

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

95-303

P6-95-303

В.А.Морозов, Н.В.Морозова, Н.А.Лебедев

**ОДНОКРИСТАЛЬНЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ  
ВРЕМЕННОЙ СПЕКТРОМЕТР  
ДЛЯ ОН-ЛАЙН-ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

1995

## Однокристалльный сцинтилляционный временной спектрометр для он-лайн-экспериментов

Создан однокристалльный сцинтилляционный временной спектрометр для он-лайн-экспериментов по поиску изомерных состояний с периодами полураспада  $> 6$  нс в ядрах, удаленных от полосы  $\beta$ -стабильности. Спектрометр обеспечивает регистрацию излучений в геометрии, близкой к  $4\pi$ , и позволяет осуществить режим регистрации двумерных совпадений  $E-T$  при помощи ЭВМ. В спектрометре используется только один дискриминатор с низким порогом регистрации, что обеспечивает анализ генетически связанных излучений во всем энергетическом интервале, начиная с нескольких десятков кэВ. Проведены измерения времен жизни уровней 86 кэВ в  $^{155}\text{Gd}$  -  $T_{1/2} = 6,84(31)$  нс и 316 кэВ в  $^{169}\text{Tm}$  -  $T_{1/2} = 661(7)$  нс.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1994.

Перевод авторов

Morozov V.A., Morozova N.V., Levedev N.A.

P6-95-303

## A Single-Crystal Scintillation Time Spectrometer for On-Line Experiments

A single-crystal scintillation time spectrometer is developed for on-line experiments for the search of isomeric states with half-lives  $> 6$  ns in nuclei far from the  $\beta$ -stability line. The spectrometer allows recording of radiation in geometry close to  $4\pi$  and computer-aided recording of two-dimensional  $E-T$  coincidences. Only one discriminator with a low threshold of radiation detection is used in the spectrometer, which makes possible to analyse genetically related radiations in the whole energy interval starting with several keV. Half-lives of the 86 keV level in  $^{155}\text{Gd}$  with  $T_{1/2} = 6.84(31)$  ns and the 316 keV level in  $^{169}\text{Tm}$  with  $T_{1/2} = 661(7)$  ns are measured.

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

В практике физического эксперимента находят широкое применение сцинтилляционные спектрометры задержанных совпадений. В зависимости от применённых сцинтилляторов спектрометры могут регистрировать различные виды ядерного излучения:  $\gamma$ -кванты, электроны,  $\alpha$ -частицы и т.д. Наиболее широко применяются двухдетекторные и многодетекторные спектрометры совпадений, хотя известны также случаи применения однокристалльных спектрометров задержанных совпадений. Рассмотрим нетрадиционный тип спектрометра задержанных совпадений — однокристалльный сцинтилляционный временной спектрометр (ОСВС).

Метод однокристалльной временной спектрометрии является одним из вариантов метода задержанных совпадений, позволяющим при использовании одного сцинтиллятора и одного фотоумножителя осуществлять регистрацию задержанных совпадений в 4 $\pi$ -геометрии. Известны примеры применения ОСВС в измерениях времен жизни возбужденных состояний ядер в диапазоне от 8 до 60 мкс [1]. В этих спектрометрах применялись неорганические сцинтилляторы NaI(Tl) и использовалась классическая схема задержанных совпадений (рис.1) с отбором с помощью дифференциальных дискриминаторов  $\gamma$ -переходов, заселяющих и разряжающих изомерное состояние. В наших исследованиях [2—4] было показано, что этим методом можно столь же эффективно проводить измерения времен жизни возбужденных состояний ядер, в наносекундном диапазоне при использовании временных фотоумножителей и сцинтилляторов с малым временем высвечивания. Были измерены времена жизни возбужденных состояний от 8 до 640 нс. Возможность проведения измерений в 4 $\pi$ -гео-

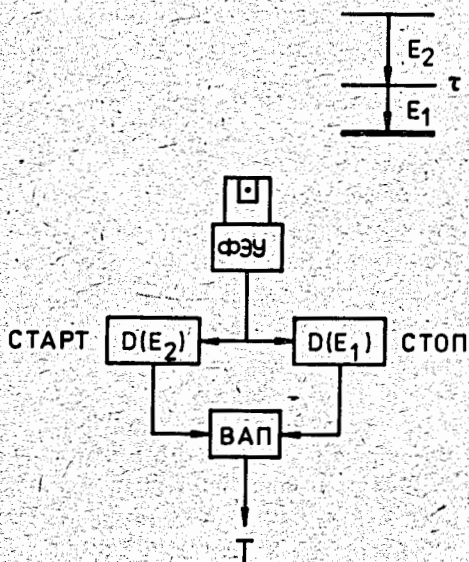
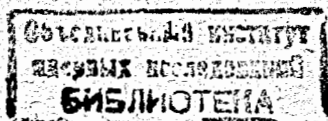


Рис.1. Принципиальная схема однокристалльного временного спектрометра совпадений



метрии делает спектрометр подобного типа наиболее пригодным в он-лайн-экспериментах на пучках заряженных частиц или нейтронов для поиска изомерных состояний, возбуждаемых в ядерных реакциях или при распаде радиоактивных изотопов. Способ определения энергии изомерного состояния или изомерного перехода при работе с пластическими сцинтилляторами менее однозначен по сравнению с использованием неорганических сцинтилляторов. Энергию изомерного перехода можно определить по краю комптоновского распределения  $\gamma$ -линии или в случае сильноконвертированного перехода по линиям электронов внутренней конверсии. При этом в рамках традиционного подхода (рис.1) необходимо снимать несколько последовательных серий кривых задержанных совпадений при различных порогах дискриминаторов до момента исчезновения эффекта задержанных совпадений. Однако при исследовании короткоживущих нуклидов реализация этого подхода затруднительна как при измерениях на одном радиоактивном источнике, так и в случае использования нескольких источников.

Нами был предложен [5] и реализован режим двумерных задержанных совпадений  $E$ - $T$  на спектрометре ОСВС с использованием, как и ранее, двух дискриминаторов в каналах СТАРТ и СТОП. В этом режиме происходит одновременная регистрация временного сигнала с времяамплитудного преобразователя (ВАП) —  $T$  и сигнала  $E$ , соответствующего энергии задержанного излучения. Новым элементом в этом спектрометре совпадений являлось наличие линейной схемы пропускания наносекундных импульсов (ЛСП) [6], управляемой схемой совпадений (СС), которая открывала схему пропускания на время, равное временному диапазону ВАП, и позволяло таким образом выделять задержанное излучение и проводить его энергетический анализ.

Однако наличие двух дискриминаторов в каналах СТАРТ и СТОП для спектрометра ОСВС не является обязательным. Можно обеспечить режим регистрации задержанных совпадений и при использовании одного дискриминатора (рис.2). Преимущества такого режима очевидны. Во-первых, упрощается схема спектрометра и повышается его надежность. Во-вторых, реализуется максимальная эффективность регистрации заселяющего и задержанного излучений, так как порог дискриминатора можно установить с небольшим превышением над уровнем шумов фотоумножителя. На рис.3 приведены временные диаграммы импульсов после прохождения различных электронных блоков (условно все импульсы показаны как импульсы положительной полярности). На схему линейного разветвителя (ЛР) импульсы поступают с анода фотоумножителя. При использовании фотоумножителя XR2020Q и сцинтиллятора NE104 с временем высвечивания  $\tau = 1,9$  нс длительность импульса на выходе ФЭУ не превышает 8 нс (длительность на уровне 0,1 высоты амплитуды импульса). В этом случае, если, например, период полураспада изомера  $T_{1/2} = 8$  нс, то за счет распада изомерного со-

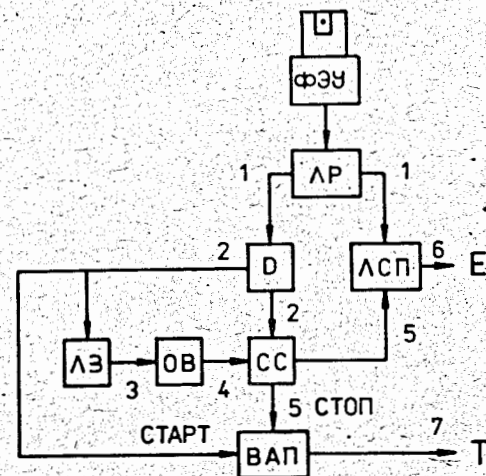
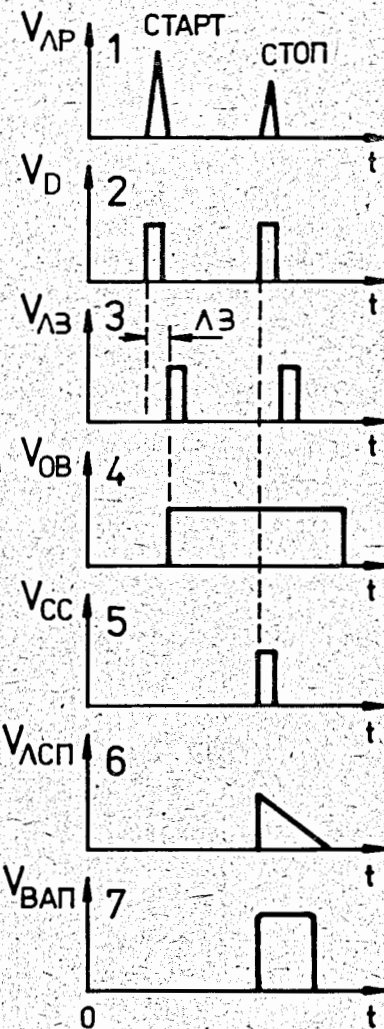


Рис.2. Блок-схема однокристального временного спектрометра двумерных ( $E$ - $T$ )-совпадений

Рис.3. Временные диаграммы импульсов в спектрометре

стояния в течение времени, равного длительности импульса с ФЭУ, повторное срабатывание дискриминатора произойдет не ранее, чем через 8 нс, и потери в скорости за счет задержанных совпадений достигнут 50%. При  $T_{1/2} = 4$  нс эти потери достигнут 75%. В первом приближении это тот предел в измерениях времен жизни, который достигим при измерении методом ОСВС. На рис.3.1 показаны условные амплитуды импульсов с ФЭУ: заселяющее излучение обозначено «1», возможное запаздывающее излучение — «2».

На рис.3.2 приведена последовательность импульсов на выходе дискриминатора, в качестве которого нами использовался дискриминатор ORTEC CFD-584. Мертвое время дискриминатора этого типа не превышает



20 нс. На рис.3.4 показан импульс с одновибратора (ОВ) [7], длительность которого устанавливается равной анализируемому временному интервалу. Задержка ЛЗ, введенная в этот канал, устраняет самосовпадения от стартовых импульсов в схеме совпадений (СС) — рис.3.5. Со схемы совпадений сигнал идет на канал СТОП ВАП-ОРТЕС ТРНС-476 и на канал управления ЛСП. На рис.3.6 представлен сигнал после ЛСП, в которой сигнал наносекундной длительности преобразуется в сигнал микросекундной длительности, после чего передается на амплитудный анализатор. Амплитуды импульсов на диаграммах 3.1 и 3.6 зависят от энергии заселяющего и задержанного излучений. Амплитуды импульсов на диаграмме 3.7 зависят от длительности временного интервала между генетически связанными импульсами. Регистрация информации может осуществляться по любому из каналов (энергетическому или временному) или с помощью многоканальных анализаторов, или при помощи ЭВМ, обеспечивающей двумерный режим регистрации совпадений E-T.

Данный спектрометр предназначен для обнаружения в он-лайн-экспериментах изомерных состояний, возбуждаемых в короткоживущих ядрах, удаленных от полосы  $\beta$ -стабильности. Эти исследования проводятся по программе ЯСНАПП на пучке протонов фазотрона ЛЯП ОИЯИ. Спектрометр предназначен для работы совместно с лентопротяжным устройством, носитель активности которого — лента — находится в вакууме [8]. Конструктивные особенности стыковочного узла ОСВС приведены на рис.4. Пластический

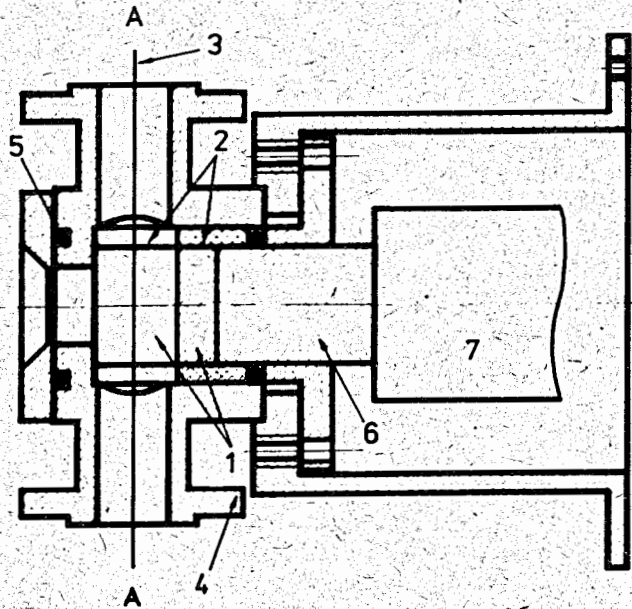


Рис.4. Конструктивное оформление детектирующего устройства

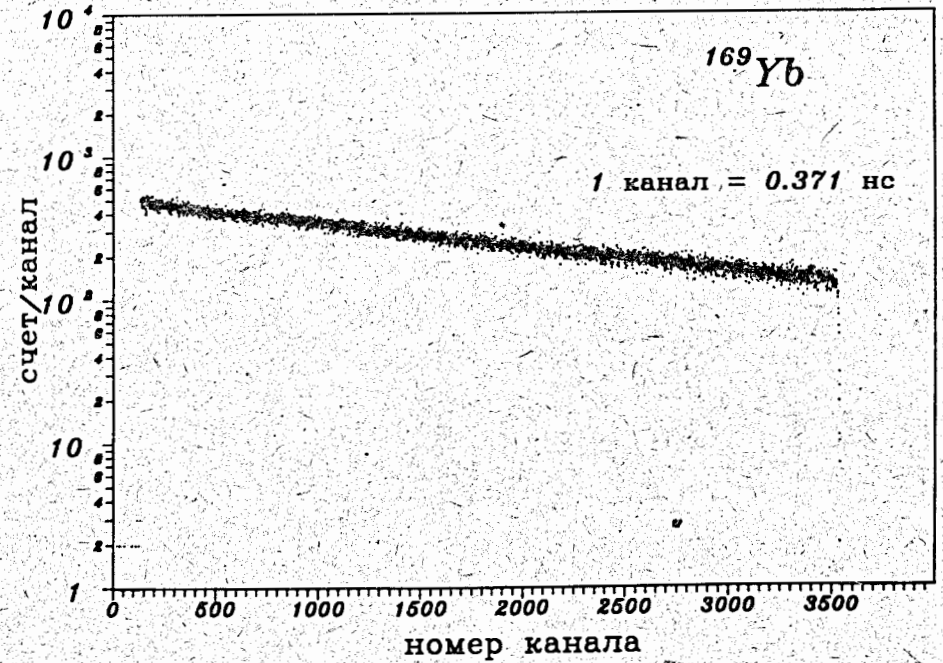


Рис.5. Временной спектр задержанных совпадений, полученный на источнике  $^{169}\text{Yb}$

сцинтиллятор (1) с отражателем из фторопласта (2) представляет собой цилиндр с продольной щелью для прохождения ленты (3) с активностью, которая перемещается в направлении оси А—А. По этой оси расположены также два фланца (4) для присоединения к лентопротяжному устройству. Сцинтиллятор находится в вакууме, вакуумное уплотнение (5) осуществляется на крышке и на световоде (6). В качестве фотоумножителя (7) используется ХР2020Q.

На рис.5 дан спектр задержанных совпадений, полученный при изучении распада изомерного состояния с энергией 316 кэВ в  $^{169}\text{Tm}$  —  $T_{1/2} = 661(7)$  нс. Порог регистрации электронов в данном случае не превышал 30 кэВ. Изомерное состояние заселялось переходом с энергией 65 кэВ, а разрядка осуществлялась переходами 175, 190 и 316 кэВ.

Пример самого малого времени жизни, измеренного методом ОСВС, приведен на рис.6. Изучался распад  $^{155}\text{Tb}$ . Полученный период полураспада

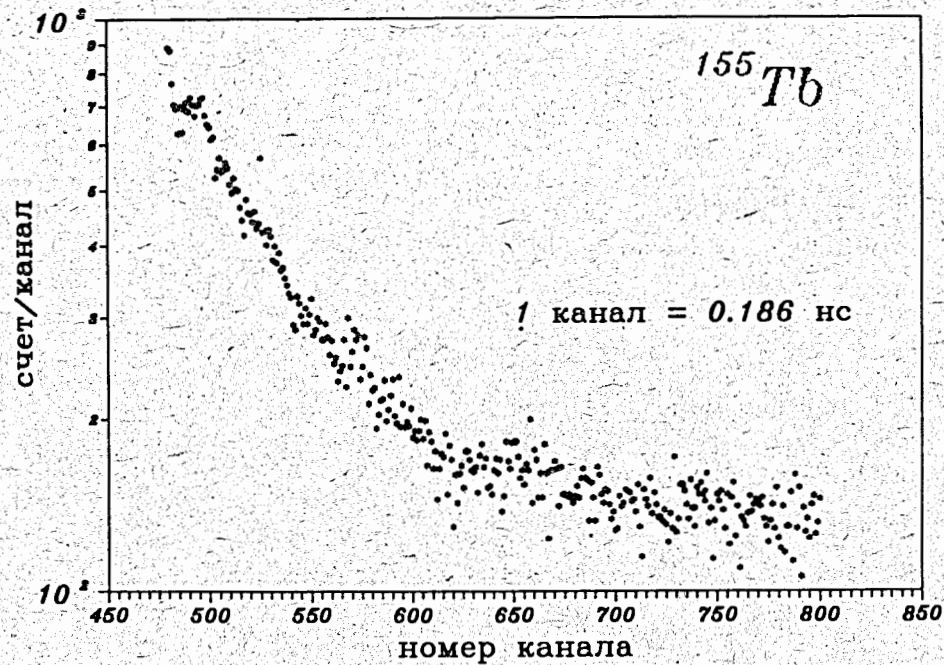


Рис.6. Временной спектр задержанных совпадений, полученный на источнике  $^{155}\text{Tb}$

$T_{1/2} = 6,84(31)$  нс соответствует известному времени жизни состояния 86 кэВ в  $^{155}\text{Gd}$ .

Ограничения метода ОСВС при измерении малых времен жизни уровней непосредственно связаны с длительностью анализируемого импульса, мертвым временем дискриминатора и возможностью коорректного анализа временного интервала между моментами последовательного срабатывания дискриминатора. Корректное определение периода полураспада возможно только при полном разделении во времени импульсов, связанных с заселением и разрядкой изомерного состояния. При наложении переднего фронта последующего импульса на задний фронт предыдущего импульса измерения также возможны, но ошибка в определении  $T_{1/2}$  будет зависеть от максимальной энергии излучения, разряжающего изомерный уровень, и от уровня порога дискриминатора.

Проведенные исследования дают возможность сделать заключение, что применение ОСВС для обнаружения изомерных состояний с  $T_{1/2} > 6$  нс обес-

печивает регистрацию излучений в телесном угле, близком к  $4\pi$ , а использование варианта спектрометра с одним дискриминатором с предельно низким порогом регистрации излучения обеспечивает анализ генетически связанных излучений во всем энергетическом интервале, начиная с нескольких кэВ. Помимо этого имеется возможность варьирования типов и размеров сцинтиллятора с целью обеспечения высокой эффективности регистрации излучения определенного вида и измерения времен жизни уровней в определенном временном интервале. Применение ОСВС обеспечивает возможность проведения исследований с источниками малых активностей, т.е. исследование радиоактивных изотопов, получаемых в ядерных реакциях с малыми сечениями. Особенно очевидны его преимущества при изучении слабозаселяемых изомерных состояний в он-лайн-экспериментах.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код гранта №95-02-05686-а). Авторы выражают свою признательность В.Б.Бруданину и В.Г.Калининникову за всестороннюю поддержку в проведении этих исследований.

#### Литература

1. Favret D. — LYCEN 6924, 1969, p.73.
2. Морозов В.А., Муминов Т.М. — ПТЭ, 1973, №1, с.79.
3. Будзински М. и др. — ЯФ, 1975, т.21, с.913.
4. Жильцов А.А. и др. — ПТЭ, 1987, №1, с.39.
5. Морозов В.А., Стегайлов В.И. — Авт. свид. СССР №1513407, 1989.
6. Будашов Ю.Г., Зинов В.Г., Краснобородов Б.С. — ПТЭ, 1972, №1, с.114.
7. Борейко В.Ф. и др. — Препринт ОИЯИ 13-6396, Дубна, 1972.
8. Адам И. и др. — Сообщение ОИЯИ 13-87-682, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 июля 1995 года.