

ОБНАРУЖЕНИЕ ДИЭЛЕКТРОННОЙ РЕКОМБИНАЦИИ ИОНА КАЛИЯ

И.С.Александрин, А.И.Запесочный, А.И.Имре

Впервые наблюдается и исследовано явление диэлектронной рекомбинации иона калия в пересекающихся электронном и ионном пучках путем детектирования сопутствующего процессу излучения с длинами волн 72,3 и 75,5 нм.

Как известно, рекомбинация положительных ионов с электронами бывает разных типов: рекомбинация с излучением, диссоциативная рекомбинация (в случае молекулярных ионов), рекомбинация при тройном столкновении и т.д. Весьма интересным феноменом является так называемая диэлектронная рекомбинация, когда система ион + электрон переходит из континуума в связанное состояние равной энергии ϵ последующим переходом на уровень, лежащий ниже границы ионизации данного атома.

До настоящего времени процесс диэлектронной рекомбинации изучался в основном теоретически [1,2]. Из этих работ следует существенная роль диэлектронной рекомбинации в явлениях, происходящих в астрофизической плазме. Однако непосредственные экспериментальные работы по этому вопросу до сих пор отсутствуют.

В настоящей работе сообщается о результатах экспериментального исследования диэлектронной рекомбинации в условиях пересекающихся пучков электронов и ионов. Пучок ионов K^+ с энергией 1 кэВ с силой тока в 2 мкА создавался источником с поверхностной ионизацией. Электронный пучок с плотностью тока $2 \cdot 10^{-3}$ А/см² и энергетической неоднородностью ~ 2 эВ формировался трехэлектродной пушкой. Пучки пересекались под прямым углом в условиях высокого вакуума (10^{-8} тор). Излучение, возникающее в результате столкновений ионов с электронами, выделялось вакуумным монохроматором, построенным по схеме Сейя – Намиока на базе полуметровой дифракционной решетки [3]. Детектором излучения служил вторичный электронный умножитель канального типа.

Вследствие сравнительно малой концентрации ионов в области столкновений с электронами ($\sim 10^7$ см⁻³) полезный сигнал пришлось регистрировать на значительном фоне. Для надежного выделения сигнала из

фона использовалась методика модуляции двух пучков прямоугольными фазосдвинутыми импульсами и техника регистрации излучения в режиме счета отдельных фотоэлектронов [4].

В результате многократных экспериментов было обнаружено, что при энергиях электронов, меньших порога возбуждения резонансных линий иона калия, наблюдается излучение на длинах волн 72,3 и 75,5 нм. Установлено, что это излучение возникает только в присутствии ионов K^+ в области столкновений с электронами. В то же время оказалось, что в известных спектральных таблицах, например, в [5], линий с такими порогами возбуждения у иона калия нет.

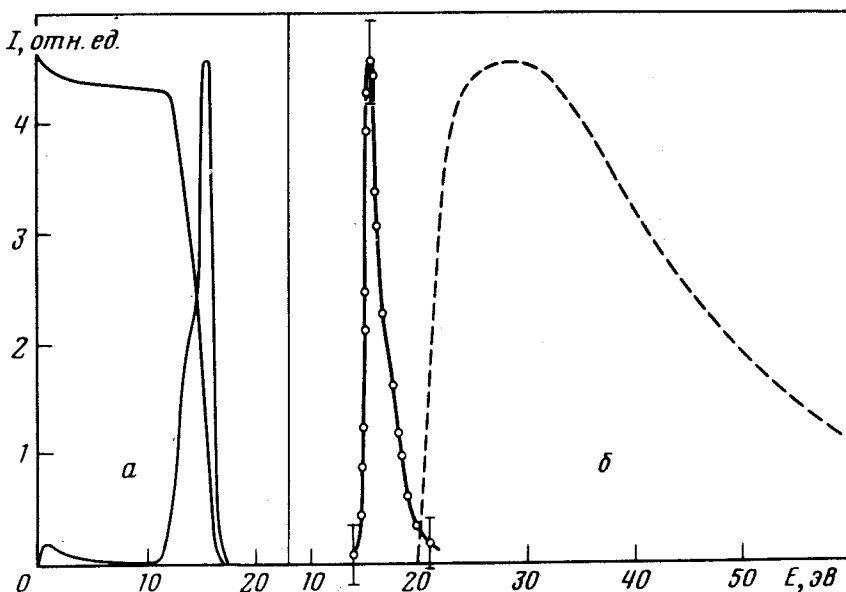


Рис.1. *a* – Кривая задержки и функция распределения пучка электронов по энергиям; *б* – функция возбуждения линии 72,3 нм, пунктир – функция возбуждения этой же линии из [6]

Одновременно с наблюдениями спектра нами исследовалась энергетическая зависимость интенсивности этого излучения. На рис. 1, *б* представлена функция возбуждения линии с $\lambda = 72,3$ нм. Сигнал величиной менее $1 \text{ имп} \cdot \text{сек}^{-1}$ выделялся из шумов детектора, которые в данном случае были основным источником фона, при соотношении сигнал/фон $1/1 + 1/20$. В каждой экспериментальной точке измерения проводились $7 \div 10$ раз с экспозицией от 300 до 1000 сек с последующим усреднением. Вертикальными отрезками указана среднеквадратичная погрешность измерений.

Как видно из рисунка, энергетическая зависимость имеет резонансный характер с максимумом при 15,5 эВ, причем излучение наблюдается в узком диапазоне энергий (~ 5 эВ) налетающих электронов. Уже при энергии 20,5 эВ, что соответствует порогу возбуждения резонансных уровней, интенсивность этого излучения практически падает до нуля

(см. рис.2). Установлено, также, что при изменении моноэнергетичности пучка электронов соответственно меняется ширина наблюдаемой функции возбуждения линии. На рис.1, а представлена функция распределения электронного пучка по энергиям, полученная методом графического дифференцирования кривой задержки. Сравнение наблюдаемой функции возбуждения спектральной линии с функцией распределения электронов по энергиям показывает их зеркальное подобие; при этом их ширины на полувысоте максимумов кривых примерно равны. Такой вид функции возбуждения спектральных линий при электронно-ионных процессах, насколько нам известно из литературы, наблюдается впервые.

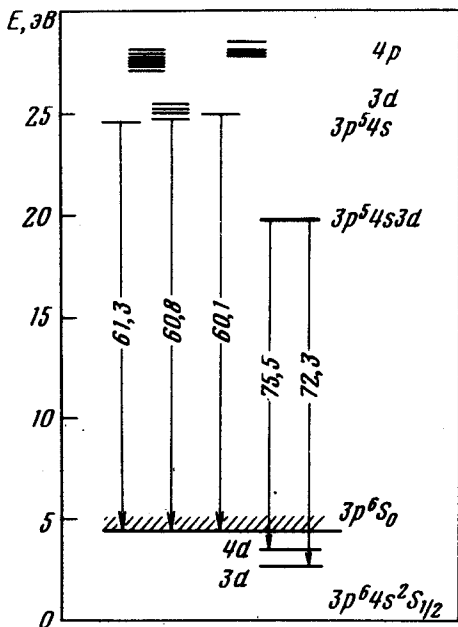
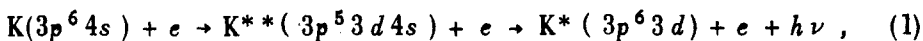


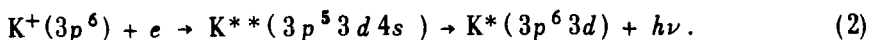
Рис. 2. Схема уровней калия

Необходимо отметить, что ранее при исследовании возбуждения калия в электронно-атомных столкновениях Богачевым [6] наблюдалось излучение на этих же длинах волн. В [6] детально изучена энергетическая зависимость излучения с $\lambda = 72,3$ нм, которая по своему виду существенно отличается от полученной нами (см. рис. 1, б). Происхождение этого излучения объясняется автором радиационным распадом автоионизационного состояния, возникающего в результате возбуждения p-электрона атома калия, т.е.



где K^* и K^{**} – возбужденное и сверхвозбужденное состояния атома (см. схему уровней на рис.2). Порог этой реакции, определенный автором экспериментально, составляет 19,8 эВ. В случае же электронно-ионных столкновений максимум возбуждения для линий 72,3 нм имеет место при энергии электронов 15,5 эВ, это меньше порога указанного выше процесса (1) как раз на величину потенциала ионизации атома калия (4,34 эВ).

Таким образом, совокупность установленных фактов — принадлежность излучения взаимодействию электронов с ионами калия, возникновения этого излучения при энергии электронного пучка 15,5 эВ и резонансный характер энергетической зависимости его интенсивности дает нам основание полагать, что это излучение возникает в результате захвата бомбардирующего электрона ионом калия на автоионизационный уровень атома с одновременным возбуждением р-электрона, т.е. в результате процесса диэлектронной рекомбинации



Другая линия с $\lambda = 75,5$ нм, меньшая по интенсивности, соответствует распаду сверхвозбужденного состояния калия на $3p^6 4d$ -уровень.

Сравнение интенсивностей исследованных нами линий с интенсивностями резонансных линий 60,1; 60,8; 61,3 нм иона (см. рис. 2), которые нами также исследованы, показывает, что они — величины одного порядка. Таким образом, по крайней мере для иона калия, вероятность захвата электрона в процессе диэлектронной рекомбинации и вероятность прямого возбуждения его резонансных уровней электронным ударом одинаковы по порядку величины.

Авторы благодарят И.П.Запесочного за постоянное внимание и обсуждение результатов.

Ужгородский
государственный университет

Поступила в редакцию
15 сентября 1978 г.

Литература

- [1] И.Л.Бейгман, Л.А.Вайнштейн, В.А.Сюняев. УФН, **95**, 267, 1968.
- [2] A. Burgess. Astrophys. J., **139**, 776, 1964; **141**, 1588, 1965.
- [3] И.С.Алексахин, В.С.Вукстич, И.П.Запесочный. ЖЭТФ, **66**, 1973, 1974.
- [4] А.И.Дашенко, И.П.Запесочный, А.И.Имре, В.С.Вукстич, Ф.Ф.Данч, В.А.Кельман. ЖЭТФ, **67**, 503, 1974.
- [5] А.Р.Стриганов, И.С.Свѣнтицкий. Таблицы спектральных линий нейтральных и ионизованных атомов. М., Атомиздат. 1966.
- [6] Г.Г.Богачев. УФЖ, **19**, 2061, 1974.