

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

3349/83

24/6-83

13-83-227

Е.А.Сокол, Фам Нгок Чыонг, В.И.Смирнов,
М.П.Иванов, Г.М.Тер-Акопян, Л.П.Челноков

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ФОНА
НЕЙТРОННОГО ДЕТЕКТОРА
ПРИ РЕГИСТРАЦИИ РЕДКИХ СОБЫТИЙ
СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ

1983

В Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ в течение ряда лет для регистрации редких событий спонтанного деления ядер применяются нейтронные детекторы с ^3He -счетчиками. Опишем кратко принцип работы таких детекторов ^{1/}.

Исследуемый образец помещается в чувствительный объем, находящийся в центре блока замедлителя. Вокруг образца в замедлителе находятся расположенные в несколько рядов ^3He -счетчики. Нейтроны, испущенные из образца, за короткое время /2-3 мкс/ замедляются до тепловой скорости и затем в течение характерного времени, составляющего несколько десятков мкс, диффундируют в замедлителе. Благодаря высокой вероятности захвата тепловых нейтронов ядрами ^3He для значительной доли событий спонтанного деления ядер за промежуток времени в несколько десятков мкс регистрируется два или более нейтронов. Электронная схема детектора ^{3/} ведет поиск таких событий всякий раз, когда срабатывает какой-либо из ^3He -счетчиков. Чувствительность нейтронных детекторов для регистрации спонтанного деления определяется, в основном, двумя характеристиками - эффективностью регистрации одиночных нейтронов ϵ_n и фоном установки. Последний вариант детектора с ^3He -счетчиками, описанный в работе ^{1/}, имел эффективность регистрации одиночных нейтронов $\epsilon_n = 0,48$ и $0,73$ для образцов объемами 10 и $0,3 \text{ дм}^3$ соответственно. Фон детектора определялся двумя причинами - аппаратурными и взаимодействием космических лучей с материалами детектора, образца и окружающих предметов. Меры по снижению аппаратурного фона уже описывались ^{1/}, в данной работе рассматриваются вопросы, связанные с фоном от космического излучения.

Для подавления фона от космических лучей использовалась защита, схема которой приведена на рис.1. На этом рисунке цифрами обозначены: 1 - чувствительный объем детектора; 2 - ^3He -счетчики; 3 - корпус из оргстекла; 4 - кадмий; 5 - полиэтилен; 6 - пластические сцинтилляторы; 7 - бетон. За-

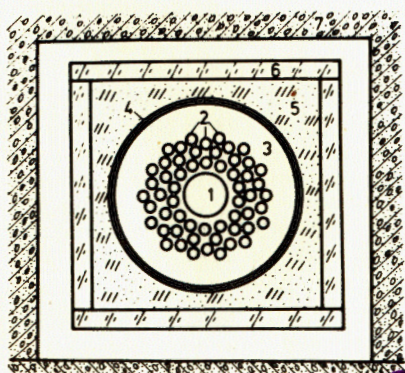


Рис.1. Схема нейтронного детектора с защитой.

щита из бетона имеет толщину 7 м и предназначена для подавления ядерно-активной компоненты космического излучения. Активная защита включает пластические сцинтилляторы, фотоэлектронные умножители /ФЭУ/ и соответствующие электронные схемы и предназначена для подавления фона, связанного с космическими мюонами и быстрыми нейтронами. Сцинтилляторы изготовлены из полистирола с добавкой Р-терфенила и PPOP⁴. Использовалось 10 сцинтилляторов толщиной около 10 см, которые образовывали параллелепипед размерами 80x80x170 см³. Поверхности блоков полировались, после чего сцинтилляторы заворачивались в алюминизированный лавсан толщиной 20 мкм и в черную бумагу. На каждом сцинтиллаторе располагалось несколько ФЭУ-110 с диаметром фотоатода 60 мм; например, на блоке размерами 80x85x10 см³ устанавливалось 9 ФЭУ. Всего использовано 70 ФЭУ. Оптический контакт между сцинтиллатором и ФЭУ обеспечивался смазкой SILIKONÖL NM1 производства ГДР или SI7 фирмы SISS /Франция/. Фотоумножители, расположенные на одном сцинтиллаторе, имели общую анодную нагрузку. Высоковольтное питание ФЭУ, расположенных на каждой плите, осуществлялось от трех отдельных блоков. Напряжение на первые 10 динодов /примерно 1500 В/ подавалось от высоковольтного маломощного блока и могло регулироваться в небольших пределах для каждого ФЭУ. Напряжение на 11 и 12 динодах не регулировалось и подавалось от двух последовательно включенных блоков, имевших выходное напряжение до 300 В и ток до 30 мА. ФЭУ, расположенные на одной плите, подбирались с примерно одинаковыми паспортными параметрами, их идентичность по усилению обеспечивалась регулировкой напряжения на первых десяти динодах. Амплитудный спектр сигналов с одного из сцинтилляторов приведен на рис.2. На том же рисунке приведен спектр сигналов с этого сцинтиллатора для частиц, летящих под большими зенитными углами и проходящих в блоке слой толщиной около 12 см. Коллимация осуществлялась путем регистрации частиц, проходящих через два одинаковых сцинтиллатора, расположенных на расстоянии 160 см друг от друга. Так как энергетические потери мюонов слабо зависят от их энергии и состава среды и составляют

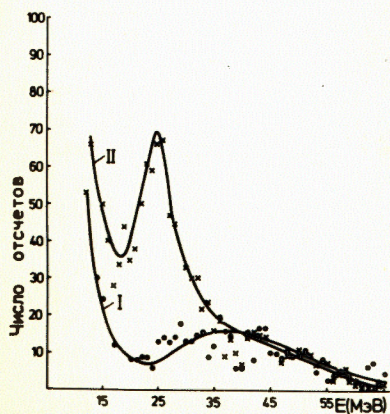


Рис.2. Амплитудные спектры сигналов с пластического сцинтиллатора для всех частиц /I/ и для частиц, летящих под большими зенитными углами /II/.

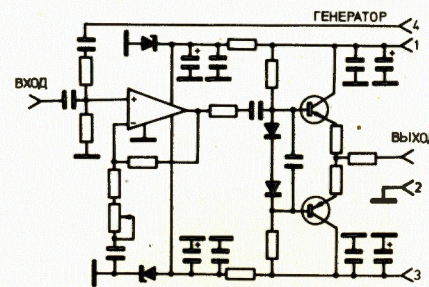


Рис.3. Предусилитель ФЭУ.

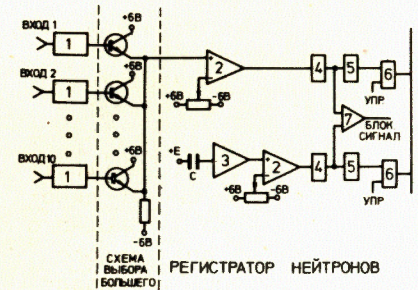


Рис.4. Функциональная схема части регистратора нейтронов, предназначенная для подавления фона от космических излучений и помех от сети. 1 - предусилитель ФЭУ, 2 - интегральный дискриминатор, 3 - усилитель, 4 - одновибратор 180 мкс, 5 - триггер метки, 6 - схема "И", 7 - схема "ИЛИ".

около 2 МэВ//г/см²/ /см. например, ^{1/2} /, то пик на кривой II /см. рис.2/ соответствует энергии около 25 МэВ.

Сигналы от отдельных сцинтилляторов подавались на предусилитель /рис.3/, выполненный на микросхеме К140УД8, затем через интегральный дискриминатор - на схему выработки блокирующего сигнала /рис.4/. Энергетический порог составлял около 5 МэВ, при этом число блокирующих импульсов равнялось около 700 имп./с. Длительность сигнала блокировки составляла 180 мкс; при срабатывании какого-либо блока защиты в течение этого интервала времени сигнал блокировки продлевался таким образом, что после любого срабатывания защиты детектор нейтронов был блокирован на 180 мкс. Мертвое время системы регистрации нейтронов - около 15%.

Кроме того, наблюдался эффект самоблокировки, суть которого состояла в следующем. Известно, что при спонтанном делении ядер испускается в среднем около 7 фотонов со средней энергией одного γ -кванта около 1 МэВ. При попадании нескольких фотонов в один сцинтиллатор может быть выработан импульс блокировки, что приведет к просчету соответствующего события деления. Для определения влияния самоблокировки в чувствительный объем детектора помещался слабый препарат ²⁵²Cf и измерялась скорость счета событий деления при работе системы защиты и при запуске электронной схемы блокировки от источника случайных сигналов такой же интенсивности. Эти опыты показали, что за счет самоблокировки теряется около 10% событий деления.

Пассивная и активная защиты позволяют снизить фон от ядерно-активной компоненты, мюонов и нейтронов высоких энергий примерно

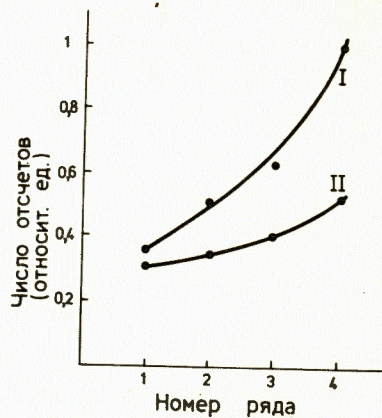
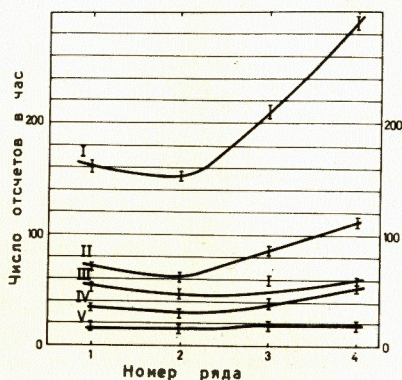


Рис.5. Распределение скорости счета по рядам детектора в опыте с 250 кг свинца. Цифрами обозначены ближняя /I/ и дальняя /II/ по отношению к блоку из свинца половины детектора.

Рис.6. Фон одиночных импульсов, измеренный в различных условиях защиты детектора. I - фон без сцинтилляторов и полиэтилена, II - фон с установленными сцинтилляторами, III - фон с установленными сцинтилляторами и с полиэтиленом, IV - фон с блокировкой от сцинтилляторных счетчиков без полиэтилена, V - фон с полной защитой.



в 500 раз при потере около 20-25% событий деления за счет мертвого времени и самоблокировки.

Для исключения фона, связанного с нейтронами энергией $E_n \leq 100$ МэВ, образующимися в бетоне, окружающем установку, принимались другие меры. Образование таких нейтронов под действием космических лучей демонстрирует простой опыт, заключающийся в следующем. Рядом с нейтронным детектором на месте одного из боковых сцинтилляторов располагалось 250 кг свинца и измерялось пространственное распределение сработавших ^3He -счетчиков. Общая скорость счета нейтронов увеличивалась примерно в полтора раза по сравнению со счетом без свинца, а распределение по отдельным половинам детектора и рядам счетчиков представлено на рис.5. Как видно, скорость счета возрастает, в первую очередь, для счетчиков, расположенных рядом с блоком из свинца во внешних рядах детектора.

При фоновых измерениях были получены пространственные распределения сработавших счетчиков при помещении в чувствительный объем нейтронного детектора 6 кг нержавеющей стали /обычно вес

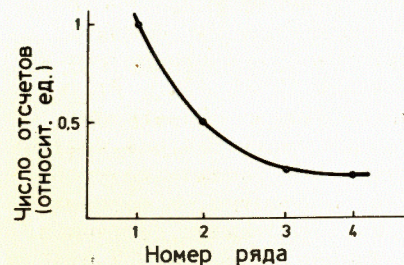


Рис.7. Распределение скорости счета по рядам счетчиков при помещении в центр детектора нейтронов источника ^{252}Cf .

изучаемых образцов близок к этой величине/. На рис.6 представлены распределения скорости счета по рядам счетчиков для различных вариантов защиты нейтронного детектора.

В помещении, где размещался детектор, поток нейтронов составлял $\sim 1-2$ нейтр./см² ч. При полной защите количество одиночных импульсов составляло около 80 имп./ч, что практически полностью объясняется регистрацией α -частиц за счет примеси урана в стенках ^3He -счетчиков. На рис.7 приведено распределение скорости счета по рядам счетчиков при помещении в центр чувствительного объема источника ^{252}Cf . Как видно из сопоставления кривых, приведенных на рис.6 и 7, при фоновых измерениях наблюдался избыточный счет во внешних рядах счетчиков, т.е. регистрировались нейтроны, идущие из стен окружающих детекторов.

Так же анализировались кратные события. На рис.8 приведены две кривые. I получена при измерениях с источником ^{252}Cf , II - при фоновых измерениях. По оси ординат в относительных единицах показана доля событий определенного типа, по оси абсцисс выбраны 4 точки, соответствующие различным способам отбора типов кратных событий. Из рис.8 следует, что при фоновых измерениях наблюдался избыток кратных событий, связанных со счетчиками, расположенными во внешних рядах детектора. В связи с этим при измерениях образцов принимались во внимание только те события, в которых хотя бы один из сработавших ^3He -счетчиков относился к первому ряду детектора. Это приводит к снижению скорости счета событий деления на 30% /для ^{252}Cf / и снижению фона в 2 раза.

Кроме указанных мер по снижению фона от космического излучения, принимались меры по снижению аппаратного фона, связанного с пробоями по высоковольтным изоляторам ^3He -счетчиков. Конструкция изоляторов уже описывалась /1/. Дополнительно велся постоянный контроль за частотой срабатываний каждого счетчика, кодировались все одиночные отсчеты, в том числе и превысившие верхний порог дискриминации, учитывалось время одиночных сигналов от счетчиков относительно кратных событий. Эти меры также способствовали обеспечению надежной и стабильной работы детектора.

Вся информация с нейтронного детектора передавалась на ЭВМ МЭРА-60-30, анализ кратных событий велся на этой же машине.

В результате использования системы пассивной и активной защиты и дополнительного анализа всех наблюдавшихся событий на ЭВМ фон

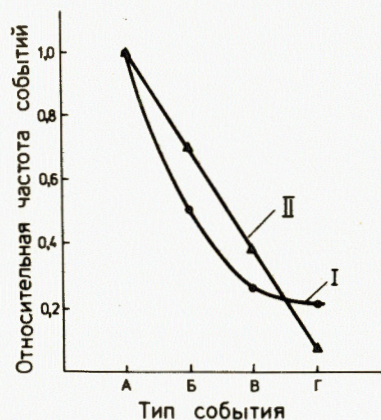


Рис.8. Доля кратных событий различного типа при фоновых измерениях /I/ и измерениях с источником ^{252}Cf /II/. На оси абсцисс буквами обозначены: А - рассматриваются все кратные события, Б - рассматриваются только те события, в которых один из сработавших счетчиков обязательно расположен в первом ряду детектора, В - рассматриваются только те события, в которых участвуют счетчики первого и второго рядов детектора, Г - рассматриваются только те события, в которых участвуют счетчики третьего и четвертого рядов детектора.

детектора нейтронов снижен примерно в 1000 раз по сравнению с работой в незащищенном помещении и доведен до 0,7-1,0 кратного события в сутки при потере примерно 45% эффективности регистрации спонтанного деления за счет мертвого времени, самоблокировки и отбора только событий определенного типа. При таком фоне можно уверенно регистрировать два кратных нейтронных события в день. Это соответствует чувствительности 10^{-13} г/г атомов гипотетического сверхтяжелого элемента в предположении, что его период полураспада равен 10^9 лет.

С помощью описанного детектора можно зарегистрировать 10^6 атомов ^{252}Cf или 20 мг ^{238}U . Низкий фон нейтронного детектора позволяет достигать высокой чувствительности анализа на содержание урана при регистрации запаздывающих нейтронов деления. Так, например, при использовании образцов весом 100 г., облучаемых в тепловой колонне реактора, в потоке тепловых нейтронов $10^{10} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ предел обнаружимой концентрации урана составляет 10^{-9} г/г. Может представлять также интерес применение нейтронного детектора для анализа образцов на содержание бериллия по реакции (γ, n) . Используя в качестве источника γ -излучения препарат ^{124}Sb активностью в 1 кюри, можно обнаружить 10^{-7} г/г бериллия в образце весом 10 г. За счет реакций (α, n) , протекающих под действием α -излучения радиоактивных изотопов, могут проводиться анализы на содержание ряда легких элементов /Li, Be, В, F, Na, Mg/ с чувствительностью, достигающей $10^{-6} - 10^{-4}$ г/г. Не исключено также, что подобные детекторы несколько изменят оценку возможностей реакций (p, n) для анализа на тритий, ^{10}Be , ^{14}C , ^{55}Mn . Располагая пучком протонов с энергией 1,5-2 МэВ, можно с помощью низкофонного нейтронного детектора проводить определение указанных изотопов при концентрации 10^{-13} г/г ^{10}Be , ^{14}C и 10^{-12} г/г трития или марганца.

Авторы выражают глубокую благодарность Г.Н.Флерову за поддержку данной работы, полезные советы и обсуждения, Е.Н.Матвеевой, Л.Я.Жильцовой и Т.Д.Пилипенко - за изготовление сцинтилляторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ter-Akopian G.M. et al. Nucl. Instr. & Meth., 1981, v. 190, p. 119-124.
2. Горшков Г.В. и др. Естественный нейтронный фон атмосферы и земной коры. Атомиздат, М., 1966.
3. Герстенбергер Р. и др. Автоматизированная установка для поиска сверхтяжелых элементов в природе. Труды 9 Международного симпозиума по ядерной электронике. ОИЯИ, Д13-1182, Дубна, 1977, с. 73.
4. Жильцова Л.Я. и др. ПТЭ, 1965, №1, с. 76-78.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 апреля 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

D3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
D13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
D1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
D1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Сокол Е.А. и др. 13-83-227
Изучение методов снижения фона нейтронного детектора при регистрации редких событий спонтанного деления

Описывается защита нейтронного детектора с ^3He -счетчиками от космического излучения. Пассивная защита из бетона толщиной 7 м, система антисовпадений из пластических сцинтилляторов и дополнительный анализ данных о временном распределении сигналов со счетчиков позволили снизить фон кратных нейтронных событий примерно в 1000 раз по сравнению с фоном без защиты. Потери в счете событий спонтанного деления ^{252}Cf за счет мертвого времени системы, самоблокировки γ -квантами деления и отбора событий только определенного типа составили 45%. С помощью описанного детектора можно регистрировать 2 события множественного испускания нейтронов в сутки. Фон одиночных нейтронов составил 80 ч^{-1} , при таком фоне детектор может использоваться для анализа на содержание ряда элементов путем облучения образцов γ -квантами, α -частицами или протонами, и измерения выхода нейтронов в реакциях (γ, n) , (α, n) , (p, n) .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Sokol E.A. et al. 13-83-227
Study of the Methods for Reducing the Neutron Detector Background for Rare Spontaneous Fission Events Registration

The cosmic radiation protection of a neutron detector is described. The combination of a passive concrete shielding, which has a 7 m thickness, plastic scintillation anticoincidence system, and additional selection of multiple neutron events allows one to decrease the detector background by a factor of approx. 1000 as compared to the background without shielding. Losses in the spontaneous fission count rate for ^{252}Cf were measured to be about 45% and are due to the "dead" time and the spurious effect of detecting prompt γ -rays emitted in spontaneous fission of nuclei. 2 events per day of multiple emission of neutron can be detected by this detector. The single pulse count rate was equal to 80 h^{-1} . The detector may be used to analyse samples for any element content by irradiating samples with γ -quants, α -particles or by protons and measuring neutron yield in the (γ, n) , (α, n) , (p, n) reactions.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.