

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Дубна**

**P13-2001-7**

**В.А.Морозов, Н.В.Морозова**

**СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ВРЕМЕННОЙ  
СТАБИЛЬНОСТИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО  
СПЕКТРОМЕТРА ЗАДЕРЖАННЫХ СОВПАДЕНИЙ**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

**2000**

Один из наиболее широко используемых методов измерения времен жизни уровней возбужденных ядер - это метод задержанных совпадений, включающий в себя анализ экспоненциального временного распределения, если разрешающее время спектрометра  $2\tau_0$  меньше времени жизни возбужденного состояния ядра  $\tau$ . При использовании быстрых органических сцинтилляторов или неорганических сцинтилляторов типа  $BaF_2$  можно получить разрешение, не превышающее 100 пс, что обеспечивает определение времен жизни в несколько десятков пикосекунд. Дальнейшее продвижение в область малых времен жизни в методе задержанных совпадений возможно только при использовании другого подхода, связанного с определением времен жизни по сдвигу центров тяжести последовательно измеренных кривых задержанных и мгновенных совпадений (КЗС и КМС). Однако применение этого метода сопряжено с рядом трудностей, обусловленных многочисленными аппаратурными эффектами, приводящими к неконтролируемому сдвигу сравниваемых кривых совпадений. Эти эффекты были проанализированы в работе [1]. Наиболее важными из них являются:

- температурная нестабильность различных электронных блоков временного спектрометра;
- различие интенсивностей двух сравниваемых источников;
- нетождественность спектров излучений исследуемого и реперного источников в пределах выбранных энергетических интервалов;
- эффект наложений, наблюдаемый при больших нагрузках детекторов и приводящий к искажению истинной формы кривых задержанных и мгновенных совпадений вследствие случайного совпадения импульсов;
- искажение формы кривых совпадений при регистрации предимпульсов, предшествующих основным импульсам [2] (ранее этот эффект был установлен в некоторых типах ФЭУ);
- различие эффективных толщин детектирующего вещества, обусловленное различием эффективных сечений взаимодействия с веществом излучений разных энергий;

– вклад в совпадения от исследуемого каскада совпадений от других каскадов, например, вследствие конечного энергетического разрешения детекторов временного спектрометра или наличия фонового распределения под пиком исследуемого излучения.

В измерениях времен жизни в пикосекундной области наиболее трудно учесть эффекты, связанные с нестабильностью аппаратуры. Ранее для учета и исключения этих эффектов в сцинтилляционных временных спектрометрах совпадений была создана и применена система контроля временной стабильности аппаратуры, охватывающая весь измерительный тракт - от фотоумножителей до АЦП включительно - и основанная на использовании полупроводниковых источников света [3]. Спектрометр совпадений включал в себя магнитно-линзовый  $\beta^-$  - спектрометр с регистрацией электронов сцинтилляционным детектором и сцинтилляционный спектрометр для регистрации  $\gamma$ -лучей. Эта система контроля использовалась при измерениях времен жизни уровней в пикосекундной области. Система включала в себя генераторы наносекундных импульсов и две пары светодиодов. Подача на каждую пару светодиодов импульсов от генераторов с соответствующими задержками обеспечивала создание во временном спектре двух реперных пиков. Пик, соответствующий совпадениям от радиоактивного источника, находился между ними. Задержка сигналов между светодиодами и генераторами обеспечивалась при помощи радиочастотного кабеля - РК-100-7-13. Использование двухреперной системы контроля стабильности является принципиальным, так как несмотря на малый температурный коэффициент примененного кабеля использование только одного репера с кабельной линией задержки соответствующей длины может привести к сдвигу реперного пика на величину порядка  $20 \text{ пс}/1^\circ\text{C}$  при диапазоне временного конвертора 100 нс. Применение двух реперов с равновеликой разностью задержек в каналах «Старт» и «Стоп» позволяет скомпенсировать этот эффект. Времена жизни возбужденных состояний при условии сохранения цены канала временного спектрометра определяются как разность положений центров тяжести кривых задержанных и мгновенных совпадений относительно усредненного момента реперных пиков  $\tau = (D - P) \Delta t$ , где  $D = K3C - (R1 + R2) / 2$  и  $P = KMC - (R1 + R) / 2$ . При учете

нестабильности аппаратуры, приводящей к изменению цены канала временного спектрометра, время жизни определяется из выражения

$$\tau = [D(R_{1p} - R_{2p}) / (R_{1d} - R_{2d}) - P] \Delta t,$$

где  $\Delta t$  - цена канала временного анализатора, полученная в начале эксперимента. Коэффициент  $(R_{1p} - R_{2p}) / (R_{1d} - R_{2d})$  позволяет ввести в дальнейшем поправку на возможное изменение цены канала временного спектрометра, обусловленное нестабильностью аппаратуры. Разработанная система контроля позволила провести успешные измерения периодов полураспада возбужденных состояний ядер в диапазоне от 40 до 100 пс, обеспечивая при этом контроль стабильности положения центров тяжести кривых совпадений в пределах 4 пс. Однако в настоящее время возможна модернизация подобной системы контроля за счет использования оптической линии задержки, которая позволяет исключить некоторые источники нестабильности самой системы.

На рис.1 приведена блок-схема двухдетекторного сцинтилляционного спектрометра трехмерных совпадений с системой контроля временной

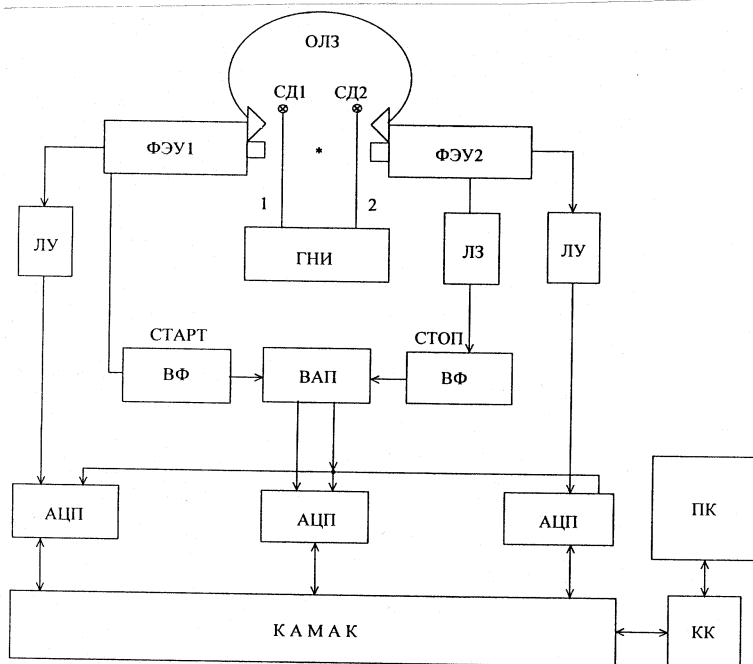


Рис.1. Блок-схема спектрометра задержанных совпадений

стабильности аппаратуры. В спектрометре использовались ФЭУ XR2020Q и электронные блоки фирмы ORTEC: временные формирователи (ВФ)- CFD-584, времяамплитудный преобразователь (ВАП) - ТРНС-476, а также АЦП типа КА007 [4], контроллер крейта КАМАК (КК) [5] и персональный компьютер (ПК) типа Pentium. Система контроля включает в себя: оптическую линию задержки (ОЛЗ), которая представляет собой световод из плексигласа диаметром 2 мм и длиной 2 м; 2 светодиода (СД) и двухканальный генератор наносекундных

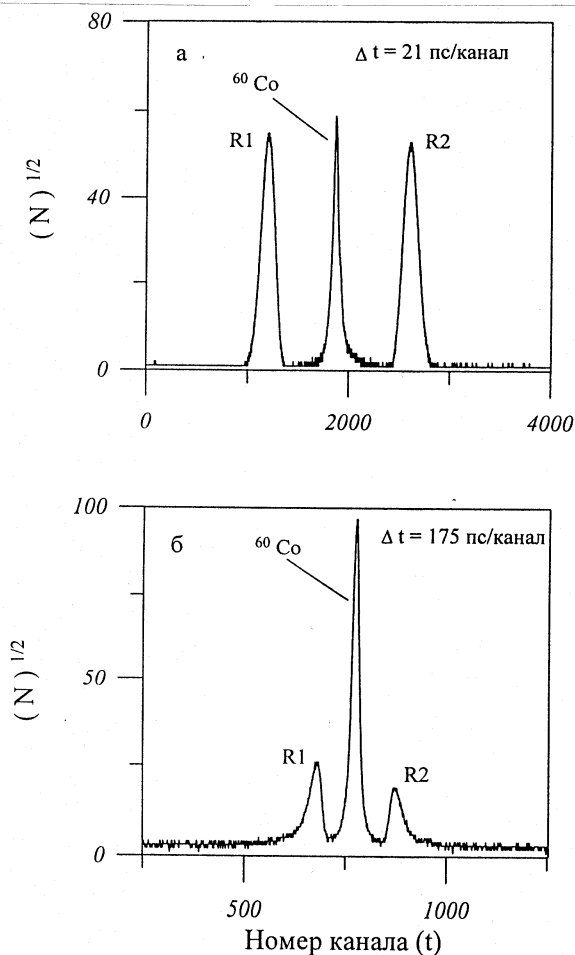


Рис.2.а) Временной спектр от радиоактивного источника  $^{60}\text{Co}$  и двух светодиодов.  
 б) Временной спектр от источника  $^{60}\text{Co}$  и двух дополнительных радиоактивных источников

импульсов (ГНИ). Стыковка ОЛЗ с фотокатодами ФЭУ осуществлялась с использованием треугольных стеклянных призм, один из краев большей грани которых помещался на фотокатод, а к другому краю пристыковывался световод со стороны цоколя ФЭУ. Подобная компоновка обеспечивала прямой доступ к фотокатоду ФЭУ и давала возможность использования ФЭУ в любой спектрометрической системе. Отличительной чертой разработанной системы является использование одной линии задержки как для формирования опережающего, так и для формирования запаздывающего временных сигналов по отношению к реальным совпадениям на исследуемом радиоактивном источнике. При этом свет от светодиодов распространяется в ОЛЗ во встречных направлениях.

Репер R1 формируется от канала 2 генератора наносекундных импульсов, а репер R2 - от канала 1. В качестве генератора применялся генератор наносекундных интервалов И1-8. Генератор обеспечивал введение задержки в канал 2 по отношению к сигналу канала 1. Для исключения просчетов в реперных пиках величина задержки должна превышать мертвое время АЦП. Частота генератора варьировалась в зависимости от продолжительности эксперимента для обеспечения набора в реперных пиках определенной статистики. На рис.2а приведен временной спектр с использованием источника  $^{60}\text{Co}$  и двух СД. Один из сцинтилляционных детекторов с пластмассовым сцинтиллятором малого объема регистрировал  $\beta^-$ -частицы, а другой сцинтиллятор большего объема регистрировал  $\gamma$ -излучение.

На рис.3 приведены данные, характеризующие смещение центра тяжести КМС в зависимости от времени, с введением и без введения поправки на нестабильность установки. На рисунке представлены также средние значения отклонения КМС и коридоры соответствующих среднеквадратичных ошибок. Заметим, что точность определения центра тяжести кривой совпадений находится из выражения

$$\Delta T = \frac{\sigma}{\sqrt{N_0}}, \text{ или } \frac{0,425 \cdot 2\tau_0}{\sqrt{N_0}},$$

где  $\sigma$  - стандартное отклонение,

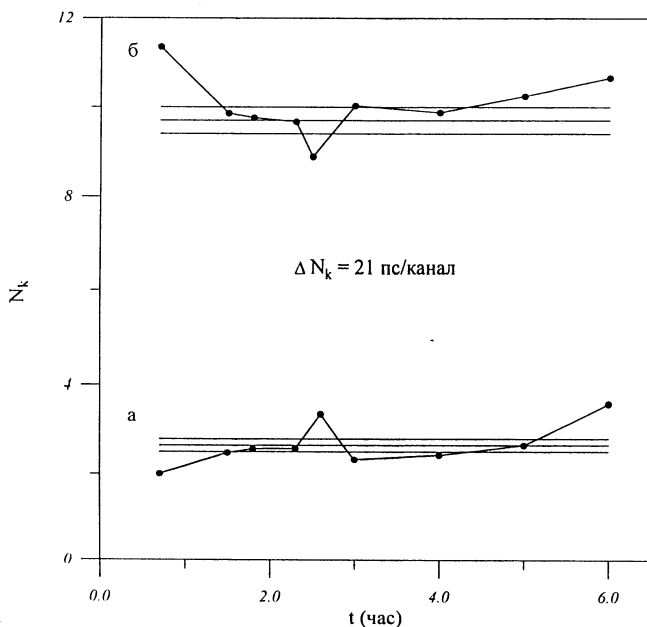


Рис.3. Смещение центра тяжести КМС в зависимости от времени. С учетом (а) и без учета (б) поправки на стабильность установки ( $N_k$  - номер канала)

$N_0$  - полное число отсчетов в кривой совпадений,

$2\tau_0$  - ширина на полувысоте кривой совпадений (разрешающее время спектрометра).

В наших измерениях разрешающее время спектрометра для КМС составляло  $2\tau_0 \approx 1$  нс, число отсчетов в КМС -  $N_0 \sim 50000$ , а в R1 и R2 - по  $\sim 100000$ . Достигнутая точность в определении положения центра тяжести пиков с учетом нестабильности аппаратуры  $\Delta T$  равна  $\pm 3,6$  пс, что фактически определяется набранной статистикой. Положение центра тяжести КМС без учета нестабильности аппаратуры определяется с точностью  $\pm 6,1$  пс. Дальнейшее повышение точности определения центра тяжести кривых совпадений связано с набором большей статистики в кривой истинных совпадений, так как увеличение статистики в реперных пиках достигается простым увеличением частоты генератора. Следует отметить, что аппаратурные эффекты, приводящие к

изменению фронтов импульсов, обеспечивают неконтролируемые сдвиги кривой совпадений. Подобного рода эффекты можно продемонстрировать на примере смещения центра тяжести кривой совпадений при изменении напряжения на одном из фотоумножителей. В этом случае смещения пиков могут происходить по двум причинам: изменение времени пролета электронов в ФЭУ и изменение фронта импульса на выходе ФЭУ. Эффект, связанный с изменением времени пролета электронов, будет компенсироваться вследствие параллельного сдвига реперных пиков и пика совпадений, а изменение фронта импульса, которое пропорционально  $\tau_{\phi} \sim 1/\sqrt{V}$ , будет приводить к неконтролируемому сдвигу центров тяжести всех пиков.

На рис.4 представлены результаты изучения сдвига центров тяжести соответствующих пиков в зависимости от изменения напряжения на ФЭУ в

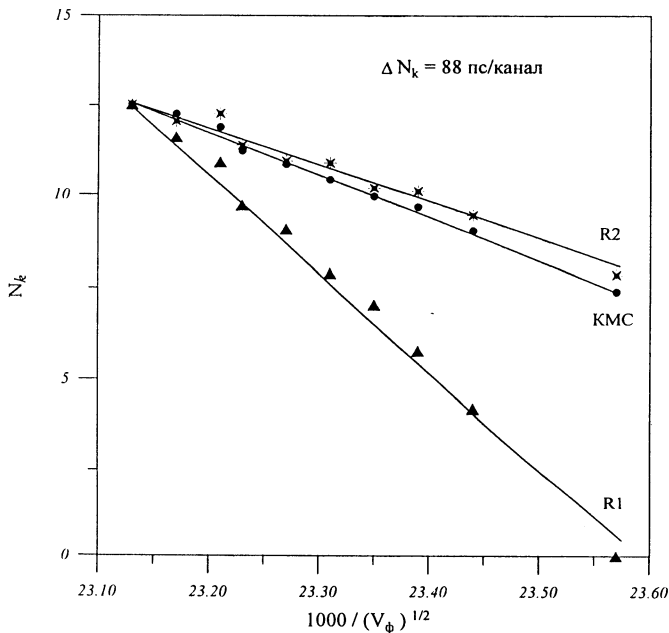


Рис.4.Смещение центров тяжести кривых совпадений в зависимости от изменения напряжения на ФЭУ ( $N_k$  - номер канала)



канале «Старт». Напряжение на ФЭУ изменялось в пределах от 1800 до 1870 В. На рисунке приведены абсолютные величины сдвига пиков, совмещенных в точке, соответствующей напряжению  $V_{\phi}=1870$  В. В данном спектрометре совпадений на каждый ФЭУ приходят импульсы с фронтами трех видов: импульсы от пластических сцинтилляторов, импульсы от СД и импульсы от СД, прошедшие через ОЛЗ. Задержка, вносимая ОЛЗ, пропорциональна ее геометрической длине, т.е.  $\Delta t \sim l \cdot n/c$ , где  $l$  - длина линии,  $n$  - коэффициент преломления плексигласа, а  $c$  - скорость распространения света. Оптическая длина линии превосходит ее геометрическую длину вследствие многократного внутреннего отражения света, проходящего по линии, и помимо положительного фактора, позволяющего уменьшить длину линии для достижения определенной задержки, приводит также к изменению фронта импульса от СД. Наибольшее влияние оказывается на сдвиг центра тяжести кривой R1, что, очевидно, связано с существенным изменением фронта малого по амплитуде импульса, приходящего на фотокатод ФЭУ1 через ОЛЗ от СД2, при изменении напряжения на этом ФЭУ. Отметим, что временные формирователи (ORTEC CFD-584) работали в режиме CF и оптимизация режима работы дискриминатора проводилась по пику мгновенных совпадений. Сдвиг кривой мгновенных совпадений в зависимости от изменения напряжения на ФЭУ составил 6,6 пс/В при  $V_{\phi}=1800$  В, что соответствует коэффициенту стабилизации высоковольтного блока питания  $\sim 5 \cdot 10^{-4}$ . Поэтому при измерениях в пикосекундном диапазоне необходимо использовать высоковольтные блоки питания с коэффициентом стабилизации по крайней мере на порядок больше или запитывать делители обоих ФЭУ от одного блока питания.

В принципе, можно полностью отказаться от светодиодов и высокостабильных генераторов наносекундных импульсов, если в используемой конфигурации спектрометра вместо стеклянных призм использовать призмы из пластмассовых сцинтилляторов. На рис.3б приведен пример подобного варианта создания реперных пиков. Временной спектр был получен при облучении пластмассовых призм дополнительными, малыми по активности радиоактивными источниками. В качестве источников облучения сцинтилляционных призм

использовались источники  $^{232}\text{Th}$ . Их вклад в энергетические спектры, регистрируемые на основных сцинтилляторах, может быть исключен при последующей обработке трехмерных спектров E1-T-E2 путем выборки соответствующих окон по оси T. Используемая система контроля стабильности созданного временного спектрометра обеспечивает точность в определении положения центров тяжести кривых совпадений на уровне 3,6 пс при статистике  $\sim 100000$  в каждом пике, позволяя улучшить по крайней мере в 1,5 раза точность определения положения центра тяжести КМС по сравнению с обработкой временных спектров на используемом спектрометре без введения поправки на нестабильность аппаратуры. Дальнейшее повышение точности определения сдвигов центров тяжести кривых совпадений может быть связано с заменой электронной системы подсветки фотокатодов ФЭУ подсветкой от радиоактивных источников, с использованием одного высоковольтного источника для питания делителей ФЭУ, с улучшением временного разрешения спектрометра, с набором большей статистики как в кривой задержанных совпадений, так и в реперных пиках, а также с адекватным описанием формы кривых как задержанных, так и реперных совпадений.

Авторы считают своим долгом выразить признательность В.Б.Бруданину и В.Г.Калинникову за поддержку в работе.

#### Литература

1. Берлович Э.Е., Василенко С.С., Новиков Ю.Н. - Времена жизни возбужденных состояний атомных ядер. Л.: Наука . 1972.
2. Ланько Э.В., Домбровская Г.С. - ПТЭ. 1967. №5, с.218.
3. Морозов В.А., Муминов Т.М. - ПТЭ. 1970. №2, с.53.
4. Антюхов В.А., Вьонг Дао Ви, Динель З. и др.//Препринт ОИЯИ 10-80-650, Дубна,1980.
5. Антюхов В.А., Георгиев А., Гонс З. и др.//Препринт ОИЯИ P10-87-929, Дубна,1987.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 января 2001 года.

Морозов В.А., Морозова Н.В.

P13-2001-7

Система контроля временной стабильности сцинтилляционного спектрометра задержанных совпадений

Создана система контроля временной стабильности спектрометра задержанных совпадений на основе светодиодов и оптической линии задержки, обеспечивающая точность  $\pm 3,6$  пс и позволяющая проводить измерения времен жизни уровней радиоактивных ядер по сдвигу центра тяжести кривых мгновенных и задержанных совпадений в пикосекундном диапазоне.

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

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2001

#### Перевод авторов

Morozov V.A., Morozova N.V.

P13-2001-7

The Time Stability Control System  
for Delayed Coincidence Scintillation Spectrometer

The time stability control system was developed for delayed coincidence spectrometer on base of light emitting diodes and optical delay line. Precision of the time stability determination is  $\pm 3,6$  ps which gives opportunity to measure the half lives of the short lived states of radioactive nuclei in picosecond range.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2001

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

Подписано в печать 27.02.2001

Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 0,9

Тираж 315. Заказ 52519. Цена 1 р. 08 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
Дубна Московской области