они весьма слабые. Поэтому, можно полагать, что каскадное заселение не играет заметной роли. Известные в настоящее время наиболее высоколежащие автоионизационные состояния типа  $ns\ np^5\ n^{\prime}l^{\prime}n^{\prime\prime}l^{\prime\prime}$  и  $ns^2\ np^4\ n^{\prime}l^{\prime}n^{\prime\prime}l^{\prime\prime}$  [7] вследствие их энергетического расположения не могут вносить вклад в заселение исследованных состояний. Конфигурационное же взаимодействие с состояниями  $n\ s^2\ np^3\ n^{\prime}l^{\prime\prime\prime 1,3}L$  может проявиться. Мы полагаем, что наблюдаемая тенденция более четкого выделения максимумов у тяжелых атомов связана как раз с уменьшением энергетического расстояния между взаимодействующими уровнями, т. е. проявлением конфигурационного взаимодействия.

На основании вышесказанного следует считать, что только в случае несна в наиболее чистом виде проявляется одновременная  $s$ - и  $p$ -ионизация. Для остальных инертных газов она вероятно маскируется в той или иной степени конфигурационным взаимодействием.

Ужгородский  
государственный университет

Поступила в редакцию  
25 ноября 1976 г.

### Литература

- [1] В.Ф. Luyken, F. J. De Heer, R. Ch. Vaas. Physica, 61, 200, 1972.
- [2] И.П. Запесочный, И.Г. Жуков, П.Ф. Фельцан. ЖЭТФ, 65, 1357, 1973.
- [3] H. Hertz. Z. Naturforsch, 24a, 1937, 1969.
- [4] В.Ф. З. Папп, А.К. Шуаибов, Н.Т. Ортутай, И.П. Запесочный, В.С. Шевра. IV Всесоюзная конференция по спектроскопии вакуумного ультрафиолетового излучения и взаимодействия с веществом. Ужгород. Тезисы докладов, стр. 78, 1975.
- [5] A. F. J. van Raan. Physica, 65, 566, 1973.
- [6] А.Р. Стриганов, Н.С. Свентицкий. Таблицы спектральных линий нейтральных и ионизованных атомов. Атомиздат, 1966.
- [7] R. P. Madden, D. L. Ederer, K. Codling. Phys. Rev., 177, 136, 1969.