

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ РАДИАЦИОННОГО РАСПАДА
КОЛЛЕКТИВНЫХ УРОВНЕЙ АТОМА АРГОНА*Э.Т.Верховцева, П.С.Погребняк, Я.М.Фогель*

С целью поиска излучения коллективных колебаний электронной оболочки атомов исследован рентгеновский спектр Ar в области 15 — 200 Å. Излучение коллективных колебаний не обнаружено, что может быть связано либо с недостаточным количеством электронов в оболочке атома Ar, либо с малой вероятностью процесса радиационного распада его коллективных уровней.

Недавно выполненные теоретические исследования [1, 2] вселяют уверенность в реальность существования коллективных уровней (КУ) в атоме. Эта уверенность основана на том, что, как показано в работе [1], время жизни возбужденного КУ достаточно велико, чтобы его можно было наблюдать¹⁾. Электронная оболочка атома, возбужденная на КУ, совершает колебания и может излучать фотоны с частотой, равной частотам коллективных колебаний электронной оболочки атома. Эти частоты были вычислены в работах [1, 2] и для атома Ar, будучи выражены в электронвольтах, равны 247,3 и 648,7 [1] и $184 + 198n$, где $n = 0, 1, 2, \dots$ [2]. Спектральные линии с указанными энергиями расположены в области мягкого рентгеновского излучения (интервал длин волн 20 — 70 Å). В работах [3, 4] изучался эмиссионный спектр Ar в области длин волн 50 — 65 Å, который был интерпретирован на основе одночастичных возбуждений электронной оболочки атома. Учитывая, что авторы [3, 4] подробно исследовали только узкий участок спектра, а также то, что приближения, сделанные в работах [1, 2], могли несколько изменить истинные частоты коллективных колебаний атома Ar, мы решили произвести поиск излучения радиационного распада КУ в более широкой области спектра.

¹⁾Речь здесь идет о времени жизни КУ по отношению к, по-видимому, наиболее вероятному процессу его распада на одночастичные возбужденные уровни. Времена жизни по отношению к другим возможным процессам распада КУ будут еще больше.

Экспериментальная установка состояла из двух основных узлов — рентгеновской трубки со сверхзвуковой струей Ar в качестве антикатаода [5, 6] и спектрометра скользящего падения РСМ-500 [7]. Спектр изучался при режиме истечения струи (давление и температура газа на входе в сопло были равны 2 атм и 550К), обеспечивающем ее атомарный состав [8]. Струя возбуждалась электронным пучком с энергией 1 кэв и плотностью тока 0,4 а/см². При помощи двух дифракционных решеток, имеющих 600 шт/мм и радиусы кривизны 6 и 2 м, излучение разлагалось в спектр в двух диапазонах длин волн 15 ÷ 60 и 50 ÷ 550Å. Детектором излучения служил проточный пропорциональный счетчик.

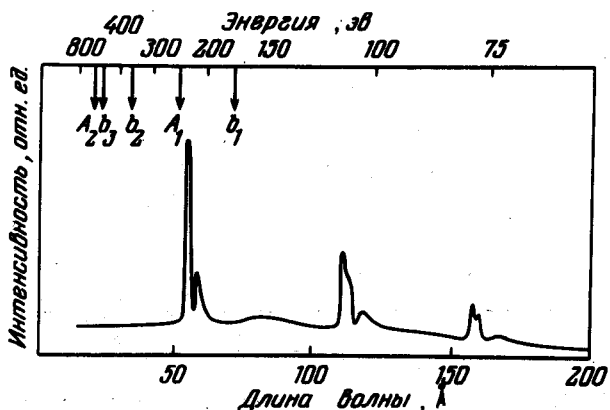


Рис. 1. Спектр излучения аргона в интервале длин волн 15 – 200Å (интервал 15 – 50Å снят с шестиметровой решеткой, а 50 – 200Å с двухметровой). A_1 , A_2 – расчетные значения энергии возбуждения КУ атома аргона согласно работе [1], B_1 , B_2 , B_3 – согласно работе [2]

На рис. 1 приведен рентгеновский спектр излучения Ar в области длин волн 15 ÷ 200Å. Положения спектральных линий возможного излучения коллективных колебаний электронной оболочки атома Ar обозначены стрелками. Как видно из рис. 1, одна из этих линий A_1 расположена в области самого интенсивного пика излучения. В связи с этим участок спектра в районе этого пика был снят с лучшим разрешением (~ 1 эв) с использованием дифракционной решетки с радиусом кривизны 6 м (см. рис. 2). Из приведенных данных следует, что при энергиях, соответствующих возбуждению коллективных колебаний электронной оболочки, никаких линий излучения не наблюдается. Те эмиссионные пики, которые зарегистрированы при других значениях энергий, можно объяснить переходами между одночастичными уровнями атома Ar. Действительно, согласно данным работ [3, 4], интенсивные пики при энергиях 219,2 и 221,3 эв представляют собой спин-орбитальный дублет, образованный при переходе $L_{2,3} - M_1$. Сателлитный спектр, расположенный со стороны меньших энергий от $L_{2,3} - M_1$ дублета, излучается при двухэлектронном (shake-up) процессе, в котором один $3p^6$ электрон заполняет $L_{2,3}$ вакансию, а другой возбуждается на более высокий уровень атома. При этом возникающие конечные состояния $3s^2 3p^4 ns$ ($^2S_{1/2}$) и $3s^2 3p^4 nd$ ($^2S_{1/2}$) сильно смешиваются с конечным состоянием $3s 3p^6$ ($^2\tilde{S}_{1/2}$) рент-

еновского перехода $L_{2,3} - M_1$. Сателлитный спектр, наблюдаемый со стороны больших энергий от дублета, образуется при переходах в двуратно ионизированном атоме Ar. Начальным состоянием при таких переходах является $2p^5 3s^2 3p^5 ({}^1, {}^3L_j)$, конечным — $2p^6 3s 3p^5 ({}^1, {}^3P_j)$.

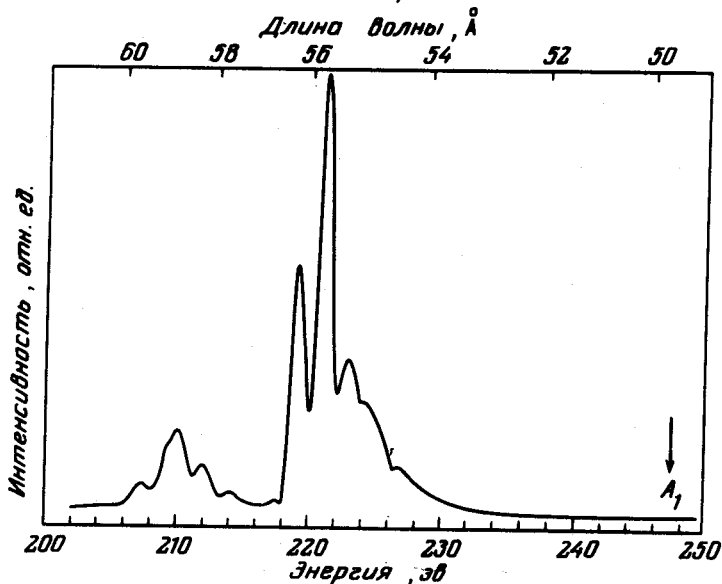


Рис. 2. Эмиссионный спектр аргона в районе $L_{2,3} - M_1$ перехода. Стрелкой указано положение одного из коллективных уровней атома аргона согласно работе [1]

Измеренная энергия, эв	Переход	Энергия перехода, эв (литературные данные)
207,4	$2p^5 3s^2 3p^6 ({}^2P_{3/2}^o) \rightarrow 2p^6 3s^2 3p^4 d ({}^2S_{1/2})$	207,2 [9, 10]
210,1	$2p^5 3s^2 3p^6 ({}^2P_{3/2}^o) \rightarrow 2p^6 3s^2 3p^4 3d ({}^2S_{1/2})$	209,9 [9, 10]
212,1	$2p^5 3s^2 3p^6 ({}^2P_{1/2}^o) \rightarrow 2p^6 3s^2 3p^4 3d ({}^2S_{1/2})$	212,0 [9, 10]
214,1	$2p^5 3s^2 3p^6 ({}^2P_{1/2}^o) \rightarrow 2p^6 3s^2 3p^4 4s ({}^2S_{1/2})$	214,0 [9, 10]
217,4	$2p^5 3s^2 3p^5 ({}^1P_1) \rightarrow 2p^6 3s 3p^5 ({}^1P_1^o)$	217,6 [3]
219,2	$2p^5 3s^2 3p^6 ({}^2P_{3/2}^o) \rightarrow 2p^6 3s 3p^6 ({}^2S_{1/2})$	219,2 [9]
221,3	$2p^5 3s^2 3p^6 ({}^2P_{1/2}^o) \rightarrow 2p^6 3s 3p^6 ({}^2S_{1/2})$	221,3 [9]
223,0	$2p^5 3s^2 3p^5 ({}^1D_2) \rightarrow 2p^6 3s 3p^5 ({}^1P_1^o)$	222,2 [3]
223,0	$2p^5 3s^2 3p^5 ({}^3D_2) \rightarrow 2p^6 3s 3p^5 ({}^3P_{1,2}^o)$	222,4; 222,6 [3]
223,0	$2p^5 3s^2 3p^5 ({}^3S_1) \rightarrow 2p^6 3s 3p^5 ({}^3P_{0,1,2}^o)$	222,8 — 223,1 [3]
224,3	$2p^5 3s^2 3p^5 ({}^3D_1) \rightarrow 2p^6 3s 3p^5 ({}^3P_{0,1,2}^o)$	223,7 — 224,0 [3]
226,6	$2p^5 3s^2 3p^5 ({}^1D_2) \rightarrow 2p^6 3s 3p^5 ({}^3P_{1,2}^o)$	225,8; 226,0 [3]

В таблице приведены значения энергий всех линий, наблюдаемых в спектре излучения Ag, представленном на рис. 2. Кроме того указаны переходы, при которых образуется спектр, и энергии переходов, определенные из литературных данных. Линии излучения, зарегистрированные в районе 115 и 160 Å (см. рис. 1), представляют собой $L_{2,3}$ рентгеновский спектр во втором и третьем порядках дифракции.

Таким образом, в эмиссионном спектре Ag в области длин волн 15 – 200 Å излучение коллективных колебаний электронной оболочки атома Ag на обнаружено. Из этого факта нельзя сделать вывод об отсутствии КУ у атомов вообще, и атома Ag в частности. Отсутствие коллективных колебаний электронной оболочки атома Ag можно объяснить, по крайней мере, двумя причинами: недостаточным количеством электронов в его оболочке или малой вероятностью процесса радиационного распада КУ атома Ag по сравнению с другими возможными каналами распада КУ. С целью выяснения роли первой из указанных причин нами предпринято исследование рентгеновского спектра более тяжелых благородных газов Kr и Xe. Результаты этого исследования будут сообщены позднее.

В заключение выражаем искреннюю благодарность доктору физ.-мат. наук Т.М.Зимкиной и кандидату физ.-мат. наук А.С.Виноградову за интерес к работе и помощь в наладке прибора РСМ-500.

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
6 сентября 1976 г.

Литература

- [1] Г.В.Гадияк, Д.А.Киржниц, Ю.Е.Лозовик. ЖЭТФ, 69, 122, 1975.
- [2] В.Х.Ишмухаметов, М.И.Кацнельсон. ФММ, 40, 736, 1975.
- [3] J.W.Cooper, R.E.La Villa. Phys. Rev. Lett., 25, 1745, 1970.
- [4] L.O.Werme, B.Grennberg, J.Nordgren, C.Nordling, K.Siegbahn. Phys. Lett., 41A, 113, 1972.
- [5] П.С.Погребняк, Ю.А.Павленко, Э.Т.Верховцева, Я.М.Фогель, В.Ф.Удовенко. ПТЭ, №5, 193, 1974.
- [6] Э.Т.Верховцева, В.И.Яременко, П.С.Погребняк, А.Е.Овечкин. ПТЭ, №4, 210, 1976.
- [7] А.П.Лукирский, И.А.Брытов, Н.И.Комяк. Сб. Аппаратура и методы рентгеновского анализа, вып. 2, СКБ РА, "Машиностроение", Л., 1967.
- [8] П.С.Погребняк, Е.В.Гнатченко, Э.Т.Верховцева, Я.М.Фогель. Изв. АН СССР, сер. физ., 40, 307, 1976.
- [9] K.Siegbahn, C.Nordling, G.Johansson, J.Hedman, P.F.Heden, K.Hamrin, U.Helius, T.Bergmark, L.O.Werme, R.Manne, Y.Baer. ESCA Applied to Free Molecules, 1969, Amsterdam.
- [10] С.Е.Мооре. Atomic Energy Levels, 1949, Washington.