

**КОРРЕЛИРОВАННОСТЬ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ
ЭЛЕКТРОНА ВНУТРЕННЕЙ КОНВЕРСИИ
С НАПРАВЛЕНИЕМ ДВИЖЕНИЯ БЕТА-ЧАСТИЦЫ**

Исследование коррелированности движения электрона конверсии (как сопутствующей частицы) с β -частицей (как основной частицы) проведено для распада ^{152}Eu на установке измерения двойных и тройных совпадений γ -квантов с β -частицами, электронами и низкоэнергетичными электронами, включая электроны вторичной электронной эмиссии (e_0 -электроны). Коррелированность $\Upsilon = (4\pi/P)dp/d\Omega$ электрона конверсии с β -частицей измерялась по коррелированности электрона Оже с β -частицей, поскольку коррелированность электрона Оже с электроном конверсии известна и она большая. На основе проведения измерений γ , $\gamma\beta$, $\gamma(e_0 + \beta)$, $\gamma\beta e_0$ -спектров установлено, что электрон Оже (косвенно и электрон конверсии) сильно коррелирован с β -частицей по направлению $\Omega = 0$ в переднюю полусферу и коррелированность Υ составляет 6,8(19) при измерениях в распаде ^{152}Eu . Обсуждается условная качественная схема сильной коррелированности движения сопутствующей частицы с основной, возникающая за счет токовых компонент от движения заряженных частиц в состояниях после завершения основных процессов.

Ключевые слова: β -распад, электрон конверсии, электрон Оже, электрон “встряски”, ^{152}Eu .

Введение

Эта работа непосредственно продолжает работы [1 - 8] в изучении корреляций движения сопутствующей частицы с основной при β -распаде и внутренней конверсии. В ядерно-физических работах [1 - 7] одной частицей является электрон Оже, который сопутствует конверсии, или электрон «встряски» (“shake-off”), сопутствующий β -распаду. Другая частица – электрон конверсии или β -частица. В данной работе сопутствующей частицей является электрон конверсии, а основной - β -частица.

Внимание к этим корреляциям обусловлено наличием сильной коррелированности движения сопутствующей частицы в направлении основной ($\Omega = 0$). До 95 % частиц движутся в переднюю полусферу [3]. Такая коррелированность движения частиц представляет интерес и в общефизическом плане, поскольку пространственные корреляции в движении частиц в процессах радиоактивного распада не изучались, а также в связи с возможным использованием ее для определения коэффициентов внутренней конверсии (КВК).

Определение КВК по сопутствующему излучению основано на регистрации акта конверсии по e_0 -электронам вторичной электронной эмиссии (ВЭЭ) от электронов Оже. При этом КВК в измерениях без отбора электрона конверсии определяется отношением

$$\Upsilon/P_0,$$

где Υ – выход e_0 -электронов на акт заселяющего распада, а P_0 – выход e_0 -электронов от акта конверсии, который можно измерить по известному КВК. При измерениях КВК с отбором основной частицы необходимы данные о коррелированности излучений $\Upsilon(\Omega)$ из-за возможных корреляций движения «сопутствующая частица – основная частица»:

$$\Upsilon(\Omega) = (4\pi/P)dp/d\Omega,$$

где $dp/d\Omega$ – дифференциальная вероятность регистрации сопутствующей частицы e_{ac} под углом Ω по отношению к основной e_m , а P – полная вероятность ее регистрации в угол 4π (рис. 1).

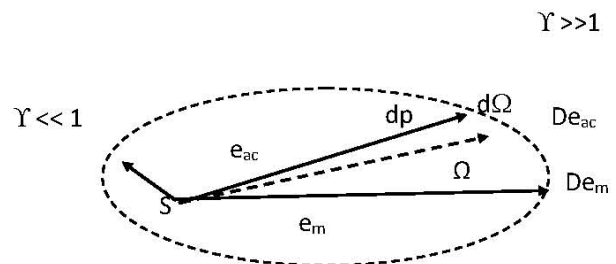


Рис. 1. Коррелированность $\Upsilon(\Omega)$ направления движения сопутствующей частицы e_{ac} с основной e_m . S, $D_{e_{ac}}$, D_{e_m} – источник и детекторы частиц. Детектор $D_{e_{ac}}$ регистрирует e_{ac} с вероятностью dp с отбором основной частицы и $Pd\Omega/4\pi$ без ее отбора. Отбор совпадений e_{ac} с e_m «вскрывает» их коррелированность.

При β -распаде и внутренней конверсии сопутствующая частица (электрон встряски, электрон Оже) движется с основной (β -частица, электрон конверсии) преимущественно в переднюю полусферу и коррелированность $\Upsilon(0) \sim E^{1/2}$ [3], пропорциональная импульсу-скорости сопутствующей частицы, не зависит от энергии импульса основной частицы [4]. Это послужило некоторым основанием в работе [6] отнести пространственную корреляцию движения частиц за счет токовых компонент взаимодействия от движения заряженных частиц. Если это так, тогда для короткоживущего состояния дочернего ядра, испытывающего конверсионный переход, возможна коррелированность движения электрона конверсии с β -частицей. В этом случае наблюдение их сильной пространственной коррелированности движения преимущественно в переднюю полусферу $\Omega = 0$ сделанному предположению соответствует. В противном случае вопрос остается открытым.

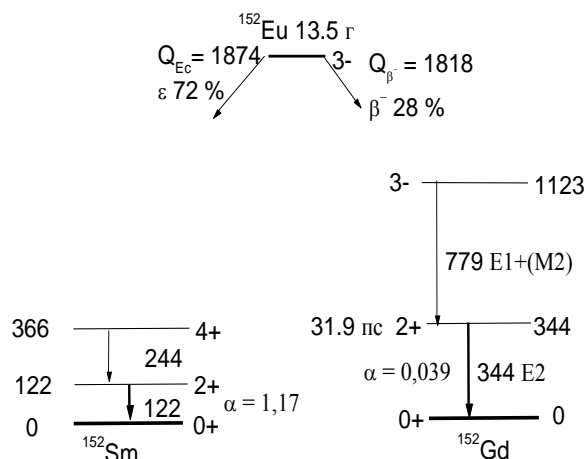


Рис. 2. Фрагменты схемы распада ^{152}Eu . Регистрация электронов Оже от конверсии 344 кэВ с γ_{779} заселяющим переходом и отбором β -частицы. Регистрация электронов Оже от конверсии 122 кэВ с γ_{244} заселяющим переходом без отбора основной частицы. Приведены табличные значения КВК α . Энергии γ -переходов указаны в килоэлектронвольтах.

Измерения выполнены на установке [8] (рис. 3) для измерения двойных и тройных совпадений γ -квантов с β -частицами, электронами и низкоэнергетичными электронами, включая e_0 -электроны вторичной электронной эмиссии. В установке два детектора электронов на основе микроканальных пластин (МСП) и сцинтилляционный γ -детектор с кристаллом NaI(Tl). Правый детектор электронов регистрирует β -частицу, которая проходит через эмиттер (E_m 0,02 мм, алюминий) и поглотитель (Т 0,1 мм, латунь) для

Методика измерений

Для проводимых измерений β -частица является основной, а электрон конверсии – сопутствующей. Изучение их коррелированности можно свести к изучению коррелированности электрона Оже с β -частицей, поскольку коррелированность электрона Оже с электроном конверсии известна [5] и она большая.

$$\Upsilon(\Omega) = (4\pi/P)dp(\Omega)/d\Omega, \quad P = \int dp(\Omega)d\Omega \text{ в угол } 4\pi.$$

В этом случае $\Upsilon(\Omega)$ для электрона конверсии и β -частицы это отношение вероятности регистрации $dp(\Omega)$ электронов Оже с отбором β -частицы (вскрывающем наличие коррелированности Оже с β -частицей) к значению вероятности регистрации электронов Оже $Pd\Omega/4\pi$, измеряемому без отбора основной частицы (β -частицы).

Измерения проведены для конверсионного перехода 344 кэВ с отбором β -частицы и конверсионного перехода 122 кэВ без отбора электрона конверсии в распаде ^{152}Eu (рис. 2).

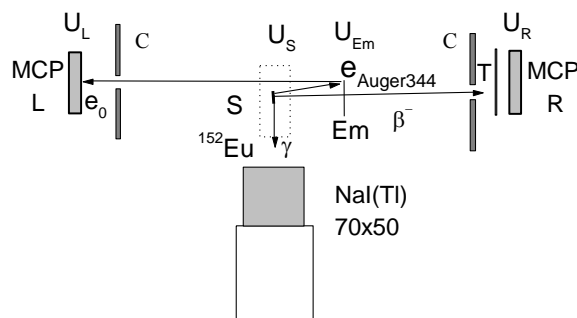


Рис. 3. Экспериментальная установка и геометрия измерений для определения коррелированности Υ движения электрона Оже в направлении движения β -частицы в переднюю полусферу $\Omega = 0$.

электронов конверсии перехода 122 кэВ мультипольности E2 (КВК = 1,17) и для электронов конверсии перехода 344 кэВ E2 (КВК = 0,039). Медные коллиматоры С выделяют для измерения Υ узкие пространственные углы для регистрации электронов, но приводят к увеличению ложной регистрации γ -квантов МСП-детекторами. Левый детектор регистрирует e_0 -электроны ВЭЭ от электронов Оже e_{Auger} из эмиттера E_m , которые при потенциалах $U_s > U_L$ и $E_m = 0$ В и отборе по β движутся только по направлению

движения β -частицы. При $U_S = U_{Em} = 200$ В и $U_S > U_L$ e_0 -электроны левым детектором не регистрируются. Методика определения коррелированности движения электрона Оже с β -частицей в направлении $\Omega = 0$ состоит в измерении $\beta\gamma e_{Auger}$ - и $\gamma\beta$ -спектров; γe_{Auger} - и γ -спектры относятся к измерениям в 4π . Регистрация e_{Auger} -электронов осуществляется (при $U_S > U_L$ и $Em = 0$ В) по e_0 -электронам ВЭЭ от эмиттера Em.

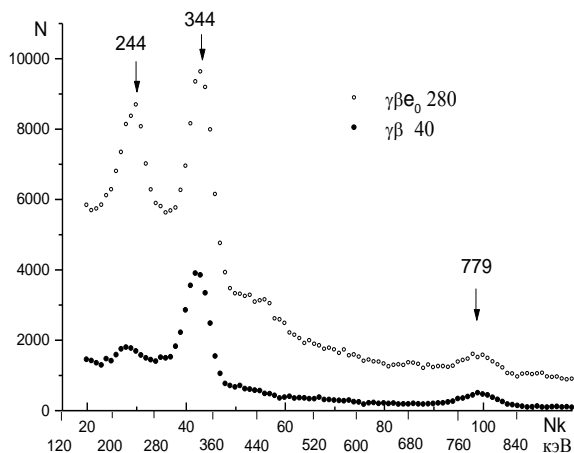


Рис. 4. Участок спектра $\gamma\beta e_0$ -совпадений ^{152}Eu с e_0 -электронами от электронов Оже конверсионного перехода 344 кэВ и от электронов встряски при β -распаде, содержащий заселяющий переход 779 кэВ. Пики 244 кэВ обусловлены ложной регистрацией γ -квантов правым МСР-детектором. Ниже – участок спектра $\gamma\beta$ -совпадений ^{152}Eu , содержащий $\gamma 344$ от всего β -спектра и $\gamma 779$ только от β -компонента $\beta 695$ кэВ. Нижняя шкала приведена в килоэлектронвольтах, время измерений – в часах.

Вероятность регистрации электронов Оже с отбором β -частицы нужно определить из совпадений $\gamma_{779}\beta e_{Auger344}$ и привести к акту распада $\gamma_{779}\beta$. Вероятность регистрации электронов Оже без отбора основной частицы нужно определить по конверсии 122 кэВ из ветви электронного захвата (ЕС) в совпадениях $\gamma_{244}e_{Auger122}$ и привести к акту γ_{244} распада.

Коррелированность Υ движения электрона Оже с β -частицей определяется на основании Υ -выходов с отбором β -частицы и без отбора основной частицы:

$$\Upsilon = \Upsilon_{\gamma_{779}\beta e_{Auger}} / \Upsilon_{\gamma_{244}e_{Auger}}$$

Под $\Upsilon_{()}$ обозначены выходы e_0 -электронов. Они определяются на основе интенсивностей пиков 244, 344, 779 кэВ (далее $N_{()}$) в γ -спектре и спектрах $\gamma(e_0 + e)$ -, γe -, $\gamma\beta e_0$ - и $\gamma\beta$ -совпадений. Интенсивности пиков получены из обработки

Методические вопросы измерений описаны в [8]. Следует отметить только, что для использованного источника ^{152}Eu и выбранных настроек временного окна фон случайных совпадений не превосходит 5 - 10 %.

Результаты

Результаты измерений приведены на рис. 4 и 5.

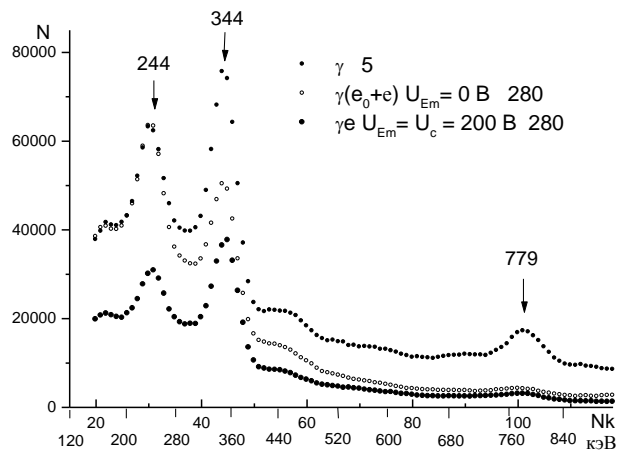


Рис. 5. Участок γ -спектра ^{152}Eu и спектры $\gamma(e_0 + e)$ и γe -совпадений для выделения из разности измерений e_0 -компонента от электронов Оже конверсионного перехода 122 кэВ без отбора основной частицы (электрона конверсии перехода 122 кэВ), содержащие заселяющий переход $\gamma 244$. Время измерений приведено в минутах.

γ -спектров по методу наименьших квадратов на основе вписывания в экспериментальные спектры стандартных приборных линий с подгонкой по их положению, полуширине, с использованием квадратичного фона под пиками и вычислялись программно. Метод прецизионный и позволяет определять интенсивности пиков с ошибкой (определяемой в основном статистической погрешностью), обычно не превышающей 1 %. Для относительных интенсивностей линий точность еще выше. Фон случайных совпадений в спектрах не превышал 5 - 10 % и на результаты влиял слабо. Добавка в интенсивности $N_{()}$ пиков $\gamma\beta e_0$ - и $\gamma\beta$ -совпадений от ложной регистрации γ -квантов правым МСР-детектором мала и на $\Upsilon_{()}$ -выход e_0 -электронов не влияет, поскольку он является отношением $N_{()}$ интенсивностей пиков.

$$\Upsilon_{\gamma_{779}\beta e_0} = N_{\gamma_{779}\beta e_0} / N_{\gamma_{779}\beta}$$

Здесь $\Upsilon_{()}$ – выход e_0 -электронов из $\gamma_{779}\beta e_0$ -сов-

падений на акт распада $\gamma_{779}\beta$, что представляет собой зарегистрированный по e_0 -электронам выход электронов Оже от конверсии перехода 344 кэВ с отбором β_{695} кэВ. Он содержит вклад и от встряски этого β -компонента β_{695} кэВ, который заселяет состояние 1123 кэВ и который необходимо вычесть. Он вычтен на основании измерений Y -выхода встряски от всего β -спектра $Y\beta_{Sh}$ и затем пересчитан по [4] для β -компонента β_{695} кэВ, учитывая средние значения энергий β -спектров. Средние значения энергии всего β -спектра и компонента β_{695} кэВ различные, в результате чего различен спектр электронов встряски и потому различен и их Y -выход. Коэффициент 1,371 это учитывает [4]. $Y\beta_{Sh}$ определен по $\gamma_{344}\beta e_0$ -совпадениям на акт $\gamma_{344}\beta$ -распада и равен

$$Y\beta_{Sh} = N \gamma_{344}\beta e_0 / N \gamma_{344}\beta.$$

В итоге для $Y\beta_{Ic344}$ – e_0 -выхода от электронов Оже при конверсии 344 кэВ в совпадении с γ_{779} и β_{695} с учетом принятого КВК $\alpha = 0,039$ можно записать

$$Y\beta_{Ic344} \cdot \alpha = Y \gamma_{779}\beta e_0 - 1,371 \cdot Y\beta_{Sh}.$$

В таблице представлены результаты обработки двух серий измерений и средневзвешенное по ним значение для выхода (по e_0 -электронам) электронов Оже от акта конверсии перехода 344 кэВ с отбором β -частицы.

$Y\gamma_{779}\beta e_0$	$Y\beta_{Sh}$	$Y\beta_{Ic344}$	$(Y\beta_{Ic344})_{cp}$
0,01561(84)	0,00960(11)	0,063(22)	0,068(19)
0,0185(16)	0,01101(24)	0,087(42)	

В первой колонке приведены суммарные Y -выходы электронов Оже от акта конверсии перехода 344 кэВ и от «встряски» при β -распаде, во второй – Y -выходы электронов «встряски» от β -распада ^{152}Eu , в третьей – Y -выходы электронов Оже от конверсионного перехода 344 кэВ на акт конверсии и в последней колонке приводится средневзвешенное по ним значение.

Таким образом $Y(\)$, e_0 -выход от электронов Оже с отбором β -частицы, определен.

Определим теперь Y -выход электронов Оже без отбора основной частицы для вычисления по отношению этих Y -выходов коррелированности Y .

$$Y\gamma_{244}e_{Auger}.$$

Этот Y -выход электронов Оже без отбора основной частицы (в данном случае электрона конвер-

сии перехода 122 кэВ) был определен по e_0 -электронам ВЭЭ от электронов Оже после конверсии перехода 122 кэВ E2 (КВК $\alpha = 1,17$) при выделении компонента совпадений $\gamma_{244}e_0$ с приведением его на акт γ_{244} -распада. При этом нужно учесть также вклад в испускание электронов Оже, привносимом ЕС:

$$YIc_{122} \cdot (1 + \alpha/(1 + \alpha)) = (N\gamma_{244}(e_0 + e) - N\gamma_{244}e)/N\gamma_{244}.$$

Здесь e – электрон конверсии перехода 122 кэВ.

В итоге $YIc_{122} = 0,0104(2)$ – без отбора основной частицы (электрона конверсии).

В результате коррелированность составит

$$Y = 0,068(19)/0,0104(2) = 6,8(19).$$

Таким образом, коррелированность движения электрона Оже в направлении движения β -частицы в переднюю полусферу $\Omega = 0$ большая. При отсутствии такой коррелированности было бы $Y(0) = 1$.

Обсуждение результатов и выводы

Большая коррелированность направления движения электрона Оже с β -частицей означает большую коррелированность направления движения электрона внутренней конверсии с β -частицей, поскольку коррелированность направления движения электрона Оже с электроном внутренней конверсии большая [5] и в последовательности процессов « β -распад – внутренняя конверсия – Оже-переходы» процесс Оже является последним. Наличие сильной коррелированности направления движения электрона Оже в направлении β -частицы является подтверждением работы [5] о коррелированности направления движения электрона Оже в направлении движения электрона конверсии. Необходимо в этом случае отметить, что наблюдаемая коррелированность в направлении движения сопутствующей частицы с основной относится к состояниям после завершения основных процессов, в частности при β -распаде после конверсии перехода 344 кэВ через 31,9 пс (см. рис. 2) и еще после завершения Оже переходов, происходящих с некоторой задержкой после конверсии. То же относится и к коррелированности движения электрона Оже с конверсионным электроном. Рис. 6 представляет условную схему возникновения коррелированности в движении заряженных частиц из-за создаваемых ими токов от движения после завершения основных процессов. На рисунке изображены не частицы (электроны), а создаваемые их движением токи для объясне-

ния полученных экспериментальных данных о коррелированности движения сопутствующей частицы, движущейся с некоторой задержкой после основной.

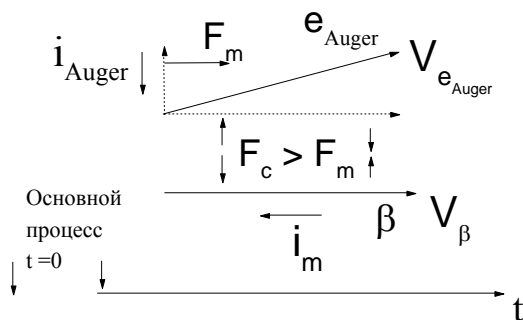


Рис. 6. Условная схема коррелированности движения электрона Оже с β -частицей за счет токовых компонент от их движения. Кулоновское взаимодействие F_c превосходит магнитное F_m , что приводит к поперечной составляющей скорости и току i_{Auger} , на который действует магнитное поле тока i_m от β -частицы, толкая Оже-частицу по направлению движения β -частицы вперед в $\Omega = 0$.

Описанная выше и в [6, 7] условная схема коррелированности движения частиц хорошо описывает и результаты коррелированности направления движения электронов встряски с β^\pm -частицей [7], возникающих практически мгновенно с β -распадом. Из-за отталкивания электрона встряски и β^- -частицы и притяжения электрона встряски и β^+ -частицы возникают разнонаправленные поперечные составляющие скорости электрона встряски, а для β^+ -частицы меняется еще и направление тока, в результате чего коррелированность электрона встряски Υ с β^+ -частицей в 1,6 раз больше, чем с β^- -частицей [7].

Наблюдение сильной коррелированности движения электрона Оже (электрона внутренней конверсии) с β -частицей важно и само по себе, и при использовании ее в точных измерениях коэффициентов внутренней конверсии описанной методикой. Это существенно увеличивает возможности и прецизионность получения данных, в частности, при изучении аномалий в КВК, вызванных эффектом проникновения. Собственно для этих целей методика и предназначена.

Сильная коррелированность в движении частиц наблюдается в экспериментах по двойной фотоионизации на лазерных пучках [9 - 11], но проблематика здесь другая. Изучается вероятность процесса и механизмы двойной фотоионизации. То же изучается в более поздних работах [12 - 14] и других работах по двойной фотоионизации. Энергетический диапазон частиц при лазерной фотоионизации на пять порядков ниже, чем в наших работах [1 - 7], что ограничивает токовые взаимодействия частиц, и переносить обсуждаемые в статье механизмы коррелированности на работы [9 - 14] было бы ошибкой.

Эти эксперименты приведены только для иллюстрации существования корреляционного движения частиц (электронов) из других экспериментов, поскольку корреляционное движение частиц в процессах радиоактивного распада, судя по опубликованным литературным ссылкам, по-видимому, еще не изучалось.

Изучение сильной коррелированности движения электрона Оже (электрона внутренней конверсии косвенно) с β -частицей важно и в общем плане для задачи о коррелированном движении заряженных частиц в импульсном и спиновом пространстве [15].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. N.F. Mitrokhovich. Correlation β -particle with "shake off" electrons under β -decay ^{152}Eu . In: *Proc. of the Intern. Conf. "Current Problems in Nuclear Physics and Atomic energy"*. Kyiv, 29 May - 03 June, 2006 (Kyiv, 2007) 412.
2. Н.Ф. Митрохович, В.Т. Купряшкин. Корреляция электронов внутренней конверсии с электронами "встряски" в ε -распаде ^{152}Eu . *Ядерна фізика та енергетика* 1(19) (2007) 61.
3. Н.Ф. Митрохович. Энергетические и корреляционные свойства электронов «встряски» при β -распаде *Ядерна фізика та енергетика* 11(2) (2010) 125.
4. Н.Ф. Митрохович. Спектры энергий электронов автоионизации и их коррелированность по направлению вылета β -частицы. *Ядерна фізика та енергетика* 13(1) (2012) 17.
5. Н.Ф. Митрохович, В.Т. Купряшкин, Л.П. Сидоренко. Коррелированность направления движения электронов Оже с направлением движения электрона внутренней конверсии. *Ядерна фізика та енергетика* 14(2) (2013) 129.
6. Н.Ф. Митрохович. Корреляционные свойства движения сопутствующей частицы относительно движения основной частицы в процессах радиоактивного распада и внутренней конверсии. *Ядерна фізика та енергетика* 15(2) (2014) 126.
7. М.Ф. Митрохович. Корельованість руху електрона автоіонізації з позитроном при β^+ -розпаді. *Ядерна фізика та енергетика* 17(1) (2016) 18.
8. В.Т. Купряшкин, Н.Ф. Митрохович. Установка для измерения временных и энергетических спектров $\gamma\beta(e + e_0)$ -совпадений. *Ядерна фізика та енергетика* 1(17) (2006) 90.
9. Th. Weber, H. Giessen, M. Weckenbrock et al. Correlated electron emission in multiphoton double ionization. *Nature* 405 (2000) 658.
10. M. Weckenbrock, M. Hattas, A. Gzsch et al. Expe-

- rimental evidence for electron repulsion in multiphoton double ionization. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 34 (2001) L449.
11. R. Moshhammer, J. Ulrich, D. Fisher. Strongly directed electron emission in non-sequential double ionization of Ne by intense laser pulses. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 36 (2003) L113.
 12. J.N. Das, K. Chakrabart, S. Paul. Equal energy sharing double photoionization of helium atom at 20 eV and 40 eV above threshold. *Physics Letters A* 316(6) (2003) 400.
 13. R. Dormler et al. Double ionization by one and many photons. *Radiation Physics and Chemistry* 70 (2004) 191.
 14. K.F. Alcantra et al. Outer Shell Double Photoionization of CH₂CL₂ and CH₄ Molecules. *Physics Procedia* 66 (2015) 2.
 15. В.И. Матвеев, Э.С. Парилис. Встряска при электронных переходах в атомах. *Успехи физических наук* 138(4) (1982) 573.

М. Ф. Митрохович*

Институт ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

*Відповідальний автор: nfmitrokhovich@gmail.com

КОРЕЛЬОВАНІСТЬ НАПРЯМКУ РУХУ ЕЛЕКТРОНА ВНУТРІШНЬОЇ КОНВЕРСИЇ З НАПРЯМКОМ РУХУ БЕТА-ЧАСТИНКИ

Дослідження корельованості руху електрона конверсії (як супутньої частинки) з β -частинкою (як основної частинки) проведено для розпаду ^{152}Eu на установці вимірювання подвійних і потрійних збігів γ -квантів з β -частинками, електронами та низькоенергетичними електронами, включаючи електрони вторинної електронної емісії (e_0 -електрони). Корельованість $\Upsilon = (4\pi/P)d\rho/d\Omega$ електрона конверсії з β -частинкою вимірювалась по корельованості електрона Оже з β -частинкою, оскільки корельованість електрона Оже з електроном конверсії відома і вона велика. На основі проведення вимірювань γ , $\gamma\beta$, $\gamma(e_0 + \beta)$, $\gamma\beta e_0$ -спектрів встановлено, що електрон Оже (опосередковано й електрон конверсії) сильно корельований з β -частинкою по напрямку $\Omega = 0$ у передню півсферу і корельованість Υ становить 6,8(19) при вимірюваннях у розпаді ^{152}Eu . Обговорюється умовна якісна схема сильної корельованості супутньої частинки з основною за рахунок струмових компонент від руху заряджених частинок після завершення основних процесів.

Ключові слова: β -розпад, електрон конверсії, електрон Оже, електрон «струсу», ^{152}Eu .

M. F. Mitrokhovich*

Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: nfmitrokhovich@gmail.com

CORRELATION BETWEEN DIRECTIONS OF MOVEMENT OF INTERNAL CONVERSION ELECTRON AND BETA-PARTICLE

Study of the correlation between the motion of conversion electron (as an accompanying particle) and β -particle (as the main particle) was performed for the decay of ^{152}Eu on installation to measure double and triple coincidences of γ -quanta with β -particles, electrons and with low energy electrons, including electrons of the secondary electron emission (e_0 -electrons). The correlation $\Upsilon = (4\pi/P)d\rho/d\Omega$ of conversion electron and β -particle was measured by the correlation of Auger electron with β -particle, since the correlation between Auger electron and conversion electron is known and it is large. Based on the measurements of γ , $\gamma\beta$, $\gamma(e_0 + \beta)$ and $\gamma\beta e_0$ -spectra, it was established that the Auger electron (indirectly also conversion electron) is strongly correlated with the β -particle in the $\Omega = 0$ direction to the forward hemisphere and the correlation Υ is 6.8(19) for the measurements in the decay of ^{152}Eu . Conditional qualitative scheme for strong correlation between motion of the accompanying particle with the main one, which is due to the current components from the motion of charged particle in states after completion of the main processes, is discussed.

Keywords: β -decay, conversion electron, Auger electron, “shake-off” electron, ^{152}Eu .

REFERENCES

1. N.F. Mitrokhovich. Correlation β -particle with “shake off” electrons under β -decay ^{152}Eu . In: *Proc. of the Intern. Conf. “Current Problems in Nuclear Physics and Atomic energy”*. Kyiv, 29 May - 03 June, 2006 (Kyiv, 2007) p. 412.
2. M.F. Mitrokhovich, V.T. Kupryashkin. Correlation electron internal conversion with “shake-off” electrons under ε -decay ^{152}Eu . *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 1(19) (2007) 61. (Rus)
3. M.F. Mitrokhovich. Energy and correlation properties of “shake-of” electrons at β -decay. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 11(2) (2010) 125. (Rus)
4. M.F. Mitrokhovich. The spectra energies of electrons autoionization and their correlation on

- β -particle emission direction. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 13(1) (2012) 17. (Rus)
5. M.F. Mitrokhovich, V.T. Kupryashkin, L.P. Sidorenko. Correlation of the Auger electrons direction of movement with the internal electron conversion direction of movement. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 14(2) (2013) 129. (Rus)
 6. M.F. Mitrokhovich. Correlation properties of the accompanied particle motion relate motion main particles in processes of radioactive decay and internal conversion. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 15(2) (2014) 126. (Rus)
 7. M.F. Mitrokhovich. Correlation motion of the autoionization electron with positron at β^+ -decay. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 17(1) (2016) 18. (Ukr)
 8. V.T. Kupryashkin, M.F. Mitrokhovich. Installation for measuring of temporal and power spectrums of $\gamma\beta$ (e^+e_0)-coincidences. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 1(17) (2006) 90. (Rus)
 9. Th. Weber, H. Giessen, M. Weckenbrock et al. Correlated electron emission in multiphoton double ionization. *Nature* 405 (2000) 658.
 10. M. Weckenbrock, M. Hattas, A. Gzash et al. Experimental evidence for electron repulsion in multiphoton double ionization. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 34 (2001) L449.
 11. R. Moshhammer, J. Ulrich, D. Fisher. Strongly directed electron emission in non-sequential double ionization of Ne by intense laser pulses. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 36 (2003) L113.
 12. J.N. Das, K. Chakrabart, S. Paul. Equal energy sharing double photoionization of helium atom at 20 eV and 40 eV above threshold. *Physics Letters A* 316(6) (2003) 400.
 13. R. Dormler et al. Double ionization by one and many photons. *Radiation Physics and Chemistry* 70 (2004) 191.
 14. K.F. Alcantra et al. Outer Shell Double Photoionization of CH₂CL₂ and CH₄ Molecules. *Physics Procedia* 66 (2015) 2.
 15. V.I. Matveev, E.S. Parilis. "Shake off" during the electronic transitions in atoms. *Uspekhi fizicheskikh nauk* 138(4) (1982) 573. (Rus)

Надійшла 10.05.2017

Received 10.05.2017