

ОДНОФОТОННЫЙ РАСПАД СОСТОЯНИЙ ИОНОВ С ДВУМЯ ВНУТРЕННИМИ $L_{2,3}$ -ВАКАНСИЯМИ

*В. В. Афросимов, Ю. С. Гордеев, В. М. Дукельский,
А. Н. Зиновьев, А. П. Шергин*

Обнаружено характеристическое излучение, отвечающее двух-электронному радиационному переходу $3s3p - 2p^2$ при заполнении двух $L_{2,3}$ -вакансий в ионах $C1$ и Ag . Определены вероятности однофотонного распада, которые составляют $\sim 10^{-6}$ от полной вероятности распада исходного состояния с двумя $L_{2,3}$ -вакансиями.

В нашей работе [1] был обнаружен новый тип оже-переходов с участием трех электронов, когда две внутренние $L_{2,3}$ -вакансии заполняются двумя наружными M -электронами, а всю высвобождающуюся энергию уносит третий M -электрон. В настоящей работе наблюдался переход, когда энергия двух вакансий уносится одним фотоном. Таким образом исследованы оба канала одновременного распада двух внутренних вакансий. В [2] сообщалось о наблюдении однофотонного распада двух K -вакансий. Поскольку для L -вакансий выход флуоресценции значительно ниже, чем для K -оболочек, и составляет для ионов $C1$ и $Ag \sim 10^{-3}$ [3], можно было ожидать сильного подавления однофотонного распада двух $L_{2,3}$ -вакансий автоионизацией. Однако оказалось, что "выход флуоресценции" при двухэлектронном заполнении $L_{2,3}$ -вакансий того же порядка, что и обычный выход флуоресценции. Существенным результатом настоящей работы явилась возможность экспериментально определить вероятность однофотонного распада двух внутренних вакансий, используя сечения образования двух вакансий в одной частице $\sigma(LL)$ в столкновениях с участием ионов $C1$ и Ag , которые известны из наших предшествовавших измерений [1, 4].

Изучались столкновения ионов $C1$ и Ag с атомами Ag при энергии налетающих ионов 48 кэВ . В качестве детектора излучения использовался проточный пропорциональный счетчик с кварцевым окном толщиной менее 2 мм и площадью $4 \times 18 \text{ мм}^2$. Благодаря использованию кварца была достигнута достаточно высокая эффективность регистрации квантов ($> 10\%$). Высокая чувствительность детектора позволяла измерять сечения $\sim 10^{-27} \text{ см}^2$. Ошибка в определении сечений составляла 40% и была связана главным образом с ошибкой при измерении прозрачности окна.

Интенсивность излучения, возникающего при обычных $3s - 2p$ -переходах, превосходит интенсивность исследуемых $3s.3p - 2p^2$ -переходов в $\sim 10^4$ раз. Вследствие недостаточного разрешения пропорционального счетчика в изучаемой области энергий квантов это излучение препятствовало проведению наблюдений. Для его подавления кроме материала окна счетчика использовались два дополнительных фильтра из Al толщиной по $0,5 \text{ мм}$, что позволило ослабить $3s - 2p$ -излучение по сравнению с изучаемыми переходами для излучения ионов $C1$ и Ag соответственно в 10^9 и 10^7 раз.

Установлено, что при введении дополнительного фильтра положение линии в амплитудном спектре не меняется. Это свидетельствует о том, что наблюдаемый пик является характеристическим, а не частью непрерывного спектра, выделенной фильтром.

Энергии исследуемых квантов измерялись двумя способами: по поглощению излучения в фильтре из Al точно известной толщины и по положению максимума контура в амплитудном спектре импульсов пропорционального счетчика. Для калибровки счетчика в области энергий 400 – 1500 эв использовались интенсивные линии K_{α} -излучения N, O, Ne и Al, возбуждаемые в столкновениях соответствующих ионов.

Результаты измерения энергий квантов при однофотонном распаде двух $L_{2,3}$ -вакансий в ионах Cl и Ag приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Энергии $3s3p-2p^2$ -переходов

Частица	Теория [3, 5]	Эксперимент (по спектральному положению)	Эксперимент (по поглощению)
Ag	490	490 ± 20 эв	485 ± 15 эв
Cl	410	425 ± 30 эв	-

В табл. 1 приведены также расчетные значения энергий квантов, которые определялись как разность энергии начальной и конечной конфигураций иона $2p^43s^23p^n$ и $2p^63s3p^{n-1}$. Как было установлено ранее, в изучаемых столкновениях одновременно с образованием внутренних вакансий происходит ионизация наружных оболочек. Согласно [4], "средние" значения n для Cl и Ag равны соответственно 3 и 4. Энергии интересующих нас конфигураций ионов взяты из [3, 5]. Между экспериментальными и расчетными величинами энергий квантов имеется хорошее согласие.

В табл. 2 приведены сечения однофотонного распада двух вакансий $\sigma(LL-MM)$, измеренные в настоящей работе, а также сечения трехэлектронных оже-переходов $\sigma(LL-MMM)$ из работы [1]. Величины $\frac{\sigma(LL-MM)}{\sigma(LL)}$

и $\frac{\sigma(LL-MMM)}{\sigma(LL)}$ представляют собой отношения вероятностей уноса всей

энергии двух вакансий соответственно одним фотоном или одним электроном к полной вероятности распада, основным каналом является

обычный оже-переход. Отношение $\frac{\sigma(LL-MM)}{\sigma(LL-MMM)}$ отражает относительную ве-

роятность радиационного канала при одновременном распаде двух $L_{2,3}$ -вакансий, т.е. является аналогом "выхода флуоресценции" для рассматриваемых процессов. Интересен факт, что выход флуоресценции для обычных переходов имеет тот же порядок величины [3].

Выполненные в работе Амусьи и др. [6] расчеты вероятности двухэлектронного радиационного перехода в Ag, дают значение $\mathbb{W}(LL-MM) =$

$\approx 3,02 \cdot 10^{-7}$ эв. Поскольку вероятность оже-распада $L_{2,3}$ -вакансии в присутствии второй $L_{2,3}$ -вакансии составляет $W(L-MM) = 0,084$ эв [6], вероятность распада любой из двух имеющихся вакансий будет $2W(L-MM) = 0,17$ эв, поэтому теоретическое значение для $\frac{\sigma(LL-MM)}{\sigma(LL)} = \frac{W(LL-MM)}{2W(L-MM)}$

$\approx 1,8 \cdot 10^{-6}$, что удовлетворительно согласуется с экспериментальными значениями.

Т а б л и ц а 2

Частица	$\sigma(LL-MM)$	$\sigma(LL-MMM)$ [1]	$\frac{\sigma(LL-MM)}{\sigma(LL)}$	$\frac{\sigma(LL-MMM)}{\sigma(LL)}$ [1]	$\frac{\sigma(LL-MM)}{\sigma(LL-MMM)}$
Ag	$4,7 \cdot 10^{-24}$	$1,1 \cdot 10^{-21}$	$(1,7 \div 4,3) \cdot 10^{-6}$	$(3,8 \div 9,7) \times 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$
Cl	$11 \cdot 10^{-24}$	$9,9 \cdot 10^{-21}$	$0,7 \cdot 10^{-6}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$

Уменьшение отношения $\frac{\sigma(LL-MM)}{\sigma(LL)}$ в 2 – 6 раз при переходе от Ag к Cl

может быть связано с тем, что в столкновениях $Cl^+ - Ag$ вероятность возбуждения $3s$ -подоболочки Cl выше, чем $3s$ -подоболочки Ag в случае $Ag^+ - Ag$. Поскольку времена жизни $L_{2,3}$ -вакансий ($10^{-14} \div 10^{-15}$ сек) меньше времен распада автоионизационных состояний наружных оболочек ($10^{-13} \div 10^{-14}$ сек [7]), однофотонный распад двух внутренних вакансий возможен, когда $3s$ - и $3p$ -уровни еще вакантны.

Авторы признательны М.Я.Амусье, Н.А.Черепкову и И.С.Ли за полезные обсуждения и Б.И.Макаренко за помощь в проведении измерений.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
6 июля 1976 г.

Литература

- [1] В.В.Афросимов, Ю.С.Гордеев, А.Н.Зиновьев, Д.Х.Расулов, А.П.Шергин. Письма в ЖЭТФ, 21, 535, 1975.
- [2] W. Wöfli, Ch. Stoller, G. Bonani, M. Suter, M. Stöckli. Phys. Rev. Lett., 35, 656, 1975; T. Hoogkamer, P. Woerlee, F. W. Saris, M. Gavrilla. Abstr. II Int. Conf. Inner Shell Ioniz. Phenom., Freiburg, 1976, p. 158; R. Schuch, H. Schmidt-Böcking, R. Schule, G. Nolte, I. Tserruya, W. Lichtenberg, K. Stiebing. ibid, p. 161.
- [3] R. J. Fortner. Phys. Rev., A10, 2218, 1974.
- [4] В.В. Афросимов, Ю.С. Гордеев, А.М. Полянский, А.П. Шергин. ЖЭТФ, 63, 799, 1972.
- [5] F. P. Larkins. J. Phys. B: Atom. Molec. Phys., 4, 1, 1971.

- [6] М.Я.Амусья, А.Н.Зиновьев, И.С.Ли. Письма в ЖЭТФ (следующая статья).
- [7] М.Ya.Amusia, V.K.Ivanov, M.A.Cherepkov, L.V.Chernysheva. Abstr. VII ICPEAS, Amsterdam, 1971, p. 1022.
-