

ЭЛЕКТРОНЫ “ВСТРЯСКИ” ПРИ β -РАСПАДЕ $^{152,154}\text{Eu}$

Н. Ф. Митрохович

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

На основании измерений двойных и тройных совпадений γ -квантов и β -частиц с низкоэнергетичными электронами (включая e_0 -электроны вторичной электронной эмиссии околонулевой энергии) - (γ, β)-(e, e_0)-совпадения - получены значения выхода e_0 -электронов от “встряски” на акт β -распада ^{152}Eu для β -компонент 175, 384, 695, 1063 кэВ. На основании измерений совпадений γ -квантов, конверсионных электронов (CE), β -частиц с e_0 -электронами - совпадения (γ, CE)-(e, e_0) и совпадения $\gamma\beta e_0$ - измерен выход e_0 -электронов от “встряски” на акт β -распада ^{154}Eu для β -компонент 249, 571, 841 кэВ ^{154}Eu . Установлено, что в β -распадах $^{152,154}\text{Eu}$ β -частицы и электроны “встряски”, наблюдаемые по создаваемым ими e_0 -электронам, скоррелированы в направлении вылета, испытывая преимущественное испускание в одну полусферу.

1. Введение

Изучение эффектов “встряски” атомной оболочки при изменении заряда ядра, например в случае α - и β -распада, или при изменении эффективного заряда в случае переходов во внутренних оболочках является важной областью исследований в атомной спектроскопии и, в частности, Оже-спектроскопии. В значительной степени это связано с возможностью изучения многоэлектронных корреляций в атомах. В ядерной физике эффекты “встряски” требуют внимания для полноты описания атомно-ядерного процесса, при измерениях или вычислениях коэффициентов внутренней конверсии (КВК) внешних оболочек, при точных измерениях формы β -спектра и вообще для учета вклада в любой физический или ядерно-физический результат, где такой вклад от “встряски” возможен [1 - 3]. Не вдаваясь в детали описания процесса, нужно в главном для дальнейшего отметить, что в приближении внезапного возмущения и простейшем варианте теории, когда дифференциальная вероятность “встряски” описывается квадратом интеграла перекрытия волновых функций, действуют монополярные правила отбора по орбитальному моменту, спектр электронов “встряски” низкоэнергетичен, а вероятность “встряски” не зависит от энергии β -частицы.

В данной работе продолжены исследования автора по “встряске” [2, 3], которые были предприняты, главным образом, с целью изучения влияния процессов “встряски” при определении КВК по e_0 -электронам вторичной электронной эмиссии от заполнения вакансии после конверсии. В проводимых исследованиях нужно определить выход e_0 -электронов от “встряски” и сам выход электронов “встряски” на акт β -распада, а также измерить корреляцию β -частицы с электроном “встряски”, что в данном контексте соответствует и общезначимой задаче по “встряске”. Настоящая работа дополняет ранее полученные результаты по “встряске” при β -распаде ^{152}Eu [3] по выходу e_0 -электронов от “встряски”, по данным о корреляции β -частица - электрон “встряски”, а также дополняет в указанных выше аспектах существующие данные полученными данными по “встряске” при β -распаде ^{154}Eu .

2. Методики измерений и результаты

Измерения были проведены на двух установках: спектрометре $\pi\sqrt{2}$ с позиционно-чувствительным детектором в фокальной плоскости, оснащенным NaI(Tl) каналом совпадений с γ -квантами и каналом совпадений с e_0 -электронами от источника на беспороговом (MCP) детекторе электронов (рис. 1, а) и на отдельной установке $\gamma\beta e_0$ -совпадений с Ge(Li) детектором (рис. 1, б).

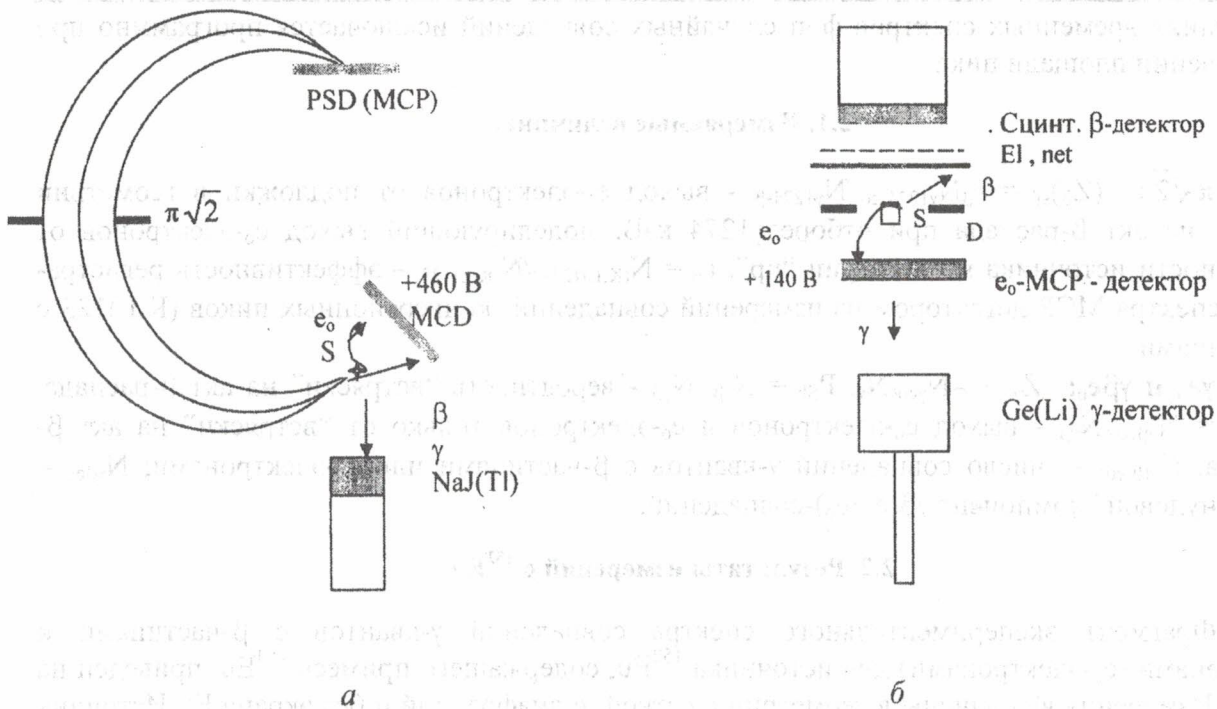


Рис. 1. Геометрии измерений совпадений конверсионных электронов (CE), β -частиц и γ -квантов с e_0 -электронами: *а* - (CE, $\Delta\beta_{1C}$, γ)-(e + e_0)-совпадения на магнитном β -спектрометре $\pi\sqrt{2}$ высокого разрешения с позиционно-чувствительным детектором (PSD) в фокальной плоскости и регистрацией электронного (MCP) и γ -излучения (NaJ(Tl)) источника (S); *б* - $\gamma\beta e_0$ -совпадения в установке с регистрацией e_0 -электронов микроканальными пластинами (MCP), β -частиц – сцинтилляционным детектором, γ -квантов – Ge(Li) детектором, EI-экран – Al фольга 10 мкм, net – сетка, D – диафрагма. Показана ориентация источника “up”. В “down” источник ориентирован активностью к MCP.

Исследования по “встряске” при β -распаде ^{152}Eu проведены на установке (см. рис. 1, б), на которой измерялись энергетические спектры γe_0 , $\gamma\beta$ - и $\gamma\beta e_0$ -совпадений. Измерения по “встряске” при β -распаде ^{154}Eu проведены на обеих установках. Методика измерений и учета фоновых факторов подробно описана в предыдущей работе [3], а здесь излагается только в главных чертах. Как часть исследований по ^{154}Eu , на установке с $\pi\sqrt{2}$ (см. рис. 1, а) измерялись временной спектр e_0 - γ 1274 совпадений в геометрии “down” и временные спектры (K, L)123- β совпадений с конверсией γ 123 кэВ в геометрии “up”. В спектре с e_0 -совпадениями выделялся задержанный компонент, поскольку задержка вылета e_0 -электронов из среды источника по физической природе присуща им, как электронам вторичной электронной эмиссии. Для определения выхода самих электронов “встряски” (e_{sh}) от β -распада измерялись совпадения β -частиц с сопутствующим β -распаду электронным излучением “ненулевой” области при подаче на источник небольшого (+60 В) запирающего по отношению к MCP-напряжения. Все измерения на обеих установка, кроме e_0 - γ 1274 на $\pi\sqrt{2}$, проведены в геометрии “up” (см. рис. 1). Касаясь фоновых факторов нужно отметить, что при измерениях энергетических спектров $\gamma\beta e_0$ -совпадений на установке с Ge(Li) спектрометром и определении соответствующих выходов $N_{\gamma e_0}/N_\gamma$ и $N_{\gamma\beta e_0}/N_{\beta\gamma}$ нужен был учет рассеяния из детектора MCP в β -детектор, который осуществлялся на основе измерения соответствующих эффективностей регистрации $P_{\beta e} = \epsilon_{\beta e}/\epsilon_e$, $\epsilon_{\beta e} = N_{\gamma\beta e}/N_\gamma$, $\epsilon_e = N_{\gamma e}/N_\gamma$ в различных условиях диафрагмирования источника между детекторами. Также важен учет фона случайных совпадений, который осуществлялся по чисто фоновым пикам и составлял 10 - 15 % по пикам γ 344 и γ 1274 спектра совпадений с ^{152}Eu и ^{154}Eu соответственно. При

измерениях временных спектров фон случайных совпадений исключается программно при определении площади пика.

2.1. Измеряемые величины

$\pi\sqrt{2}$: $(Z_\beta)_{sf} = \epsilon_\beta N_{\gamma 1274-e_0} / N_{\gamma 1274-\beta}$ - выход e_0 -электронов от подложки в геометрии "down" на акт β -распада при отборе $\gamma 1274$ кэВ, моделирующий выход e_0 -электронов от поверхности источника в геометрии "up". $\epsilon_\beta = N_{(K,L)123-\beta} / N_{(K,L)123}$ - эффективность регистрации β -спектра МСР детектором из измерений совпадений конверсионных пиков (K,L)123 с β -частицами.

γe_0 и $\gamma \beta e_0$: $Z_\gamma = N_{\gamma e_0} / N_\gamma$, $P_{Sh} = N_{\gamma \beta e_0} / N_{\gamma \beta}$ - вероятность "встряски" на акт β -распада. Z , $Z_{Sh} = N_{\gamma \beta e_0} / N_{\gamma \beta}$ - выход e_0 -электронов и e_0 -электронов только от "встряски" на акт β -распада; $N_{\gamma(\beta, e_0)}$ - число совпадений γ -квантов с β -частицами или e_0 -электронами; $N_{\gamma \beta e_0}$ - "околонулевой" компонент $\gamma\beta(e + e_0)$ -совпадений.

2.2. Результаты измерений с ^{152}Eu

Фрагмент экспериментального спектра совпадений γ -квантов с β -частицами и электронами (e_0 -электронами) для источника ^{152}Eu , содержащего примесь ^{154}Eu , приведен на рис. 2. Измерения выполнены в геометрии с сеткой, с диафрагмой и без экрана Е1. Источник был ориентирован подложкой к МСР-детектору (геометрия "up"). В части от ^{154}Eu в совпадениях участвуют электроны конверсии от $\gamma 123$ (IC123), электроны "встряски" (e_{Sh}), e_0 -электроны от конверсии (e_0) и e_0 -электроны от "встряски" ($(e_0)_{Sh}$). В части от ^{152}Eu пики $\gamma 1299\beta 175(e + e_0)$ -совпадений не содержат конверсионного компонента и демонстрирует (с вычитанием 12% фона) совпадения с электронами "встряски" и e_0 -электронами от "встряски". Пунктиром (без указания статистического разброса значений для облегчения рисунка) на рисунке показан спектр $\gamma\beta$ -совпадений, на который с корректировкой на фон делятся спектры $\gamma\beta e$ - и $\gamma\beta e_0$ -совпадений для получения $(P_\beta)_{Sh}$ выхода электронов "встряски" и Z_{Sh} выхода e_0 -электронов от "встряски" на акт β -распада ^{152}Eu . Основные результаты по

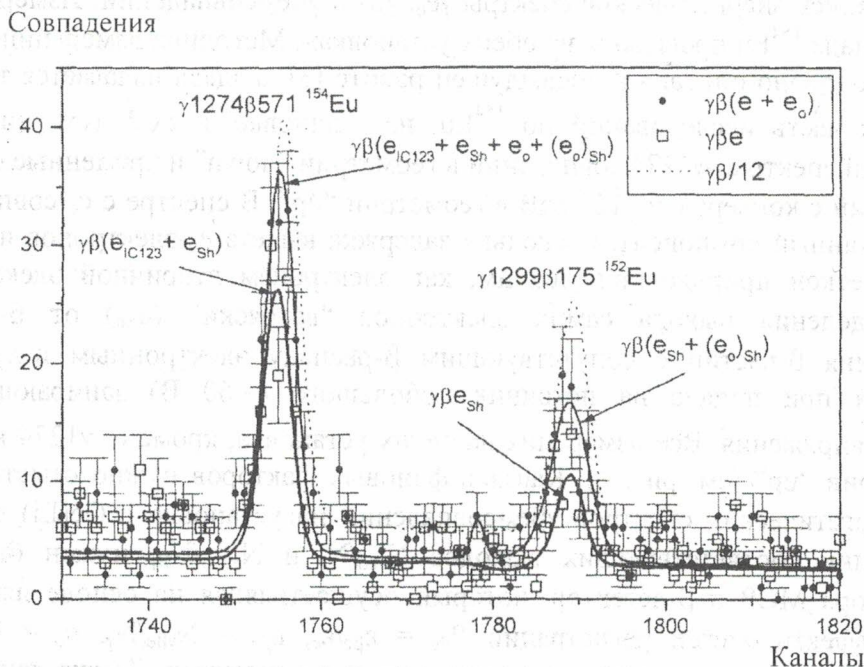


Рис. 2. $\gamma\beta(e + e_0)$ -совпадения в распаде $^{152,154}\text{Eu}$.

^{152}Eu приведены в табл. 1. Таблица содержит Z -выходы e_0 -электронов, полученные из измерения γ -, $\gamma\beta$ -, γe_0 - и $\gamma\beta e_0$ -спектров с различными потенциалами и геометриями окружения источника (сетка Net, диафрагма D, экран El, Al между источником и МСР) и относящиеся либо ко всей геометрии измерений, либо к обратной стороне источника (индекс b), либо к самой поверхности источника (индекс sf). На основании этих данных, значений эффективностей ϵ_β , ϵ_e , $\epsilon_{\beta e}$ одиночной и совместной регистрации β - и МСР-детекторами, а

Таблица 1. Z -выходы e_0 -электронов, выход электронов “встряски” P_{Sh} и e_0 -электронов от “встряски” Z_{Sh} на акт β -распада в γe_0 - и $\gamma\beta e_0$ -совпадениях в распаде ^{152}Eu

№, эксперимент	$\beta 175$ ($\gamma 1299$)	$\beta 384$ ($\gamma 1090$)	$\beta 695$ ($\gamma 779$)	$\beta 1063$ ($\gamma 411$)	Геометрия измерений
1. γe_0	0,013(1)	0,019(1)	0,0116(4)	0,011(1)	Net, D
2. $(\gamma e_0)_b$	0,0003(16)	0,0040(26)	0,0087(8)	0,0076(19)	Al
3. $(\gamma e_0)_{sf}$	0,013(1)	0,015(3)	0,0029(8)	0,0034(22)	1 – 2, Net
4. γe_0	0,0232(6)	0,0143(6)	0,0072(2)	0,0076(4)	El
5. $(\gamma e_0)_{sf+El}$	0,0229(6)	0,0103(27)	0,000(1)	0,000(19)	4 – 2, El
6. $\gamma\beta e_0$	0,035(16)	0,024(6)	0,0130(12)	0,0087(20)	El
7. $\gamma\beta e_0$	0,0372(60)	0,0062(27)	0,0047(4)	0,0051(18)	Net, D
8. $(P_\beta)_{Sh}$	0,0416(126)	0,0353(24)	0,0272(14)	0,0205(6)	$\gamma\beta e_0 (1,57 \cdot \pi \sqrt{2})$
9. $P_{МСР}$	0,0420(48)	0,0305(20)	0,0335(6)	0,0376(11)	$\epsilon_{\beta e}/\epsilon_\beta$
10. ϵ_e	0,0223(5)	0,0500(15)	0,0667(4)	0,0633(8)	$N_{\gamma e}/N_\gamma$
11. $\epsilon_{\beta e}$	0,00077(15)	0,0033(2)	0,0052(1)	0,0059(2)	$N_{\gamma\beta e}/N_\gamma$
12. $P_{\beta e}$	≈ 0	≈ 0	0,0148(3)	0,0430(15)	*
13. Z_{Sh}	0,0372(60)	0,0062(27)	0,0044(4)	0,0045(18)	**

$$* P_{\beta e} = (P_{МСР} - (P_{\Delta\beta})^{Sh}) * (\epsilon_\beta)_{\gamma 344} / (\epsilon_\beta)_{K344} * \epsilon_{\beta e} / P_{МСР} * \epsilon_e.$$

$$** Z_{Sh} = Z_{\gamma\beta e_0} - 2(Z_{\gamma e_0})_b P_{\beta e}.$$

Все энергии приведены в кэВ.

также с учетом ранее полученных [3] на установке с $\pi\sqrt{2}$ выходов электронов “встряски” на акт β -распада определена вероятность регистрации МСР-детектором сопутствующего β -распаду электронного излучения ($P_{МСР}$, включает “встряску” + рассеяние из детектора в детектор) и определена вероятность $P_{\beta e}$ регистрации β -детектором электронов, рассеянных из МСР-детектора. На основании этого, по приведенным после таблицы соотношениям, определен выход e_0 -электронов от “встряски” Z_{Sh} на акт β -распада ^{152}Eu . Другим важным результатом измерений с ^{152}Eu , который используется в измерениях с ^{154}Eu , является то, что рассеяние из детектора в детектор слабо зависит от различных конфигураций в геометрии измерения и становится значительным только при энергиях β -частиц выше 700 кэВ. Как можно видеть из табл. 1, в измерениях с сеткой и без внешнего источника образования e_0 -электронов, каковым является экран El, выход e_0 -электронов от поверхности источника в $\gamma\beta e_0$ -совпадениях выше в среднем в два раза, чем в γe_0 -совпадениях (см. измерения 3 и 7). Как следует из оценок и непосредственных измерений с источником ^{154}Eu (см. раздел 2.3), образованием e_0 -электронов от β -частиц в поверхности источника ^{152}Eu толщиной активного слоя $\sim 10 - 20 \text{ мкг} \cdot \text{см}^{-2}$ можно пренебречь и, таким образом, нельзя это увеличение связать с выделением направления образования. Все указывает на наличие корреляции направления вылета β -частицы и e_0 -электрона от “встряски”, а значит и самого электрона “встряски”, при которой β -частица и электрон “встряски” должны испускаться в одну полусферу, поскольку в эту же полусферу испускается e_0 -электрон. На это указывают и измерения 5 и 6, поскольку увеличение e_0 -выхода при $\gamma\beta e_0$ -совпадениях в этом случае нужно связывать еще и с экраном El, на котором образование e_0 -электронов от низкоэнергетичных электронов “встряски” должно происходить с большей вероятностью, чем от β -частиц.

2.3. Результаты измерений с ^{154}Eu

Фрагмент экспериментального спектра совпадений γ -квантов с β -частицами и электронами (электроны “встряски”, e_0 -электроны) для ^{154}Eu приведен на рис. 3. Пунктиром на нем, как и на предыдущем рисунке без указания экспериментального разброса, приведен спектр $\gamma\beta$ -совпадений, на который делятся скорректированные на случайный фон и дополнительные составляющие от конверсии спектры $\gamma\beta e_0$ - и $\gamma\beta e$ -совпадений для получения выхода e_0 -электронов от “встряски” и выхода самих электронов “встряски” на акт β -распада. Левый пик совпадений с $\gamma 996$ кэВ, в отличие от совпадений с $\gamma 1005$ кэВ и другими выбранными в измерениях γ -переходами, не содержит вклад в e_0 -компонент от конверсии каскадного перехода $\gamma 123$ кэВ, поскольку происходит на основное состояние ^{154}Gd . По этой причине этот пик спектра совпадений $\gamma 996\beta 249(e + e_0)$ содержит (за исключением 26 % фона

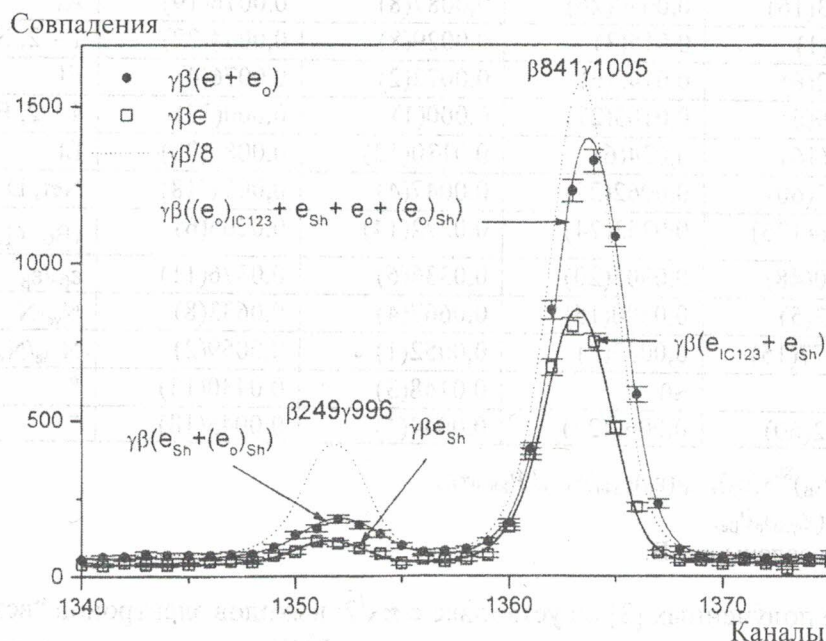


Рис. 3. $\gamma\beta(e + e_0)$ -совпадения в распаде ^{154}Eu .

случайных совпадений) только совпадения с электронами “встряски” и e_0 -электронами от “встряски”. Основные результаты по ^{154}Eu приведены в табл. 2. В ней для основных β -компонент ^{154}Eu и всего β -спектра ^{152}Eu , присутствующего в источнике как примесь, представлены полные Z -выходы e_0 -электронов на акт β -распада и Z -выходы e_0 -электронов только от “встряски”. Результаты получены из измерения γ -, $\gamma\beta$ -, γe_0 - и $\gamma\beta e_0$ -спектров в различных геометриях окружения источника (сетка Net, экран El), при различных потенциалах на источнике, экране и сетке и таким образом относятся либо ко всей геометрии измерений вместе с источником, либо к обратной стороне подложки источника (индекс b), либо к экрану El (индекс El), либо к поверхности источника (индекс sf). Вычитание вклада от внутренней конверсии перехода $\gamma 123$ выполнено с учетом разрядки соответствующих состояний [4] по следующим соотношениям:

$$Z_{IC123} = Z_{\gamma 873} - Z_{\gamma 996}; \quad Z_{\beta 249} = Z_{\gamma 723} - 0.537 Z_{IC123}; \quad Z_{\beta 571} = Z_{\gamma 723} - Z_{IC123}; \quad Z_{\beta 841} = Z_{\gamma 723} - Z_{IC123}.$$

Главными определяемыми величинами являются Z -выходы e_0 -электронов (и Z_{Sh} выходы от “встряски” как части) для поверхности источника и экрана El, рассматриваемые отдельно в измерениях γe_0 - и $\gamma\beta e_0$ - совпадений. В случае отсутствия корреляции β -частица-электрон “встряски” эти величины для части от “встряски” должны совпадать, а при ее отсутствии – нет. Определенные по совокупности данных, из необходимых разностей и

усреднения, основные результаты по Z-выходам при β -распаде из γe_0 - и $\gamma \beta e_0$ -совпадений для поверхности источника и экрана El приведены в пунктах табл. 2 под № 11, 12 и 6, 13. Для выделения части от “встряски” нужно учесть вклад в образование e_0 -электронов от β -частиц, поскольку такое образование e_0 -электронов из-за значительной толщины активного слоя источника ^{154}Eu должно иметь место. В качестве такого вклада взято значение выхода e_0 -электронов от β -частиц, проходящих через подложку в геометрии “down”, электрически сходной с геометрией “up” для поверхности источника, когда электрического поля нет. Это значение, взятое из измерений $\gamma 1274$ - e_0 совпадений на установке с $\pi\sqrt{2}$ и по эффективности регистрации МСР-детектором соответствующее установке с $\gamma \beta e_0$ -измерениями, составляет 0,0028(4). Поправленные на эту величину значения выхода e_0 -электронов от “встряски” из измерений γe_0 - и $\gamma \beta e_0$ -совпадений приведены в двух последних строчках табл. 2. Рассматривая статистически точный результат по компоненте $\beta 249$, можно видеть, что Z-выход e_0 -электронов из $\gamma \beta e_0$ -совпадений в два раза выше, чем из γe_0 -совпадений, однозначно указывая тем самым на наличие корреляции в направлении вылета β -частицы, e_0 -электрона и образующего его электрона “встряски”, испытывающих преимущественное испускание в одну полусферу. Этот вывод подтверждается Z-выходами e_0 -электронов от электрода El в γe_0 - и $\gamma \beta e_0$ -совпадениях, когда получаемые значения (см. п. 6, 13) отличаются уже в четыре раза и учет значения 0,0028(4) от β -частиц это различие делает еще большим.

Таблица 2. Выходы e_0 -электронов Z при β -распаде и e_0 -электронов от “встряски” Z_{Sh} на акт β -распада в γe_0 - и $\gamma \beta e_0$ -совпадениях при β -распаде ^{154}Eu

№, эксперимент	$\beta 249$ ($\gamma 723$)	$\beta 571$ ($\gamma 1274$)	$\beta 841$ ($\gamma 1005$)	$\beta ^{152}\text{Eu}$ ($\gamma 344$)	Геометрия измерений
1. γe_0	0,0381(7)	0,0205(11)	0,0183(12)	0,020(7)	El
2. (γe_0) _b	0,0172(8)	0,0074(15)	0,0052(15)	0,00(2)	El, Net
3. (γe_0) _e	0,0085(9)	0,0027(15)	0,0042(15)	0,00(1)	El
4. (γe_0) _{Sf}	0,0124(14)	0,0104(24)	0,0089(24)	0,020(7)	1 – 2 – 3, El
5. (γe_0) _e	0,0091(11)	0,0046(18)	0,0016(18)	0,009(11)	1 – 8, El
6. (γe_0) _e	0,0087(7)	0,0035(12)	0,0031(12)	0,005(6)	Среднее 3, 5
7. $\gamma \beta e_0$	0,0582(79)	0,026(10)	0,024(10)	0,00(2)	El
8. γe_0	0,0290(9)	0,0159(14)	0,0167(14)	0,011(8)	Net
9. (γe_0) _b	0,0172(8)	0,0074(15)	0,0052(15)	0,00(2)	Net, El
10. (γe_0) _{Sf}	0,0118(12)	0,0085(20)	0,0115(20)	0,011(16)	8 – 9, Net
11. (γe_0) _{Sf}	0,0121(9)	0,0093(15)	0,0104(15)	0,019(6)	Среднее 4, 10
12. $\gamma \beta e_0$	0,0219(37)	0,0094(50)	0,0114(51)	0,03(2)	Net
13. ($\gamma \beta e_0$) _e	0,0363(87)	0,016(11)	0,013(12)	0,00(3)	7 – 12 El
14. ($Z_{\gamma e_0}$) _{Sh}	0,0090(12)	0,0057(20)	0,0087(20)	0,018(8)	11 – (Z_{β}) _{Sf} *
15. ($Z_{\gamma \beta e_0}$) _{Sh}	0,0163(37)	0,0038(50)	0,0058(51)	0,03(2)	12 – 2(Z_{β}) _{Sf} *

* (Z_{β})_{Sf} = 0,0028(4) из $\gamma 1274$ - e_0 -совпадений (“down”).

Все энергии приведены в кэВ.

Из-за наличия совпадений β -частиц с конверсионными электронами от $\gamma 123$ кэВ, являющихся для наблюдения “встряски” фоновыми, выход электронов “встряски” при β -распаде ^{154}Eu из измерений $\gamma \beta e_0$ -совпадений определен только для смеси компонент $\beta 249 + 0,17\beta 972$ при отборе $\gamma 996$ кэВ и приводится в табл. 3.

3. Обсуждение результатов и выводы

Основные результаты проведенных в данной работе исследований по “встряске” при β -распаде ^{152}Eu и ^{154}Eu приведены табл. 3, в которой для основных компонент β -спектров

Таблица 3. Сравнительная таблица выхода электронов “встряски” и e_0 -электронов от “встряски” на акт β -распада ^{152}Eu и ^{154}Eu

Величина	Компонент				Методика измерений
	$\beta 175 \text{ } ^{152}\text{Eu}$ ($\gamma 1299$)	$\beta 384 \text{ } ^{152}\text{Eu}$ ($\gamma 1090$)	$\beta 695 \text{ } ^{152}\text{Eu}$ ($\gamma 779$)	$\beta 1063 \text{ } ^{152}\text{Eu}$ ($\gamma 411$)	
$(P_{\beta})_{\text{Sh}}$ $(P_{\Delta\beta})_{\text{Sh}}$	0,0268(31) (0,0265(80))	0,0194(13) (0,0225(15))	0,0223(4) (0,0173(9))	0,0239(7) (0,0129(4))	$\gamma\beta e_0$, ($\pi\sqrt{2}$)
Z_{Sh}	0,0372(60) 0,013(1)	0,0062(27) 0,015(3)	0,0047(4) 0,0029(3)	0,0051(18) 0,0034(22)	$\gamma\beta e_0$, γe_0
Величина	Компонент				Методика измерений
	$\beta 249 \text{ } ^{154}\text{Eu}$ ($\gamma 723$) ($\gamma 996$)	$\beta 571 \text{ } ^{154}\text{Eu}$ ($\gamma 1274$)	$\beta 841 \text{ } ^{154}\text{Eu}$ ($\gamma 1005$)	$\beta \text{ } ^{152}\text{Eu}$ ($\gamma 344$)	
Z_{Sh}	0,0163(37) 0,019(4) 0,0090(20) 0,0363(87) 0,0087(7)	0,0038(50) 0,0057(20) 0,016(11) 0,0035(12)	0,0058(51) 0,0087(20) 0,013(12) 0,0031(12)	0,03(2) 0,0018(8) 0,00(3) 0,005(6)	$\gamma\beta e_0$, $\gamma\beta e_0$, γe_0 , ($\gamma\beta e_0$) _e , (γe_0) _e
$(P_{\beta})_{\text{Sh}}$	0,013(2)* ($\gamma 996$)				$\gamma\beta e_0$

* Пересчитан к геометрии $\pi\sqrt{2}$.

Все энергии приведены в кэВ.

приведены значения выхода электронов “встряски” и e_0 -электронов от “встряски” на акт β -распада. Можно видеть, что полученные значения выхода электронов “встряски” для ^{152}Eu хорошо согласуются с предыдущими результатами [3], указывая при этом на величину поправки при учете ложной регистрации от рассеянии из детектора в детектор. Выход $(P_{\beta})_{\text{Sh}}$ электронов “встряски”, как и выход e_0 -электронов Z_{Sh} у ^{154}Eu меньше, чем у ^{152}Eu , что соответствует большей толщине активного слоя ^{154}Eu , препятствующей вылету низкоэнергетичных электронов из среды источника. Из таблицы можно видеть, что Z_{Sh} -выходы e_0 -электронов от поверхности источников, и особенно от экрана El, на $\gamma\beta e_0$ -совпадениях в несколько раз выше, чем на γe_0 -совпадениях. Следует еще раз подчеркнуть, что это нельзя объяснить образованием e_0 -электронов в поверхности источника от β -частиц, поскольку непосредственные измерения их выхода дают значение 0,0028(4) для источника ^{154}Eu (для более тонкого источника ^{152}Eu примерно вдвое меньше), составляющее малый вклад в общий выход e_0 -электронов на акт β -распада. Кроме того, результаты измерений для $\beta 695$ кэВ, выполненные в геометриях “up” и “down” [8], показывают, что интенсивность компонента от “встряски” из источника ^{152}Eu велика, поскольку основным источником образования e_0 -электронов от электрода El при β -распаде является низкоэнергетичный компонент, которым могут быть только электроны “встряски”. По данным работы [9] компонент “встряски” от β -распада, создающий e_0 -электроны, покидающие измеряемый источник ^{152}Eu , также значителен. Не лишним будет также отметить, что оценка вероятности образования e_0 -электронов из среды от β -частиц, к которой можно подойти на основании данных о первичной ионизации [10], не может привести к большой величине, поскольку расстояние между актами ионизации составляет 300 Å, а расстояние между точками образования δ -электронов (>100 эВ), которые могут быть ответственны за образование и вылет e_0 -электронов из среды, составляет 10^4 Å, в то время как толщина источника ^{152}Eu не

превышает 100 Å; причем еще нужно учесть вероятность вылета электрона вторичной эмиссии, которая мала. Все это вместе не позволяет считать образование e_0 -электронов от “встряски” при β -распаде малым и не ответственным за полученные результаты. Увеличение выхода e_0 -электронов на $\gamma\beta e_0$ -совпадениях в несколько раз по сравнению с γe_0 -совпадениями после вычитания компонента от собственно β -частиц можно объяснить только наличием корреляции β -частицы с e_0 -электроном и, как следствие, с электроном “встряски”, поскольку e_0 -электрон от него и образовался. Таким образом, это указывает на корреляцию β -частица – электрон “встряски”. Рис. 4 наглядно объясняет ситуацию в отношении корреляции направлений и в отношении больших Z_{Sh} -величин на $\gamma\beta e_0$ -совпадениях.

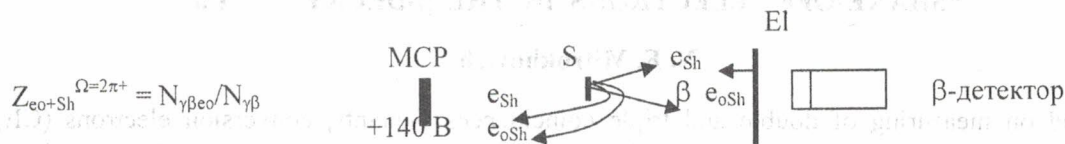


Рис. 4. Собираение MCP-детектором низкоэнергетичных электронов “встряски” e_{Sh} и e_{0Sh} -электронов от “встряски” с поверхности источника и электрода El при отборе совпадений с β -частицами, когда и электроны “встряски” (e_{Sh}), и e_{0Sh} -электроны принадлежат той же полусфере, что и β -частица.

Это все вместе указывает на то, что электрон “встряски” при β -распаде испускается преимущественно в ту же полусферу, что и β -частица, которая его вызывает. Такой вывод находится в согласии с недавними результатами [5 - 7] по двойной фотоионизации в процессе $(\gamma, 2e)$, схожому со “встряской” при β -распаде, которые показывают, что оба электрона сильно скоррелированы по направлению вылета, испускаясь в одну полусферу. Хотя совпадение результатов и обращает на себя внимание, нельзя все же сказать, что главные механизмы, ответственные за корреляции в этих процессах, будут существенно одинаковыми, несмотря на то, что механизм “встряски” (shake-off) присутствует в той или иной мере и при β -распаде, и при фотоионизации (двойная фотоионизация).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев В. И., Парилис Э. С. Встряска при электронных переходах в атомах // Успехи физических наук. - 1982. - Т. 138, вып. 4. - С. 573 - 602.
2. Митрохович Н. Ф. Учет эффектов “встряски” от бета-распада при определении коэффициентов внутренней конверсии по вторичному электронному излучению // Зб. наук. праць Ін-ту ядерних дослід. - 2002. - № 2(8) - С. 70 - 74.
3. Митрохович Н.Ф. Электроны “встряски” при β -распаде ^{152}Eu // Там же. - 2003. - № 1 (9). - С. 24 - 31.
4. Firestone R.B. et al. Table of isotopes, CD-ROM edition, 1996.
5. Weber TH., Giessen H., Weckenbrock M. et al Correlated electron emission in multiphoton double ionization // Nature. - 2000. - Vol. 405. - P. 658 - 661.
6. Weckenbrock M., Hattas M., Gzasch M. et al Experimental evidence for electron repulsion in multiphoton double ionization // J. Phys. B.: At. Mol. Opt. Phys. - 2001. - Vol.34. - P. L449 - L455.
7. Moshhammer R., Ulrich J., Fisher D. Strongly directed electron emission in non-sequential double ionization of Ne by intense laser pulses // J. Phys. B.: At. Mol. Opt. Phys. - 2003. - Vol.36. - P. L113 - L119.
8. Митрохович Н. Ф. Исследование вторичных электронов от радиоактивного излучения в источниках $^{152}_{61}\text{Eu}$ и $^{153}_{64}\text{Gd}$ в различных экспериментальных условиях // Зб. наук. праць Ін-ту ядерних дослід. - 2001. - № 2(4). - С. 45 - 52.
9. Купряшкін В. Т., Сидоренко Л. П., Феоктистов О. І., Шатовалова І. П. Дослідження залежності виходу електронів близьконульової енергії від товщини джерела для різних видів радіоактивного розпаду // УФЖ. - 2000. - Т. 45, № 8. - С. 918 - 921.
10. Медведев М. Н. Сцинтилляционные детекторы. - М.: Атомиздат, 1977. - С. 19.

ЕЛЕКТРОНИ “СТРУСУ” ПРИ β -РОЗПАДІ $^{152,154}\text{Eu}$

М. Ф. Митрохович

На основі проведених вимірювань подвійних і потрійних збігів γ -квантів, конверсійних електронів (CE) і β -частинок з електронами (включаючи вторинно-емісійні e_0 -електрони близьконольової енергії - збіги $(\gamma, \text{CE})-(e, e_0)$ і збіги $\gamma\beta e_0$ - виміряно вихід e_0 -електронів від “струсу” на акт β -розпаду $^{152,154}\text{Eu}$ для різних компонент β -спектрів $^{152,154}\text{Eu}$. Установлено, що при β -розпаді $^{152,154}\text{Eu}$ β -частки та електрони “струсу”, що викликаються ними і створюють e_0 -електрони, скорельовані по напрямку руху, зазнаючи переважного вильоту в одну напівсферу.

“SHAKE-OFF” ELECTRONS IN THE β -DECAY $^{152,154}\text{Eu}$

N. F. Mitrokhovich

Based on measuring of double and triple coincidences γ -quants, conversion electrons (CE) and β -particles with electrons (including the e_0 -electrons of secondary electron emission - coincidence $(\gamma, \text{CE})-(e, e_0)$ and coincidence $\gamma\beta e_0$) the output of e_0 -electrons is measured per on act β -decays $^{152,154}\text{Eu}$ for different components of the β -spectrum. In the β -decay is established that β -particles and shake-off electrons (observed by e_0 -electrons), which are caused by them are correlated in the direction of light, demonstrating predominantly emitting to the same half sphere.

Поступила в редакцію 20.02.04,
после доработки – 25.06.04.