

УЧЕТ ЭФФЕКТОВ “ВСТРЯСКИ” ОТ БЕТА-РАСПАДА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВНУТРЕННЕЙ КОНВЕРСИИ ПО ВТОРИЧНОМУ ЭЛЕКТРОННОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

Н. Ф. Митрохович

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

С помощью отбора γ -квантов в совпадении со вторичными электронами (e_0 -электроны) и β -частицами ($\gamma\beta e_0$ -совпадения) и специальной геометрии измерений выделено образование e_0 -электронов от электронов “встряски”, сопровождающих β -распад, и измерен их выход. Оценено влияние этого дополнительного источника образования e_0 -электронов на точность определения коэффициентов внутренней конверсии (КВК), когда выход e_0 -электронов от электронов конверсии определяется по выходу e_0 -электронов от β -частиц.

Определение КВК по вторичному электронному излучению (e_0 -электроны) путем измерения его выхода от электронного захвата и от β -частиц описано в работе [1]. Сам метод подробно изложен автором в работах [2, 3]. Не вдаваясь в детали, можно отметить только, что в этих измерениях необходимо получить, кроме измеряемой суммарной Z вероятности регистрации e_0 -электронов (Z выход $N_{\gamma e_0} / N_{\gamma}$), еще и по отдельности Z вероятности регистрации e_0 -электронов от β -частицы (Z_{β} , в случае β -распада), от вакансии в атомной оболочке ($Z_{\varepsilon} \cong Z_k$) и от самого конверсионного электрона (Z_e). Тогда полное значение КВК (определяемого $W = N_e / (N_e + N_{\gamma})$) от всех оболочек вычисляется по формулам:

$$W_{\varepsilon} = (Z - Z_k) / Z_k [1 - Z_k + (1 - Z_k)^2 Z_e / Z_k] \quad (\text{для } \varepsilon\text{-захвата}), \quad (1)$$

$$W_{\beta} = (Z - Z_{\beta}) / Z_k [1 - Z_{\beta} + (1 - Z_k)(1 - Z_{\beta}) Z_e / Z_k] \quad (\text{для } \beta\text{-распада}). \quad (2)$$

Если Z_k и Z_{β} можно измерить по γ -переходам на основное состояние, то с Z_e связана необходимость еще измерения с конверсионным переходом с хорошо установленным КВК или измерения выхода e_0 -электронов от β -спектра [1]. В последнем случае нужен учет сопутствующих β -распаду процессов “встряски” (также “shake-off” в литературе) низкоэнергетичных электронов с атомной оболочки [4], неучет которых может быть существенным при измерениях КВК с высокой точностью.

В данной работе проведены специальные исследования дополнительного выхода e_0 -электронов от сопутствующих β -распаду процессов “встряски” низкоэнергетичных электронов с целью снятия неопределенности и вычисления необходимых поправок при измерениях КВК по вторичному электронному излучению. Геометрия измерений, показанная на рис. 1, включает детектор e_0 -электронов (МСП), сцинтилляционный детектор β -частиц и Ge(Li)-детектор γ -квантов, для которых реализованы γe_0 -, $\gamma\beta e_0$ -, $\gamma\beta$ -совпадения. Радиоактивный источник S ориентирован подложкой к МСП-детектору. Измерения проводились с радиоактивными источниками $^{152,154}\text{Eu}$ с толщиной поверхностного слоя $\approx 20 - 30 \text{ мкг/см}^2$. Было проведено (см. таблицу) 14 различных серий измерений (на рис. 2 и 3 одна из них, под № 12), позволивших идентифицировать каналы образования e_0 -электронов (активная сторона источника, подложка, Al электрод “e”), а также учесть рассеяние электронов из детектора в детектор, создающее ложные $\gamma\beta e_0$ -совпадения.

Результаты измерений приведены в таблице, которая содержит Z -выходы для β -ветвей распада 175, 384, 695 и 1063 кэВ, выделяемых в совпадениях γ -переходами 1299, 1090, 779 и 411 кэВ соответственно. Электронный захват выделялся по $\gamma 1086 \text{ кэВ}$, идущему на основное состояние ^{152}Sm . Геометрия измерений в этой таблице указана наличием элемен

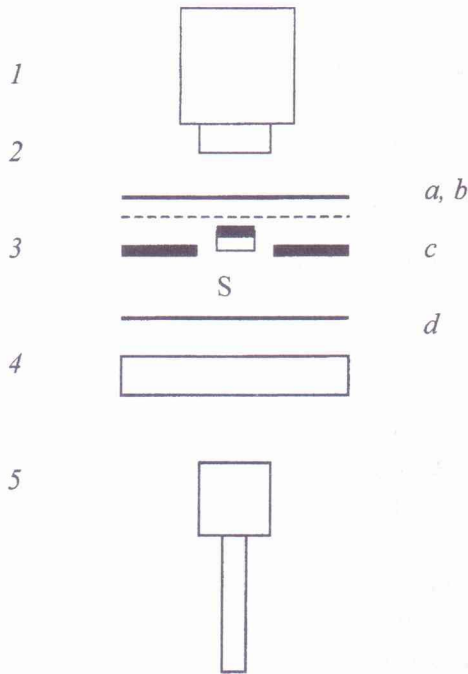


Рис. 1. Геометрия измерений γe_0 -, $\gamma\beta$ - и $\gamma\beta e_0$ -совпадений γ -квантов со вторичными электронами и β -частицами: 1 – ФЭУ; 2 – пластик-сцинтиллятор, 2 мм; 3 – радиоактивный источник (S); 4 – МСР-детектор; 5 – Ge(Li)-детектор; *a* – Al 10 мкм (e); *b* – сетка; *c* – диафрагма; *d* – Al фольга, 10 мкм.

Электроды *a*, *b*, *c*, *d* могут присутствовать и находиться под различными потенциалами, в зависимости от требуемой геометрии эксперимента (указывается в таблице).

Z-выходы ($N_{\gamma e_0}/N_{\gamma}$, $N_{\gamma\beta e_0}/N_{\beta\gamma}$) e_0 -электронов от различных β -компонент распада ^{152}Eu и от электронного захвата в ^{152}Eu

$Z_{\beta 175}$	$Z_{\beta 384}$	$Z_{\beta 695}$	$Z_{\beta 1063}$	Z_e	№ геометрии
0,0232(6)	0,0143(6)	0,0072(2)	0,0076(4)	0,03361(16)	1. <i>a</i> , γe_0
0,0100(11)	0,0032(13)	0,0014(4)	0,0016(9)	0,0202(3)	2. <i>a</i> , $(\gamma e_0)_e$
0,030(13)	0,023(5)	0,013(1)	0,009(3)	0,038(2)	3. <i>a</i> , $\gamma\beta e_0$
0,0191(13)	0,0174(6)	0,0114(4)	0,011(1)	0,0186(4)	4. <i>b</i> , γe_0
0,0059(16)	0,034(65)	0,0071(14)	0,0052(36)	0,026(2)	5. $\gamma\beta e_0$, S = 0, -140
0,038(16)	0,0009(64)	0,0094(14)	0,0100(4)	0,020(2)	6. $\gamma\beta e_0$, S = 0, +215
0,021(12)	0,0094(51)	0,0063(12)	0,0063(30)	0,013(1)	7. $(\gamma\beta e_0)_b$, S = -140
0,003(12)	0,014(5)	0,006(12)	0,0036(30)	0,018(1)	8. $(\gamma\beta e_0)_{-e}$, S = +215
0,0103(10)	0,0132(2)	0,0121(6)	0,0092(15)	0,0068(5)	9. <i>b, c</i> , γe_0
0,028(6)	0,0092(22)	0,0080(5)	0,0070(13)	0,0098(13)	10. <i>b, c</i> , $\gamma\beta e_0$
0,013(1)	0,019(1)	0,0116(4)	0,011(1)	0,0118(4)	11. <i>b(-24), c</i> , γe_0
0,039(7)	0,005(3)	0,0050(4)	0,006(2)	0,012(1)	12. <i>b(-24), c</i> , $\gamma\beta e_0$
0,0003(16)	0,00040(26)	0,0087(8)	0,0076(19)	≈ 0	13. <i>b(-24), c, d</i> , γe_0
0,017(9)	0,000(4)	0,004(1)	0,0008(36)	≈ 0	14. <i>b(-24), c, d</i> , $\gamma\beta e_0$

тов *a* (электрод "e"), *b* (сетка), *c* (диафрагма), *d* (отдельное измерение). Измерения 1 - 4 в этой таблице, которые согласуются с сопоставимыми данными работы [5], проведены в основной геометрии измерений с внешним электродом "e" и указывают на основную часть образования e_0 -электронов от подложки, а также заметную часть их образования от электрода "e". Это подтверждается и другими измерениями: 5 - 8, выполненными без всяких электродов (под "e" обозначена Al пленка сцинтиллятора); 9 - 10, проведенными с диафрагмой, уменьшающей рассеяние из детектора в детектор; 11 - 12, подобными 9 - 10, но с отрицательным потенциалом на сетке, дополнительно отсеивающим внешние по отношению к источнику e_0 -электроны; измерениями 13 - 14 выхода e_0 -электронов от прошедших через Al фольгу электронов. Для выделения канала образования e_0 -электронов от низкоэнергетичных электронов "встряски" необходимы измерения 12 на выделенных по направлению $\gamma\beta e_0$ -совпадениях, когда подавлена регистрация и внешних e_0 -электронов и e_0 -электронов от подложки при рассеянии электронов из МСР-детектора в сцинтилляционный детектор. Эта часть ложных совпадений тщательно измерялась на основе

экспериментальных вероятностей регистрации $N_{\gamma\beta e}/N_{\gamma}$ и $N_{\gamma e}/N_{\gamma}$, отношение которых для геометрии 12 определяет вероятность рассеяния $P_{\beta e}$ из МСР-детектора в β -детектор. Ложный компонент регистрации e_0 -электронов из подложки от прошедших через нее β -частиц составляет $2P_{\beta e}N_{\gamma e_0}$. Коэффициент 2 при $P_{\beta e}N_{\gamma e_0}$ возникает из-за того, что в γe_0 -совпадениях только половина β -частиц движется в направлении подложки и только эти частицы создают e_0 -электроны, в то время как в $\gamma\beta e_0$ -совпадениях при рассеянии из МСР-детектора в β -детектор в направлении подложки движутся все β -частицы. Эти ложные совпадения не превышали половины общего выхода $Z_{\gamma\beta e_0}$ и выхода $Z_{\gamma\beta e_0}^{\text{shake-off}}$.

$$Z_{\gamma\beta e_0}^{\text{shake-off}} = Z_{\gamma\beta e_0} - 2P_{\beta e} Z_{\gamma e_0}. \quad (3)$$

В результате по γe_0 -, $\gamma\beta e_0$ -, $\gamma\beta$ -совпадениям со вторичными электронами околонулевых энергий (e_0 -электроны), проведенными в различных геометриях измерения, выделено (рис. 2 и 3) присутствие в β -распаде дополнительного к β -электронам низкоэнергетичного источника образования e_0 -электронов (в основном от “встряски”), интенсивность которого по Z -выходу $N_{\gamma\beta e_0}/N_{\beta\gamma}$ (с вычитанием e_0 -компонента от обратной стороны источника при рассеянии из МКП-детектора в сцинтилляционный β -детектор) составляет 0,037(7), 0,0023(30), 0,0026(4), 0,0037(20) для β -компонент ^{152}Eu с энергией 175, 384, 695, 1063 кэВ соответственно и составляет 0,039(10) для β 249 кэВ ^{154}Eu . Чтобы пересчитать Z -выход e_0 -электронов от электронов “встряски” при β -распаде, измеренный при выделенных в $\gamma\beta e_0$ -совпадениях направлениях вылета β -частиц, к измерениям, в которых направление вылета β -частицы не выделяется, т.е. к γe_0 -совпадениям, необходимо учесть, что между направлением вылета электрона, вызывающего “встряску”, и электроном “встряски” существует жесткая корреляция. Оба электрона испускаются в одну и ту же полусферу [6, 7] и это уменьшает в два раза вероятность регистрации e_0 -электронов от “встряски” в γe_0 -совпадениях по сравнению с $\gamma\beta e_0$ -совпадениями. С учетом этого интенсивность образования e_0 -электронов от “встряски” составляет $\approx 12\%$ по отношению к образованию от β 695 кэВ из распада ^{152}Eu .

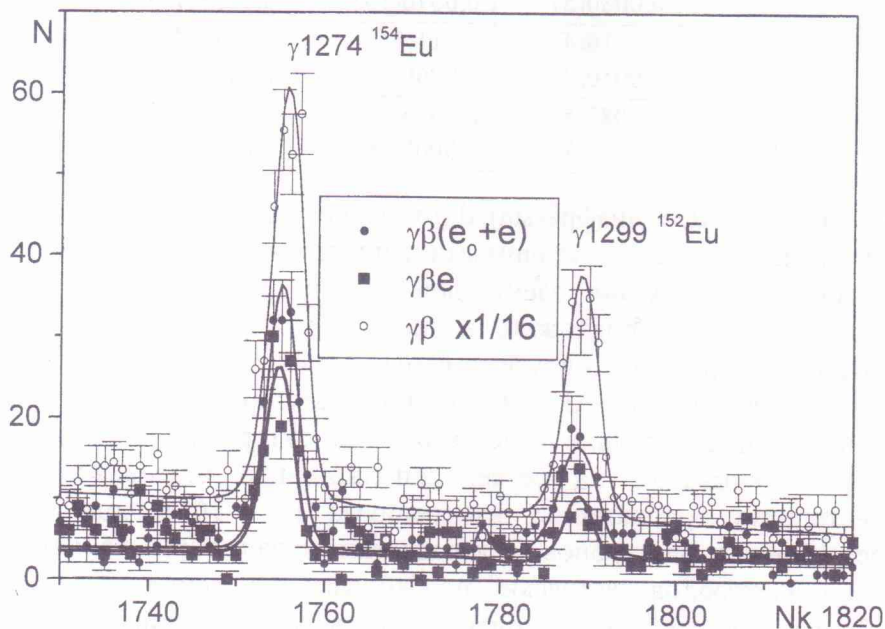


Рис. 2. Регистрация e_0 -электронов от “встряски” в $\gamma\beta e_0$ -совпадениях с β 175 и γ 1299 кэВ в распаде ^{152}Eu ^{154}Eu в источнике является примесным.

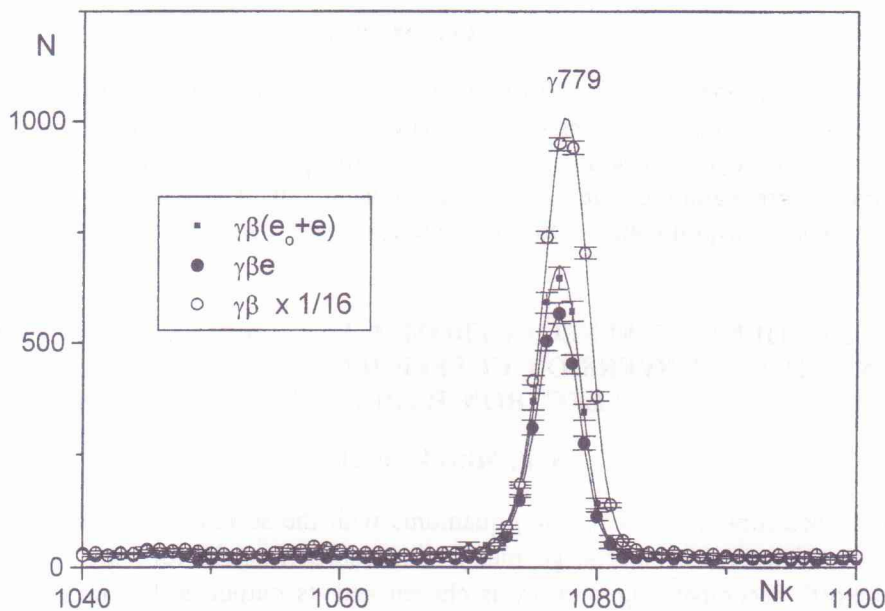


Рис. 3. Регистрация e_0 -электронов от “встряски” в $\gamma\beta e_0$ -совпадениях с $\beta 695$ и $\gamma 779$ кэВ в распаде ^{152}Eu .

Учет источника образования e_0 -электронов от “встряски” атомной оболочки при β -распаде позволяет более корректно определить КВК, устраняя систематическую ошибку от неопределенного и неучтенного эффекта, который занижает экспериментальное значение КВК на 6 % для α_{122} перехода 122 кэВ E2 в распаде ^{152}Eu , составляя без учета “встряски” 1,08(2), в то время как с учетом “встряски” – 1,15(2), что согласуется с табличным и общепринятым значением 1,167. Следует отметить, что полученная поправка к КВК на “встряску” может быть корректно применена для источников толщиной 10 - 30 $\text{мкг}/\text{см}^2$, обычно используемых в спектроскопии конверсионных электронов для низкоэнергетичной части спектра. В случае сильно отличающихся значений поверхностной толщины источника от использованных в данной работе требуются дополнительные измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митрохович Н.Ф. // Збірник наукових праць Інституту ядерних досліджень. – 2001. – № 1(3). – С. 67.
2. Митрохович Н.Ф. // Изв. РАН. Сер. физ. - 2000. – Т. 64, № 3. – С. 567 – 571.
3. Митрохович Н.Ф. // Матеріали щорічної наукової конференції Інституту ядерних досліджень. – Київ, 1999. – С. 71.
4. Альфа-, бета- и гамма-спектроскопия / Под ред. К. Зигбана. – Вып.4. – М.; Атомиздат, 1969. – С. 199.
5. Купряшкин В.Т., Митрохович Н.Ф., Сидоренко Л.П. и др. // Матеріали щорічної наукової конференції Інституту ядерних досліджень. – Київ, 1997. – С. 75.
6. Weber Th., Giessen† H., Weckenbrock M. et al. // Nature. – 2000. – Vol. 405. – P. 658.
7. Weckenbrock M., Hattas M., Czasch A. et al. // J. Phys. B. – 2001. – Vol. 34. – P. 449.

**ОБЛІК ЕФЕКТІВ “СТРУСУ” ВІД БЕТА-РОЗПАДУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ КОЕФІЦІЄНТІВ
ВНУТРІШНЬОЇ КОНВЕРСІЇ ЗА ВТОРИННИМ ЕЛЕКТРОННИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ****М. Ф. Митрохович**

За допомогою відбору збігів γ -квантів із вторинними електронами (e_0 -електрони) та β -частинками ($\gamma\beta e_0$ -збіги) і спеціальної геометрії вимірювання виділено утворення e_0 -електронів від електронів “струсу”, що супроводжують β -розпад, і виміряно їх вихід. Оцінено вплив цього додаткового джерела утворення e_0 -електронів на точність визначення коефіцієнтів внутрішньої конверсії, коли вихід e_0 -електронів від електронів конверсії визначається по виходу e_0 -електронів від β -частинок.

**“SHAKE-OFF” ACCOUNT OF EFFECTS FROM A BETA-DECAY AT DETERMINATION
OF INTERNAL CONVERSION COEFFICIENTS DUE TO SECONDARY
ELECTRON RADIATION****N. F. Mitrokhovich**

By means of selection coincidence of γ -quantums with the secondary electrons (e_0 -electrons) and β -particles ($\gamma\beta e_0$ -coincidences) and special geometry of measurements the formation of e_0 -electrons from electrons of “shake-off” accompanying β -decay is chosen and its output is determined. Influence of this additional source of e_0 -electrons formation on the accuracy of the internal conversion coefficient determination is estimated, when the output of e_0 -electrons from electrons of conversion is defined on the output of e_0 -electrons from β -particles.

Поступила в редакцію 04.02.02,
после доработки – 12.09.02.