

ИЗОТОПИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ СВЕРХТОНКОГО УШИРЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛИНИЙ

*А.С.Рыльников, Г.А.Иванов, В.И.Марушенко,
А.Н.Смирнов, О.И.Сумбаев*

Предсказанный в 1930 году Брейтом [1] эффект взаимодействия между магнитными моментами ядер и электронов рентгеновских уровней, так называемый эффект сверхтонкого взаимодействия (СВ-эффект), неоднократно и безуспешно разыскивался экспериментально [2 + 5]¹⁾. В 1961 году Меррилл и Дюмонд сообщили о нахождении СВ-эффекта в рентгеновском L -спектре нейтрония по выбросу ширины линий из плавной зависимости от Z для последовательности элементов $U + Am$ [7]. Это, по-видимому, первое успешное наблюдение СВ-эффекта в рентгеновских спектрах. Однако, поскольку эффект наблюдался не как изотопический, различия в электронных оболочках сравниваемых элементов могли привести к уширениям неядерного происхождения [8]. Наблюдаемый эффект примерно в два раза превышает ожидаемый по теоретическим оценкам.

¹⁾ СВ-эффект хорошо известен в оптических спектрах. Он наблюдается также в рентгеновских спектрах μ -мезоатомов (см., например [6]).

Мы хотим сообщить результаты опыта по обнаружению *изотопического* СВ-уширения рентгеновской K_{α_1} ($1s_{1/2} - 2p_{3/2}$) линии Eu^{151} по сравнению с Eu^{153} . СВ-расщепление для $1s_{1/2}$ уровня описывается соотношением [1]:

$$\Delta = \frac{4\pi R_{\infty} h c a^2 \alpha_0^3}{3\rho(2\rho - 1)} \frac{m_e}{m_n} \frac{2l + 1}{l} k \psi_{1s}^2(0) \xi, \quad (1)$$

где: Δ – энергетическое расстояние между компонентами дублета, $\psi_{1s}^2(0) = \frac{Z^3}{\pi a_0^3}$ –

плотность $1s_{1/2}$ -электрона в районе ядра, ξ – множитель, учитывающий

влияние конечного размера ядра и в случае Eu ($Z = 63$) равный 0,95 [9], $\rho = \sqrt{1 - \alpha^2 Z^2}$, l и k – спин и магнитный момент ядра, m_e и m_n – масса электрона и нуклона, R_{∞} , h , a_0 , c и α_0 – постоянные Ридберга, Планка, тонкой структуры, скорость света и радиус Бора. Легко показать, что при $\Delta \ll \Delta E$, где ΔE – ширина линии, уширение пропорционально $(\Delta/\Delta E)^2$ и составляет лишь $10^{-3} + 10^{-4}$ от ширины линии. Это и препятствовало экспериментальному наблюдению эффекта.

В данном опыте с помощью дифракционного спектрометра по Кошуа с компенсированной апертурной аберрацией [10] снимались K_{α_1} -линии от шести источников из Eu_2O_3 . Три источника были изготовлены из смеси обогащенной Eu^{151} (97,5%), три других – Eu^{153} (99,3%). Сравнимые образцы поочередно вводились в поле зрения прибора. Скорости счета на максимумах линий составляли $\approx 50000 \text{ мин}^{-1}$ при фоне $\approx 500 \text{ мин}^{-1}$. В сумме было накоплено по $\approx 4 \cdot 10^8$ импульсов на каждый изотоп. Ширины линий на половине высоты были $\approx 40 \text{ эв}$ (25"). Изотопическое смещение $\delta_{\text{ИС}} = \frac{E_{\text{Eu}^{151}}}{K_{\alpha_1}} - \frac{E_{\text{Eu}^{153}}}{K_{\alpha_1}}$ и

СВ-расщепление Δ^{151} линии от Eu^{151} определялись на ЭВМ по методу наименьших квадратов. Чтобы избежать влияния химических эффектов [8, 11] источники периодически подвергались химической стандартизации. Для дополнительного контроля периодически измерялась K_{β_1} ($1s_{1/2} - 3p_{1/2}$) линия, химическое смещение которой в 2,26 раза больше чем у K_{α_1} [11], а изотопическое смещение и уширение те же, так как они практически полностью определяются $1s_{1/2}$ -уровнем. Совместная обработка позволила получать отдельно эффекты изотопического $\delta_{\text{ИС}}$ и химического $\delta_{\text{ХС}}$ смещения, контролируя идентичность химического состояния изотопов в ходе опыта.

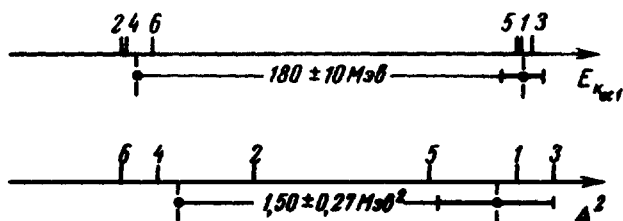
№ серии	Химическое смещение $\delta_{\text{ХС}}, \text{Мэв}$	Изотопическое смещение $\delta_{\text{ИС}}, \text{Мэв}$	Изотопическое СВ-уширение $\Delta_{\text{эв}}^2$
1	-8 ± 23	191 ± 21	$1,57 \pm 0,47$
2	-6 ± 27	191 ± 28	$1,35 \pm 0,58$
3	22 ± 13	150 ± 17	$1,87 \pm 0,61$
4	-41 ± 38	218 ± 39	$1,13 \pm 0,94$
5	7 ± 19	195 ± 19	$1,19 \pm 0,83$
Средние:	8 ± 9	180 ± 10	$1,50 \pm 0,27$

Результаты сведены в таблицу. Рисунок, где показаны результирующие положения и ширины K_{α_1} -линий от отдельных источников, характеризует степень отсутствия ложных эффектов. В итоге найдено:

$$\delta_{ис} = 180 \pm 10 \text{ Мэв}, \quad (2)$$

$$\Delta^{151} = 1,36 \begin{matrix} + 0,11 \\ - 0,13 \end{matrix} \text{ эв} \quad (3)$$

Ошибки — внешние средние квадратичные ²⁾. В величину Δ^{151} введена поправка ($\approx 10\%$) на магнитный момент Eu^{153} .



Положения и уширения (Δ^2) K_{α_1} -линий от сравниваемых образцов. Образцы 1, 3, 5 из Eu^{151} ; 2, 4, 6 — из Eu^{153}

Полученные значения можно сравнить с расчетными. Воспользовавшись значением $\gamma = \Delta < r^2 > / \Delta < r^2 >_{r \sim A^{1/3}} = 2,98 \pm 0,32$ из изотопического сдвига оптических линий [12] и теоретическим значением $\delta = 64,7 \text{ Мэв}$ для изотопического смещения K_{α_1} Eu при $r \sim A^{1/3}$ [13], находим:

$$\delta_{расч} = 64,7 \cdot 2,98 = 193 \pm 21 \text{ Мэв} . \quad (4)$$

Значения (2) и (4) хорошо согласуются. Это представляет некоторый самостоятельный интерес, позволяя проверить anomalно высокое (наивысшее из всех известных [9]) значение γ для пары $Eu^{151-153}$. Ранее оно было измерено только по оптическому изотопическому сдвигу, где можно опасаться влияния неядерных многоэлектронных эффектов.

Расчет по соотношению (1) дает:

$$\Delta_{теор}^{151} = 1,50 \text{ эв} \quad (5)$$

в согласии с экспериментальным значением (3).

Подводя итог, следует заключить, что в опыте, насколько нам известно впервые, обнаружено изотопическое СВ-уширение рентгеновской K -линии. Экспериментальное значение согласуется с теоретическим.

²⁾ Нормально распределенной величиной является Δ^2 .

Авторы благодарны А.И.Егорову, осуществлявшему стандартизацию химического состояния образцов, а также А.Ф.Мезенцеву, А.А.Заведия и Ю.С.Грушко, помогавшим при измерениях.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
8 июня 1970 г.

Литература

- [1] G.Breit. Phys. Rev., 35, 1447, 1930.
 - [2] F.Richtmeyer, S.Barnes. Phys. Rev., 37, 1965, 1931.
 - [3] J.Williams. Phys. Rev., 37, 1431, 1931.
 - [4] M.Frillay, B.Gohkale, M.Voladares. Compt. rend. 283, 1183, 1951.
 - [5] G.Rogosa, G.Schwazz. Phys. Rev., 92, 1434, 1953.
 - [6] R.J. Powers. Phys. Rev., 169, 1, 1968.
 - [7] J.Merrill, J.DuMond. Annals of Phys., 14, 166, 1961.
 - [8] В.И.Нефедов. Журнал структурной химии, 7, 4, 1966.
 - [9] Г.Конферман. Ядерные моменты, М., ИИЛ, 1960.
 - [10] О.И.Сумбаев, А.Ф.Мезенцев, В.И.Марушенко, А.С.Рыльников, Г.А.Иванов. ЯФ, 9, 906, 1969.
 - [11] О.И.Сумбаев, Ю.П.Смирнов, Е.В.Петровиц, В.С.Зыков, А.И.Грушко. Письма в ЖЭТФ, 10, 209, 1969.
 - [12] P.Brix, H.Kopfermann. Rev. Mod. Phys., 30, 517, 1958.
 - [13] Ф.А.Бабушкин. Оптика и спектроскопия, 15, 721, 1968.
-