

## ОБНАРУЖЕНИЕ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДОВ МЕЖДУ АВТОИОНИЗАЦИОННЫМИ СОСТОЯНИЯМИ АТОМОВ ЛИТИЯ, ВОЗБУЖДАЕМЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

*И.С.Алексахин, Г.Г.Богачев, И.П.Запесочный, С.Ю.Угрин*

В экспериментах с пересекающимися пучками медленных электронов и атомов лития обнаружено возбуждение ряда спектральных линий (193,1; 198,5; 204,0; 217,3; 233,7 и 293,4 нм), соответствующих переходам между автоионизационными состояниями атома лития.

В последнее время перспективы создания лазеров в вакуумном ультрафиолете (ВУФ) и ультрамягкой рентгеновской области спектра связываются с автоионизационными состояниями щелочных атомов, которые могут распадаться с излучением<sup>1, 2</sup>. Излучательные распады автоионизационных состояний атомов K, Rb и Cs в ВУФ области спектра впервые были исследованы при возбуждении этих атомов электронным ударом в<sup>3</sup>. Однако наблюдавшееся там излучение соответствует переходам, у которых только верхний уровень автоионизационный, в то время как нижним уровнем является один из обычных уровней нейтрального атома. Позднее были найдены аналогичные переходы у атомов Li и Na<sup>4</sup>. Кроме того, для атома лития в экспериментах с полым катодом<sup>5</sup> и в пучково-плёночных экспериментах<sup>6</sup> в области 180 – 300 нм наблюдались линии, приписанные авторами переходам между автоионизационными состояниями. Однако прямых доказательств этого не имелось. Однозначный ответ на этот вопрос можно получить лишь в экспериментах по взаимодействию моноэнергетических электронов с атомами. Именно это и являлось целью данной работы, в которой исследовались спектры в ближней ВУФ области (120 – 360 нм) при столкновениях атомов лития с пучком электронов регулируемой энергии.

Эксперименты выполнены на установке с пересекающимися электронным и атомным пучками, подобной описанной в<sup>3</sup>. В вакуумном монохроматоре, построенном по схеме Сейя – Намиока, в качестве диспергирующего элемента использовалась реплика, покры-

тая слоем алюминия и защищенная слоем фтористого магния. Детектором излучения служил фотоэлектронный умножитель типа ФЭУ-142.

Тщательное измерение спектров, возбуждаемых при различных значениях энергии электронов, позволило установить, что в исследуемом диапазоне длин волн присутствуют две группы сравнительно интенсивных линий — коротковолновая (140 — 180 нм) и длинноволновая (230 — 330 нм). Кроме них имеется ряд менее интенсивных линий, лежащих главным образом между указанными группами линий. На рис. 1 приведен типичный спектр, записанный при энергии бомбардирующих электронов 100 эВ.

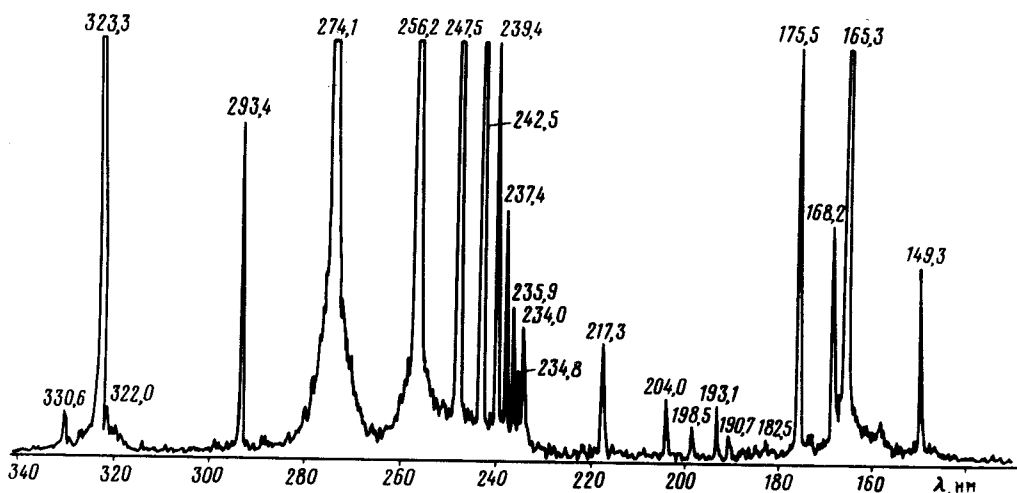


Рис. 1. Регистрограмма спектра лития при энергии бомбардирующих электронов 100 эВ

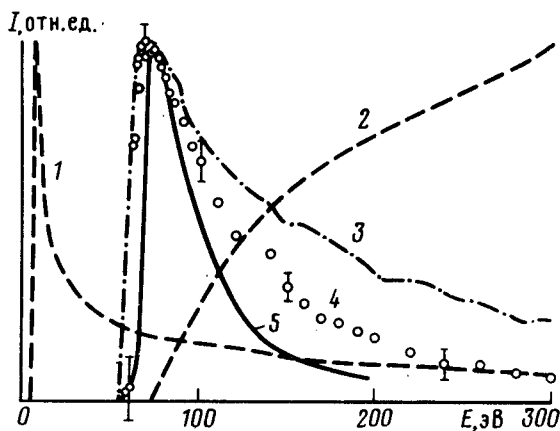


Рис. 2. Функции возбуждения линий лития: 1 — LiI 247,5 нм ( $2s^2S - 6p^2P^0$ ); 2 — LiII 165,3 нм ( $2p^3P^0 - 3s^3S$ ); 3 — LiI\*\* 20,75 нм ( $2p^2P^0 - 1s2p^2^2P$ )<sup>4</sup>; 4 — LiI\*\* 293,4 нм (наш эксперимент); 5 — LiI\*\* 57,41 эВ (линия электронного спектра, соответствующая состоянию  $1s2s2p^4P^0$ )<sup>5</sup>.

Анализ параметров эксперимента и полученных результатов убеждает нас в том, что все наблюдавшиеся в спектре линии принадлежат атому или ионам лития. При этом по известным таблицам спектральных линий атомов<sup>7</sup> легко удастся отождествить большинство линий длинноволновой группы с линиями главной серии LiI  $2s - np$  ( $n = 3 \div 11$ ), а линии коротковолновой группы — с линиями LiII. Что касается остальных линий, то в таблицах<sup>7</sup> они отсутствуют. Однако для шести из них, а именно: 193,1; 198,5; 204,0; 217,3; 233,7 и 293,4 нм может быть дана достаточно определенная идентификация. Они возбуждаются при энергиях, значительно превосходящих потенциал ионизации атома, но меньших, чем пороги возбуждения линий LiII. Определенные в эксперименте значения энергий возбуждения первых пяти линий составляют  $63 \pm 1,0$  эВ, а линии 293,4 нм —  $61,5 \pm 0,5$  эВ. Величины энергий возбуждения указанных спектральных линий таковы, что, очевидно, их исходные уровни могут принадлежать только системе автоионизационных состояний атома ли-

тия<sup>8</sup>. Поскольку величины энергетических промежутков, соответствующих этим линиям, составляют не более 6 эВ, то их нижние уровни также являются автоионизационными (заметим, что самое нижнее из известных автоионизационных состояний —  $1s2s^2 2S$  имеет энергию 56,35 эВ).

Таким образом мы приходим к выводу, что рассматриваемые линии представляют собой результат комбинации в системе автоионизационных состояний атома лития. Отметим, что длины волн ряда этих линий совпадают с длинами волн некоторых линий, наблюдавшихся в работах<sup>5, 6</sup>, которые были приписаны переходам с квартетных автоионизационных уровней  $1s2sns$ - и  $1s2snd$ -конфигураций на метастабильный автоионизационный  $(1s2s2p)^4 P^0$ -уровень.

Для наиболее интенсивной из таких линий (293,4 нм) нам удалось измерить функцию возбуждения, которая приведена на рис. 2 (кривая 4). Для сравнения на том же рисунке приведены измеренные нами типичные функции возбуждения обычных линий LiI и LiII. Как видно, функция возбуждения линии 293,4 нм по своей форме резко отлична от функций возбуждения линий как LiI, так и LiII. Отсюда следует, что вид функции возбуждения может служить одним из важных критериев при определении принадлежности спектральной линии к той или иной системе.

Далее, из литературы известны данные о функциях возбуждения автоионизационных состояний атомов лития, полученные путем исследования как их излучательного<sup>4</sup>, так и электронного<sup>9</sup> распадов. Полученная нами кривая в целом ведет себя аналогично функциям возбуждения квартетного<sup>9</sup> и дублетных оптически запрещенных автоионизационных<sup>4, 9</sup> состояний. На рис. 2 показано сравнение для трех таких кривых. Как видно, характер припорогового подъема, положение основного максимума и последующий ход всех трех кривых примерно одинаковы. Этот факт, а также отмеченное выше совпадение длин волн линий, наблюдавшихся в наших экспериментах и приведенных в работах<sup>5, 6</sup>, позволяют с большой уверенностью утверждать, что эти линии действительно являются результатом переходов между автоионизационными состояниями атома лития.

В заключение отметим значительную интенсивность спектральных линий, соответствующих переходам между автоионизационными состояниями. При энергии электронов 70 эВ наиболее заметная из них линия 293,4 нм сравнима по интенсивности с дублетом главной серии атома лития 237,4 нм ( $2s^2 S_{1/2} - 9p^2 P^0_{1/2, 3/2}$ ).

#### Литература

1. Мартыросян А.Е., Папанян В.О. Квантовая электроника, 1983, 10, 166.
2. Harris S.E. at al. Proc. 5 Int. Conf. Jasper, Berlin 1981, p. 437.
3. Алексахин И.С., Богачев Г.Г., Запесочный И.П., Угрин С.Ю. ЖЭТФ, 1981, 81, 2187.
4. Жменяк Ю.В., Вукстич В.С., Запесочный И.П. Сб. "Автоионизационные явления в атомах", М.: МГУ, 1981, с. 159.
5. Herzberg G., Moore H.R. Can. J. Phys., 1959, 37, 1293.
6. Mannervik S., Cederquist H. Phys. Scr, 1983, 27, 175.
7. Стриганов А.Р., Одинцова Г.А. Таблицы спектральных линий атомов и ионов. М.: Энергоиздат, 1982.
8. Алексахин И.С., Боровик А.А. Письма в ЖЭТФ, 1977, 3, 1183.
9. Pejčev V., Ross K.J., Rassi D. J. Phys. B; Atom. Molec. Phys., 1977, 10, L579.