

ЭФФЕКТ СМЕЩЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛИНИЙ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ПРИ ВНУТРЕННЕЙ КОНВЕРСИИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЙ СВЕРХТОНКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

*А.И.Егоров, А.А.Родионов, А.С.Рыльников,
А.Е.Совестное, О.И.Сумбаев, В.А.Шабуров*

Экспериментально наблюден новый эффект – энергетическое смещение рентгеновских K -линий, возбуждаемых при внутренней конверсии ядерных переходов. Эффект обусловлен взаимодействием электрона с магнитным моментом ядра (сверхтонкое взаимодействие – СВ) в условиях нестатической заселенности компонент, определяемой правилами отбора по спину, и может быть использован как метод измерения магнитных моментов состояний ядер, вне зависимости от времени их жизни.

Взаимодействие между магнитным моментом ядра и внутренним ($K, {}^1L$) электроном атома – так называемое сверхтонкое взаимодействие – было рассмотрено теоретически Брейтом [1] и впервые наблюденно [2] как уширение рентгеновских K_{α} -линий, обусловленное малым по сравнению с собственной шириной 1 дублетным ($l \pm 1/2$) расщеплением K -уровня (здесь l – спин ядра).

В работе [3] и недавней работе [4] было замечено, что при K -захвате возможно нестатистическое (в отличие от фотовозбуждения [2]) заселение $l + 1/2$ и $l - 1/2$ компонент, приводящее не к уширению, а смещению K -линий. Оно было обнаружено в работе [4] экспериментально при исследовании $K_{\alpha 1}$ -излучения, сопровождающего K -захват ${}^{131}\text{Cs}(\epsilon_K)^1$ и ${}^{132}\text{Cs}(\epsilon_K)^1$ ${}^{132}\text{Xe}$.

Заметим, что точно такая же ситуация возникает при внутренней K -конверсии, где итогом перехода ядра из состояния I_i в I_f также является появление дырки на K -оболочке и свободного фермиона (нейтрино при K -захвате и электрон при внутренней конверсии). Это обстоятельство и лежит в ос-

нове нашей работы¹⁾. В табл. 1 воспроизведены правила отбора СВ компонент, действующие при разрешенном K -захвате [4] и внутренней $M1$ конверсии.

Т а б л и ц а 1

Заселенности СВ компонент и смещения рентгеновских линий при K -захвате и внутренней конверсии $M1$ -переходов

$\Delta I \equiv I_f - I_i$	Заселенности		Смещения
	$F = I_f + \frac{1}{2}$	$F = I_f - \frac{1}{2}$	
- 1	1	0	$\frac{1}{2}AI$
1	0	1	$-\frac{1}{2}A(I+1)$

Для эксперимента нами выбран изотоп ^{141}Ce , распадающийся β^- -распадом в ^{141}Pr . Внутренняя K -конверсия $M1$ -перехода с энергией 145 $\mu\text{эв}$ в основное состояние ^{141}Pr служила источником рентгеновских квантов; K_{α_1} - и K_{β_1} -линии измерялись с помощью дифракционного спектрометра¹ по Кошуту, по схеме, использовавшейся нами ранее (см., например, [2]). Источник ^{141}Ce приготавливался облучением изотопа ^{140}Ce (в виде CeO_2) на реакторе в потоке $\approx 1 \cdot 10^{14}$ нейтр/см²·сек. В качестве репера использовался флуоресцентный источник из ^{141}Pr , возбуждаемый радиоактивным ^{170}Tm .

Т а б л и ц а 2

Экспериментальные результаты

Опыт	$\Delta E_{K_{\alpha_1}}, \text{ мэв}$	$\Delta E_{K_{\beta_1}}, \text{ Мэв}$	$\Delta E_{\text{СВ}}, \text{ мэв}$	$\Delta E_{\text{Х,К}_{\alpha_1}}, \text{ мэв}$
1	772 ± 17	1325 ± 200	443 ± 120	329 ± 120
2	445 ± 26	190 ± 180	597 ± 115	-152 ± 110
3	512 ± 21	395 ± 93	582 ± 65	-70 ± 57

Результаты приведены в табл. 2. В первом и втором опытах репером служили соединения PrO_2 и Pr_2O_3 , соответственно. Измеренные смещения $\Delta E_{K_{\alpha_1}}$ и $\Delta E_{K_{\beta_1}}$ оказались разными, что свидетельствует о наличии, кроме искомого СВ эффекта ($\Delta E_{\text{СВ}}$), еще и химического смещения ($\Delta E_{\text{Х,К}_{\alpha_1}}$, $\Delta E_{\text{Х,К}_{\beta_1}}$), обусловленного частичным переходом празеодима после β^- -распада ^{141}Ce в CeO_2 в трехвалентное состояние. Используя эти дан-

¹⁾ Отличие в массах нейтрино и электрона приводит к большей вероятности уноса электроном орбитального момента, однако при небольших (до нескольких сотен $\mu\text{эв}$) кинетических энергиях электронов это обстоятельство оказывается мало существенным [5].

ные и то, что химическое смещение K_{β_1} -линии в 2,68 раза больше смещения K_{α_1} -линии [6], а СВ смещения одинаковы, можно раздельно определить искомый СВ эффект, мешающий химический сдвиг (см. табл. 2), а также валентное состояние излучающего атома: $m = 3,28 \pm 0,21$.

В третьем опыте в качестве репера была использована смесь Pr_2O_3 и PrO_2 именно с такой средней валентностью, поэтому химический эффект был в значительной степени компенсирован.

Окончательное экспериментальное значение K -смещения, обусловленного СВ взаимодействием, $\overline{\Delta E}_{\text{СВ}} = 560 \pm 50$ мэв легко пересчитать (см., например, [2]) в значение магнитного момента основного состояния ^{141}Pr и сравнить с табличными: $\mu_{\text{эксп}} = 4,1 \pm 0,4$ я.м.; $\mu_{\text{табл}} = 4,24 \pm 0,10$ [7]; $4,09 \pm 0,06$ [8]. Наблюдается хорошее согласие.

Эффект может быть использован как новый метод измерения магнитных моментов возбужденных состояний ядер. Кроме большей распространенности он обладает тем преимуществом перед эффектом после K -захвата, что репером может служить не второе радиоактивное ядро, как при K -захвате, а флуоресцентное рентгеновское излучение, возбуждаемое в основном состоянии исследуемого изотопа [4].

Заметим в заключение, что эффект должен приводить к аналогичным смещениям энергии самих конверсионных (электронных) линий, которые за счет этого непосредственно несут информацию о магнитных моментах конечных состояний соответствующих переходов.

Авторы благодарны К.Е.Кириянову, В.В.Федорову и Ю.С.Грушко за полезные обсуждения, Ю.В.Сергеенкову за помощь при подготовке эксперимента и Ю.И.Васильеву за помощь в измерениях.

Авторы благодарны также персоналу реактора ВВРМ ЛИЯФ, производившему облучения образцов.

Институт ядерной физики
им. Б.П.Константинова
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
1 апреля 1978 г.

Литература

- [1] G.Breit. Phys. Rev., 35, 1447, 1930.
- [2] А.С.Рыльников, Г.А.Иванов, В.И.Марушенко, А.И.Смирнов, О.И.Сумбаев. Письма в ЖЭТФ, 12, 128, 1970.
- [3] I.Bernstein, T.D.Lee, C.N.Yang, A.Primakoff. Phys. Rev., 111, 313, 1958.
- [4] G.L.Borchert, P.G.Hansen, B.Jonson, H.L.Ravn, O.W.B.Schult, P.Tedemand-Petersson. Phys. Lett., 63A, 15, 1977.

- [5] И.М.Ванд, М.А.Листенгартен, Л.А.Слив. Таблицы конверсионных матричных элементов и фаз. "Альфа – бета и гамма спектроскопия под ред. К.Зигбана, вып. 3, стр. 608, М., Атомиздат, 1969.
- [6] P.L.Lee, E.C.Seltzer, F.Boehm. Phys. Lett., 38A, 29, 1972.
- [7] J.M.Baker, B.Bleaney. Proc. Roy. Soc. (London), A245, 156, 1958.
- [8] J.Reader, J.Sugar. Phys. Rev., 137B, 784, 1965.
-