

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P6-2000-135

Н.А.Лебедев, В.А.Морозов, Н.В.Морозова,
А.Ф.Новгородов, Д.А.Философов

ЭТАЛОННЫЕ ИСТОЧНИКИ
ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ОДНОКРИСТАЛЬНОГО
СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ВРЕМЕННОГО
СПЕКТРОМЕТРА ЗАДЕРЖАННЫХ СОВПАДЕНИЙ

2000

Развитие методики однокристалльной сцинтилляционной временной спектроскопии [1-6] привело к созданию высокоэффективного спектрометра задержанных совпадений, основанного на автокорреляционном принципе (рис.1).

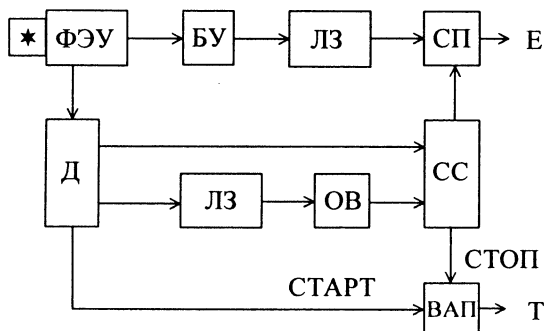


Рис.1. Блок-схема автокорреляционного однокристалльного сцинтилляционного временного спектрометра двумерных совпадений. (БУ-быстрый усилитель, ЛЗ-линия задержки, СП-схема пропускания, Д-дискриминатор, ОВ-одновибратор, СС-стробирующая схема совпадений, ВАП-время-амплитудный преобразователь)

На рис.2. приведена временная диаграмма импульсов после прохождения различных электронных блоков, позволяющая продемонстрировать способ формирования временного и энергетического (задержанного) сигналов на выходе спектрометра. В работе [4] было показано, что на однокристалльном спектрометре задержанных совпадений можно реализовать режим трехмерного анализа E1-T-E2, где E1-энергия излучения, приводящего к возбуждению изомерного состояния; T – временной интервал между зарегистрированными импульсами; E2– энергия излучения, разряжающего изомерное состояние.

Основное назначение автокорреляционного однокристалльного сцинтилляционного временного спектрометра (АОСВС) заключается в поиске короткоживущих изомерных

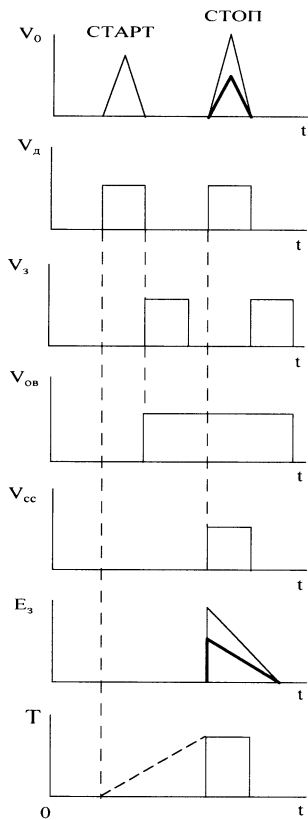


Рис.2. Временная диаграмма импульсов АОСВС двумерных совпадений

состояний ядер, возбуждаемых при радиоактивном распаде или в ядерных реакциях. Отметим основные характеристики спектрометра АОСВС:

- детектор ядерного излучения – сцинтилляционный спектрометр с пластмассовым сцинтиллятором с малым временем высвечивания;
- тип ФЭУ – временной, например, ФЭУ-87, 56AVP, XP2020, XP2020Q, характеризующийся крутым фронтом нарастания и малой длительностью выходного импульса (3-5 нс);
- диапазон измеряемых времен жизни уровней, достигнутый в настоящее время, $T_{1/2} = 4 \cdot 10^{-9} - 4 \cdot 10^{-6}$ с;
- диапазон регистрируемых энергий заряженных частиц - > 10 кэВ;
- ω (телесный угол) - вплоть до 4π ;
- достаточная активность источника – 0,01-0,1 мкКи;

- сочетание АОСВС с многодетекторным спектрометром типа CRYSTAL BALL [7], предназначенным для регистрации γ -излучения, заселяющего или разряжающего изомерное состояние, позволяет существенно упростить систему электронного оборудования спектрометра, т.к. все быстрые усилители и временные формирователи полупроводниковых детекторов спектрометра CRYSTAL BALL исключаются;
- АОСВС в сочетании с ППД обеспечивает идентификацию ядра по Z, если в выделенном ядре возбуждается изомерное состояние, разряжающееся сильноконвертированными переходами;
- АОСВС обеспечивает реализацию режима трехмерных совпадений E1-T-E2 на одном детекторе с высокой эффективностью регистрации низкоэнергетического излучения. Собственное временное разрешение спектрометра не превышает долей наносекунды и поэтому не сказывается на точности измерений в рассматриваемом временном диапазоне. Так как при использовании АОСВС проводится анализ энергетических и временных корреляций ядерного излучения, то требуется определение предельно достижимого низкоэнергетического порога регистрации ядерного излучения детектором и определение минимального времени жизни уровней, доступного для измерения этим методом. В спектрометре данного типа оно будет определяться временем высвечивания сцинтиллятора, длительностью импульса с ФЭУ и мертвым временем дискриминатора. Решение данной задачи требует использования набора эталонных источников, обеспечивающих регистрацию задержанных совпадений для определенных временных и энергетических диапазонов.

В таблице 1 представлены данные, которые характеризуют эталонные источники, применявшиеся нами в методических исследованиях АОСВС.

Таблица 1

Характеристики эталонных источников [8]

Ист.	$T_{1/2}$ Источ.	Исслед. ядро	Энерг. уровня, кэВ	$T_{1/2}$ * уровня, нс	E1, ** кэВ	E2, кэВ	Каскад (% на распад)
⁷³ As	80,3 д	⁷³ Ge	13,2	2940(30)	$E_K(53,5)=42,4$	$E_L(13,2)=11,8$	100
¹⁵³ Gd	241,6 д	¹⁵³ Eu	103,2	3,90(3)	$E_K(69,7)=21,2$	$E_K(103,2)=55,3$	15
¹⁶⁹ Yb	32 д	¹⁶⁹ Tm	316	661(7)	$E_L(63,1)=53,0$	$E_K(198)=138,6$	96
²²⁵ Ac	10,0 д	²¹³ Po	0	3700(30)	$E_\beta=1422$	$E_\alpha=8376$	98
²³² Th	$1,4 \cdot 10^{10}$	²¹² Po	0	298(3)	$E_\beta=2270$	$E_\alpha=8784$	64
²⁴¹ Am	443 г	²³⁷ Np	59,5	68,3(2)	$E_\alpha=5389;5544$	$E_L(59,5)=37,4$	~100

* Значение 2940(30) означает 2940 ± 30 .

** Запись $E_K(53,5)=42,4$ означает 53,5 – энергия перехода, 42,4 – энергия ЭВК.

$T_{1/2}$ определяет период полураспада радиоактивного изотопа, а $T_{1/2}^*$ (нс) – период полураспада изомерного состояния. В колонке E1 и E2 приведены значения энергий излучения

(в скобках), заселяющего и разряжающего изомерное состояние соответственно. E_k , E_L и E_β – характеризуют энергию конверсионных электронов и граничную энергию β -частиц. E_α – характеризует диапазон энергий регистрируемых α -частиц. В тех случаях, когда зарядка и разрядка состояния происходит несколькими γ -переходами, указывается наиболее интенсивный переход. Для регистрации ядерного излучения использовался пластмассовый сцинтиллятор NE104 с временем высвечивания 1,9 нс и ФЭУ XR2020Q. Для разных источников измерения производились в двух геометриях: 2π -для ^{153}Gd , ^{169}Yb , ^{225}Ac и 4π -для всех остальных источников. Ниже демонстрируются полученные данные.

^{73}As . Использование этого изотопа было обусловлено необходимостью определения низкоэнергетического порога регистрации ядерного излучения, так как проведение стандартной энергетической калибровки спектрометра затруднительно вследствие присутствия в том же энергетическом диапазоне шумовых импульсов от ФЭУ. И только сам факт начала регистрации экспоненциального временного распределения при понижении порога временного формирователя позволяет утверждать, что порог регистрации не превышает 10 кэВ. На рис.3 представлен результат измерения периода полураспада состояния 13,2 кэВ в ^{73}Ge , где приведен также фрагмент схемы распада As, имеющий отношение к зарядке и разрядке изомерного состояния.

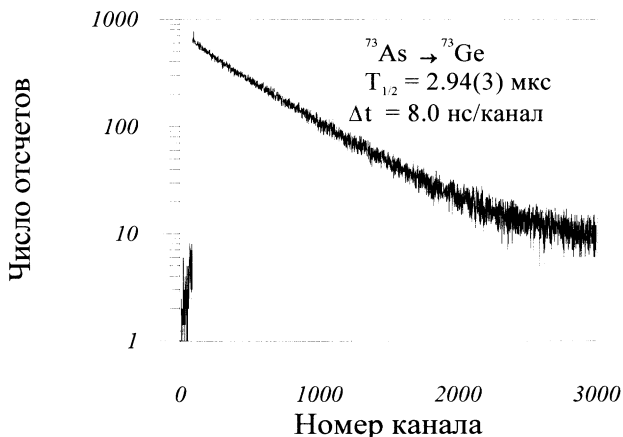


Рис.3. Период полураспада состояния 13,2 кэВ в ^{73}Ge

На рис.4 представлены энергетические спектры излучения, возникающие при распаде ^{73}As . 1 - одиночный спектр и 2 – спектр совпадений, соответствующий задержанному излучению, разряжающему изомерное состояние. Источник ^{73}As был получен следующим образом: As_2O_3 (800 Бк), находившийся в растворе бидистиллированной воды, наносился на

поверхность сцинтиллятора $\varnothing 10 \times 3$ мм и высушивался. Затем по периметру таблетки наносился дихлорэтан, и первая таблетка закрывалась второй аналогичной таблеткой. Дихлорэтан растворял поверхностные слои сцинтиллятора, изготовленного на основе стирола, обеспечивая, таким образом, 4 π -геометрию регистрации излучения ^{73}As .

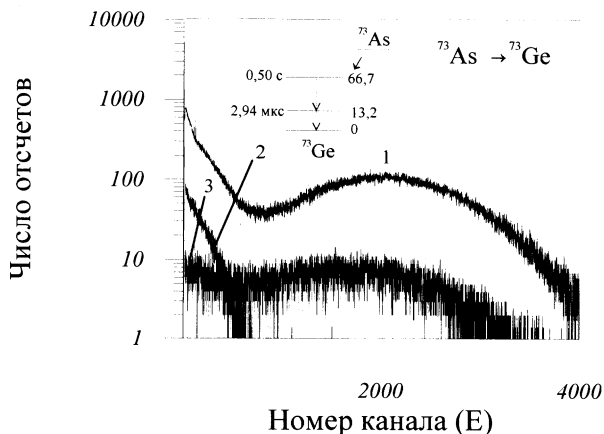


Рис.4. Энергетические спектры при распаде ^{73}As : 1 – одиночный спектр; 2 – спектр задержанного излучения; 3 – спектр излучения, заряжающего изомерное состояние

^{153}Gd . Источник ^{153}Gd был использован для демонстрации возможности измерения наносекундных времен жизни методом АОСВС. Изотоп ^{153}Gd был получен в результате реакции расщепления танталовой мишени быстрыми протонами с энергией 660 МэВ на фазотроне ЛЯП ОИЯИ, после химического выделения из группы РЗЭ фракции Tb и после некоторой выдержки проведения масс-сепарации фракции Tb с целью выделения изобарной цепочки с $A=153$. При масс-сепарации источник внедрялся в алюминиевую ленту и в таком виде помещался на пластмассовый сцинтиллятор. На рис.5 приведен результат измерений периода полураспада состояния 103,2 кэВ в ^{153}Eu , возбуждаемом при распаде ^{153}Gd . Мертвое время используемого дискриминатора в этом случае не превышало 10 нс, порог регистрации излучения не превышал 30 кэВ.

^{169}Yb . Источник ^{169}Yb приготавливался так же, как и источник ^{153}Gd . Регистрация низкоэнергетического излучения источника ^{169}Yb производилась пластмассовым сцинтиллятором размером $\varnothing 20 \times 15$ мм в 2 π -геометрии при пороге регистрации $E \geq 30$ кэВ. Результат измерения периода полураспада 316 кэВ состояний в ^{169}Tm представлен на рис.6, где приведены также результаты измерений периодов полураспада основных состояний $^{212,213}\text{Po}$.

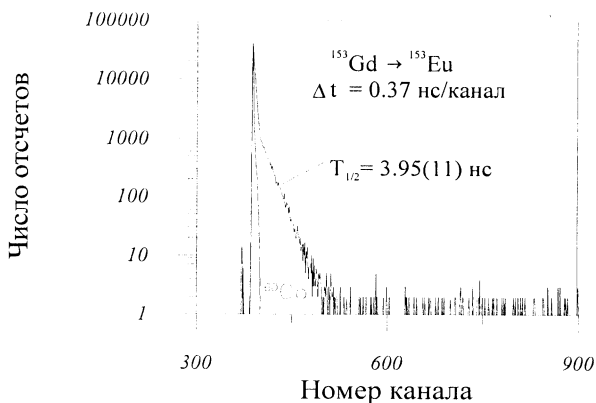


Рис.5. Период полураспада состояния 103 кэВ в ^{153}Eu

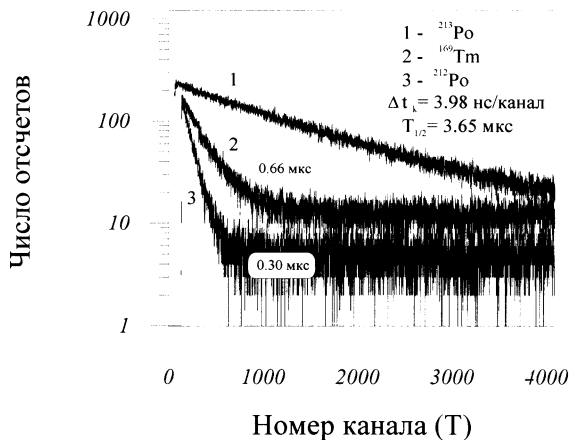


Рис.6. Периоды полураспада основных и изомерных состояний в радиоактивных ядрах

^{232}Th . Измерение периода полураспада основного состояния ^{212}Po проводилось с использованием источника сложного изотопного состава, включающего продукты распада ^{232}Th . Источник приготавливался следующим образом: водный раствор азотнокислого тория наносился на поверхность пластического сцинтиллятора $\varnothing 10 \times 6$ мм и высушивался, затем сцинтиллятор склеивался с аналогичным сцинтиллятором при помощи стирола. Было нанесено

в пересчете на металл около 10 мг тория [6]. Сцинтиллятор подобного размера в основном регистрирует только α^- – и β^- -частицы и электроны внутренней конверсии (ЭВК). Временной спектр приведен на рис.6.

^{225}Ac . Измерение периода полураспада ^{213}Po так же, как и ^{212}Po , проводилось на источнике сложного изотопного состава, включающего продукты распада ^{225}Ac . Источник выделялся ионообменным методом из ^{229}Th и высушивался на пластмассовом сцинтилляторе [9]. Это обеспечивало 2 π -геометрию регистрации излучения. На рис.6 представлен временной спектр, характеризующий период полураспада ^{213}Po , а на рис.7 приведены энергетические спектры, включающие в себя спектр β^- -, α -, ϵ -излучения цепочки $^{225}\text{Ac} \rightarrow ^{209}\text{Bi}$ и спектр задержанных (β^- - α)-совпадений, где отчетливо выделяются α -линия ($E_\alpha=8,376$ МэВ).

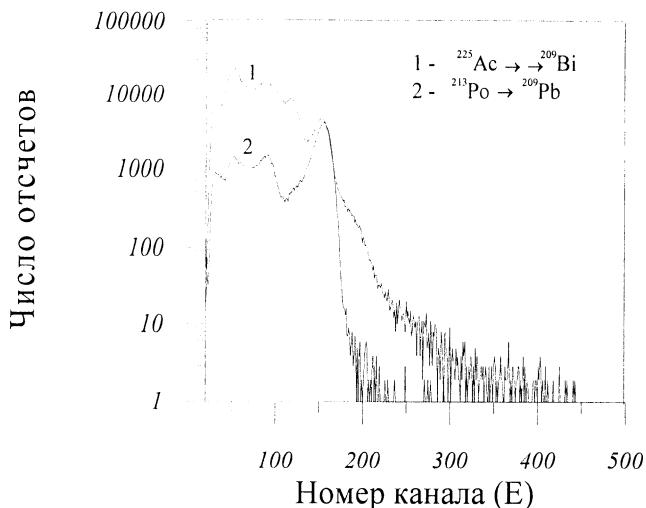


Рис.7. 1 – спектр излучения радиоактивной цепочки ^{225}Ac ; 2 - α -спектр при распаде ^{213}Po

^{241}Am . Препарат ^{241}Am был получен в виде раствора после хроматографической очистки. Метод герметизации источника аналогичен способу приготовления источника ^{73}As . Этот источник так же, как и источник ^{73}As , позволяет определить порог регистрации низкоэнергетического излучения и является в этом смысле более удобным, чем источник ^{169}Yb вследствие большего периода полураспада и более высокой эффективности регистрации задержанных совпадений. На рис.8-9 представлены результаты проведенных измерений.

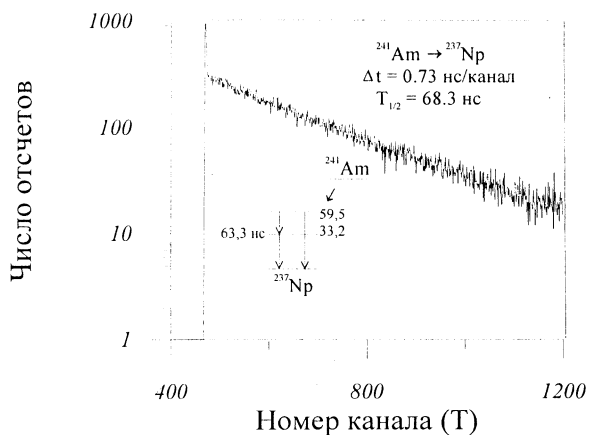


Рис.8. Фрагмент схемы распада ^{241}Am и период полураспада состояния 59,5 кэВ в ^{237}Np

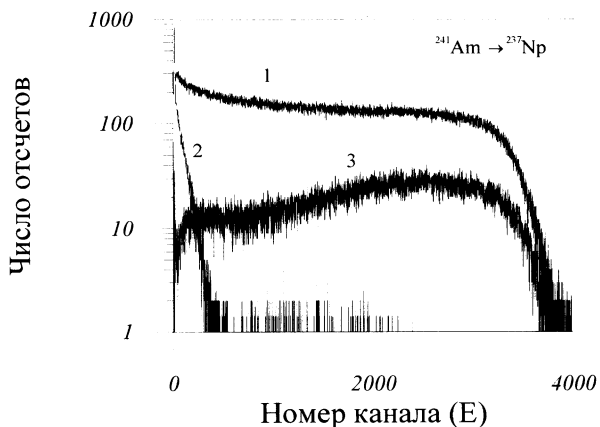


Рис.9. Энергетические спектры при распаде ^{241}Am : 1 - одиночный спектр; 2 – спектр излучения, 3 – спектр излучения, заселяющего это состояние

Таким образом, для установления временного и энергетического порога регистрации задержанных совпадений спектрометром АОСВС проведен подбор и изготовлен набор эталонных радиоактивных источников, позволяющий осуществить временную и энергетическую калибровку спектрометра по известным энергиям переходов в ядрах и периодам полураспада изомерных состояний ядер во временном диапазоне, начиная от 4 нс до 4 мкс, и в энергетическом диапазоне, начиная с 10 кэВ.

Авторы выражают свою признательность В.Б.Бруданину и В.Г.Калинникову за помощь в проведении работы.

Литература

1. Морозов В.А., Муминов Т.М. - ПТЭ, 1973, №1, с.79.
2. Будзински М., Бутцев В.С., Морозов В.А. и др. - ЯФ, 1975, т.21, с.913.
3. Жильцов А.А., Морозов В.А., Разов В.И. и др. - ПТЭ, 1987, №1, с.39.
4. Морозов В.А., Морозова Н.В., Лебедев Н.А. – Препринт ОИЯИ 36-95-303. Дубна. 1995.
5. Морозов В.А., Чурип И.Н., Морозова Н.В. – ПТЭ. 1998. №5. с.21-25.
6. Морозов В.А., Калининков В.Г., Морозова Н.В. и др. – ПТЭ. 1998. №5. с.26-31.
7. Адам И., Гонусек М., Кривопустов М.И. – Сообщение ОИЯИ Р7-85-131. Дубна. 1985.
8. Firestone R.B. - Table of Isotopes, VII. John Wiley & Sons, INC, 1996.
9. Ваврыцук Я., Громов К.Я., Злоказов В.Б. и др. – ЯФ. 1998. т.61. №8. с.1424-1426.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 июня 2000 года.

Редактор Е.Ю.Шаталова. Макет Н.А.Киселевой

Подписано в печать 31.08.2000
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 0,95
Тираж 300. Заказ 52215. Цена 1 р. 14 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
Дубна Московской области

Лебедев Н.А. и др.

P6-2000-135

Эталонные источники для калибровки
однокристалльного сцинтилляционного временного спектрометра
задержанных совпадений

Осуществлен подбор и изготовлен набор реперных источников для временной и энергетической калибровки однокристалльного сцинтилляционного временного спектрометра. Этот набор включал в себя моноизотопные источники ^{73}As , ^{153}Gd , ^{169}Yb , ^{241}Am и источники ^{225}Ac и ^{232}Th , имеющие длинные радиоактивные цепочки. Этот набор перекрывает временной интервал от 4 нс до 4 мкс и энергетический интервал, начинающийся с 10 кэВ. Некоторые из этих источников были включены в пластмассовые сцинтилляторы малого размера, что обеспечивало 4π -геометрию измерений.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2000

Перевод авторов

Lebedev N.A. et al.

P6-2000-135

Reper Radioactive Sources for Time and Energy Calibration
of Single Crystal Scintillation Time Spectrometers

There was made a set of reper radioactive sources for time and energy calibration of the single crystal scintillation time spectrometer. The set consists of ^{73}As , ^{153}Gd , ^{169}Yb , ^{241}Am sources and sources of ^{225}Ac and ^{232}Th including the products of their decay. This set of radioactive sources covers the time interval from 4 ns to 4 μs and energy interval starting from 10 keV. Some of these sources were included in the small size plastic scintillators providing the 4π geometry for radiation measurements.

The investigation has been performed at the Dzhelepov Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2000