

ТРЕКОВЫЙ ДЕТЕКТОР УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ

А. В. Антонов, А. И. Исаков, С. П. Кузнецов,
Н. В. Линькова, В. И. Микеров, А. Д. Перекрестенко,
С. А. Старцев

УДК 539.074

Описывается трековый детектор ультрахолодных нейтронов (УХН), предназначенный для работы в условиях интенсивного облучения. Радиатор детектора выполнен из уран-титановой фольги. Регистрирующим элементом является слюдяная пластинка. Детектор обладает эффективностью регистрации УХН $\sim 60\%$.

При накоплении ультрахолодных нейтронов (УХН) в ловушках на стационарном /1/ и импульсном /2/ реакторах регистрация УХН осуществляется в условиях высокого уровня фона β и γ излучений. Эти излучения обусловлены активацией ловушки, помещаемой для накопления УХН в канал стационарного реактора, а в случае импульсного реактора — активацией узлов установки, располагаемых вблизи его активной зоны. В таких условиях обычные методы регистрации УХН оказываются малоприспособными. В связи с этим авторами был предложен ряд нечувствительных и малочувствительных к β и γ фону детекторов УХН /3/ (один из таких детекторов был осуществлен и описан в /4/).

В данной работе описывается разработанный авторами трековый детектор, состоящий из уран-титанового радиатора и регистрирующей слюдяной пластинки. Порог чувствительности слюды по заряду регистрируемой частицы соответствует $Ne^{20}/5$, поэтому такой детектор практически полностью нечувствителен к β -частицам, γ -квантам и α -частицам. Собственный фон детектора, связанный с содержанием в слюде спонтанно делящихся ядер, незначителен. Кроме того, в настоящее время разработаны способы его устранения. Одним из таких способов является отжиг слюды при $T=600^\circ C$ в течение 6 часов с последующим длительным травлением в плавиковой кислоте /6/. Отжигом устраняются треки осколков деления, не имеющие выхо-

да на поверхность пластинки. Треки, имеющие выход на поверхность, при длительном травлении достигают больших размеров. Время травления слюды после ее облучения выбирается значительно меньшим, чем в первом случае (6 часов в 45% HF при $T=20^{\circ}\text{C}$), и при просмотре поверхности слюды в микроскоп "полезные" треки легко отделяются от фоновых по своим размерам.

Рассмотрим теперь вопрос об эффективности регистрации УХН таким детектором. Эффективность регистрации определяется отношением числа зарегистрированных УХН к полному числу падающих на детектор. Будем считать, что УХН зарегистрирован, если трек осколка деления (образовавшегося в результате захвата УХН атомом U^{235}) после химической обработки слюды наблюдается в оптический микроскоп. Как известно /7/, слюда регистрирует практически все падающие на нее осколки. Поэтому эффективность детектора целиком определяется эффективностью его радиатора.

Уран-титановый радиатор изготавливался методом термодиффузии в титановую фольгу напыленного на нее U^{235} . Площадь фольги была $35 \times 35 \text{ мм}^2$, толщина $d \sim 18 \text{ мк}$.

Авторами был проведен квантовомеханический расчет эффективности радиатора исходя из следующих предположений:

1. Сечение захвата УХН ядрами t_1 и U^{235} подчиняется закону $1/v$.
2. Концентрация U^{235} определяется выражением

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

где x - расстояние от поверхности напыленного слоя, D - коэффициент диффузии, t - время диффузии, C - концентрация U^{235} в напыленном слое, h - толщина напыленного слоя, $\Phi(x)$ - интеграл ошибок.

3. Угловое распределение падающих на радиатор УХН изотропно.

4. Величина пробега осколка деления R входила в расчетную формулу как параметр (R принималась равной средней величине пробега в чистом уране группы тяжелых осколков, т.е. $R = 4.5 \text{ мк}$).

проведенные в этих предположениях оценки показали, что эффективность регистрации максимальна в области малых значений параметра диффузии $\sqrt{Dt} \sim 0,5 \div 0,8 \text{ мк}$ и $Q \sim 1 \text{ мг/см}^2$.

На рис. 1 представлены результаты расчета на ЭИМ зависимости эффективности радиатора от скорости нейтрона v для значений параметра диффузии $\sqrt{Dt} = 0,58$ мк, $Q = 10^{-3}$ г/см² и $R = 4,5$ мк.

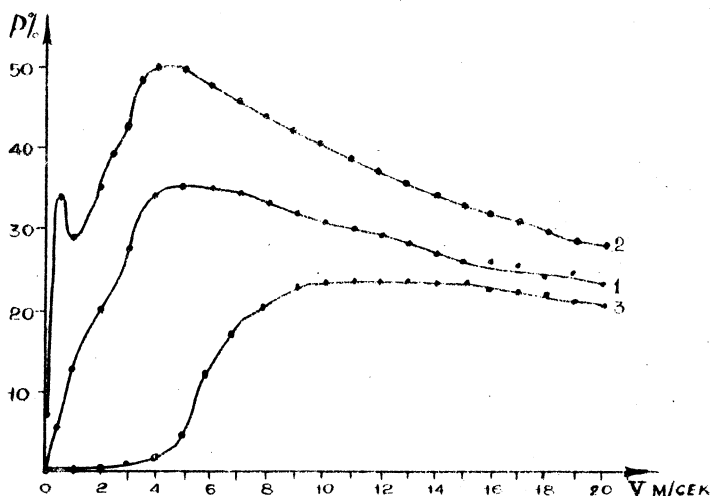


Рис. 1. Теоретическая зависимость эффективности регистрации УХН уран-титановым (кривые 1-2) и урановым (кривая 3) радиаторами от скорости нейтрона при изотропном угловом распределении падающих на радиатор нейтронов: 1 - для титановой фольги $d = 18$ мк; 2 - для титановой фольги $d = 1,5$ мк. Во всех случаях $R = 4,5$ мк; $Q = 1$ мг/см²

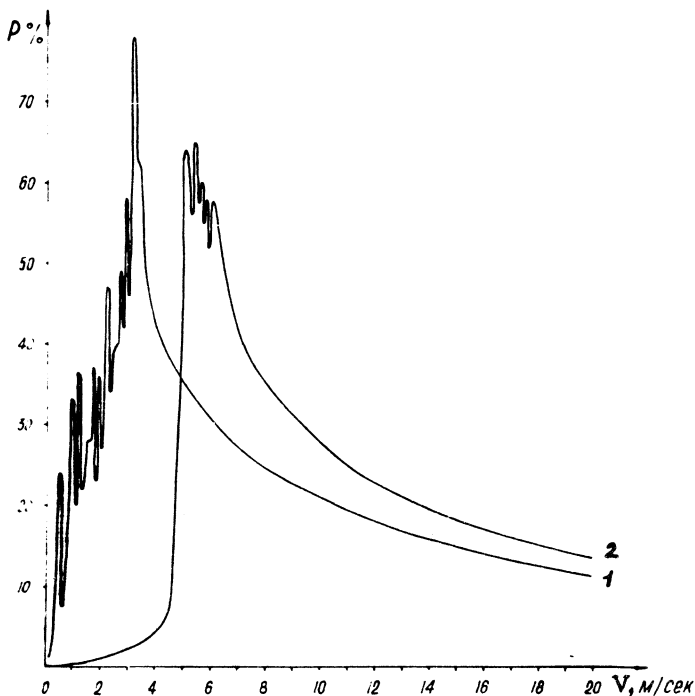
На этом же рисунке для сравнения представлена зависимость эффективности регистрации УХН обычным слоем U^{235} , определяемая выражением

$$P = - \int_0^a dy \left(1 - \frac{y}{k_x} \right) \frac{2mU_1}{kh^2} |\psi|^2;$$

$$\text{где } |\psi|^2 = \frac{4k^2 |(k_1 + k)\exp(-ik_1y) + (k_1 - k)\exp(ik_1y)|^2}{|\exp(-ik_1a)(k + k_1)^2 - \exp(ik_1a)(k - k_1)^2|^2}.$$

$$k_1^2 = k^2 - 2mU/h^2; \quad k = mv/h.$$

Как видно из вышеприведенной формулы, ρ представляет собой интеграл от изменения плотности потока вероятности /8/ (при прохождении нейтронной волны через прямоугольный потенциальный барьер



Р и с. 2. Теоретическая зависимость эффективности регистрации УХН уран-титановым ($d = 18$ мк, кривая 1) и урановым (кривая 2) радиаторами от скорости нейтрона при перпендикулярном к поверхности радиатора падении нейтронов. В обоих случаях $R = 4,5$ мк. $Q = 1$ мг/см²

ер $U = U_0 + iU_1$) с множителем, учитывающим вероятность выхода осколка деления из слоя U^{235} .

Из рис. 1 видно, что эффективность радиатора из титановой фольги с продрейфованным в нее U^{235} ($v_{гр} = 4,9$ м/сек) при изотропном угловом распределении нейтронов может достигать $\sim 40\%$ и более (для фольги толщиной $\sim 1,5$ мк). Например, в случае слоя U^{235} следует ожидать весьма низкой эффективности регистрации

УХН с $v < v_{гр}$ ($\leq 3\%$). При этом должна наблюдаться резкая зависимость эффективности от v вблизи $v_{гр}$, чего нет в предыдущем случае.

На рис. 2 представлена зависимость эффективности уран-титанового и уранового радиаторов от скорости нейтрона при перпендикулярном к поверхности радиатора падении нейтронов. "Пикки" на кривых обусловлены интерференцией нейтронных волн, отраженных от областей с различным потенциалом.

Эффективность детектора может быть увеличена за счет специального "зеркала" (например, ni^{58}), напыленного на радиатор.

Изготовленные с учетом проведенных оценок трековые детекторы были испытаны на пучке УХН в ЛМФ им. Б. П. Константинова. Для определения фона "надникелевых" нейтронов ($v > v_{гр} = 6,9$ м/сек) половина облучаемой нейтронами поверхности трекового детектора закрывалась алюминиевой фольгой ($d \sim 10$ мк) с напыленным на нее тонким слоем ni толщиной ~ 1000 Å. Время облучения детектора составляло 6 часов, что обеспечивало при обработке набор статистической точности 3-5%.

Испытания показали, что эффективность регистрации детектором "подникелевых" нейтронов составляет примерно 120% от эффективности пропорционального счетчика, стоящего на канале. Абсолютная эффективность последнего составляет $\sim 50\%$.

При сравнении результатов испытания с теоретическими расчетами необходимо учитывать:

1. Погрешность определения абсолютной величины потока "подникелевых" нейтронов пропорциональным счетчиком.
2. Отклонение реального распределения u^{235} в титановой фольге от принятой в расчете модели.
3. Неизотропность углового распределения УХН в нейтронноводе. С учетом этих обстоятельств согласие результатов опыта с расчетом можно считать вполне удовлетворительным.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность В. М. Лобашову за представленную возможность испытать детекторы на канале УХН реактора ЛМФ, а также сотрудникам этого института Г. Д. Порсеву, А. П. Сереброву и Н. И. Бутусову за помощь в проведении этих испытаний.

Поступила в редакцию
17 июня 1974 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. В. Антонов, А. И. Исаков, В. Е. Солодильов. Краткие сообщения по физике ФИАН, № I, 57 (1970).
2. А. В. Антонов, А. И. Исаков, М. В. Казарновский, В. Е. Солодильов. Препринт ФИАН № 98, 1969 г.
3. А. В. Антонов и др. Препринт ФИАН № 86, 1973 г.
4. В. А. Анисколенко и др. Препринт ФИАН № 92, 1973 г.
5. R. L. Fleischer, P. B. Price, R. M. Walker. Phys. Rev., 156, 353 (1967).
6. А. Капуслик, В. П. Перелыгин и др. ПТЭ, № I, 43 (1968).
7. M. Debeauvais, M. Maurette, J. Moru, R. M. Walker. J. Appl. Rad. and Isotopes, 15, 289 (1963).
8. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Квантовая механика, М., 1963 г., стр. 78.