

ОБ ИЗЛУЧАТЕЛЬНОМ РАСПАДЕ АВТОИОНИЗАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ NaI, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-АТОМНЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ

Ю.В.Жменяк, В.С.Вукстич, И.П.Запесочный

Впервые наблюдался излучательный распад автоионизационных состояний NaI. Определены абсолютные сечения электронного возбуждения переходов $(2p^6 3p)^2P - (2p^5 3p 3s)^4L$. На измеренных функциях возбуждения исходных уровней излучательных переходов в припороговой области обнаружены резонансы.

К настоящему времени в литературе отсутствуют какие-либо сведения об излучательном распаде автоионизационных состояний атомов натрия. В данной работе исследован процесс возбуждения автоионизационных состояний NaI, распад которых сопровождается испусканием ультрамягкого рентгеновского излучения.

Исследования проводились на спектрометрической установке с пересекающимися под прямым углом электронным и атомным пучками и вакуумным монохроматором скользящего падения лучей¹. С целью поиска малоинтенсивных линий спектры излучения натрия в ультрамягкой рентгеновской области записывались по точкам при сканировании длин волн регистрируемого излучения с определенным шагом и накоплении сигнала в каждой точке на протяжении 300 сек. Исследование спектров проводилось при различных энергиях бомбардирующих электронов от 30 до 500 эВ в области 30 – 45 нм. Кроме известных линий NaII² в исследуемой области были обнаружены линии 38,3; 39,0; 39,6; 40,0 и 40,5 нм.

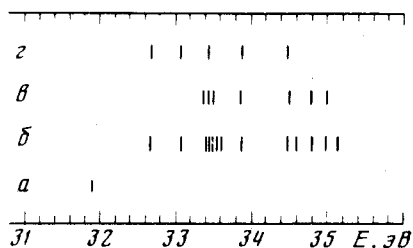


Рис. 1. Энергетическое положение уровней конфигурации NaI $2p^5 3p 3s$ (относительно основного состояния атома), наблюдавшихся в работах³ (а),⁴ (б),⁵ (в), а также в настоящей работе (г)

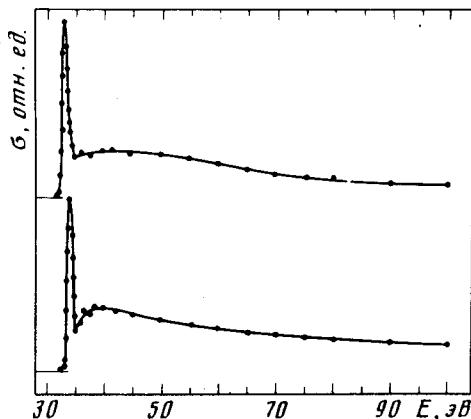


Рис. 2. Функции возбуждения спектральных линий NaI 39,6 нм (нижняя кривая) и 40,5 нм (верхняя кривая)

Они наблюдаются уже при энергиях, меньших порога возбуждения наиболее глубокого уровня иона Na, поэтому их надо рассматривать как соответствующие спектральным переходам в системе атома из высоковозбужденных состояний типа $(2p^5 3s nl)^4L$. Используя полученные в ходе наших экспериментов данные об энергии регистрируемых квантов излучения и пороговой энергии возбуждения линий, мы определили, что конечным для всех наблюдаемых переходов является состояние $(2p^6 3s)^2P$, а начальные состояния этих переходов относятся к конфигурации $2p^5 3p 3s$ и соответствуют различным значениям орбитального и спинового моментов. На рис. 1 представлена диаграмма уровней конфигурации $2p^5 3p 3s$, на которой показано энергетическое положение уровней, соответствующих: наиболее низко-

энергетичному квантовому метастабильному состоянию, наблюдавшемуся в работе ³; состояниям, наблюдавшимся в спектрах испущенных электронов при различных энергиях возбуждающих электронных пучков ^{4,5}; состояниям, с которых в настоящей работе наблюдались излучательные переходы. Из диаграммы видно, что уровни, с которых наблюдались излучательные переходы, энергетически хорошо совпадают с некоторыми уровнями, наблюдавшимися в спектрах испущенных электронов. Тот факт, что при распаде многих уровней обнаружены как излучательные, так и безызлучательные переходы, свидетельствуют о сильном нарушении $L - S$ связи для состояний атома натрия ($2p^5 3p3s$)^κ L .

Нами определены также абсолютные значения сечений электронного возбуждения обнаруженных спектральных линий NaI. Для этого их интенсивность сравнивалась с интенсивностью резонансной линии NaII 37,2 нм (переход $2p^6 - 3s' \left[\begin{smallmatrix} 3 \\ 2 \end{smallmatrix} \right]_1^0$), для которой абсолютное сечение возбуждения определялось путем нормировки ее функции возбуждения ФВ на теоретический расчет сечения возбуждения уровня $3s' \left[\begin{smallmatrix} 3 \\ 2 \end{smallmatrix} \right]_1^0$ NaII ⁶ при энергии бомбардирующих электронов 1000 эВ с учетом каскадных вкладов ⁷. Определенные таким образом значения сечений возбуждения излучательных переходов при энергии электронов 40 эВ σ и при энергии максимумов ФВ σ_M приведены в таблице. Там же указаны длины волн λ , пороговые энергии возбуждения линий $E_{\text{пор}}$ (определенные нами с точностью 0,05 эВ), энергии максимумов ФВ линий E_M , а также исходные состояния наблюдаемых спектральных переходов, идентифицированные согласно данных ⁵.

λ , нм	$E_{\text{пор}}$, эВ	E_M , эВ	σ , 10^{-20} см ²	σ_M , 10^{-20} см ²	Исходное состояние перехода
40,5	32,7	34	2	6	$2p^5 3p3s^4 S$
40,0	33,1	—	1	—	$2p^5 3p3s^4 D$
39,6	33,5	33,7	1,2	5	$2p^5 3p(^3P)3s^2 D$
39,0	33,9	—	0,8	—	$2p^5 3p(^3P)3s^2 S$
38,3	34,5	—	0,4	—	$2p^5 3p(^1P)3s^2 P$

На рис. 2 представлены ФВ двух наиболее интенсивных линий NaI. Они в основном подобны и характеризуются наличием узкого максимума сразу за порогом возбуждения и более широким максимумом в районе 40 эВ. В области больших энергий ФВ линий 39,6 и 40,5 нм убывают как E^{-1} и E^{-3} соответственно. Ширина узких максимумов ФВ линий на их полувысоте составляет ~ 1 эВ и близка к энергетической неоднородности электронов бомбардирующего пучка. Отсюда можно полагать, что возбуждение исходных состояний рассматриваемых переходов вблизи порога носит явно выраженный резонансный характер.

Отметим, что ФВ наиболее низкоэнергетичного квантового состояния ³ достаточно подобна с измеренными нами ФВ линий 39,6 и 400,5 нм. Что касается обнаруженных ранее ⁷⁻¹⁰ излучательных переходов с автоионизационных состояний атомов K, Rb, Cs, то лишь у цезия ФВ переходов с автоионизационных состояний характеризуются наличием узкого максимума за порогом возбуждения.

Резонансы на ФВ линий NaI могут появляться вследствие дополнительного заселения исходных состояний наблюдаемых спектральных переходов при распаде короткоживущих автоотрывных состояний Na, образующихся при захвате электронов атомами. Такими автоотрывными состояниями могут быть состояния типа $(2p^5 3p3s)^2 Lnl \ ^1 3L$. Однако, наличие одиночного узкого максимума сразу за порогом возбуждения уровня более характерно для резонансов, возникающих вследствие особенностей формы атомного потенциала при возбуждении электронов, т. е. для так называемых резонансов формы ¹¹.

Для окончательной интерпретации резонансов, наблюдаемых на ФВ линий NaI, весьма полезными представляются теоретические исследования энергетических зависимостей сече-

ний электронного возбуждения уровней $(2p^5 3p3s)^k L_j$ с учетом открытых и закрытых каналов возбуждения.

Литература

1. Вукстич В.С., Жменяк Ю.В., Постой Е.Н., Запесочный И.П. Укр. физ. ж., 1980, 25, 2008.
2. Стриганов А.Р., Свентицкий Н.С. Таблицы спектральных линий нейтральных и ионизованных атомов. М.: Атомиздат, 1966.
3. Feldman P., Novik R. Phys. Rev., 1967, 160, 143.
4. Ross K.J., Ottley T.W., Pejčev V., Rassi D. J. Phys. 1976, B, 9, 3237.
5. Breuckmann E., Breuckmann B., Mehlhorn W., Schmitz W. J. Phys. B, 1977, 10, 3135.
6. Peach G. J. Phys. B, 1970, 3, 328.
7. Постой Е.Н. Материалы XXXII научной конференции УжГУ, секция физ. н. Ужгород, 1979, деп. ВИНТИ №2813 – 79.
8. Алексахин И.С., Богачев Г.Г., Вукстич В.С., Запесочный И.П. Письма в ЖЭТФ, 1973, 18, 613.
9. Богачев Г.Г. Укр. физ. ж., 1974, 19, 2061.
10. Алексахин И.С., Богачев Г.Г., Запесочный И.П., Угрин С.Ю. ЖЭТФ, 1981, 80, 2187.
11. Burke P.G. Adv. Atom. Mol. Phys., 1968, 4, 173.

Ужгородский
государственный университет

Поступила в редакцию
25 февраля 1982 г.