

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

96-453

P13-96-453 e

В.А.Морозов, И.Н.Чурин, Н.В.Морозова

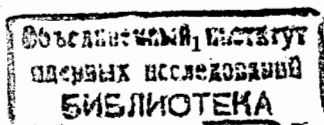
ТРЕХМЕРНЫЙ ОДНОКРИСТАЛЬНЫЙ
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ВРЕМЕННОЙ
СПЕКТРОМЕТР ЗАДЕРЖАННЫХ СОВПАДЕНИЙ

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

1996

В практике физического эксперимента находят широкое применение сцинтилляционные спектрометры задержанных совпадений. Рассмотрим однокристалльный сцинтилляционный временной спектрометр (ОСВС). Возможность проведения измерений в 4π -геометрии 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.

Метод однокристалльной временной спектрометрии является одним из вариантов метода задержанных совпадений, позволяющим при использовании одного сцинтиллятора и одного фотоумножителя осуществлять регистрацию задержанных совпадений в 4π -геометрии. Известны примеры применения ОСВС в измерениях времен жизни возбужденных состояний ядер в диапазоне от 7 нс до 60 мкс [1–5]. В этих спектрометрах применялись пластические или неорганические сцинтилляторы NaI(Tl) и использовалась классическая схема задержанных совпадений с отбором γ -переходов, заселяющих и



разряжающих изомерное состояние с помощью двух дифференциальных или интегральных дискриминаторов.

Однако наличие двух дискриминаторов в каналах СТАРТ и СТОП для спектрометра ОСВС не является обязательным. Можно использовать автокорреляционный режим регистрации задержанных совпадений при использовании одного дискриминатора, который выполняет роль временного формирователя (ВФ) (рис.1). Одновибратор (О) генерирует импульс,

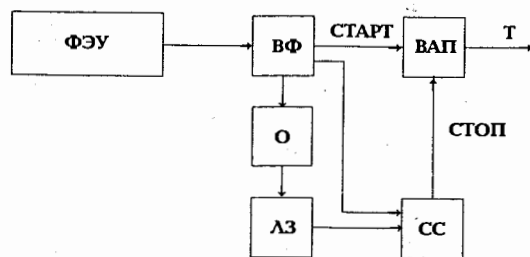


Рис.1 Принципиальная схема автокорреляционного спектрометра.

длительность которого равна длительности изучаемого временного интервала. Величина линии задержки (ЛЗ) выбирается не менее длительности импульса с дискриминатора — ВФ, чтобы исключить самосовпадения, СС — стробируемая схема совпадений, ВАП — времяамплитудный преобразователь. Преимущества такого режима очевидны, так как при этом реализуется максимальная эффективность регистрации заселяющего и задержанного излучений вследствие того, что порог дискриминатора можно установить предельно низко с небольшим превышением над уровнем шумов и послеимпульсов фотоумножителя.

Блок-схема спектрометра

Данная работа является дальнейшим развитием методики однокристалльной сцинтилляционной временной спектрометрии, предназначенной для поиска изомерных состояний. В рассматриваемом спектрометре задержанных совпадений ОСВС реализован режим трехмерных совпадений $E_1 - T - E_2$, позволяющий одновременно регистрировать временной спектр и энергетические спектры как задержанного излучения, так и излучения, заселяющего изомерное состояние. Принципиальная блок-схема спектрометра приведена на рис.2.

В спектрометре используется ФЭУ XR2020Q и сцинтиллятор NE104, время высвечивания которого $\tau = 1,9$ нс. При этом длительность импульса на выходе ФЭУ не превышала 8 нс (длительность на уровне 0,1 высоты амплитуды импульса). Временной сигнал снимался с динода ФЭУ ($R_q = 50$ Ом) и через быстрый усилитель (БУ) ORTEC FFA-579 подавался на временной формирователь (ВФ1) ORTEC CFD-584, мертвое время которого не превышало 20 нс. Временное разрешение спектрометра $2\tau_0$ не превышало 0,5 нс.

Сигнал для энергетического анализа снимался с анода ФЭУ ($R_q = 50$ Ом) и через разветвитель подавался на линейные схемы пропускания наносекундных импульсов (ЛСП) [6], линейные усилители (ЛУ) и на амплитудно-цифровые преобразователи (АЦП).

В спектрометре данного типа в отличие от спектрометра ОСВС двумерных совпадений $E - T$ [5] более полно реализованы функциональные возможности времяамплитудного преобразователя (ВАП) ORTEC TRHC-476. В качестве строба, подаваемого на стробируемую схему совпадений (СС), используется сигнал BUSY, который синхронизирован по времени с началом преобразования временного интервала ВАП и соответствует по длительности

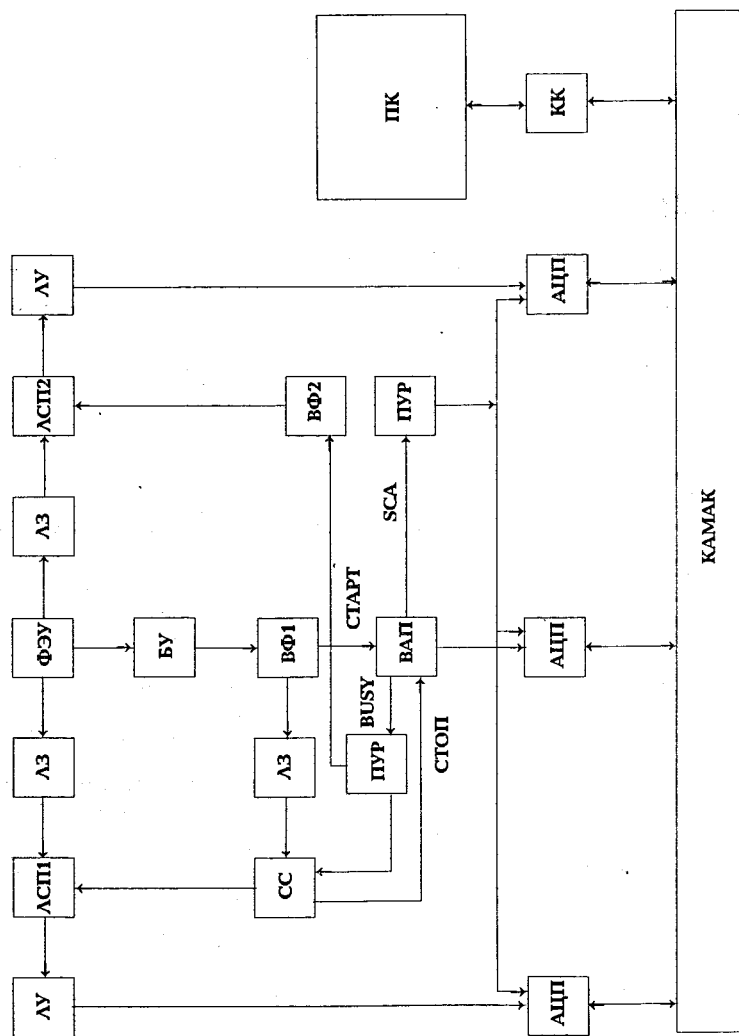


Рис.2 Блок — схема ОСВС трехмерных задержанных совпадений.

выбранному временному диапазону ВАП. Сигналы с СС используются в качестве сигнала СТОП, подаваемого на ВАП и в качестве строба управляющего линейной схемой пропускания наносекундных импульсов (АСП1), соответствующих задержанному излучению.

Стробирующий импульс для управления амплитудными кодировщиками снимается с выхода SCA ВАП. Этот импульс соответствует полезному событию, попадающему в выбранный временной интервал. Преобразователи уровней (ПУР) логических сигналов BUSY и SCA используются с целью преобразования сигналов с этих блоков в сигналы, управляющие последующими электронными блоками. Временной формирователь — (ВФ2) выполняет роль формирователя строба для АСП2, пропускающей импульсы, которые соответствуют излучению, заселяющему изомерное состояние. Линии задержки используются для временного согласования импульсов.

Система накопления данных и программное обеспечение

Система сбора данных содержала три преобразователя амплитуда — код типа КА007 [7], крейт КАМАК и контроллер крейта КК009 [8], который был соединен кабелем с платой ПК009, установленной в персональный компьютер (ПК).

АЦП КА007 имеет 4096 каналов, частоту генератора импульсов 100МГц, интегральную нелинейность для 99% шкалы — 0.05%, дифференциальную нелинейность — 1% при 4096 каналах. Температурная нестабильность коэффициента преобразования — 0.1 канала/градус. Преобразование амплитуды в код начинается по внешнему стробу, подаваемому на все три АЦП от блока логики отбора событий. По окончании преобразования каждый АЦП подает в магистраль свой сигнал запроса LAM, который будет снят после считывания амплитуды. Разряды R1 — R12 считанного кода содержат амплитуду,

а R14, R15 и R16 содержат число-признак АЦП, задаваемое клавишным переключателем на задней панели блока. Установлены признаки 1,2 и 3. Контроллер крейта выполняет обмен 16-разрядными данными между модулями КАМАК и компьютером, позволяет обработке сигналов запроса и подачу сигнала прерывания в компьютер.

Для организации набора трехмерных спектров написана программа RIS3D, выполняющая следующие функции:

а) ввод с клавиатуры и вывод в отдельный файл на диск информации об условиях и параметрах эксперимента;

б) считывание с амплитудно-цифровых преобразователей события, состоящего из кодов трех амплитуд с признаками после появления сигналов LAM;

в) запись кодов амплитуд, принадлежащих каждому событию, последовательно во внутренний буфер, при заполнении буфера до 64 К слов выполняется вывод данных в двоичный файл, содержащий последовательно идущие трехмерные события;

г) регистрация амплитуд в три независимых интегральных спектра с их выводом на экран в логарифмическом масштабе;

д) вывод на экран оперативной информации о скорости набора данных и времени, остающемся до конца набора.

е) после окончания набора на диск выводится последний двоичный файл с трехмерными событиями и три интегральных спектра совпадений с данными в текстовом виде.

Программа RIS3D позволяет выбирать частоту обновления экрана со спектрами для сокращения потерь данных во время их регистрации. После набора спектры могут быть представлены в графическом виде любыми программами визуализации данных. Обработка трехмерных событий

выполняется с помощью программы PAW [9]. Подготовка данных для PAW осуществляется специально написанной программой R2V, которая собирает в текущей директории все двоичные файлы с трехмерными событиями, проверяет по признакам правильность следования событий и слов внутри события, а затем создает текстовый файл с данными, пригодный для представления в виде NTUPLE.

Экспериментальные результаты

Результаты проведенных измерений на ОСВС представлены на рис.3,4,5. Регистрация излучения осуществлялась пластическим сцинтиллятором

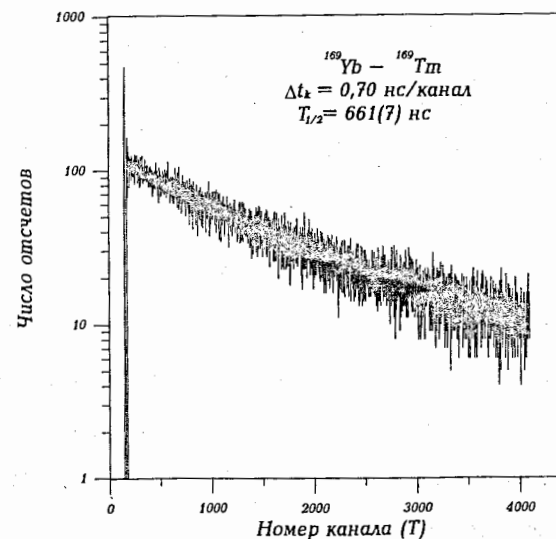


Рис.3 Кривая задержанных совпадений при распаде состояния 316 кэВ в ^{169}Tm .

размером $\varnothing 20 \times 15$ мм в геометрии 2π при пороге регистрации $E \geq 30$ кэВ. Нами использовался радиоактивный источник ^{169}Yb , при распаде которого возбуждаются два изомерных состояния с $T_{1/2} = 52,6(9) \text{ нс}$ (энергия изомерного состояния $E = 379$ кэВ) и с $T_{1/2} = 661(7) \text{ нс}$ ($E = 316$ кэВ). Первое изомерное

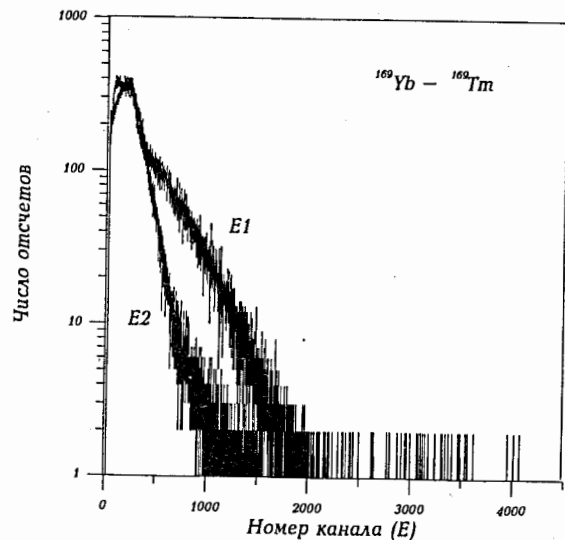


Рис.4 Спектр излучения, разряжающего изомерное состояние — E1.
Спектр излучения, заселяющего изомерное состояние — E2.

состояние заселяется при К-захвате и при разрядке состояния 473 кэВ переходом 93 кэВ. Разряжается оно на второе изомерное состояние переходом с $E=63$ кэВ, которое помимо этого канала заселяется также и при К-захвате. При разрядке этого состояния испускается ряд гамма-лучей, наиболее интенсивные среди которых имеют энергию 109, 118, 130, 177 и 198 кэВ. На рис.3 приведен временной спектр, представляющий время жизни второго изомерного состояния $T_{1/2}=661$ нс. Полученное значение подтверждается известными литературными данными. На рис.4 — приведены спектры излучений заселяющих и разряжающих изомерное состояние. Так как коэффициенты усиления по энергетическим каналам были установлены равными, то видно, что изомерное состояние заселяется низкоэнергетическим излучением E2, а разряжается более высокоэнергетичным

излучением E1. Это наглядно видно на рис.5, где приведен двухмерный спектр E1 — E2 - совпадений. Экспоненциальное распределение с $T_{1/2}=53$ нс

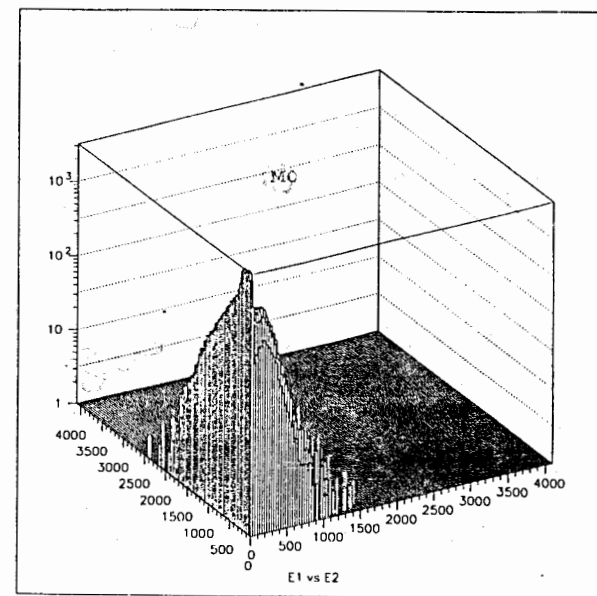


Рис.5 Двумерный спектр E1 — E2 совпадений при распаде ^{169}Yb .

идентифицируется менее однозначно, так как в начальной части интегрального временного спектра мы имеем 3 временных распределения, соответствующих распаду изомерных состояний с $T_{1/2}=53$ нс, $T_{1/2}=661$ нс, а также процессу накопления возбужденных состояний с $E=316$ кэВ ($T_{1/2}=661$ нс) при распаде состояния $E=379$ кэВ с $T_{1/2}=50$ нс (последовательный распад двух изомерных состояний). В данном эксперименте при тех условиях измерения, которые были описаны ранее, эффективность регистрации задержанных совпадений составила 11% по отношению к излучению, зарегистрированному детектором. Отметим, что заселение по разным каналам первого изомерного состояния

($E=379$ кэВ) в ^{169}Yb составляет около 94% на распад, а второго — около 100%. Естественно, что эффективность регистрации задержанных совпадений для разных изомрных каскадов будет разная, так как она зависит от интенсивности переходов в % на распад, заселяющих изомерное состояние и геометрических размеров сцинтиллятора.

Пример минимального периода полураспада, определенного этим методом, приведен на рис.6, на котором представлена кривая задержанных

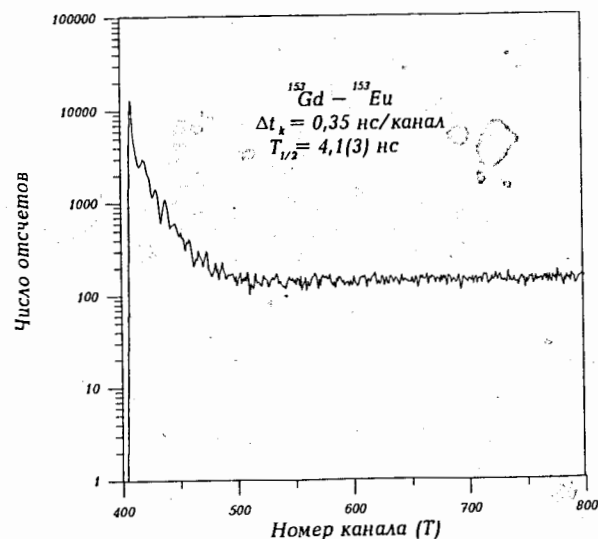


Рис.6 Кривая задержанных совпадений для состояния 103 кэВ в ^{153}Eu ($T_{1/2}=4,1(3)$ нс).

совпадений, соответствующая времени жизни состояния 103 кэВ в ^{153}Eu с $T_{1/2}=4,1(3)$ нс. Интенсивность заселения изомерного состояния составляет 15% на распад. Для данного типа ФЭУ значения мертвого времени временного формирователя и интенсивности заселения изомерного состояния значение $T_{1/2}=4$ нс, очевидно, следует считать нижним пределом при измерениях времен жизни подобным методом. Высокая эффективность регистрации

задержанных совпадений данным спектрометром позволяет широко использовать его в он-лайн-экспериментах для поиска изомерных состояний. Помимо этого спектрометр данного типа может эффективно использоваться также и для исследования процессов образования послеимпульсов в фотоумножителях [10].

Авторы выражают свою признательность за приготовление радиоактивного источника Н.А.Лебедеву и А.Ф.Новгородову.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код гранта № 95-02-05686а).

Список литературы

1. Favret D. — LYCEN 6924, 1969, p.73.
2. Морозов В.А., Муминов Т.М. — ПТЭ, 1973, №1, с.79.
3. Будзински М., Бутцев В.С., Морозов В.А. и др. — ЯФ, 1975, т.21, с.913.
4. Жильцов А.А., Морозов В.А., Разов В.И. и др. — ПТЭ, 1987, №1, с.39.
5. Морозов В.А., Морозова Н.В., Лебедев Н.А. — Препринт ОИЯИ Р6-95-303, Дубна, 1996.
6. Будяшов Ю.Г., Зинов В.Г., Краснобородов Б.С. — ПТЭ, 1972, №1, с.114.
7. Антюхов В.А., Вьонг Дао Ви, Динель З. и др. — Препринт ОИЯИ, 10-80-650, Дубна, 1980.
8. Антюхов В.А., Георгиев А., Гонс З. и др. — Препринт ОИЯИ, Р10-87-928, Дубна, 1987.
9. PAW. The Complete Reference. Version 2.03. CERN Program Library Long Writeup Q121, 1993, CERN, Geneva, Switzerland.
10. Морозов В.А., Морозова Н.В. — Препринт ОИЯИ, Р13-96-243, Дубна, 1996.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 декабря 1996 года.