

РЕЗОНАНСЫ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ИНТЕРКОМБИНАЦИОННОГО $6^1S_0 - 6^3P_1$ ПЕРЕХОДА ИОНА ТАЛЛИЯ В ЭЛЕКТРОН-ИОННЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ

*И.П. Запесочный, А.И. Имре, Е.Э. Контрош,
А.И. Запесочный, А.Н. Гомонай*

В пересекающихся электронном и ионном пучках впервые исследовано возбуждение резонансной интеркомбинационной линии $\Pi\Pi$ $\lambda = 190,8$ нм. В припороговой области обнаружена резонансная структура, обусловленная вкладом автоионизационных состояний атома таллия в заселение 6^3P_1 -уровня иона таллия.

Экспериментальные и теоретические исследования последних лет указывают на значительную роль резонансных процессов при возбуждении положительных ионов электронным ударом. Резонансные эффекты вносят вклад как в спин-разрешенные, так и в спин-запрещенные переходы, причем в последних оказываются более существенными ¹. Исследование возбуждения $1^1S_0 - 2^3P_1$ перехода иона лития ² является единственным экспериментальным подтверждением такого вклада. Так как интеркомбинационный переход $2^3P_1 \rightarrow 1^1S_0$ в Li^+ запрещен в LS -связи, авторы судили о характере спин-обменного процесса по излучению в видимой области спектра ($\lambda = 548,5$ нм), соответствующему переходу $2^3P_1 - 2^3S_1$ иона лития.

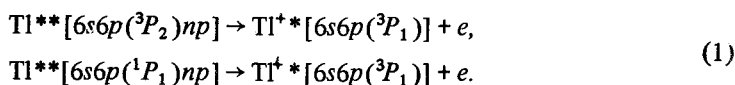
Вследствие проявления релятивистских эффектов во внешних оболочках ионов тяжелых атомов ³ увеличивается как спин-орбитальное взаимодействие, так и вероятность излучательных переходов, связанных с изменением мультиплетности. Таким образом появляется возможность экспериментального исследования интеркомбинационных линий, вызванных спин-обменным процессом внутри иона.

Целью данной работы было исследование возбуждения интеркомбинационного резонансного перехода иона таллия электронным ударом, лежащего в вакуумной ультрафиолетовой области спектра.

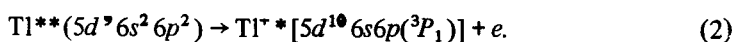
В экспериментальной установке электронный и ионный пучки пересекались под прямым углом в условиях вакуума $5 \cdot 10^{-8}$ торр. Ионный источник работал в режиме разряда. При этом образование ионов таллия в метастабильных ${}^3P_{0,2}$ -состояниях было сведено к минимуму. При энергии ионов 1 кэВ сила тока составляла 0,6 мкА. Треханодная электронная пушка в интервале энергий 5 – 300 эВ формировала ленточный пучок с током 0,05 – 1 мА и энергетической неоднородностью $\Delta E_{1/2} = 0,5$ эВ. Спектральное разделение излучения из области столкновений осуществлялось 70-градусным вакуумным монохроматором по схеме Сейя – Намиока с вогнутой тороидальной решеткой (1200 штрих/мм). В качестве детектора излучения использовался ФЭУ-142, работающий в режиме счета отдельных фотоэлектронов. Охлаждением ФЭУ в вакууме был снижен его темновой шум до $0,2 \text{ с}^{-1}$. Модуляционная система регистрации позволяла выделить полезный сигнал $0,2 - 1,0 \text{ с}^{-1}$ при соотношении сигнал/фон от 1/3 до 1/50. Калибровка энергетической шкалы осуществлялась по порогу возбуждения спектральной линии водорода $\lambda = 121,6 \text{ нм}$ с точностью $\pm 0,2 \text{ эВ}$.

В серии длительных экспериментов была тщательно изучена энергетическая зависимость сечения возбуждения (функция возбуждения) резонансной линии $\lambda = 190,8 \text{ нм}$, соответствующей интеркомбинационному переходу $6^3P_1 \rightarrow 6^1S_0$ иона таллия. Полученная функция возбуждения представлена на рисунке, где вертикальными отрезками на кривой указана средняя квадратичная погрешность относительных измерений. Как видно, функции возбуждения этой линии присуща весьма четкая резонансная структура, причем она особенно выразительна в припороговой области энергий.

Что касается происхождения резонансных максимумов, расположенных до порога возбуждения $7s^3S_1$ -уровня Tl^+ (т.е. в области отсутствия каскадных переходов), их можно связать с происходящим при электрон-ионных столкновениях явлением образования и последующего распада автоионизационных состояний нейтрального атома. Анализ данных по фотопоглощению ⁴ и спектрам испущенных электронов ⁵, а также сопоставление энергетического положения структуры на функции возбуждения с энергиями автоионизационных состояний атома таллия позволяет заключить, что в этой области энергий наблюдаемая структура обязана, главным образом, автоионизационным состояниям двух типов: с конфигурациями $6s6p({}^3P, {}^1P)np$ и $5d^9 6s^2 6p^2$. Ввиду того, что состояния первого типа распадаются, в основном, за счет кулоновской автоионизации с образованием ионов в основном состоянии их большой вклад в интенсивность интеркомбинационного перехода может быть объяснен только за счет конкурирующего процесса Костера – Кронига:



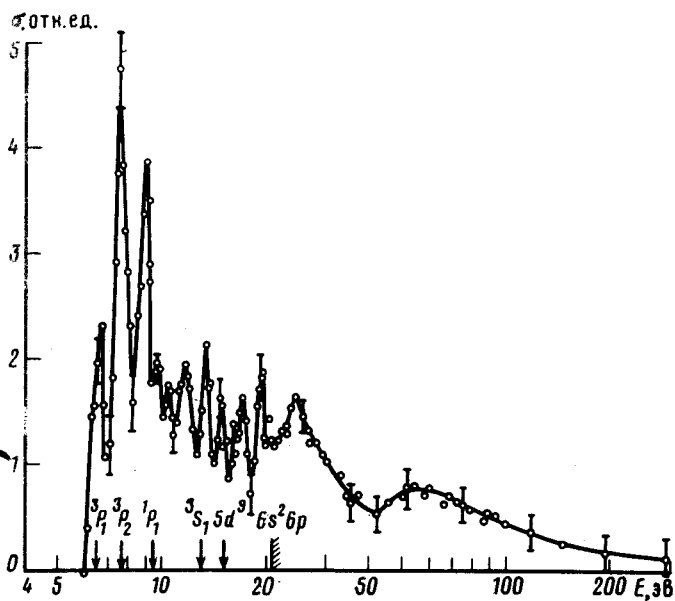
Автоионизационные состояния второго типа заселяют 6^3P_1 -уровень путем оже-распада:



Начиная с энергии 13 эВ, открываются дополнительные каналы заселения 6^3P_1 -уровня иона таллия за счет каскадных переходов с возбужденных $n^1, {}^3L$ -уровней, смещенных $5d^{10} 6p^2 {}^3P_j$ и бейтлеровских $5d^9 6s^2 6p$ -уровней, а также с автоионизационных состояний атома таллия (как сходящихся к этим уровням, так и заселяющих их).

Многообразие процессов, ведущих к заселению 6^3P_1 -уровня Tl^+ , затрудняет выявление характера прямого возбуждения этого уровня во всем исследованном интервале энергий. Тем не менее можно заключить, что в припороговой области энергий резонансная структура доминирует над прямым возбуждением этого уровня, а поведение энергетической зависимости

ти сечения возбуждения за границей ионизации отклоняется от предсказуемого теорией для интеркомбинационных переходов спада E^{-3} . Доминирующий вклад резонансных эффектов вблизи порога говорит о том, что в отличие от иона Li^{+2} , роль интерференционных эффектов в случае возбуждения 6^3P_1 -уровня Tl^+ незначительна. Наблюдаемое отклонение спада эффективности возбуждения, возможно, связано с тем, что среди каскадных переходов, заселяющих 6^3P_1 -уровень, кроме триплет-триплетных переходов разрешены синглет-триплетные переходы и переходы с уровней конфигурации $5d^9 6s^2 6p$, закон спада которых отличается от E^{-3} .



Функция возбуждения интеркомбинационной резонансной линии $\lambda = 190,8 \text{ нм Tl}^+$

Таким образом, наши исследования показали, что сложное энергетическое поведение сечения возбуждения интеркомбинационного перехода иона таллия отражает механизмы, обусловленные влиянием релятивистских и резонансных эффектов во внешних оболочках в условиях конкуренции нескольких процессов: прямого перехода электрона из основного состояния в возбужденное с изменением спина, заселения уровней через автоионизационные состояния атома, а также за счет каскадных переходов.

Авторы выражают благодарность О.Б.Шпенику за постоянный интерес к выполнению данной работы.

Литература

1. Christensen R.B., Norcross D.W. Phys. Rev., 1985, A31, 142.
2. Rogers W.T., Olsen J.O., Dunn G.H. Phys. Rev., 1978, A18, 1353.
3. Deschaux J.P., Kim Y.K. J. Phys., 1975, B8, 1177.
4. Козлов М.Г. Спектры поглощения паров металлов в вакуумном ультрафиолете. М.: Наука, 1981, 164.
5. Back C., Pejcev V., Ross K., Wilson M. J. Phys., 1983, B16, 2413.