

СПИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР УЛЬТРАХОЛОДНЫХ
НЕЙТРОНОВ С ЛУМИНОФОРОМ $ZnS(Ag)$ И УРАН-ТИТАНОВЫМ СЛОЕМ

А. В. Антонов, П. А. Беляев, А. И. Исаков,
А. А. Тихомиров, С. А. Фришман, В. В. Шенко

УДК 539.074

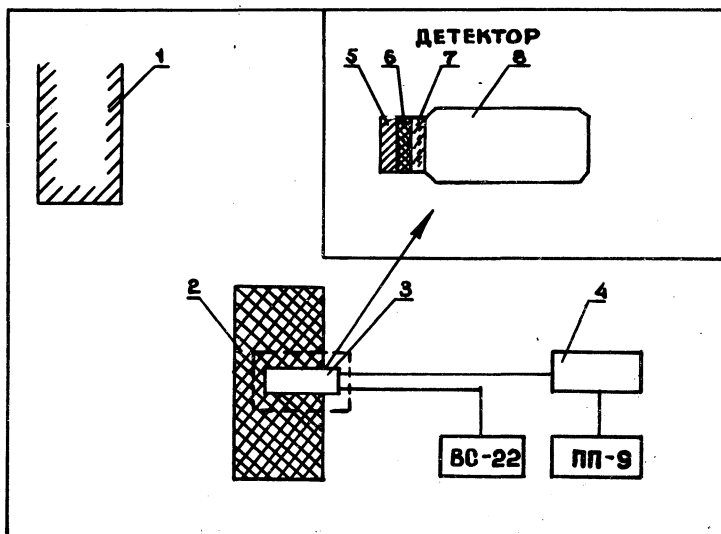
Описывается детектор ультрахолодных нейтронов (УХН), предназначенный для работы в условиях интенсивного облучения. В детекторе используется мелкокристаллический спинтилятор $ZnS(Ag)$ и фольга из титана, содержащая твердый раствор U^{235} в слое глубиной ~ 6 мкм. Детектор обладает эффективностью регистрации УХН $\sim 10-15\%$.

Регистрация УХН, накапливаемых в ловушках, размещаемых вблизи импульсных реакторов или опускаемых для накопления нейтронов в каналы стационарных реакторов /1/, требует применения детекторов, слабо чувствительных к β - и γ -излучению. Потоки УХН в таких опытах сравнительно невелики (сотни - тысячи нейтронов в 1 сек), поэтому детекторы должны обладать достаточно высокой эффективностью, а также должны быть радиационно-стойкими, так как в процессе работы они подвергаются воздействию мощных потоков нейтронного, β - и γ -излучений.

В работе описывается разработанный для таких экспериментов спинтиляционный детектор (рис.1), регистрирующий нейтроны по реакции $U^{235}(n, f)$ при помощи фосфора $ZnS(Ag)$. Последний, как известно, обладает, очень высокой конверсионной эффективностью (при регистрации α -частиц 25-28% /2/) при времени высвечивания $\tau = (0,2 + 0,6) \cdot 10^{-6}$ сек /3,4/. Для регистрации осколков деления достаточна толщина фосфора 10 мг/см². При такой толщине спинтилятор счетчика слабо чувствителен к электронам, так как они обладают малой удельной ионизацией.

Уран-235 имеет положительную амплитуду когерентного рассеяния ($b_{\text{ког}}^{235} = 0,98 \cdot 10^{-12}$ см). Вследствие этого использовать однородный слой U^{235} в детекторе УХН невозможно, так как от такого слоя

должны отражаться все нейтроны, у которых нормальная составляющая скорости превышает так называемую граничную скорость /5/, равную для U^{235} приблизительно 4,9 м/сек /9/. Чтобы существенно уменьшить отражение УХН, необходимо использовать гомогенную смесь



Р и с. 1. Схема проверки работоспособности детектора УХН на импульсном реакторе ИИН и устройство детектора. 1 - активная зона реактора; 2 - замедлитель; 4 - усилитель; 5 - титановая фольга с U^{235} ; 6 - сцинтиллятор; 7 - кварцевая подложка; 8 - ФЭУ-31

U^{235} с веществом, обладающим отрицательной когерентной амплитудой, например, титаном ($b_{\text{ког}} = -0,34 \cdot 10^{-12}$ см).

В рассматриваемом детекторе используется уран-титановый слой, описанный в работе /6/. Он представляет собой титановую фольгу (толщиной 15 мкм), в которой методом термодиффузии в слое толщиной порядка пробега осколка деления (~ 6 мкм) был создан твердый раствор урана в титане. Общее содержание U^{235} в титане составляло ~ 1 мг/см². Эффективность регистрации УХН при использовании такой фольги в диэлектрическом слюдяном детекторе /6/ оказалась весьма высокой ($\sim 50-60\%$). Эта величина, конечно, опре-

делает только верхнюю границу эффективности созданного сцинтиляционного детектора.

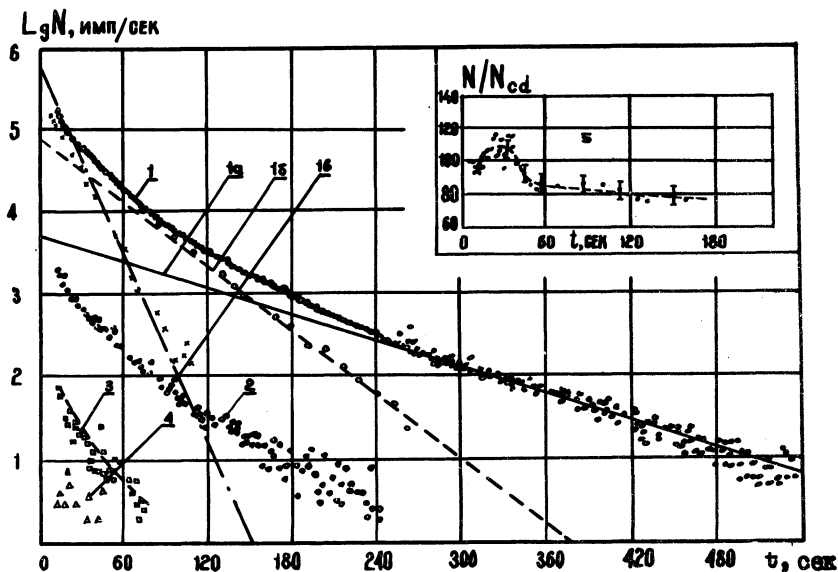
Фольга, содержащая ^{235}U , располагалась вплотную к сцинтилятору (рис.1). Мелкокристаллический порошок сульфида цинка осаждался из суспензии в спирте на кварцевую подложку ϕ 20 мм. Толщина фосфора определялась взвешиванием и обычно составляла ~ 10 мг/см². Сцинтилятор приклеивался к фотоумножителю ФЭУ-31 канадским бальзамом. Умножитель работал при интегральной чувствительности ~ 1 а/лм. Этот режим был подобран экспериментально из условия оптимального отношения сигнала к шуму после экспозиции умножителя в интенсивном потоке β -, γ - и нейтронного излучений на импульсном реакторе.

По кабелю длиной ~ 20 м сигналы с детектора поступали на усилитель тока, собранный на основе интегральной схемы ИУТ401Б. Коэффициент усиления был ~ 100 , полоса пропускания 1,5–2 МГц, входное сопротивление 50 ом. Максимальная амплитуда импульсов от осколков деления ^{235}U оказалась в 6–7 раз выше, чем от α -частиц с энергией ~ 5 мэв. Относительно малая величина амплитуды импульсов от осколков деления объясняется, как известно, уменьшением конверсионной эффективности фосфоров при увеличении удельной ионизации /2/. Сигналы после усиления регистрировались пересчетным прибором ПШ-9. Для проверки радиационной стойкости и работоспособности в условиях интенсивного облучения, с детектором были поставлены опыты по регистрации запаздывающих нейтронов, излучаемых импульсным реактором типа ИИН /7/, который за одно срабатывание (в течение 2–3 миллисекунд) излучает примерно 10^{17} мгновенных нейтронов.

Детектор размещался в парафиновом блоке на расстоянии 1,5 метра от активной зоны реактора (рис.1). Высокое напряжение на делитель ФЭУ включалось через ~ 5 секунд после срабатывания реактора. Уровень дискриминации превышал в полтора раза максимальную амплитуду сигналов от α -частиц, что обеспечивало надежное записание импульсов от β - и γ -излучения. При каждом срабатывании реактора мощность нейтронного импульса контролировалась активационными детекторами. Проведенные измерения показали, что с точностью 10–15% ее можно считать неизменной.

На рис.2 показана скорость счета детектора в зависимости от времени t , прошедшего с момента срабатывания реактора. Кривая

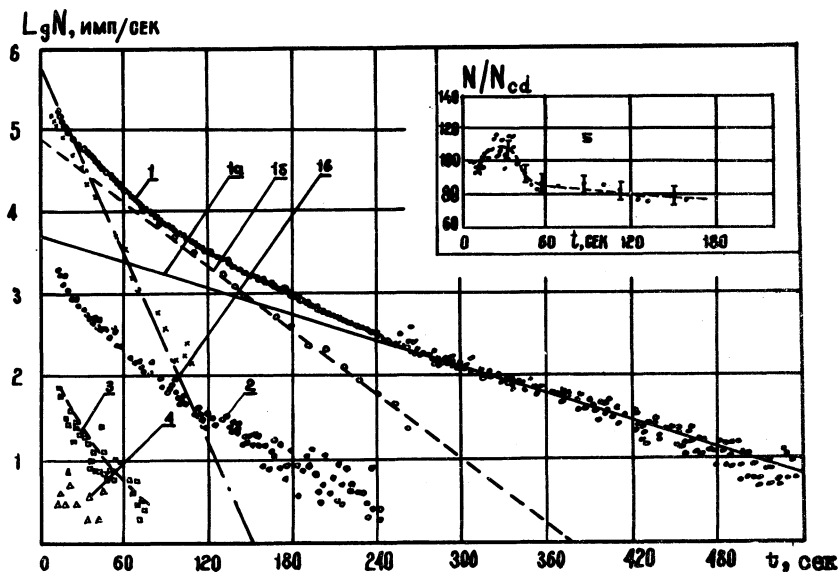
I была снята детектором без фильтра; при снятии кривой 2 последний окружался чехлом из Cd толщиной 0,5 мм. Анализ кривых позволил надежно выделить периоды, равные $T_1 = 55,8$ сек и $T_2 = 23,2$ сек,



Р и с.2. Зависимость скорости счета детектора от времени при регистрации запаздывающих нейтронов. 1 – счет незакадмированного детектора; 2 – счет детектора с кадмиевым фильтром; 3,4 – счет незакадмированного (\square) и закадмированного (Δ) детектора при наличии бумажного фильтра между сцинтиллятором и урановым слоем. Прямые Ia, Ib и Ic соответствуют выделенным периодам полураспада запаздывающих нейтронов (полученные значения равны соответственно 55,8 23,2 и 7,8 сек). Кривая 5 – отношение счета незакадмированного детектора (N) к счету детектора с кадмием (N_{Cd})

хорошо согласующиеся с известными значениями /8/ двух наиболее длительных периодов полураспада запаздывающих нейтронов при делении U^{235} тепловыми нейтронами: $T_1=55,6$ сек и $T_2 = 22,7$ сек. Значение третьего, более короткого периода ($T_3=6,2$ сек), получалось с большей погрешностью ($\sim 30\%$). На том же рисунке приведе-

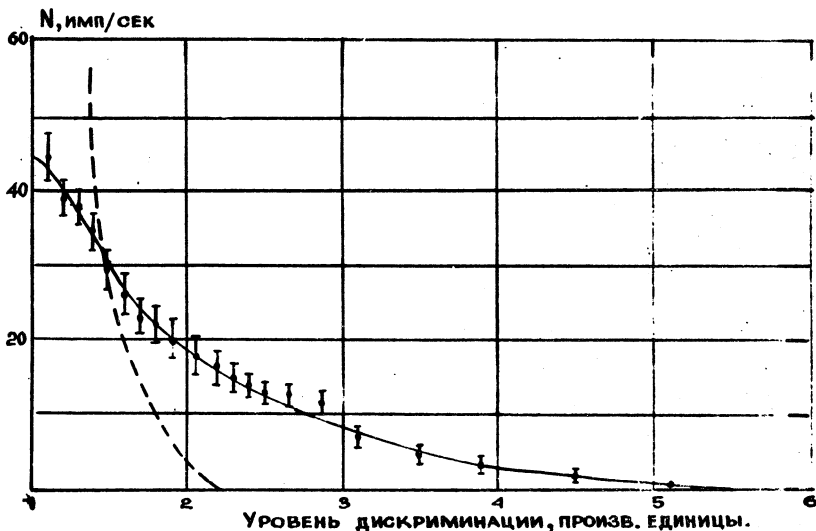
I была снята детектором без фильтра; при снятии кривой 2 последний окружался чехлом из Cd толщиной 0,5 мм. Анализ кривых позволил надежно выделить периоды, равные $T_1 = 55,8$ сек и $T_2 = 23,2$ сек,



Р и с. 2. Зависимость скорости счета детектора от времени при регистрации запаздывающих нейтронов. 1 - счет незакадмированного детектора; 2 - счет детектора с кадмиевым фильтром; 3, 4 - счет незакадмированного (\square) и закадмированного (Δ) детектора при наличии бумажного фильтра между сцинтиллятором и урановым слоем. Прямые Ia, Ib и Ic соответствуют выделенным периодам полураспада запаздывающих нейтронов (полученные значения равны соответственно 55,8 23,2 и 7,8 сек). Кривая 5 - отношение счета незакадмированного детектора (N) к счету детектора с кадмием (N_{Cd})

хорошо согласующиеся с известными значениями /8/ двух наиболее длительных периодов полураспада запаздывающих нейтронов при делении U^{235} тепловыми нейтронами: $T_1=55,6$ сек и $T_2 = 22,7$ сек. Значение третьего, более короткого периода ($T_3=6,2$ сек), получалось с большей погрешностью ($\sim 30\%$). На том же рисунке приведе-

но в функции времени t отношение счета нейтронов без фильтра (N) к счету с кадмиевым фильтром (N_{Cd}). При t больших примерно 45 сек это "кадмиевое отношение" приблизительно постоянно и равно 84.



Р и с. 3. Зависимость скорости счета УХН от уровня дискриминации. Пунктирной кривой показан счет от α -частиц.

Изменение кадмиевого отношения при $t < 45$ сек, по-видимому, может быть объяснено перегрузкой и изменением параметров регистрирующей аппаратуры под воздействием интенсивного нейтронного облучения. Для проверки того, что в этих условиях схема не регистрирует шумовых импульсов, был сделан контрольный опыт, при котором между фольгой, содержащей уран, и сцинтиллятором был помещен экран (бумажный), непроницаемый для осколков деления и α -частиц. Кривая 3 на рисунке 2 показывает результаты этого опыта. Из ее рассмотрения следует, что интенсивность счета в этих условиях очень незначительна и становится пренебрежимо малой (единицы имп/сек) при $t > 30-40$ сек. Мы полагаем, что небольшой счет, все же регистрируемый умножителем при $t = 20$ сек, связан главным образом с незначительным загрязнением $ZnS(Ag)$ ураном, по-

скольку в предшествующих опытах фольга с ^{235}U непосредственно накладывалась на этот люминофор. Это видно из сравнения кривой 3 с точками 4 на рис. 2.

Таким образом, проведенные на реакторе ИНН опыты показали, что разработанный детектор в условиях интенсивного облучения надежно регистрирует нейтроны, и что вклад в наблюдаемую при этих условиях скорость счета от импульсов, связанных с β - и γ -излучением, пренебрежимо мал и, во всяком случае, обращается в нуль при $t > 45$ сек. Многократное (порядка 20 раз) облучение детектора на реакторе не привело к каким-либо заметным изменениям его характеристик.

Было проведено исследование детектора при облучении его УХН на вертикальном канале реактора Ленинградского института ядерной физики им. Б. П. Константинова /Ю/. На рис. 3 приведена полученная зависимость скорости счета УХН от уровня дискриминации. Из рассмотрения рисунка видно, что в спектре импульсов от осколков деления присутствует значительное число сигналов с амплитудой, близкой к амплитуде сигналов от α -частиц. Анализ проведенных экспериментов позволил оценить максимальную эффективность детектора для УХН в ~ 20 -25%. Надежная регистрация УХН на импульсном реакторе возможна при уровне дискриминации, как указано выше, превышающим в 1,5 раза амплитуду максимальных сигналов от α -частиц. При этих условиях следует ожидать, что УХН будут регистрироваться с 10-15% эффективностью.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить А. Д. Галанина за ценные консультации при изготовлении слоя люминофора, В. И. Микерова, предоставившего уран-титановый слой, Ю. М. Грашина, В. И. Дворецкого и А. Е. Гурья за полезные советы и помощь в наладке радиоэлектроники. Особую благодарность авторы выражают В. М. Лобашеву за любезно предоставленную возможность испытать детектор на канале УХН в ЛИЯФ, Г. Д. Порсеву и А. П. Сереброву за помощь в проведении этой работы.

Поступила в редакцию
28 октября 1974 года

Л и т е р а т у р а

1. А. В. Антонов, А. И. Исаков, М. В. Казарновский, В. Е. Солодильов. Препринт ФИАН № 98, 1969 г.
2. Дж. Биркс. Сцинтилляционные счетчики. Изд. ИЛ, Москва, 1965 г.
3. В. Гартман, Ф. Бернгард. Фотоэлектронные умножители. Госэнергоиздат, М.Л., 1961 г.
4. Рассеяние тепловых нейтронов (под ред. П. Игельстаффа), Атомиздат, Москва 1970 г.
5. И. И. Гуревич, Л. В. Тарасов. Физика нейтронов низких энергий. Изд. "Наука", 1965 г.
6. А. В. Антонов, А. И. Исаков, В. Н. Ковыльников, Н. В. Линькова, С. П. Кузнецов, В. И. Микеров, А. Д. Перекрестенко, С. А. Старцев. Краткие сообщения по физике ФИАН, № II, I7 (1974).
7. Г. А. Бать, А. С. Коченов, Л. П. Кабанов. Исследовательские ядерные реакторы. Атомиздат, Москва, 1972 г.
8. И. В. Гордеев, Д. А. Мардашев. Справочник по ядерно-физическим константам для расчетов реакторов. Атомиздат, Москва, 1960 г.
9. А. В. Антонов, П. А. Беляев, А. И. Исаков, Н. В. Линькова, В. И. Микеров, Н. Е. Нестерова, А. Д. Перекрестенко, В. Е. Солодильов, А. А. Тихомиров. Препринт ФИАН № 86, 1973 г.
10. А. И. Егоров, В. М. Лобашов, В. А. Назаренко, Т. П. Порсев, А. П. Серебров. Ядерная физика, 19, 300 (1974).