

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ $\gamma\beta(e + e_0)$ -СОВПАДЕНИЙ

В. Т. Купряшкин, Н. Ф. Митрохович

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Описана установка для измерения двойных и тройных совпадений γ -квантов и β -частиц с низкоэнергетическими электронами, включая электроны вторичной электронной эмиссии (электроны околонулевой энергии e_0) – $(\gamma, \beta)(e, e_0)$ -совпадения. Установка содержит два беспороговых детектора электронов на основе шеврона микроканальных пластин (МКП) и одного детектора γ -квантов (Ge(Li)- или NaJ(Tl)-детектор), которая предназначена для определения по e_0 -электронам коэффициентов внутренней конверсии (КВК) переходов, а также для исследования эффектов “встряски” атомной оболочки при β -распаде. Приведены результаты измерений с ^{152}Eu .

Введение

Систематические исследования по электронам вторичной электронной эмиссии при радиоактивном распаде (e_0 -электроны) в ИЯИ НАН Украины проводятся в двух направлениях. Одно связано с изучением механизма образования e_0 -электронов от радиоактивного излучения [1], что предполагает измерение временных и энергетических характеристик эмиссии e_0 -электронов. Это важно, в частности, при идентификации низкоэнергетического электронного излучения собственно ядерного происхождения. Другое направление связано с использованием e_0 -электронов при построении соответствующих ядерно-физических методик. Например, на основе учета того, что с уменьшением энергии первичных электронов вплоть до сотен и десятков эВ эмиссия e_0 -электронов с поверхности радиоактивного источника быстро возрастает, т.е. имеет место большая чувствительность к низкоэнергетическим компонентам электронных спектров, в отделе разработаны методы точного определения КВК переходов при измерении γe_0 -, $\gamma\beta$ - и $\gamma\beta e_0$ -совпадений γ -квантов и β -частиц с e_0 -электронами от низкоэнергетического электронного излучения заполнения вакансии при конверсии, причем было учтено влияние на результат и низкоэнергетического излучения от “встряски” при β -распаде [2, 3]. В этих методиках долгое время использовалась аппаратура универсального применения, однако ее возможности и сама работоспособность со временем по понятным причинам требуют аппаратного обновления. Ниже описывается специальная установка $\gamma\beta(e + e_0)$ -совпадений, предназначенная для проведения измерений спектров совпадений γ -квантов и β -частиц с e_0 -электронами.

Установка $\gamma\beta(e + e_0)$ -совпадений и измерения

Геометрия измерений и блок-схема установки вместе с узлами электроники в функциональных обозначениях приведена на рис. 1.

На рис. 1 приняты следующие обозначения MCD_L и MCD_R : беспороговые детекторы электронов на основе шевронов микроканальных пластин; S – радиоактивный источник, ориентированный подложкой к детектору L; Net – сетка; NaJ(Tl) или Ge(Li) – детекторы γ -квантов; i – токовые предусилители; u – усилители по напряжению; ΔT – формирователи импульсов с уровнями ЭСЛ для осуществления отбора совпадений блоками логики & типа “И”; DD – дифференциальные дискриминаторы с внешним управлением уровнями TTL и выходами TTL для управления многоканальным амплитудным анализатором импульсов АА по входу С; $T \rightarrow A$ – конвертер “время - амплитуда”; TTL – формирователи с уровнями TTL; 1 – формирователи с уровнями NIM для управления конвертером; fidt – входной интегрирующий каскад; АА – многоканальный амплитудный анализатор импульсов.

Детектирующая система состоит из двух детекторов МКП, один из которых (MCD_L) предназначен для регистрации e_0 -электронов, а другой (MCD_R) – для регистрации β -частиц. Оба детектора вместе с источником на 20 мкм алюминиевой подложке находятся внутри камеры, откачиваемой до 10^{-6} - 10^{-5} мм рт ст. Снаружи камеры располагается детектор γ -квантов типа Ge(Li)-или NaJ(Tl)-детектор. Для управления регистрацией и отбором e_0 -электронов источник и детекторы находятся под регулируемыми потенциалами V_S, V_L, V_R . Наличие сетки с потенциалом V_N , дополнительно увеличивает возможности управления регистрацией e_0 -электронов. Обычно $V_N = V_S$.

Регистрирующая электронная часть установки состоит из трех одинаковых каналов, каждый из которых содержит низкошумящий токовый предусилитель, усилитель, формирователь длительности импульса для выходного каскада, осуществляющего функцию логического умножения (совпадения) с сигналом другого канала от другого детектора. В качестве головного элемента в

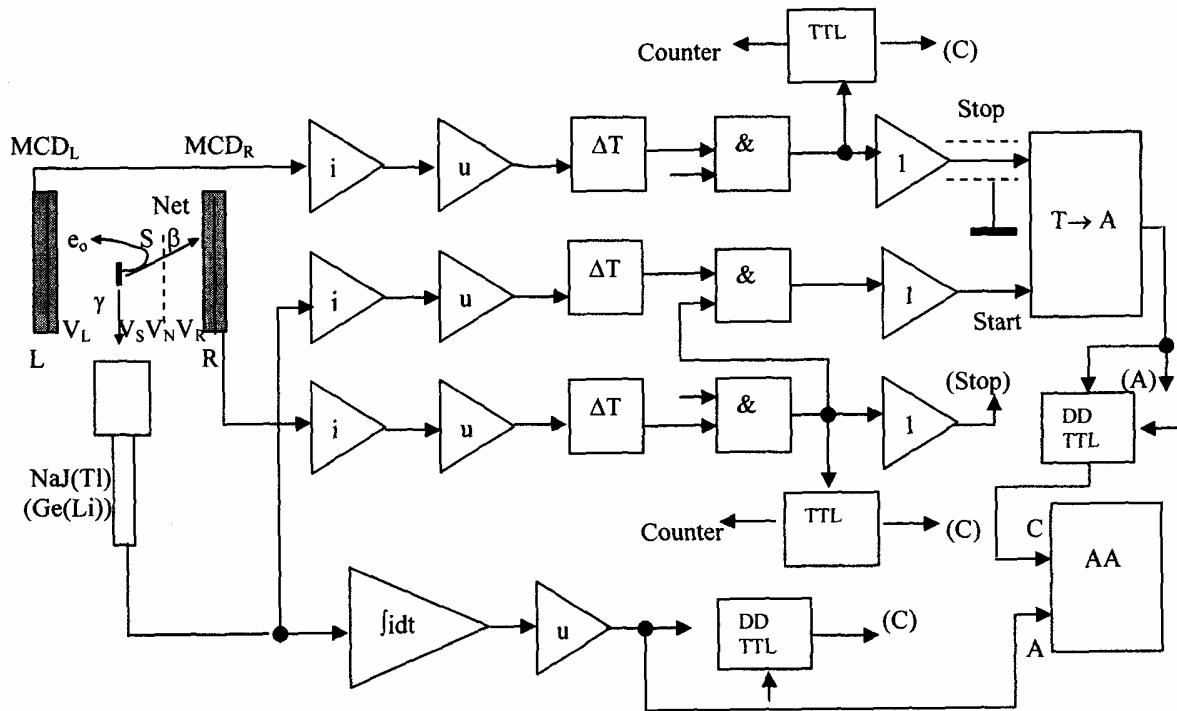


Рис. 1. Блок-схема установки $\gamma\beta(e + e_0)$ -совпадений для измерения временных и энергетических спектров совпадений γ -квантов с β -частицами, электронами и e_0 -электронами.

предусилителях использованы полевые транзисторы КП312, а усилительные и логические узлы в каждом канале выполнены на трех микросхемах набора 500-й серии. Содержащиеся в каналах преобразователи уровней TTL и NIM выполняют согласующую функцию для последующих узлов. Вся электроника трех каналов собрана в трех небольших блоках размера стандартного предусилителя, которые размещены прямо на вакуумной камере. Старт-стоповый конвертер "время - амплитуда" наносекундного диапазона (до 400 нс) в качестве аналоговых элементов содержит дифференциальный каскад на транзисторах КТ363 и выходной на КТ368АМ, а входные логические узлы построены на двух цифровых микросхемах 500-й серии. В качестве дифференциальных дискриминаторов, один из которых служит для выбора энергетического окна при измерении временных спектров, а другой – для выбора временного окна при измерении энергетических спектров совпадений взяты дифференциальные дискриминаторы с временной привязкой по форме импульса, в которые была встроена выходная логика "И" с уровнями TTL. В качестве анализатора использован многоканальный анализатор импульсов АМ-А-02Ф.

На рис. 1 показано включение для измерения энергетических спектров $\gamma\beta(e + e_0)$ -совпадений. При измерении временных спектров на аналоговый вход анализатора подаются импульсы от

конвертера, а на его управляющий вход – импульсы от дифференциального дискриминатора выбора энергетического окна.

Работоспособность электроники установки $\gamma\beta(e + e_0)$ -совпадений в целом проверялась на самосовпадениях и на $\gamma\beta$ -, $\gamma\beta$ - и γe -совпадениях, когда на тест-входы γ -, β - и e -каналов подавались импульсы фона от сцинтилляционного детектора со спектром, который моделировал спектр импульсов от МКП. Временное разрешение, составляющее при этом 2 - 3 нс в определенной степени отвечает собственному разрешению электроники, обусловленному шумами в диапазоне амплитуд импульсов от МКП. Для проверки работоспособности установки $\gamma\beta(e + e_0)$ -совпадений в целом были также измерены некоторые временные спектры с ^{152}Eu при различных условиях собирания e_0 -электронов и от различных источников их образования. Результаты этих измерений представлены на рис. 2 - 4.

Импульсы с дискриминатора, выделявшего интенсивный γ_{1408} , находящийся в каскаде с γ_{122} , были управляющими для анализатора, измерявшего спектр импульсов от конвертера "время - амплитуда". Во всех проводимых измерениях импульсы от γ -канала прямо или в совпадениях с детектором MCD_R подавались на старт конвертера, а импульсы от левого детектора электронов MCD_L на его стоп. При выбранных

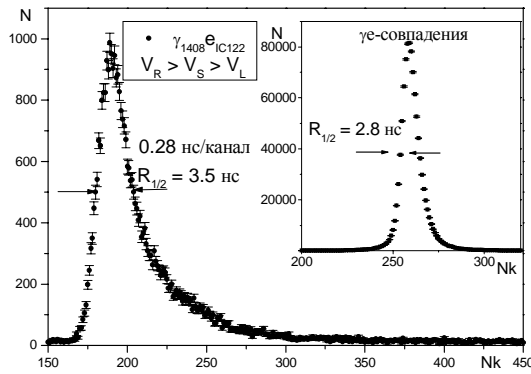


Рис. 2. Временной спектр при отборе совпадений γ_{1408} от сцинтилляционного детектора NaJ(Tl) с электронами внутренней конверсии перехода γ_{122} из распада ^{152}Eu , которые регистрировались микроканальными пластинами (MCD_L). На вставке к рисунку приведено временное разрешение на $(\gamma\gamma)$ -совпадениях, обусловленное шумами.

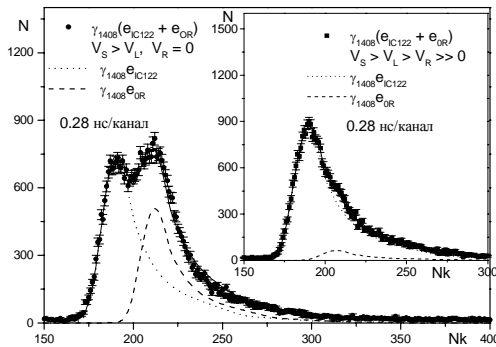


Рис. 3. Временные спектры совпадений γ_{1408} с e_{OR} -электронами от поверхности правого детектора электронов MCD_R , которые вместе с электронами внутренней конверсии e_{IC122} перехода 122 кэВ регистрируются левым детектором электронов MCD_L . Точками и штрихами во временных спектрах обозначены быстрая электронная и задержанная вторично-эмиссионная e_0 -компоненты.

потенциалах $V_R > V_S = V_N > V_L$ e_0 -электроны от активной поверхности источника, от его обратной стороны и от поверхности R-детектора L-детектором не регистрируются и временное разрешение 3,5 нс на рис. 2 относится только к совпадениям электронов конверсии с γ -квантами 1408 кэВ. На вставке к рис. 2 приведен временной спектр, демонстрирующий собственное временное разрешение электроники на $(\gamma\gamma)$ -совпадениях, обусловленное шумами вблизи порога регистрации в каналах.

На рис. 3 представлены временные спектры совпадений γ_{1408} от детектора NaJ(Tl) с электронами конверсии перехода 122 кэВ, прошедшими через подложку источника, и с e_0 -электро-

нами от поверхности правого детектора электронов MCD_R , которые в зависимости от потенциала V_R (при выключенном напряжении на MCD_R $V_R = 0$ В, при включенном напряжении на MCD_R $V_R = 250$ В) регистрируются левым детектором MCD_L с разной интенсивностью. На вставке к рис. 3 правый детектор был включен.

Благодаря поданному на источник S напряжению $V_S (+400 \text{ В}) > V_L (+350 \text{ В})$ e_0 -электроны от обратной стороны подложки источника и от его активной части во временных спектрах, показанных на рис. 3, не присутствовали. Таким образом, с наличием правого детектора в измерениях e_0 -электронов левым MCD_L доступно изучение образования e_0 -электронов только от правого детектора, что важно для анализа спектров и выделения e_0 -компонент от всех основных источников их образования (активная сторона источника, обратная сторона подложки источника, поверхность R-детектора при $V_R = 0$ В). При изучении корреляционных явлений при “встряске” это служит для выделения направления движения β -частицы.

На рис. 4 представлены временные спектры совпадений γ_{1408} с электронами конверсии перехода 122 кэВ, зарегистрированными левым детектором MCD_L вместе со всеми e_0 -электронами, которые при установленных потенциалах $V_L (+350 \text{ В}) > V_S = V_N (+109 \text{ В}) > V_R (0 \text{ В})$ регистрируются от всех поверхностей их образования

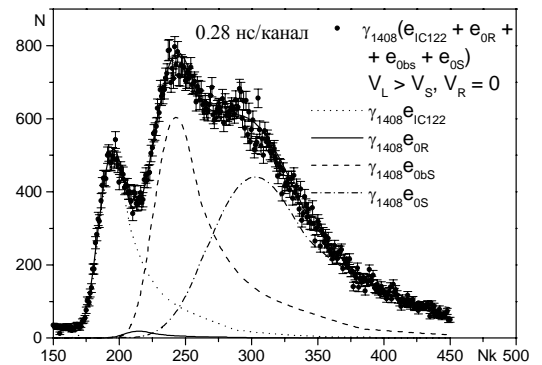


Рис. 4. Временной спектр совпадений γ_{1408} с электронами внутренней конверсии перехода 122 кэВ и собранными электрическим полем, поразному задержанными и медленными e_0 -электронами от всех поверхностей их образования (активная и обратная сторона радиоактивного источника, поверхность правого детектора электронов $\text{MCD}_R - e_{OS}, e_{obs}, e_{OR}$), которые регистрируются левым детектором электронов MCD_L . Точками, сплошной линией и различными штрихами обозначены быстрая электронная и вторично-эмиссионные e_0 -компоненты временного спектра.

(активная и обратная сторона источника, поверхность правого детектора MCD_R , находящаяся под потенциалом 0 В). e_0 -электроны по отношению к быстрым высокоэнергетическим электронам, регистрируются с задержкой, присущей им по физической природе.

Временные спектры, представленные на рис. 2 - 4, обрабатывались по специальной вычислительной программе, осуществляющей подгонку компонент спектра по стандартной линии, с вариацией ее положения и полуширины, а также с вариацией параметров линейного фона по методу наименьших квадратов. Стандартная линия формировалась из специальных измерений простых однокомпонентных спектров с последующим их статистическим сглаживанием ортогональными полиномами.

По проведенным измерениям стабильность набора $\gamma(e, e_0)$ - и $\gamma\beta(e, e_0)$ -совпадений, определяемая в основном временной стабильностью МКП-детекторов, была не хуже 1 % за час работы установки.

Измерялись характеристики $T \rightarrow A$ преобразования. Собственное временное разрешение конвертера "время - амплитуда", измеренное по статистическим импульсам, составляет 0,19 нс при загрузке $8 \cdot 10^2 \text{ с}^{-1}$ и 0,32 нс при загрузке $7 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$. Интегральная и дифференциальная нелинейность преобразования $T \rightarrow A$ во временных спектрах не превышает 3 - 5 %.

Заклучение

Разработана специальная установка $\gamma\beta(e + e_0)$ -совпадений наносекундного диапазона для измерения временных и энергетических спектров совпадений γ -квантов и β -частиц с e_0 -электронами вторичной электронной эмиссии, вызванной радиоактивным распадом. Установка хорошо разделяет во времени мгновенные события регистрации ядерного излучения от задержанных по физической природе на ~ 10 нс событий регистрации e_0 -электронов вторичной электронной эмиссии, и это важно в методиках, где такое разделение остро необходимо. Например, при идентификации низкоэнергетического электронного излучения ядерного происхождения, при определении КВК переходов по e_0 -электронам и при изучении по e_0 -электронам низкоэнергетического электронного излучения любого происхождения, например при "встряске" атомной оболочки после β -распада. Разработанная установка $\gamma\beta(e + e_0)$ -совпадений обеспечивает достаточно высокую стабильность во времени (< 1 % за 1 ч), что позволяет выделять слагаемое в эффекте от e_0 -электронов с высокой чувствительностью и точностью. Небольшие дифференциальные и интегральные нелинейности в измеряемых временных спектрах позволяют использовать точные методы обработки данных, основанные на подгонке компонент спектра по стандартным линиям с вариацией по ширине и положению пика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Купряшкін В.Т., Сидоренко Л.П., Феоктистов О.І., Шаповалова І. П.* Дослідження залежності виходу електронів близьконульової енергії від товщини джерела для різних видів радіоактивного розпаду // УФЖ. - 2000. - Т. 45, № 8. - С. 918 - 921.
2. *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.
3. *Митрохович Н. Ф.* Электроны "встряски" при β -распаде $^{152,154}\text{Eu}$ // Зб наук. праць Ін-ту ядерних дослід. - 2004. - № 2(13). - С. 52 - 60.

УСТАНОВКА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСОВИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ СПЕКТРІВ $\gamma\beta(e + e_0)$ -ЗБІГІВ

В. Т. Купряшкін, М. Ф. Митрохович

Описано спеціальну установку для вимірювання подвійних і потрійних збігів γ -квантів і β -частинок із низькоенергетичними електронами (включаючи e_0 -електрони вторинної електронної емісії близьконульової енергії) – $(\gamma, \beta)(e, e_0)$ -збіги, що містить два безпорогових детектори електронів на основі мікроканальних пластин та одного детектора γ -квантів (Ge(Li) або Na(Tl)). Установка призначена для визначення по e_0 -електронах від випромінювання вакансії коефіцієнтів внутрішньої конверсії у відповідній методиці вимірювань, а також для дослідження по e_0 -електронах ефектів "струси" атомної оболонки при β -розпаді. Наведено результати вимірювань із ^{152}Eu .

**INSTALLATION FOR MEASURING OF TEMPORAL AND POWER SPECTRUMS
OF $\gamma\beta(e + e_0)$ -COINCIDENCES**

V. T. Kupryashkin, N. F. Mitrokhovich

It is described special installation for measuring of double and triple coincidences γ -quanta and β -particles with low-energy electrons (including the e_0 -electrons of second electronic emission near-zero of energy) – $(\gamma, \beta)(e, e_0)$ -coincidences, containing two unthreshold detectors of electrons on the base micro channel plates and one detector γ -quanta (Ge(Li) or NaJ(Tl)), which is aimed for the determination of internal conversion coefficients on e_0 -electrons from radiation vacancy by proper measuring methods and also for the research on e_0 -electrons “shake off” effects upon β -decay. The measuring results with ^{152}Eu are given.

Поступила в редакцию 07.02.06,
после доработки – 21.04.06.