

ГАЗОВЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР  
УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

А. В. Антонов, А. И. Исаков, В. Н. Ковыльников,  
В. И. Микеров, С. А. Старцев, А. А. Тихомиров

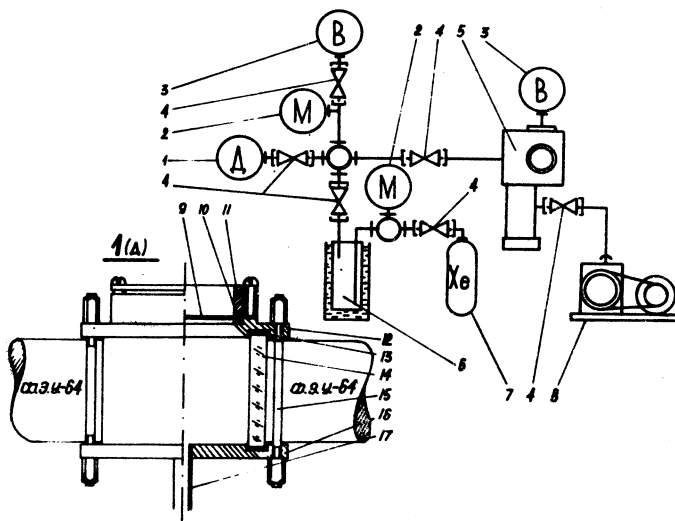
УДК 539. 074

Описывается сцинтилляционный детектор ультрахолодных нейтронов (УХН), предназначенный для работы в условиях интенсивного облучения. Радиатор детектора выполнен из уран-титановой фольги. Сцинтиллятором служит газообразный ксенон. Эффективность регистрации УХН  $\sim 40\%$ .

В работе /1/ для регистрации УХН в условиях высокого уровня фона  $\beta$  и  $\gamma$  излучений были предложены трековый и газовый сцинтилляционный детекторы. (Высокоэффективный сцинтилляционный детектор, описанный в работе /2/, не обеспечивает в этих условиях достаточно надежную и эффективную регистрацию УХН). Трековый детектор с уран-титановым радиатором обладает целым рядом достоинств /3/ (практически полная нечувствительность к  $\beta$  и  $\gamma$  фону, высокая эффективность и т.д.), однако работать с таким детектором не всегда оказывается удобным. Это связано с необходимостью длительной химической обработки слюдяной пластинки детектора. Кроме того, такой детектор не позволяет получать необходимую информацию непосредственно в ходе эксперимента. Этим недостатком лишен газовый сцинтилляционный детектор (рис.1).

Основным элементом детектора является уран-титановый радиатор 9, выполняющий одновременно роль входного окошка детектора. Уран-титановый радиатор изготавливался методом термодиффузии  $U^{235}$  в титановую фольгу /4/. На титановую фольгу в вакууме напылялся слой  $U^{235}$  толщиной  $\sim 1$  мкг/см<sup>2</sup>. Затем эта фольга отжигалась в печи при температуре  $T=920^\circ\text{C}$  в течение нескольких секунд. Для изготовления радиатора использовалась вакуумно-прочная титановая фольга толщиной  $\sim 15 + 18$  мк. Рабочая площадь радиатора составляет  $\sim 5$  см<sup>2</sup>.

Один из двух осколков ядра  $U^{235}$ , образующихся в результате захвата УХН, попадает в наполненный ксеноном до давления  $\sim 2,5$  атм объем камеры 2 детектора. Камера изготавливалась из оптического



Р и с. I. Схема установки для наполнения детектора (крупным планом показана газовая сцинтилляционная камера). 1 - детектор; 2 - манометр; 3 - вакууметр; 4 - вентиль; 5 - диффузионный насос; 6 - ловушка; 7 - баллон с ксеноном; 8 - форвакуумный насос; 9 - уран-титановый радиатор; 10, 13 - прокладки; 11 - уплотняющий фланчик; 12 - передний фланец камеры; 14 - кварцевая камера; 15 - стягивающая шпилька; 16 - задний фланец камеры; 17 - откачная трубка

кварца марки КВ. Высота камеры составляет 25 мм, внутренний диаметр 34 мм, максимальная толщина стенок 7 мм, минимальная (перед окошком ФЭУ) - 4 мм. Максимум сцинтилляционной характеристики ксенона лежит в области ультрафиолета /5/. Чтобы преобразовать спектр световой вспышки, возбуждаемой в Хе осколком  $U^{235}$ , в область спектральной чувствительности ФЭУ, внутренняя поверхность камеры, а также заднего уплотняющего фланца покрывалась тонким

( $\sim 30$  мкг/см<sup>2</sup>) слоем сместителя спектра (p-p'-дифенилстильбена). Конверсионная эффективность Хе с этим сместителем составляет не менее 2%, длительность времени высвечивания  $\sim 30$  нсек /6,7/. Нанесение p-p'-дифенилстильбена производилось методом термического испарения в вакууме. На стенки камеры снаружи напылялось Al зеркало. Оно увеличивало световой выход камеры, а также выравнивало амплитуды сигналов от световых вспышек, возникающих в различных ее частях.

Регистрация световых вспышек осуществлялась с помощью двух ФЭУ-64, которые могли включаться по схеме совпадений. Амплитуда световой вспышки в Хе весьма сильно зависит от степени его очистки и чистоты внутренней поверхности детектора /5/.

Для наполнения детектора ксеноном была собрана установка, схема которой представлена на рис. 1. Перед наполнением камеры ксеноном последний очищался путем вымораживания в азотной ловушке и откачки в течение нескольких часов. Наполнение осуществлялось при размораживании ловушки с ксеноном в смеси ацетона с сухим льдом.

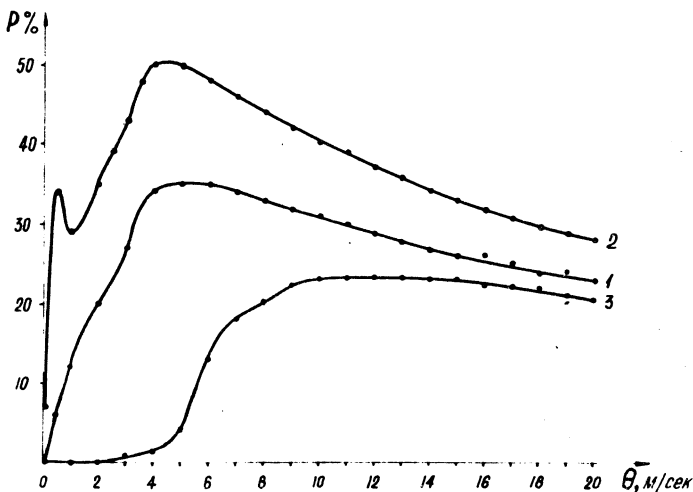
Был выполнен квантовомеханический расчет эффективности радиатора /3/ в предположениях, что сечение захвата УХН  $\sim 1/v$ , угловое распределение падающих на радиатор нейтронов изотропно, а распределение  $u^{235}$  в титановой фольге описывается выражением

$$\frac{C}{2} \left[ \Phi \left( \frac{x+h}{\sqrt{2Dt}} \right) - \Phi \left( \frac{x-h}{\sqrt{2Dt}} \right) \right],$$

где  $C$  - концентрация атомов  $u^{235}$ ,  $\Phi(x)$  - интеграл вероятности,  $h$  - толщина напыленного  $u^{235}$ ,  $D$  - коэффициент диффузии урана в титан  $t$  - время диффузии. Величина пробега осколка деления  $\nu$  входила в расчетную формулу параметрически и принималась равной  $\sim 4,5$  мк.

Проведенные оценки и испытания радиаторов в составе трековых детекторов на пучке УХН /3/ позволили установить указанные выше оптимальные значения параметров режимов напыления и отжига (масса напыляемого  $u^{235}$   $q \sim 1$  мкг/см<sup>2</sup>, температура отжига  $T = 920^\circ\text{C}$  и время отжига  $t = 2 \div 3$  сек). Зависимость эффективности радиатора от скорости нейтрона  $v$ , соответствующая этим значениям технологических параметров, представлена на рис. 2. (Эффективность радиатора увеличивается при напылении на него ниже-

левого "зеркала".) На рис. 2 представлена также зависимость от  $v$  эффективности регистрации УХН простым слоем  $U^{235}$  толщиной  $\sim 1$  мг/см<sup>2</sup>. Величина пробега осколка деления как и в предыдущем случае принималась равной 4,5 мк (т.е. средней величине про-

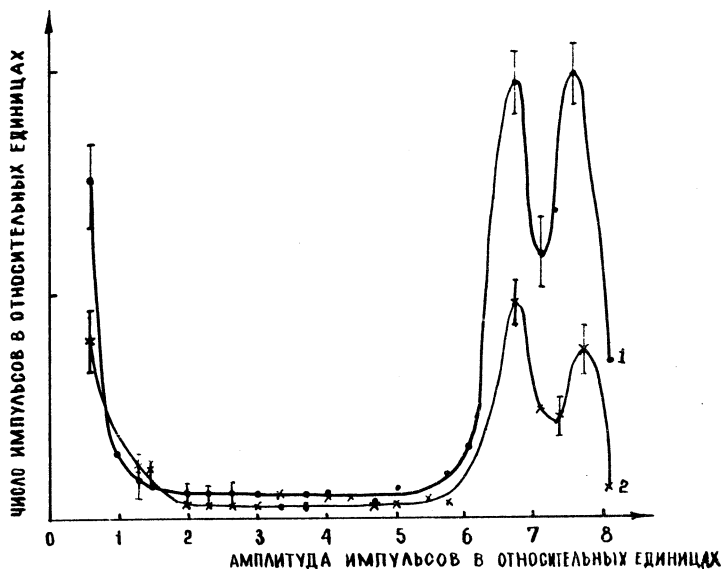


Р и с. 2. Теоретическая зависимость эффективности регистрации УХН уран-титановым радиатором (кривые 1-2) и слоем урана-235 (кривая 3) от скорости нейтрона при изотропном угловом распределении падающих на радиатор нейтронов. 1 - для титановой фольги  $d = 18$  мк; 2 - для титановой фольги  $d = 1,5$  мк. Во всех случаях  $R = 4,5$  мк,  $Q = 1$  мг/см<sup>2</sup>

бега в чистом уране группы тяжелых осколков /9/.) Характерны низкие значения эффективности простого слоя  $U^{235}$  при  $v < v_{Гр} = 4,9$  м/сек и резкая зависимость эффективности от скорости нейтрона при приближении  $v$  и  $v_{Гр}$ . Кроме того, использование чистого слоя  $U^{235}$  (или его соединения) в описываемом варианте детектора представляется затруднительным по той причине, что слой толщиной 1 мг/см<sup>2</sup>, нанесенный каким-либо образом на входное окошко, не обладает необходимой механической прочностью.

Детектор был испытан на пучке УХН в ЛИЯФ им. Б. П. Константинова. На рис. 3 представлено измеренное амплитудное распреде-

ление импульсов с детектора. Видно, что импульсы от осколков легко дискриминируются по амплитуде от импульсов, вызываемых  $\alpha$ -частицами. Эффективность регистрации детектором УХН /с  $v < v_{гр} =$



Р и с. 3. Амплитудное распределение импульсов с детектора. 1 - при открытой шторке (алюминевая фольга с напыленным тонким слоем изотопа меди  $Cu^{65}$ ,  $v_{гр} = 6,8$  м/сек); 2 - при закрытой шторке

$= 6,8$ /сек составляет  $\sim 30\%$  от эффективности используемого на канале пропорционального счетчика. (Эффективность последнего  $\sim 50\%$ ). Низкое значение эффективности обусловлено плохим качеством поставленного в детектор радиатора. Масса продрейфованного в титановую фольгу  $U^{235}$  составляет всего лишь  $\sim 0,31$  мг/см<sup>2</sup>. Исходя из приведенного амплитудного распределения, а также результатов испытания уран-титановых радиаторов (в составе трековых детекторов) с массой продрейфованного  $U^{235} \sim 1,5$  мг/см<sup>2</sup> /2/, авторы полагают, что может быть достигнута  $\sim 40\%$  абсолютная эффективность. Эффективность детектора еще может быть увеличена, если в качестве входного окошка использовать тонкую фольгу ( $\sim 100$

мк Al), а радиатор изготовить на основе титановой фольги толщиной  $\sim 1,5$  мк (см. рис. 2) и установить его непосредственно за окошком.

Помимо испытаний на пучке УХН детектор был испытан на тепловых нейтронах в условиях реактора ИИН-1. Количество нейтронов, излучаемых реактором за одно срабатывание ( $t \sim 10^{-3}$  сек) в полный телесный угол, составляет  $\sim 10^{17}$ . Мощность дозы  $\gamma$ -излучения у поверхности активной зоны порядка  $10^7 + 10^8$  р/сек. Детектор устанавливался в парафиновом блоке непосредственно под активной зоной реактора. Осуществлялась регистрация запаздывающих нейтронов.

Испытания детектора на импульсном реакторе показали возможность регистрации УХН в весьма жестких фоновых условиях, обусловленных высоким уровнем  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений. Эффективность регистрации УХН по мнению авторов может при этом тоже составлять  $\sim 40\%$ .

В заключение авторы выражают глубокую благодарность И. В. Штраниху за ценные замечания, высказанные при обсуждении ряда вопросов, связанных с созданием электронных схем детектора. Авторы также благодарят А. А. Бергмана, И. С. Тростина, В. М. Сережина, В. А. Смотряева за помощь в изготовлении детектора.

Поступила в редакцию  
17 июня 1974 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. А. В. Антонов и др. Регистрация ультрахолодных нейтронов, препринт ФИАН № 86, 1973 г.
2. В. М. Лобашев, Г. Д. Порсев, А. П. Серебров. Получение, хранение и поляризация ультрахолодных нейтронов, Препринт ЛМФ им. Б. П. Константинова № 37, 1973 г.
3. А. В. Антонов, А. И. Исаков и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 10, 14, (1974).
4. А. В. Антонов, С. А. Антипов и др. Краткие сообщения по физике ФИАН № 11, 11, (1974).
5. A. Sayers, C. S. Wu. Rev. Sci. Instr., 28, 759 (1957).
6. I. A. Northrop. IRE Trans., S-3, N1, 81 (1958).
7. Care O. Muehlhause. IRE Trans., S-3, N4, 78 (1956).
8. С. Д. Гердрикен, И. Я. Дехтяр. Диффузия в металлах и сплавах в твердой фазе, стр. 29, М., 1960 г.
9. James V. Niday. Phys. Rev. 121, 1476 (1961).