

ОДНОКРИСТАЛЬНЫЕ 4π -ВРЕМЕННЫЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ СПЕКТРОМЕТРЫ ЗАДЕРЖАННЫХ СОВПАДЕНИЙ

В. А. Морозов^{а, 1}, Н. В. Морозова^а

^а Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, 141980, Россия

Рассмотрены два типа однокристалльных временных спектрометров, использующих сцинтилляторы с малым временем высвечивания, которые позволяют осуществлять поиск изомерных состояний ядер в диапазоне времен жизни уровней в нано- и микросекундной областях.

Two types of single-crystal time 4π spectrometers are considered, which use the scintillators with a short decay time. These spectrometers allow searching for short-lived excited and ground states of nuclei in the range of the nano- and microsecond region.

PACS: 29.30.–h; 29.40.Mc

Однокристалльная сцинтилляционная временная спектрометрия, позволяющая реализовать 4π -регистрацию задержанных совпадений, развивалась в двух направлениях: с использованием медленных сцинтилляторов, таких как NaI(Tl) [1], или с использованием пластмассовых сцинтилляторов с временем высвечивания в пределах 1 нс [2]. Методы регистрации задержанных совпадений различались: если в первом случае это был метод быстро-медленных совпадений с измерением времен жизни уровней в микросекундном диапазоне, то во втором случае это был автокорреляционный метод, который позволял измерять времена жизни уровней, начиная с наносекундного диапазона. Нижний предел измеряемых времен в этом диапазоне определялся длительностью импульса высвечивания сцинтиллятора на уровне порога срабатывания интегрального дискриминатора и величиной мертвого времени используемого дискриминатора.

1. АВТОКОРРЕЛЯЦИОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ЗАДЕРЖАННЫХ СОВПАДЕНИЙ

Блок-схема однокристалльного автокорреляционного спектрометра задержанных совпадений приведена на рис. 1. Поиск наносекундных изомерных состояний в ядрах при радиоактивном распаде осуществлялся с использованием временных фотоумножителей с малой длительностью выходных импульсов, например XR2020, длительность импульсов на выходе которого не превышает 2 нс. В спектрометре был использован фотоумножитель (ФЭУ) XR2020, дискриминатор (Д) ORTEC-582, триг-

¹E-mail: vamorozov@jinr.ru

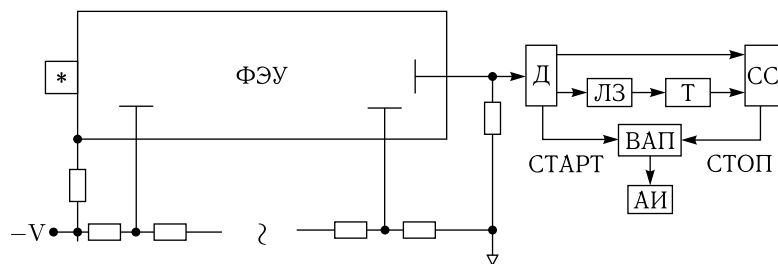


Рис. 1. Блок-схема однокристалльного автокорреляционного временного спектрометра задержанных совпадений

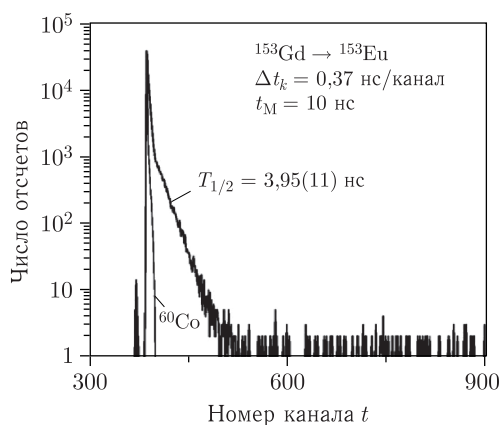


Рис. 2. Период полураспада состояния 103 кэВ в ^{153}Eu

гер, задающий временной интервал (Т), схема совпадений (СС), время-амплитудный преобразователь (ВАП) ORTEC-582, анализатор импульсов (АИ), а также линия задержки (ЛЗ).

Результаты проведенных измерений на временном спектрометре подобного типа приведены на рис. 2 и 3. Нижний предел измеряемых времен жизни уровней в этом случае будет не ниже 4 нс, что, как уже отмечалось, будет определяться длительностью импульса на выходе ФЭУ, временем высвечивания сцинтиллятора и мертвым временем дискриминатора t_M .

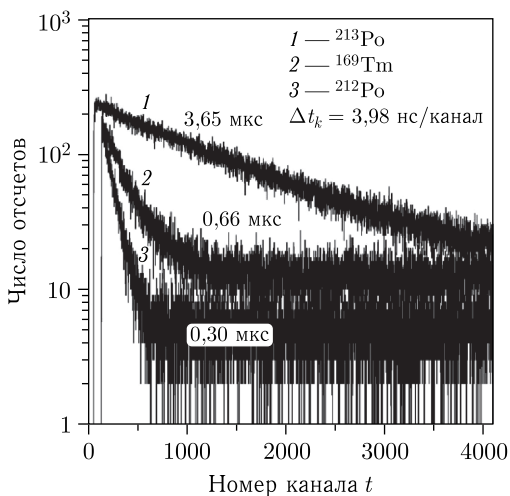


Рис. 3. Периоды полураспада основных и изомерных состояний в различных ядрах: 1 — ^{213}Po , $T_{1/2} = 3,65$ мкс (основное состояние); 2 — ^{169}Tm , $T_{1/2} = 0,66$ мкс (состояние 316 кэВ); 3 — ^{212}Po , $T_{1/2} = 0,30$ мкс (основное состояние). Цена канала $\Delta t_k = 3,98$ нс/канал

2. ОДНОКРИСТАЛЬНЫЙ СПЕКТРОМЕТР БЫСТРО-МЕДЛЕННЫХ СОВПАДЕНИЙ

Дальнейшее продвижение в измерении малых времен жизни уровней методом однокристалльной временной спектрометрии с использованием геометрии 4π обеспечил метод быстро-медленных совпадений с выделением сигналов СТАРТ и СТОП на последнем диноде и аноде ФЭУ, используя факт меньшей эффективности регистрации электронов на аноде ФЭУ по сравнению с эффективностью их регистрации на последнем диноде.

Блок-схема однокристалльного спектрометра быстро-медленных задержанных совпадений представлена на рис.4. В отличие от автокорреляционного спектрометра в данный спектрометр был введен дополнительный дискриминатор того же типа и быстрый усилитель (БУ) FA2111-CANBERRA, который помимо усиления и формирования сигнала осуществлял также и его инвертирование, а также был исключен триггер.

На рис.5 представлены результаты измерений β - e -совпадений ^{60}Co и e - e -совпадений ^{152}Eu . Полученное временное распределение при распаде ^{152}Eu помимо мгно-

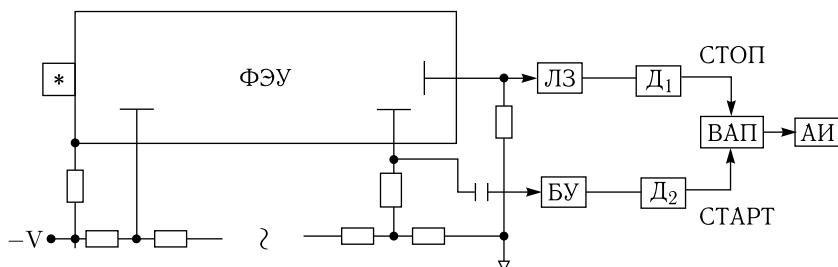


Рис. 4. Блок-схема однокристалльного спектрометра быстро-медленных задержанных совпадений

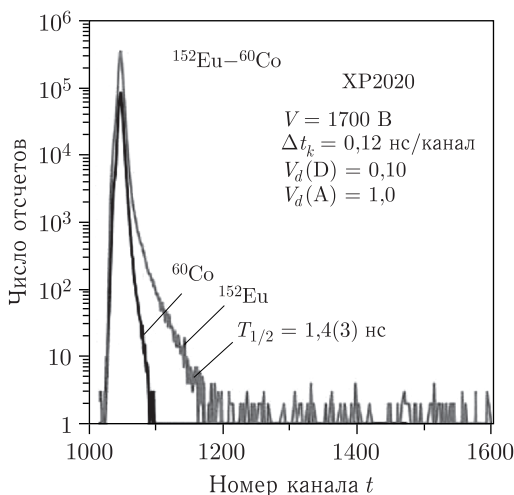


Рис. 5. Результаты временных измерений β - e -совпадений с источниками ^{60}Co и ^{152}Eu . Обозначения $V_d(D)$ и $V_d(A)$ означают пороги дискриминаторов в цепи динода D и цепи анода A

венной компоненты содержит также и задержанное распределение, которое соответствует известному времени жизни первого возбужденного состояния ^{152}Sm — $T_{1/2} = 1,3(1)$ нс [3].

На рис. 6 и 7 представлены результаты измерений этим методом периода полураспада основного состояния ^{212}Po и состояния с энергией 59 кэВ в ^{237}Np .

Результаты проведенных исследований согласуются с известными данными (таблица). Все измерения проводились с радиоактивными источниками, имплантированными в пластмассовые сцинтилляторы, что обеспечивало 4π -геометрию измерений с низким уровнем регистрации случайных совпадений.

Проведенные измерения фактически относятся к времяпролетной методике регистрации совпадений. Однако при этом, помимо регистрации мгновенных совпадений, при исследовании радиоактивного распада может происходить также регистрация и задержанных совпадений при наличии в ядре изомерного состояния в том случае, когда эффективность регистрации электронов на аноде ФЭУ меньше эффективности регистрации электронов на диноде вследствие просчета числа электронов. Поэтому не каждому сигналу СТАРТ будет соответствовать мгновенный сигнал СТОП. Последующий сигнал с динода, соответствующий разрядке изомерного состояния или регистрации некоррелированного события, будет соответствовать импульсу или задержанных, или случайных совпадений. Это позволяет установить или наличие, или отсутствие изомерного состояния в исследуемом ядре.

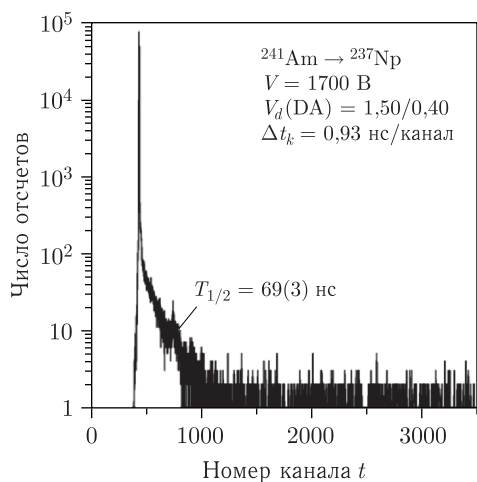


Рис. 6. Результаты измерений периода полураспада изомерного состояния в ^{237}Np

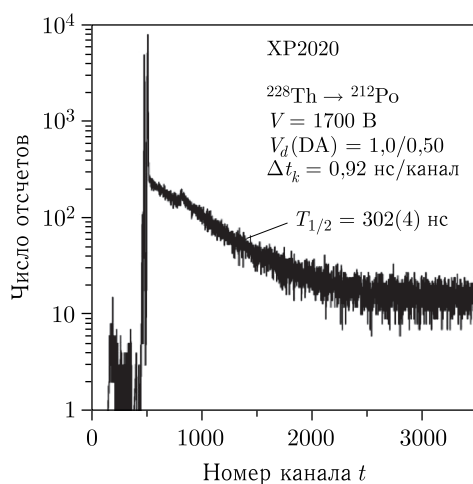


Рис. 7. Результаты измерений периода полураспада основного состояния ^{212}Po

Периоды полураспада состояний в ядрах ^{152}Sm , ^{212}Po , ^{237}Np

A	E , кэВ	$T_{1/2}$, нс [3]	$T_{1/2}$, нс (эксп.)
^{152}Sm	121,8	1,43(1)	1,44(3)
^{212}Po	0	299(2)	302(4)
^{237}Np	59,5	67(2)	69(3)

Регистрация задержанных совпадений этим методом с использованием одного ФЭУ позволяет определить не только значение периода полураспада изомерного состояния, но и установить коэффициент просчета числа регистрируемых электронов на аноде ФЭУ по сравнению с числом электронов, зарегистрированных на диноде.

Подобный подход определения коэффициента просчета при регистрации последовательности временных событий может быть реализован также и при изучении задержанных совпадений с использованием двух любых динодов ФЭУ, а не только пары последних электродов — анода и динода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tove P. A.* Electronic Time Analyzer Applied to Measurement of the Half-Lives of Metastable Nuclear States // Nucl. Instr. Meth. 1957. V. 1. P. 95.
2. *Морозов В. А., Морозова Н. В.* Однокристалльная сцинтилляционная временная спектрометрия // ЭЧАЯ. 2001. Т. 32, вып. 2. С. 378–430.
3. *Firestone R. B.* Table of Isotopes. VII. John Wiley & Sons, Inc. 1996.

Получено 5 августа 2025 г.