

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



19/III-79

П-58

P3 - 12047

919/2-79

А.Б.Попов, Г.С.Самосват

ПОИСК НЕЙТРОНОВ

С ЭНЕРГИЕЙ БОЛЕЕ 40 МЭВ В ДЕЛЕНИИ

1978

РЗ - 12047

А.Б.Попов, Г.С.Самосват

ПОИСК НЕЙТРОНОВ
С ЭНЕРГИЕЙ БОЛЕЕ 40 МЭВ В ДЕЛЕНИИ

Направлено в ЯФ

Попов А.Б., Самосват Г.С.

P3 - 12047

Поиск нейтронов с энергией более 40 МэВ в делении

С помощью сцинтиляционного детектора антисовпадений, имеющего низкий фон космических частиц, в пучке импульсного реактора ИБР-30 методом времени пролета искались нейтроны аномально высоких энергий, обнаружение которых могло бы свидетельствовать о том, что в активной зоне реактора в процессе деления ядер топлива образуются сверхплотные ядра с повышенной энергией связи. Установлено, что выход нейтронов в интервале энергий ~40-200 МэВ не превышает $\sim 2 \cdot 10^{-8}$ на один акт деления.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Popov A.B., Samosvat G.S.

P3 - 12047

Search for Neutrons with an Energy Above 40 MeV
Being Produced During the Fission Process

In the beam of the IBR-30 pulsed reactor the anomalously high energy neutron were searched by using the time-of-flight method and with the help of anticoincident scintillation detector with low cosmic background. The observation of such neutrons might be the evidence for abnormal superdense nuclei with higher binding energy being produced during the fission process in the nuclear fuel of active core of the reactor. The yield of neutrons in the interval from 40 to 200 MeV appeared not to exceed $\sim 2 \cdot 10^{-8}$ per fission.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research.

Dubna 1978

ВВЕДЕНИЕ

До последнего времени все экспериментальные попытки обнаружить гипотетические сверхплотные ядра сводились к поискам их в некоторых природных образцах или в столкновениях частиц высоких энергий /см. обзор^{1/}/. Круг поиска сверхплотных ядер расширился в трех последних работах^{2-4/} - была начата проверка, не образуются ли такие ядра в процессе деления обычных тяжелых ядер. Идея этих работ состоит в том, что при образовании сверхплотного осколка с повышенной энергией связи должна выделиться сверх обычных 200 МэВ избыточная энергия, и такой акт деления можно было бы зарегистрировать, в частности, благодаря появлению какой-либо частицы, несвойственной обычному делению. Было установлено, что выходы позитронов и необычно высокоэнергетических электронов, γ -квантов и нейтронов не превышают, соответственно, $\sim 10^{-5/2/}$, $\sim 2 \cdot 10^{-8/4/}$, $\sim 3 \cdot 10^{-8/3/}$ и $9 \cdot 10^{-7/3/}$ на один акт деления.

Во всех случаях точность полученных оценок ограничивалась уровнем космического фона. Поэтому для дальнейшего повышения чувствительности измерений, кроме использования большей интенсивности делений с соответствующим увеличением быстродействия аппаратуры, нужно подавлять фон. В работе^{4/} это делалось путем расположения экспериментальной установки глубоко под землей. В настоящей работе описываются измерения, в которых было достигнуто снижение в 50 раз верхней оценки выхода очень быстрых нейтронов за счет подавления фона космических частиц методом антисовпадений.

ДЕТЕКТОР

Детектор состоял из двух пластических сцинтилляторов: основного - диаметром и высотой 10 см и защитного - диаметром 21 см и высотой 22,5 см; вдоль оси последнего со стороны одного из оснований был сделан "колодец" диаметром 10 см и глубиной 18 см. Основной сцинтиллятор устанавливался на дне защитного колодца, и к его торцу прижимался фотоумножитель ФЭУ-24, частично выступавший из колодца. На противоположном колодцу основании защитного сцинтиллятора крепился фотоумножитель ФЭУ-49. Для уменьшения потерь света часть защитного сцинтиллятора со стороны ФЭУ имела форму усеченного конуса с диаметром торца 15,5 см, а боковые поверхности и свободные торцы обоих сцинтилляторов были покрыты отражателем.

С помощью соответствующей электроники для регистрации отбирались лишь такие импульсы основного сцинтиллятора, одновременно с которыми не было импульсов от защитного. Таким путем исключалась регистрация быстрых заряженных частиц, пронизывающих оба сцинтиллятора. Испытания детектора показали, что, несмотря на сравнительно небольшую глубину колодца в защитном сцинтилляторе /телесный угол входного отверстия колодца относительно центра основного сцинтиллятора составлял 4% от 4π /, при пороге регистрации 10-15 МэВ по протонам в основном сцинтилляторе с помощью антисовпадений достигается подавление космического фона примерно в тысячу раз, т.е. вместо обычных 1-2 импульсов в секунду фон составляет единицы импульсов в час.

Такое значительное ослабление фона становится понятным, если учесть, что из всего многообразия космических частиц детектор реагирует лишь 1/ на заряженные частицы, вошедшие в колодец, не задевшие защитного сцинтиллятора и остановившиеся в основном сцинтилляторе /электроны с энергией до ~15 МэВ, протоны до ~100 МэВ и т.д./, либо 2/ на нейтральные частицы /в основном, γ -кванты/, которые порождают заряженные частицы, пролетающие только в основном сцинтилляторе. Таким образом, использование защитного сцинтиллятора с колодцем вместо сквозного канала, несмотря на ряд

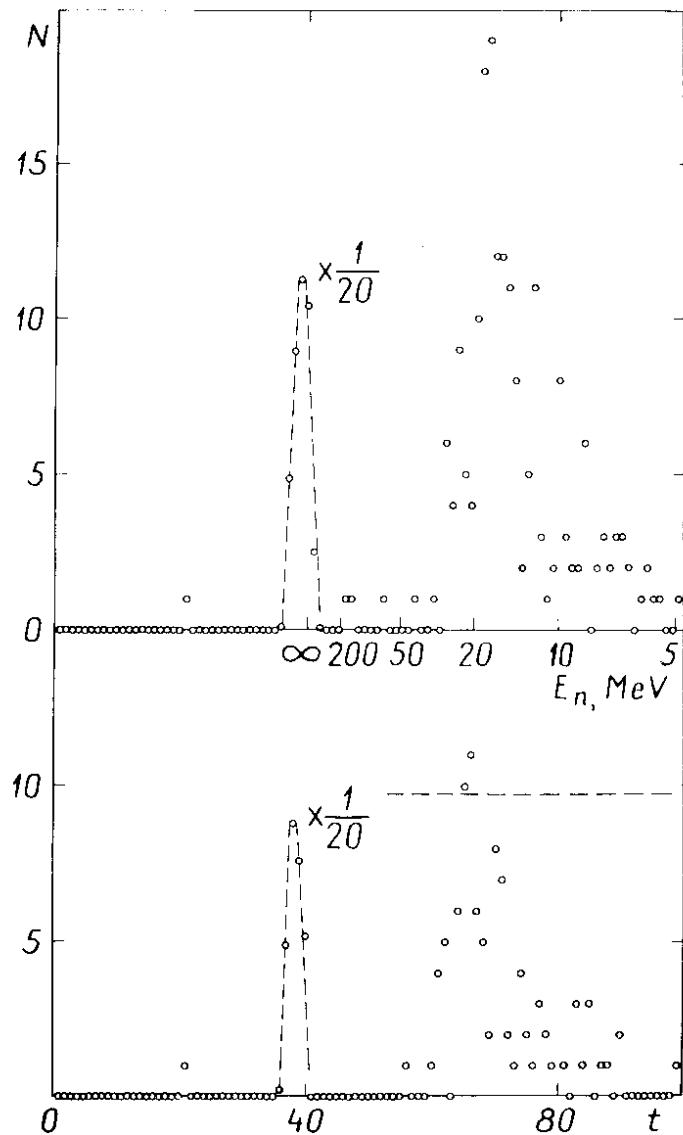
неудобств, имеет существенное преимущество - дает подавление фона в несколько десятков раз больше. В подтверждение сказанного заметим, что в подобном детекторе из кристаллов $\text{NaJ}(\text{Tl})$ со сквозным каналом ^{15/} фон космических лучей ослаблялся только в 100 раз, хотя телесный угол на отверстие канала был меньше, чем у нас, и составлял 1% от 4π .

ИЗМЕРЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Как и в работе ^{13/}, методом времени пролета исследовался спектр нейтронов, вылетающих из активной зоны импульсного реактора ОИЯИ ИБР-30, работавшего в режиме бустера с полушириной нейтронных вспышек примерно 3 мкс при средней мощности 8-9 кВт. На временном 4096-канальном анализаторе измерялся спектр импульсов от описанного выше детектора, который находился в пучке на расстоянии 1000 м от реактора и был обращен отверстием в защитном сцинтилляторе в сторону реактора.

Свинцовый коллиматор с отверстием $\varnothing 18$ см вблизи реактора предотвращал попадание на детектор интенсивного γ -излучения от ближайшего окружения активной зоны, свинцовый фильтр толщиной 7,5 см в пучке ослаблял γ -лучи из активной зоны, а другой свинцовый коллиматор с отверстием $\varnothing 9$ см вблизи детектора уменьшал загрузку защитного сцинтиллятора. Для устранения случайных совпадений /и, следовательно, просчетов нейтронов/ последней меры оказалось недостаточно, так как часть защитного сцинтиллятора интенсивно облучалась через основной сцинтиллятор. Поэтому пришлось пойти на некоторое повышение уровня дискриминации в защитном канале против оптимального, в результате чего несколько уменьшилось подавление космического фона в рабочих измерениях: ~ 6 импульсов в час с антисовпадениями и ~1 импульс в секунду без антисовпадений.

На рисунке показаны два спектра, полученные при разных порогах дискриминации в канале основного сцинтиллятора. Временной спектр импульсов детектора состоит из четырех компонент разной природы. 1/ Космический фон дает равномерное распределение импульсов по всему спектру; его величина определялась по второй



Участки временных спектров импульсов детектора, измеренных за 65 часов при пороге по протонам отдачи 16 ± 1 МэВ /вверху/ и за 58 часов при пороге 18 ± 1 МэВ /внизу/; t - номер канала шириной 0,5 мкс; N - число отсчетов в канале, E_n - шкала энергий нейтронов. Пунктирная линия у нижнего спектра - уровень космического фона без применения антисовпадений.

половине каналов анализатора, имевших ширину 4 мкс, и составила в среднем 0,026 и 0,016 импульса на канал 0,5 мкс первой половины каналов для верхнего и нижнего спектров, соответственно. 2/ В каналах 36-41 расположен мощный пик от вспышки тормозного γ -излучения с верхней границей 35 МэВ из вольфрамовой мишени бустера. 3/ γ -лучи деления дают пик, имеющий форму нейтронной линии спектрометра с максимумом в 40-м канале и с задним фронтом в виде экспоненты с постоянной времени ~ 4 мкс; из-за высокого уровня дискриминации в спектрах /рисунк/ этот пик отсутствует на нижнем спектре /порог порядка 10 МэВ по электронам/ и представлен всего 3-5 импульсами на верхнем /порог на $1 \pm 1,5$ МэВ ниже/. 4/ Импульсы от нейтронов деления при высоком пороге детектора образуют пик, также близкий по форме к линии спектрометра; положение максимума пика примерно на 1,4 МэВ превышает величину порога^{3/}.

Был принят следующий порядок измерений: последовательно регистрировать временные спектры импульсов, каждый раз повышая уровень дискриминации их по амплитуде, до полной "расчистки" от γ -лучей деления места в спектре, куда должны попадать импульсы от искомым нейтронов. Наблюдавшийся при этом нейтронный пик спектра деления постепенно уменьшался и перемещался влево, служа надежным контролем уровня дискриминации. Два последних спектра и показаны на рисунке; верхний спектр измерялся в течение 65 ч, нижний - 58 ч.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для получения оценки выхода нейтронов δ на один акт деления в зоне мы использовали следующее выражение для счета детектора А:

$$A = 3 \cdot 10^{13} W T \delta \kappa \epsilon \frac{\omega}{4\pi}, \quad /1/$$

где W - мощность реактора в кВт, T - время измерения в секундах, κ - среднее пропускание всех веществ, разделяющих точку рождения нейтрона и детектор, ϵ и ω - эффективность и телесный угол детектора относительно реактора в стерадианах.

В качестве рабочего интервала мы выбрали 19 каналов нижнего спектра от 41-го по 59-й включительно /см. рис./. Основной вклад в этот интервал времени пролета должны давать нейтроны с энергиями ~ 40-200 МэВ. За 58 ч. измерений в рабочий интервал попал всего один импульс - в 56-й канал. Каким нужно выбрать А в формуле /1/?

Кроме образования в реакторе сверхплотного ядра и появления нейтрона с избыточной энергией, импульс в 56-м канале мог появиться еще по трем причинам. Во-первых, он может принадлежать фону, который на весь интервал составляет в среднем 0,31 импульса и, согласно распределению Пуассона, вероятность одного отсчета равна 0,22. Во-вторых, он мог быть вызван "нормальным" нейтроном с энергией не менее 30 МэВ из жесткого хвоста спектра деления или спектра фото-нейтронов; выход таких нейтронов, рассчитанный из максвелловского распределения с температурой 1,4 МэВ, $\delta \approx 2,6 \cdot 10^{-9}$. Подстановка этой и других величин в формулу /1/ приводит к среднему счету детектора $A \approx 0,12$, и вероятность иметь один импульс равна 0,11. В-третьих, импульс в 56-м канале мог быть вызван и γ -квантом деления, но это маловероятно, так как таких импульсов нет даже вблизи 40-го канала, а для появления его в 56-м канале вероятность понижается на фактор $e^{-8/4} \approx 0,13$. В таких условиях из результатов эксперимента следует, что оценка наиболее вероятного значения для числа "зарегистрированных" аномально быстрых нейтронов находится между 0 и 1, а оценка стандартного отклонения соответствующего распределения вероятностей близка к 1.

В таблице показаны результаты расчетов, выполненных для получения оценки выхода интересующих нас нейтронов. Главные факторы в ослабление нейтронов κ вносит свинцовый фильтр /0,35-0,48/ и поглощение их в зоне за счет реакции деления /~0,5/; реакция же (n, n) , (n, n') и $(n, 2n)$ в зоне практически не выводят нейтроны из интервала 40-200 МэВ. Эффективность детектора ϵ рассчитана с учетом порога 18 МэВ по протонам отдачи. Несмотря на то, что κ и ϵ существенно зависят от энергии нейтронов E_n , их произведение почти постоянно,

Таблица

$E_n, \text{ МэВ}$	40	70	100	150	200
κ	0,10	0,12	0,15	0,22	0,27
ϵ	0,044	0,035	0,025	0,020	0,017
$\delta, 10^{-8}$	1,6	1,7	2,0	1,7	1,7

и значения верхней границы выхода нейтронов δ , соответствующие оценке $A < 1$, слабо зависят от E_n .

Общий итог описанного эксперимента состоит в том, что для выхода нейтронов с энергией в диапазоне ~ 40-200 МэВ на один акт деления быстрыми нейтронами ядер реакторного топлива /~75% ^{239}Pu и ~25% ^{235}U / дается оценка

$$\delta \leq 2 \cdot 10^{-8}$$

полученная примерно на уровне одного стандартного отклонения. Полезная с точки зрения проблемы сверхплотных ядер, эта оценка, по-видимому, небезынтересна и для физики деления.

Авторы очень признательны И.М.Франку за интерес к работе, Е.Н.Матвеевой - за предоставление сцинтиллятора, В.Г.Николенко за полезные обсуждения и А.А.Лошкареву за изготовление детектора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карнаухов В.А. Изв. АН СССР, сер. физ., 1977, 41, с.1538.
2. Алешин В.И. и др. ЯФ, 1977, 26, с.916.
3. Николенко В.Г., Попов А.Б., Самосват Г.С. Письма в ЖЭТФ, 1978, 27, с.65; Изв. АН СССР, сер. физ., 1978, 42, с.1902.
4. Боровой А.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1978, 27, с.525.
5. Holt R.J., et al. Phys.Rev.Lett., 1976, 36, 183.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 ноября 1978 года.