

0-572

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

13 - 6995

ОМЕЛЬЯНЕНКО
Альбина Аркадьевна

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
НЕЙТРОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ
ОРГАНИЧЕСКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ
С РАЗДЕЛЕНИЕМ НЕЙТРОНОВ И ГАММА-КВАНТОВ
ПО ФОРМЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ИМПУЛЬСОВ

Специальность 05.260 -
приборы экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1973

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики
Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук М.А.Бак,
кандидат технических наук Б.В.Фефилов.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт атомной энергии им.И.В.Курчатова, г.Москва

Автореферат разослан " " 1973года

Защита диссертации состоится " " 1973 г.

в " " часов на заседании Объединенного Ученого совета
Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций
Объединенного института ядерных исследований /г.Дубна/ в
конференц-зале Лаборатории нейтронной физики.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Отзывы и замечания просим направлять по адресу:

г.Дубна, Московской области, Объединенный институт
ядерных исследований. Ученому секретарю Объединенного
Ученого совета ЛНФ и ЛЯР.

Ученый секретарь Совета

Э.Н.Каржавина

13 - 6995

ОМЕЛЬЯНЕНКО
Альбина Аркадьевна

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
НЕЙТРОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ
ОРГАНИЧЕСКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ
С РАЗДЕЛЕНИЕМ НЕЙТРОНОВ И ГАММА-КВАНТОВ
ПО ФОРМЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ИМПУЛЬСОВ

Специальность 05.260 -
приборы экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Физические эксперименты, проводимые в Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований, связаны с регистрацией спектров нейтронов методом времени пролета. Для детектирования нейтронов в широком диапазоне значений энергий от медленных нейтронов до нейтронов с энергией ~ 10 Мэв во многих экспериментах применяются детекторы на основе органических сцинтилляторов, кристаллических и жидкостных. Такие детекторы обладают хорошим временным разрешением и высокой эффективностью регистрации нейтронов, но при этом они имеют также хорошую эффективность регистрации гамма-излучения, которое присутствует в виде существенного фона в измерительных павильонах импульсного быстрого реактора ИБР, сопутствует пучкам реактора, а также возникает в результате взаимодействия нейтронов с веществом мишеней. Таким образом, во многих экспериментах при детектировании нейтронов органическими сцинтилляторами возникает проблема регистрации нейтронов в присутствии сильного фона гамма-излучения. Большой фон гамма-излучения увеличивает загрузку по входам электронной аппаратуры и ухудшает рабочие характеристики нейтронных детекторов, их временное и амплитудное разрешение. Кроме того, для получения более точных результатов необходимо увеличивать время эксперимента. В настоящее время развиваются способы регистрации нейтронов при большом фоне гамма-квантов, которые используют разделение нейтронов и гамма-квантов по форме сцинтилляционных импульсов. Такое разделение возможно на основе временных различий сцинтилляционных импульсов от тяжелых и легких частиц, что, например, наблюдается для большинства органических сцинтилляторов.

В диссертации представлены результаты работ по исследованию и разработке нейтронных детекторов с разделением нейтронов и гамма-квантов по форме сцинтилляционных импульсов, а также по разработке электронной аппаратуры для нейтронных измерений. Работы /1,2,4-9/ выполнены автором в 1963-1972 г.г. в отделе радиоэлектроники Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ и отражают основное содержание диссертации.

В главе I дан обзор электронных способов разделения нейтронов и гамма-квантов по форме сцинтилляционных импульсов в органических сцинтилляторах на основе опубликованных работ.

Особенность большинства органических сцинтилляторов состоит в том, что для них сцинтилляционный импульс может быть представлен в виде суммы быстрой, основной по содержанию заряда, компоненты и нескольких медленных, из которых одна является преобладающей. Дискриминация по форме сцинтилляционных импульсов электронными способами (ДФИ) в органических сцинтилляторах основывается на различном относительном содержании заряда в быстрой и медленных компонентах сцинтилляций от тяжелых и легких частиц. ДФИ возможна в широком диапазоне энергий нейтронов: от медленных, регистрируемых по реакциям $^{10}\text{B}(n,\alpha)$ и $^6\text{Li}(n,\alpha)$, сопровождающимся вылетом мегавольтных заряженных частиц, удобных для регистрации, до быстрых нейтронов (с энергией $E_n > 0,5$ МэВ) при использовании упругого рассеяния нейтронов на водороде, что позволяет регистрировать протоны отдачи.

Токовые импульсы с выхода фотоумножителя (ФЭУ) преобразуются с помощью ДФИ таким образом, что для импульсов, соответствующих одному и тому же значению энергии, теряемой в сцинтилляторе нейтронами и гамма-квантами, на выходе устройства n, γ -разделения регистрируются две группы разных по длительности или амплитуде импульсов (два аппаратных пика). Качество n, γ -разделения в основном характеризуется: коэффициентом качества $M = \Delta / (\sigma_1 + \sigma_2)$, где Δ - расстояние между нейтронным и гамма-пиками, а σ_1 и σ_2 - их ширина на полувысоте; степень подавления гамма-квантов или коэффициентом отбора; энергетическим диапазоном разделяемых частиц и т.д. С точки зрения качества n, γ -разделения в обзоре рассмотрены лучшие современные сцинтилляторы: кристаллы стибьена, жидкие сцинтилляторы (ЖС) типа NE-213, NE-218, NE-224, NE-228, NE-321A (Nuclear Enterprises, B.B. Ltd), KL-359, KL-369 (Koch-light Laboratories), пластмассовые сцинтилляторы типа NE-103, NE-150 и т.д. Приводятся их сравнительные характеристики.

Электронные схемы n, γ -разделения классифицированы, в отличие от ранее предложенной классификации /I0,II/, по способам использования различий в форме сцинтилляционных импульсов.

Определены две группы, к которым сводится многообразие методических решений в этой области: способ временных отметок и способ зарядового сравнения. Для первой группы характерно использование двойного дифференцирования и конвертирования времени нарастания в амплитуду. Ко второй группе относится зарядовое сравнение компонент с помощью пассивных

и активных четырехполюсников, нелинейных режимов ФЭУ, осциллографа, режима двумерного анализа. Анализ показал, что способ временных отметок даёт возможность получать более широкий энергетический диапазон разделяемых частиц и большую допустимую счётную загрузку $\sim 8 \cdot 10^4$ имп/сек по сравнению с $\sim 10^4$ имп/сек для способа зарядового сравнения. Преимущество способа зарядового сравнения проявляется в низкоэнергетической области разделяемых частиц ($E_n = 50$ кэв + 300 кэв), а эффективное n, γ -разделение достигается с помощью более простой и надёжной аппаратуры.

Во второй главе описывается новое применение режима двумерного анализа для целей n, γ -разделения [1,2]. Использование режима двумерного анализа многоканального анализатора позволяет выполнять n, γ -разделение непосредственно в памяти анализатора и существенно снизить порог n, γ -разделения. Для этого разработана аппаратура с использованием амплитудного анализатора АИ-4096-2, в которой основным блоком является блок выделения компонент (БВК). БВК вырабатывает сигнал с амплитудой, пропорциональной части заряда, содержащейся в быстрой компоненте токового импульса на выходе ФЭУ (б.к.), и сигнал, амплитуда которого пропорциональна суммарному заряду токового импульса на выходе ФЭУ (с.з.). Сигналы б.к. и с.з. поступают на токовые входы двух блоков амплитудного преобразования анализатора (x и y). Зарядовое сравнение осуществляется непосредственно в памяти анализатора, и сигналы от нейтронов и гамма-квантов регистрируются раздельно в ячейках памяти, лежащих на двух прямых линиях в плоскости УХ (по оси X - число импульсов).

Разработано и исследовано три варианта схем БВК, которые отличаются способами получения сигнала б.к. из двухполярного сигнала, образовавшегося после дифференцирования анодного сигнала RC - цепью. Наиболее низкий энергетический порог разделения нейтронов и гамма-квантов ($E_\gamma \approx 10$ кэв) получен со схемой БВК, использующей резонансный контур [1]. Аппаратура была применена для исследования ФЭУ (ФЭУ-82, ФЭУ-52, ФЭУ-13, 56AVP), для исследования свойств разделения нейтронов и гамма-квантов кристаллами стильбена и жидкими сцинтилляторами при более низких энергиях разделяемых частиц, а также при разработке технологии изготовления жидкого сцинтиллятора для регистрации медленных нейтронов, не уступающего по качеству $NE-321A$ (аналога $NE-321A$). В результате испытаний был выбран ФЭУ типа ФЭУ-82. Для отечественных кристаллов стильбена различного размера исследована пороговая область n, γ -разделения, начиная с энергии $E_\gamma \approx 30$ кэв. Для аналога $NE-321A$ получен $M = 0,8 + 0,9$ [2] (область α - пика реакции $^{10}B(n, \alpha)^7Li$), что не уступает лучшим зарубежным результатам. Было проведено также исследование нейтронных детекторов на основе ЖС различного объема (V), данные сведены в таблицу. Удовлетворительные результаты ($M = 1,0 + 0,6$) получены с контейнерами для ЖС цилиндрической формы с $V = 14$ см³ (рабочей площадью $S = 12,5$ см²) и $V = 150$ см³ ($S = 50$ см²), и контейнером, имеющим форму усеченного конуса с $V = 350$ см³ ($S = 130$ см²).

Третья глава посвящена разработке и испытаниям одного из вариантов схемы зарядового сравнения (дискриминатора формы ДФ) ^{13/}. Несмотря на все преимущества использования режима двумерного анализа, то, что для его осуществления требуется многоканальный амплитудный анализатор или даже более дорогое многомерное устройство, является и его недостатком. Кроме того, подобные анализирующие устройства имеют большие мертвые времена и ограничивают детекторную загрузку. Поэтому для многих экспериментов требуется аппаратура с отдельной специальной схемой n, γ -разделения. Схема ДФ ^{14/} является основным узлом разработанных нейтронных детекторов с n, γ -разделением. Она выполнена на полупроводниковых элементах - транзисторах типа ГТ-313 и ГТ-311, диодах Д18.

Приводятся характеристики ДФ, полученные с помощью радиоактивных источников: α - источника (смесь естественных изотопов урана) с энергией α - частиц $E_{\alpha} \approx 4,5$ Мэв, а также $Po+Be, ^{137}Cs, ^{60}Co$. для кристаллов стильбена получено: степень подавления гамма-квантов $\sim 10^3$ при эффективности регистрации α - частиц, близкой к 100%, энергетический порог n, γ - разделения $E_{\alpha} \approx 300$ кэв, энергетический диапазон разделяемых частиц ≈ 40 ^{14/}. В случае ЖС степень подавления гамма-квантов была не менее 10^3 , а потери эффективности регистрации медленных нейтронов, получаемых замедлением нейтронов от $Po+Be$ с помощью слоя парафина, не превышали 10%, как это следовало из кадмиевой разности ^{15/}. Испытания ДФ показали, что схема может успешно применяться как для эффективного разделения быстрых нейтронов, регистрируемых по протонам отдачи и гамма-фона, так

и для эффективного разделения медленных нейтронов, регистрируемых в ЖС в результате реакции $^{10}B(n, \alpha)^7Li$, и гамма-фона.

В IV главе описаны спектрометрические полупроводниковые блоки, разработанные для нейтронных измерений ^{16-8/}, которые широко используются, начиная с 1963 года в ЛНФ ОИЯИ, а также в других организациях, во многих физических экспериментах. Эти блоки входят в стандартизованную "линейку" блоков, одну из первых в СССР, которая была разработана коллективом сотрудников отдела радиоэлектроники ЛНФ для комплектования спектрометров и другой регистрирующей аппаратуры взамен применявшейся ранее ламповой. Аппаратура выполняется в типовой для ОИЯИ стойке, что позволяет изменять блок-схему эксперимента по мере надобности. Приводятся принципиальные схемы и технические характеристики следующих блоков: эмиттерного повторителя с высоким входным сопротивлением ($R_{вх} \geq 100$ ком); эмиттерного повторителя для размещения в корпусе сцинтилляционного счетчика; многоканального линейного сумматора (модификации с 8 и 4 входами) микросекундного диапазона; быстрого амплитудного дискриминатора для входных импульсов длительностью $t_u \approx 0,1 + 0,5$ мксек, с диапазоном входных амплитуд $0,4 + 10$ в (регулировка порогов ступенями через $0,1$ в) и максимальным мертвым временем 1,5 мксек; медленного дифференциального дискриминатора ^{19/} для входных импульсов с $t_u \approx 0,2 + 10$ мксек, диапазоном входных амплитуд $0,5 + 10$ в и с укороченным собственным мертвым временем (максимальное мертвое время $\sim 3,5$ мксек). Узлы разработанных блоков просты

в настройке и надежны в работе. Это обусловило их широкое использование в других схемах, в том числе логических: в интегральных дискриминаторах, схемах совпадений микросекундного диапазона (схема двойных совпадений, схема четверных совпадений) и др.

В пятой главе диссертации приводятся примеры применения разработанных нейтронных детекторов с n, γ -разделением в ЛФУ для изучения реакций деления. При поиске спонтанно-делящегося изомера ^{236m}U в реакции радиационного захвата нейтронов с энергией 60 кэВ ядрами $^{235}_{92}\text{U}$ с нейтронным счетчиком на основе кристалла стильбена (размером 70x70 мм) было получено подавление γ - γ совпадений в $3 \cdot 10^3$ раз при эффективности выделения нейтронов, зарегистрированных в счетчике, $80 \pm 20\%$ и степени подавления гамма-квантов 600. В результате эксперимента была дана оценка границы изомерного отношения для ^{236m}U . Была исследована также возможность применения аппаратуры с n, γ -разделением для измерения сечений деления и радиационного захвата изотопов урана и плутония в области энергий взаимодействующих нейтронов до 50 кэВ. Анализ суммарных временных спектров нейтронов и гамма-квантов и временных спектров нейтронов, с другой стороны, показал, что разработанная в диссертации методика и аппаратура может быть эффективно использована для измерения парциальных сечений взаимодействия резонансных нейтронов с делящимися ядрами и для исследования некоторых других характеристик процесса деления.

Результаты работы, представленной диссертацией, вкратце сводятся к следующему:

1. Проведены анализ и классификация опубликованных работ по электронным способам разделения нейтронов и гамма-квантов. Всё многообразие технических решений классифицировано на две группы - способ зарядового сравнения и способ временных отметок. Такая классификация позволяет быстро оценить достоинства и недостатки любых электронных схем n, γ -разделения. Современное состояние техники n, γ -разделения даёт основание сделать вывод, что в настоящее время при наличии фотоумножителей с высоким квантовым выходом и низкими собственными шумами, а также жидких и кристаллических сцинтилляторов с хорошими разделяющими свойствами, возможно эффективное отделение различными электронными способами нейтронов от гамма-квантов в широком диапазоне значений энергий нейтронов от 50 + 200 кэВ до 30 МэВ при импульсных нагрузках $\leq 10^4 + 10^5$ имп/сек. Имеется ограничение предельных размеров объема применяемых жидких сцинтилляторов (~ 1 л). Допустимые счетные нагрузки определяются в настоящее время свойствами сцинтилляторов и ФЭУ в большей степени, чем способностью различных электронных схем разделять по форме сцинтилляционные импульсы при этих нагрузках.

2. Применен режим двумерного анализа для разделения нейтронов и гамма-квантов. Для этого была разработана аппаратура, в том числе схема выделения компонент с низким энергетическим порогом. Методика оказалась весьма эффективной для исследования и разработки отдельных узлов нейтронных детекторов с n, γ -разделением. С помощью предложенной методики было проведено исследование разделяющих свойств ряда отечественных сцинтилля-

торов - кристаллов стиблена и жидких сцинтилляторов. Исследование характеристик сцинтилляторов было проведено в более низкоэнергетической области энергий разделяемых частиц, чем это было выполнено в других работах (энергетический порог составил $E_{\gamma} \approx 10$ кэв вместо $E_{\gamma} \approx 800$ кэв).

Изучено влияние технологии приготовления ЖС на их разделяющие свойства.

Совместно с И.М.Столетовой разработана технология изготовления ЖС с метилборатом для детектора с разделением медленных нейтронов и гамма-квантов. Получен ЖС, близкий по своим характеристикам к лучшему ЖС типа NE-321A.

Исследовано влияние объема контейнера с ЖС на качество n, γ -разделения.

Исследованы различные типы ФЭУ и их применимость для детекторов с n, γ -разделением по способу зарядового сравнения.

3. Разработан дискриминатор формы сцинтилляционных импульсов (ДФ) для эффективного разделения нейтронов и гамма-квантов по способу зарядового сравнения компонент. Порог ДФ составляет около ~ 200 мкс при $R_{\text{вх}} \approx 100$ ом. Амплитудный диапазон дискриминируемых входных импульсов $40 : 1$. Разрешающее время схемы $\sim 0,5$ мксек. Допустимое изменение напряжения питания ФЭУ составляет ± 100 в от оптимального.

Исследована работа ДФ в детекторе с кристаллом стиблена. Порог спектрометра составил $E_{\alpha} \leq 300$ кэв. Эффективность выделения α -частиц из гамма-фона близка к 100%. При этом степень подавления гамма-квантов была $\sim 10^3$. Результаты

получены со следующими радиоактивными источниками:

α - источник (смесь естественных изотопов урана, $E_{\alpha} \approx 4,5$ Мэв); ^{137}Cs ; ^{60}Co ; Po+Be .

Исследована работа ДФ в детекторе с жидким сцинтиллятором типа NE-321A (с бором) объемом 14 см^3 . Энергетический порог составил $E_{\gamma} \approx 6$ кэв, степень подавления гамма-квантов $\approx 10^3$. Потери эффективности регистрации медленных нейтронов не превышали $\sim 10\%$. Нейтроны источника Po+Be замедлялись с помощью слоя парафина.

Результаты, полученные при разделении нейтронов и гамма-квантов для кристаллов стиблена и жидкого сцинтиллятора с бором, находятся на уровне лучших мировых результатов.

4. При разработке и исследовании нейтронных детекторов с n, γ -разделением была использована типовая стойка со стандартизированной детекторной аппаратурой. Стандартизированная детекторная аппаратура, представляющая собой "линейку" спектрметрических блоков, разработана в Лаборатории нейтронной физики при участии автора в 1963-1969гг. Спектрметрические блоки, разработанные диссертантом, широко используются в ЛНФ (в большинстве физических экспериментов, проводимых на ИБР и ЭГ-5) и в других организациях. К ним относятся следующие блоки: два типа эмиттерных повторителей, многоканальный линейный сумматор, два типа амплитудных дифференциальных дискриминаторов и другие схемы на их основе.

5. Совместно с группой физиков создана экспериментальная установка с использованием детектора с n, γ -разделением для

поиска спонтанно-делящегося изомера ^{236m}U в реакции радиационного захвата нейтронов с энергией 60 кэВ ядрами $^{235}_{92}\text{U}$ на электростатическом генераторе ЭГ-5. Проведен ряд экспериментов и получена верхняя граница для относительного выхода спонтанно-делящегося изомера ^{236m}U .

6. Создана также экспериментальная установка с применением n, γ - разделения и исследована возможность её применения для измерения сечений деления и радиационного захвата изотопов урана и плутония в области энергий взаимодействующих нейтронов до 50 кэВ. Получены предварительные экспериментальные результаты, которые показывают, что данная методика и аппаратура могут быть эффективно использованы для измерения парциальных сечений взаимодействия резонансных нейтронов с делящимися ядрами и для исследования некоторых других характеристик процесса деления.

Разработанная диссертантом аппаратура нашла применение в ряде экспериментов. Результаты диссертации опубликованы в работах /1,2,4-9/.

Литература.

1. А.А.Омельяненко. Препринт ОИЯИ, 3-5183, Дубна, 1970.
2. А.А.Омельяненко, И.М.Столетова, Е.Н.Матвеева, ПТЭ, № 2, 56, 1971.
3. В. Sabbah and A. Suhami. NIM, 58, 102 (1968).
4. А.А.Омельяненко, ПТЭ, № 1, 80, 1970.
5. А.А.Омельяненко. Труды семинара по ядерной электронике, г.Варна, НРБ, 1-12 июня 1969г., Изд. ОИЯИ, 13-4720, Дубна (1969), стр.129.
6. А.А.Омельяненко, А.Б.Попов, К.Г.Родионов, Хен Еен Гынь, В.И.Чивкин, Препринт ОИЯИ, 1994, Дубна, 1965.
7. А.А.Омельяненко, К.Г.Родионов, Хен Еен Гынь, Препринт ОИЯИ 2280, Дубна, 1965.
8. Ли Сам Рён, А.А.Омельяненко, К.Г.Родионов, Б.Н.Соловьев. Сб. Материалы У Симпозиума ОИЯИ по ядерной электронике, Алуста, 1968; Изд. ОИЯИ, 13-3914, Дубна, 1968.
9. А.А.Омельяненко, Препринт ОИЯИ, 2788, Дубна, 1968.
10. А.А. Курашов. Тезисы к докладу в сб. "Материалы Симпозиума по ядерной электронике", Алуста, 1969, Изд. ОИЯИ, 13-4161, Дубна, 1968.
11. В.Г. Бровченко. ПТЭ, №4, 7, 1971.
12. F.L. Jackson and G.E. Thomas. RSI, 36, 419 (1965).