

Н. Ф. Митрохович

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДВИЖЕНИЯ СОПУТСТВУЮЩЕЙ ЧАСТИЦЫ ОТНОСИТЕЛЬНО ДВИЖЕНИЯ ОСНОВНОЙ ЧАСТИЦЫ В ПРОЦЕССАХ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА И ВНУТРЕННЕЙ КОНВЕРСИИ

На установке совпадений γ -квантов с электронами и с низкоэнергетичными электронами околонулевой области исследована пространственная корреляция направления испускания сопутствующей частицы e_{ac} (электрон «встряски», электрон Оже) по отношению к основной частице e_m (электрона) при β -распаде или внутренней конверсии в распаде ^{152}Eu . Путем измерения двойных γe_{ac} - и тройных $\gamma e_{ac} e_m$ -совпадений измерялась коррелированность $\Upsilon = 4\pi dP/Pd\Omega$ движения сопутствующей частицы с основной при их испускании в одну полусферу ($\Omega = 0$) и при их испускании в противоположные полусферы ($\Omega = 2\pi$). Было получено, что $\Upsilon(\Omega = 0) \gg 1$, а $\Upsilon(\Omega = 2\pi) \ll 1$. Обсуждается механизм сильной пространственной коррелированности направления движения сопутствующей частицы с основной в процессе β -распада или внутренней конверсии за счет токовых компонент электрон-электронного взаимодействия частиц в конечном состоянии.

Ключевые слова: β -распад, электроны конверсии, электроны «shake-off», ^{152}Eu .

Введение

Данная работа является продолжением работ [1 - 4], в которых по нашим данным наблюдается сильная коррелированность в направлении движения частиц, сопутствующих β -распаду и внутренней конверсии электронов «встряски», с электроном основного процесса, а также электронов Оже – с электроном конверсии. Хотя вероятность испускания сопутствующих частиц сопоставима с вероятностью основного процесса, прямые литературные свидетельства такой коррелированности отсутствуют. Необходимость их изучения обуславливает общетеоретический аспект, требующий изучения механизма сильной коррелированности в движении заряженных частиц, также как и конкретный ядерно-спектроскопический при измерении коэффициентов внутренней конверсии (КВК) переходов [5] по сопутствующему излучению электронов Оже при внутренней конверсии. В этом случае при измерении КВК с отбором конверсионного электрона необходимы данные о коррелированности Υ движения всех сопутствующих частиц (электроны «встряски», электроны Оже) относительно основной (главной) частицы (β -частица, электрон конверсии), определенной как

$$\Upsilon(\Omega) = \frac{4\pi dP(\Omega)}{Pd(\Omega)}$$

Здесь $P = \int dp$ – полная вероятность испускания сопутствующей частицы на акт распада в угол 4π ; $dP(\Omega)$ – вероятность регистрации сопутст-

вующей частицы в экспериментально регистрируемый угол $d\Omega$. Поэтому $\Upsilon(\Omega)$ – есть отношение вероятности $dP(\Omega)/d\Omega$ ее регистрации под углом Ω к направлению испускания основной частицы к среднему значению $P/4\pi$. По-другому, $\Upsilon(\Omega)$ – есть отношение вероятности $dP(\Omega)$ с отбором основной частицы (ОЧ) к среднему ее значению, равному $Pd\Omega/4\pi$, измеряемому без отбора основной частицы. Для наглядности приведен рис. 1.

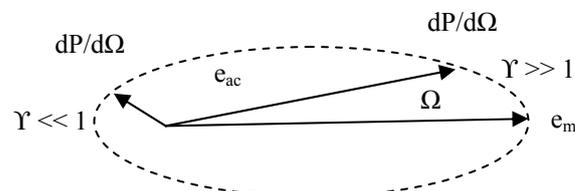


Рис. 1. Коррелированность $\Upsilon(\Omega)$ направления испускания сопутствующей частицы e_{ac} с основной частицей e_m .

При отсутствии коррелированности сопутствующей частицы с основной $\Upsilon = 1$. Измерения Υ [1 - 4] указывают на сильную коррелированность направления движения сопутствующей частицы по отношению к основной в направлении вперед и $\Upsilon \gg 1$. Измерения показали, что $\Upsilon \sim \sqrt{E}$ (E – энергия частицы), т.е. Υ пропорциональна импульсу – скорости – тока от движения частицы, что, возможно, указывает на коррелированность за счет токовых компонент взаимодействия от движения заряженных частиц.

Для подтверждения, или опровержения, такого механизма (что важно не только для ядерно-спектроскопических целей, но и в общем для

изучения корреляций в движении заряженных частиц) была исследована пространственная коррелированность $\Upsilon(\Omega)$ движения электронов «встряски» при β^- -распаде относительно β^- -частицы в направлении ее движения ($\Omega = 0$) и в противоположном от нее направлении движения ($\Omega = 2\pi$). Исследованы аналогичные коррелированности движения электронов «встряски» и электронов Оже относительно движения электрона конверсии.

Методика измерений и результаты

Измерения проведены для распада ^{152}Eu (рис. 2). Для определения $\Upsilon(\Omega = 0)$ и $\Upsilon(\Omega = 2\pi)$ необходимо проведение совпадений с выделением направления регистрации основной частицы и без выделения этого направления, т.е. с регистрацией основной частицы и без ее регистрации, для обеих геометрий в движения частиц.

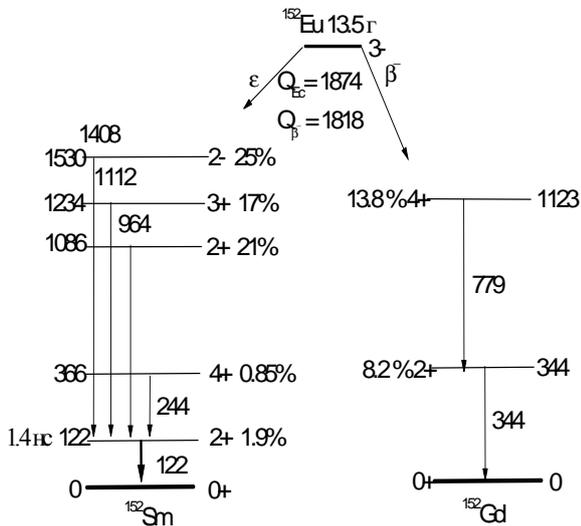


Рис. 2. Фрагменты схемы распада ^{152}Eu . Отмечены γ -переходы, которые изучаются в совпадениях электронов «встряски» и электронов Оже с электронами конверсии переходов 122 и 344 кэВ E2 или β -частицами для измерения коррелированности соответствующих излучений. Все энергии приведены в килоэлектрон-вольтах.

Для этого использовалась установка [6], представленная на рис. 3, для измерения двойных и тройных совпадений γ -квантов с β -частицами, электронами и с низкоэнергетичными электронами, включая e_o -электроны вторичной электронной эмиссии (ВЭЭ).

Методика определения коррелированности направления испускания сопутствующей частицы по отношению к основной частице состоит в измерении $\Upsilon_{e_{ac}}e_o$ - (или Υ_{e_o})-совпадений и $\Upsilon_{e_m}e_{ac}$ - (или $\Upsilon_{e_m}e_o$)-совпадений от источника S при регистрации e_{ac} по e_o -электронам ВЭЭ при $\Omega = 0$. При $\Omega = 2\pi$ e_{ac} регистрируется левым детектором не-

посредственно. Для $\Omega = 0$ и при потенциалах $U_S > U_L, U_{Em} = 0$ регистрация e_{ac} происходит для $E_{ac} > eU_S$ только от эмиттера Em и только левым (L) MCD-детектором. Для $\Omega = 2\pi$, при потенциалах $U_S = U_{Em} > U_L$ и расположении источника активностью к детектору L, регистрация e_{ac} L-детектором происходит непосредственно. При $\Omega = 0$ источник обращен активной частью к эмиттеру Em.

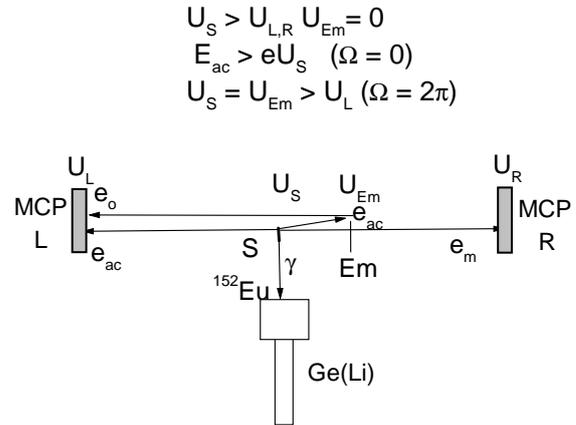


Рис. 3. Методика определения коррелированности в движении сопутствующей частицы (электрон «встряски», электрон Оже) с основной частицей – электроном. S – источник ^{152}Eu . MCP (L, R) – детекторы электронов на основе микроканальных пластин. Ge(Li) – детектор γ -квантов. Em – 0,02 мм Al эмиттер e_o -электронов ВЭЭ. e_m – основная частица. e_{ac} – сопутствующая частица. Указаны потенциалы для геометрий измерения $\Omega = 0$ (частицы движутся в одном направлении) и $\Omega = 2\pi$ (в противоположных). При $\Omega = 2\pi$ источник обращен к правому детектору подложкой.

Геометрия измерений такова (см. рис. 3), что при измерении тройных $\Upsilon_{e_m}e_o$ -совпадений для $\Omega = 0$ сопутствующая частица e_{ac} может двигаться только в направлении движения основной частицы e_m , поскольку та проходит через эмиттер Em, прежде чем зарегистрируется детектором R, а e_o -электроны от e_{ac} , которые регистрируются левым детектором, образуются только от эмиттера Em. При этом выход e_{ac} на акт распада, измеренный в таких тройных совпадениях, будет соответствовать выходу при их испускании в направлении испускания основной частицы e_m , т.е. в $\Omega = 0$. Выход e_{ac} на акт распада в измерениях Υ_{e_o} соответствует произвольному направлению испускания e_{ac} по отношению к e_m и потому дает среднее значение выхода e_{ac} в угол 4π , что позволяет определить $\Upsilon(0)$ как отношение Υ -выходов: $\Upsilon_{e_m}e_o/\Upsilon_{e_o}$.

При измерении Υ в геометрии 2π e_{ac} и e_m движутся в разные полусферы. В этом случае левый

детектор может регистрировать в тройных совпадениях низкоэнергетичные e_{ac} , поскольку активная сторона источника обращена к этому детектору, а правый детектор через E_m регистрирует только e_m . Это дает возможность определить выход e_{ac} в направлении испускания, противоположном направлению e_m . В двойных совпадениях определяется среднее значение выхода e_{ac} в 4π и можно определить $Y(2\pi)$ как отношение соответствующих Y -выходов:

$$Y(2\pi) = Y\gamma_{e_m e_{ac}}/Y\gamma_{e_o}$$

Для определения выхода сопутствующих частиц e_{ac} в измерениях двойных $\gamma(e_{ac} + e_m)$ -совпадений необходимо вычесть высокоэнергетичную часть γ_{e_m} , которая определяется в измерениях при $U_S = U_{Em} > U_L$ для геометрии $\Omega = 0$. В геометрии $\Omega = 2\pi$ это производится при измерениях

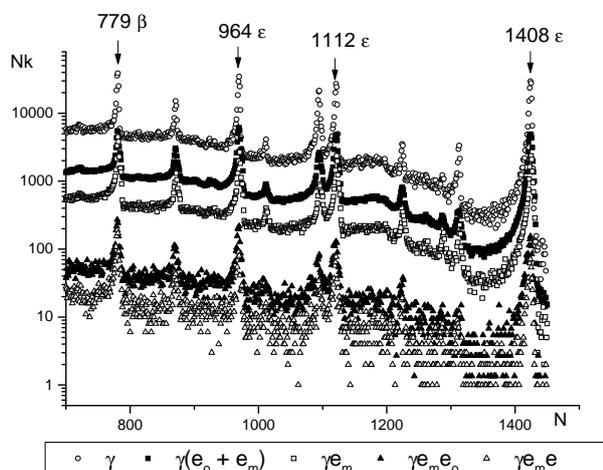


Рис. 4. Участок одиночного γ -спектра ^{152}Eu (верхний), нормированный к 1 ч измерений, ниже два спектра $\gamma(e_o + e_m)$ - и γ_{e_m} -совпадений, нормированные к 7 ч, и нижние два спектра $\gamma_{e_m e_o}$ - и $\gamma_{e_m e}$ -совпадений, нормированные к 25 ч. Все измерения выполнены в геометрии $\Omega = 0$ (сопутствующая частица и основная частица движутся в одну полусферу).

В полученных спектрах определялись интенсивности N_0 основных γ -переходов и по ним вычислялись регистрируемые выходы сопутствующих частиц на акт распада, с участием основной частицы или без нее, при внутренней конверсии и β -распаде. При этом Y -выходы на акт распада из измерений в двойных совпадениях, как показано выше, являются средним значением $Y(\Omega)$ от измерений в тройных $\gamma_{e_m e_{ac}}$ -совпадениях, т.е.

$$Y_{ac}(\Omega) = N\gamma_{e_m e_{ac}}/N\gamma_{e_m}, Y_{ac}(\Omega)^{cp} = N\gamma_{e_{ac}}/N\gamma$$

В результате коррелированность $Y_{ac}(\Omega)$, являющаяся $Y_{ac}(\Omega)/Y_{ac}^{cp}(\Omega)$ по определению, равна

для $U_S = U_{Em} = 700 \text{ В}$ с регистрацией суммарного вклада при $U_S = U_{Em} = 210 \text{ В} > U_L = 190 \text{ В}$. При тех же потенциалах проводятся измерения и тройных $\gamma_{e_m e_{ac}}$ -совпадений в геометрии 2π . В двойных совпадениях с участием правого детектора присутствует только компонент γ_{e_m} .

В описанной методике измерялись γ -спектры в $\gamma(e_m + e_o)$ -, γ_{e_m} -, $\gamma_{e_m e_o}$ -совпадениях для геометрии $\Omega = 0$, когда сопутствующая частица e_{ac} (электрон «встряски», электрон Оже) движется в ту же полусферу, что и основная частица e_m (электрон конверсии, β -частица). В геометрии $\Omega = 2\pi$ (e_{ac} и e_m движутся в противоположные полусферы) измерялись $\gamma(e_m + e_{ac})$ -, γ_{e_m} -, $\gamma_{e_m e_{ac}}$ -совпадения.

На рис. 4 и 5 приведены некоторые серии измерений.

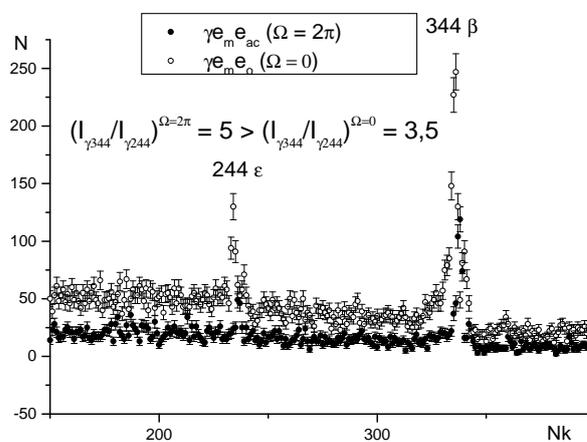


Рис. 5. Участки спектров $\gamma_{e_m e_{ac}}$ -совпадений, измеренных в геометрии $\Omega = 0$ (сопутствующая частица e_{ac} и основная частица e_m движутся в переднюю полусферу) и в геометрии $\Omega = 2\pi$ (e_{ac} и e_m движутся в противоположные полусферы). Приведены относительные интенсивности γ -переходов 244 и 344 кэВ, относящиеся к процессам с различной коррелированностью основной и сопутствующей частицы.

$$Y(\Omega = 0) = (N\gamma_{e_m e_o}/N\gamma_{e_m})/(N\gamma_{e_o}/N\gamma)$$

при движении сопутствующей частицы и основной частицы в переднюю полусферу и

$$Y(\Omega = 2\pi) = (N\gamma_{e_m e_{ac}}/N\gamma_{e_m})/(N\gamma_{e_{ac}}/N\gamma)$$

при движении сопутствующей и основной частицы в разные полусферы.

Таблица содержит все полученные результаты о коррелированности движения сопутствующей и основной частицы при их движении в ту же полусферу ($\Omega = 0$) и при движении в разные полусферы ($\Omega = 2\pi$). В таблице приведен основной процесс и сопутствующее ему электронное излу-

чение, энергетический диапазон этого излучения, в котором измерялись его выходы $\Upsilon(0)$, $\Upsilon(4\pi)$ и коррелированности направлений испускания

$\Upsilon(0)$ и $\Upsilon(2\pi)$ сопутствующей частицы с основной в процессах радиоактивного распада и внутренней конверсии для ^{152}Eu .

Υ -выходы сопутствующей частицы (электрон «встряски» e_{Sh} , электрон Оже e_{Auger}) на акт распада и свойства ее коррелированности по направлению движения ($\Omega = 0$) основной частицы (электрона) и против ($\Omega = 2\pi$) при β^- -распаде и внутренней конверсии (IC) для ^{152}Eu

Процесс, сопутствующее излучение, диапазон измерений	$\Upsilon(\Omega = 4\pi)$	$\Upsilon(\Omega = 0)$	$\Upsilon(\Omega = 0)$
	$\Upsilon(\Omega = 4\pi)$	$\Upsilon(\Omega = 2\pi)$	$\Upsilon(\Omega = 2\pi)$
IC, M- e_{Auger} 1000 - 1700 эВ	0,00118(21)	0,0122(19)	10,3(25)
IC122 кэВ E2, e_{Sh} 1700 - 2500 эВ	0,00261(16)	0,0147(11)	5,6(11)
IC122 кэВ E2, $e_{\text{Sh}} + e_{\text{Auger}}$ 200 - 1700 эВ 200 - 700 эВ	0,0103(3)	0,0782(18)	7,5(3)
	0,00150(57)	~0,0008(2)	$\leq 0,5$
IC344 кэВ E2, $e_{\text{Sh}} + e_{\text{Auger}}$ E > 200 эВ	0,022(9)	0,207(37)	9,6(43)
β^- -распад, e_{Sh} 1000 - 1700 эВ	0,00073(17)	0,00499(71)	6,8(19)
β^- -распад, e_{Sh} 200 - 1700 эВ 200 - 700 эВ	0,00380(35)	0,0164(8)	4,3(5)
	0,00125(19)	0,0037(6)	$\leq 0,3$
β^- -распад, e_{Sh} E \geq 200 эВ	0,00502(12)	0,02037(45)	4,06(13)

Обсуждение результатов и выводы

Результаты (см. таблицу) указывают на сильную коррелированность ($\Upsilon \gg 1$) сопутствующих частиц (электроны «встряски», электроны Оже), по отдельности или в суммарном эффекте, с основной частицей (электроном конверсии или β^- -частицей) в их движении с ней в направлении вперед ($\Omega = 0$). Коррелированность при движении в обратную полусферу по отношению к основной частице ($\Omega = 2\pi$) в измеренных случаях очень мала ($\Upsilon \ll 1$).

Это находится в согласии с нашими предыдущими результатами [1 - 4] и существенно их дополняет для $\Omega = 0$. Результаты для $\Omega = 2\pi$ дают дополнительное свидетельство в пользу предлагаемого механизма возникновения такой коррелированности за счет токовых компонент от электромагнитного взаимодействия движущихся заряженных частиц. В самом деле (рис. 6), за счет кулоновского взаимодействия F_c , которое обычно больше магнитного F_m (с которым сравнивается только при световых скоростях частиц), возникает поперечная составляющая скорости и соответствующий ток i_{ac} , на который действует магнитное поле тока I_m , толкая частицу e_{ac} вперед. Если по какой-то причине будет противоположная составляющая скорости, магнитное взаимодействие F_m сначала остановит частицу, а затем опять направит ее вперед.

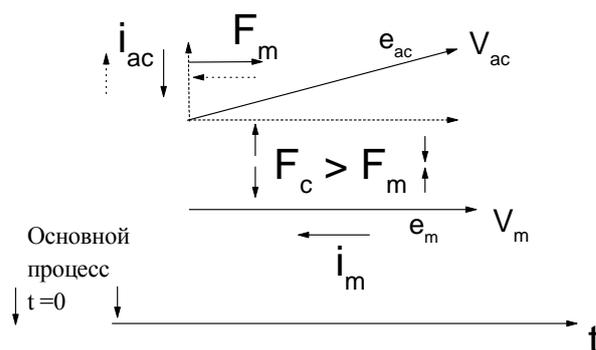


Рис. 6. Иллюстрация возникновения сильной коррелированности направления движения сопутствующей частицы e_{ac} (электрон «встряски», электрон Оже) с направлением движения основной частицы e_m (электрона) в конечном состоянии частиц после β^- -распада или внутренней конверсии в рамках качественного подхода взаимодействующих токов от движения частиц. В направлении движения сопутствующей частицы всегда действует сила F_m , толкая ее по направлению движения основной.

Такая схема весьма условна и только качественно отражает механизмы сильной коррелированности в сложном движении заряженных частиц под влиянием электромагнитных взаимодействий. Но для объяснения уже полученных результатов и данных эксперимента $\Upsilon \sim \sqrt{E}$ [7] о движении сопутствующей частицы с основной в процессах радиоактивного распада или внутренней конверсии подходит, так как хорошо укладывается в механизм их возникновения за счет

токовых компонент взаимодействия от движения заряженных частиц в конечном состоянии и определяет перспективу проведения дальнейших работ.

Сильная пространственная корреляция частиц наблюдается также в экспериментах по двойной фотоионизации [8 - 10], выполненных на лазерных пучках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mitrokhovich N.F.* Correlation β -particle with "shake off" electrons under β -decay ^{152}Eu // Proc. Int. Conf. "Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy". - Kyiv, 2006. - P. 412 - 416.
2. *Mitrokhovich N.F., Kupryashkin V.T.* Correlation electron internal conversion with shake off electrons under ϵ -decay ^{152}Eu // Nucl. Phys. At. Energy. - 2007. - Vol. 1 (19) - P. 61 - 66.
3. *Mitrokhovich N.F.* Energy and correlation properties of "shake-off" electrons at β -decay // Nucl. Phys. At. Energy. - 2010. - Vol. 11, No. 2. - P. 136 - 140.
4. *Митрохович Н.Ф., Купряшкин В.Т., Сидоренко Л.П.* Коррелированность направления движения электронов Оже с направлением движения электрона внутренней конверсии // Ядерна фізика та енергетика. - 2013. - Т. 14, № 2. - С. 129 - 134.
5. *Митрохович Н.Ф.* Определение коэффициента внутренней конверсии в измерениях со вторичными электронами околонулевой энергии // Изв. РАН. Сер. физ. - 2000. - Т. 64, № 3. - С. 567 - 571.
6. *Купряшкин В.Т., Митрохович Н.Ф.* Установка для измерения временных и энергетических спектров $\gamma\beta(e + e_0)$ -совпадений // Ядерна фізика та енергетика. - 2006. - № 1 (17). - С. 90 - 94.
7. *Митрохович Н.Ф.* Спектры энергий электронов автоионизации и их коррелированность по направлению вылета β -частицы // Ядерна фізика та енергетика. - 2012. - Т. 13, № 1. - С. 17 - 21.
8. *Weber Th., Giessen H., Weckenbrock M. et al.* Correlated electron emission in multiphoton double ionization // Nature. - 2000. - Vol. 405. - P. 658 - 661.
9. *Weckenbrock M., Hattas M., Gzash A. et al.* Experimental evidence for electron repulsion in multiphoton double ionization // J. Phys. B.: At. Mol. Opt. Phys. - 2001. - Vol. 34. - P. 449 - 455.
10. *Moshammer 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. 113 - 119.

М. Ф. Митрохович

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

**КОРЕЛЯЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ РУХУ СУПУТНЬОЇ ЧАСТИНКИ
ВІДНОСНО РУХУ ОСНОВНОЇ ЧАСТИНКИ
У ПРОЦЕСАХ РАДІОАКТИВНОГО РОЗПАДУ ТА ВНУТРІШНЬОЇ КОНВЕРСІЇ**

На установці збігів γ -квантів з електронами та з низькоенергетичними електронами близьконульової області досліджено просторову кореляцію напрямку руху випускання супутньої частинки e_{ac} (електрон «струсу», електрон Оже) по відношенню до основної частинки e_m (електрона) при β -розпаді чи внутрішньої конверсії переходів у розпаді ^{152}Eu . Шляхом вимірювання подвійних γe_{ac} - та потрійних $\gamma e_{ac} e_m$ -збігів вимірювалась корельованість $\Upsilon = 4\pi dP/Pd\Omega$ руху супутньої частинки з основною при їхньому випусканні в одну напівсферу ($\Omega = 0$) та при їхньому випусканні в протилежні напівсфери ($\Omega = 2\pi$). Було отримано, що $\Upsilon(\Omega = 0) \gg 1$, а $\Upsilon(\Omega = 2\pi) \ll 1$. Дискутується механізм сильної просторової корельованості в русі супутньої частинки з основною в процесах радіоактивного розпаду та внутрішньої конверсії за рахунок струмових компонент електрон-електронної взаємодії частинок у кінцевому стані.

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

M. F. Mitrokhovich

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

**CORRELATION PROPERTIES OF THE ACCOMPANIED PARTICLE MOTION RELATE MOTION
MAIN PARTICLES IN PROCESSES OF RADIOACTIVE DECAY AND INTERNAL CONVERSION**

On installation of coincidences of γ -quanta with electrons and with low energy electrons close to zero area the spatial correlation of the direction emitting accompanying e_{as} particles (electron "shake-off", Auger electron) with respect to the primary particle e_m (electron) at β -decay or internal conversion of transitions in ^{152}Eu decay have been investigated. By measuring the double- γe_{ac} and triple $\gamma e_{ac} e_m$ -coincidences the correlating $\Upsilon = 4\pi dP/Pd\Omega$ movement of the accompanying particle and the main particle in the same hemisphere emission ($\Omega = 0$) and in opposite hemispheres

emission ($\Omega = 2\pi$) were measured. It was received that $\Upsilon(\Omega = 0) \gg 1$, and $\Upsilon(\Omega = 2\pi) \ll 1$. It is discussed the mechanism of strong spatial correlation in the motion of accompanying particle with the main particle in the process of radioactive decay and internal conversion for the account of current components of electron-electron interaction in the final state particles.

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

REFERENCES

1. *Mitrokhovich N.F.* Correlation β -particle with “shake off” electrons under β -decay ^{152}Eu // Proc. Int. Conf. “Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy”. - Kyiv, 2006. - P. 412 - 416.
2. *Mitrokhovich N.F., Kupryashkin V.T.* Correlation electron internal conversion with shake off electrons under ϵ -decay ^{152}Eu // Nucl. Phys. At. Energy. - 2007. - Vol. 1 (19) - P. 61 - 66.
3. *Mitrokhovich N.F.* Energy and correlation properties of “shake-of” electrons at β -decay // Nucl. Phys. At. Energy. - 2010. - Vol. 11, No. 2. - P. 136 - 140.
4. *Mitrokhovich N.F., Kupryashkin V.T., Sidorenko L.P.* // Nucl. Phys. At. Energy. - 2013. - Vol. 14, No. 2. - P. 129 - 134. (Rus)
5. *Mitrokhovich N.F.* - Izv. RAN. Ser. fiz. - 2000. - Vol. 64, No. 3. - P. 567 - 571. (Rus)
6. *Kupryashkin V.T., Mitrokhovich N.F.* // Nucl. Phys. At. Energy. - 2006. - No. 1 (17). - P. 90 - 94. (Rus)
7. *Mitrokhovich N.F.* // Nucl. Phys. At. Energy. - 2012. - Vol. 13, No. 1. - P. 17 - 21. (Rus)
8. *Weber Th., Giessen H., Weckenbrock M. et al.* // Nature. - 2000. - Vol. 405. - P. 658 - 661.
9. *Weckenbrock M., Hattas M., Gzasch A. et al.* // J. Phys. B.: At. Mol. Opt. Phys. - 2001. - Vol. 34. - P. 449 - 455.
10. *Moshhammer R., Ulrich J., Fisher D.* // J. Phys. B.: At. Mol. Opt. Phys. - 2003. - Vol. 36. - P. 113 - 119.

Надійшла 02.04.2014

Received 02.04.2014