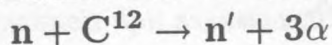


УДК 539.1.01.03

**ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ D-T НЕЙТРОНОВ
В ТРЕКОВОМ ДЕТЕКТОРЕ CR-39 ПО РЕАКЦИИ**А. М. Маренный¹, Н. А. Нефедов¹, А. С. Русецкий

Экспериментально исследована эффективность регистрации D-T нейтронов с энергией 14,1 МэВ трековым детектором CR-39 по реакции $n + C^{12} \rightarrow n' + 3\alpha$. Для эффективности, усредненной по различным направлениям, получено значение $(4,7 \pm 0,6) \cdot 10^{-7}$. Дополнительный радиатор на поверхности CR-39 (50 мкм полиэтилена) повышает среднюю эффективность до $(1,2 \pm 0,1) \cdot 10^{-6}$.

Одним из методов регистрации быстрых нейтронов ($E_n > 10$ МэВ) является использование трекового детектора CR-39, представляющего собой полимер $C_{12}H_{18}O_7$. Отклик CR-39 на нейтроны высоких энергий исследовался во многих работах [1 – 6]. Одной из возможных реакций, которые происходят при взаимодействии нейтрона с веществом детектора, является неупругое рассеяние нейтрона на ядре C^{12} , приводящее к его распаду на три α -частицы:



Сечение реакции (1) при $E_n = 14,5$ МэВ составляет 190 мб, а ее порог около 7,4 МэВ [7].

Наличие треков трех α -частиц, вылетевших из одной точки, позволяет с уверенностью отделить этот тип реакции от всех других, которые происходят при облучении CR-39 нейтронами. По параметрам треков (диаметр, наклон, длина) можно оценить энергии вылетевших α -частиц и восстановить энергию, переданную первичным нейтроном ядру C^{12} .

¹Научно-исследовательский центр радиационной безопасности космических объектов, Москва.

Для облучения детекторов CR-39 был использован источник $D-T$ нейтронов Государственного научно-исследовательского и проектного института редкометаллической промышленности (ГИРЕДМЕТ) [8]. $D-T$ нейтроны генерировались путем бомбардировки мишени из TiT_2 пучком дейтронов с энергией 350 кэВ. Плотность потока нейтронов на стенке мишенной камеры составляла $4 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Детекторы CR-39 помещались на расстоянии 31 см от мишени. Использовались как обычные детекторы, так и детекторы с дополнительным радиатором (50 мкм полиэтилена). Детекторы закреплялись под пятью различными углами $\varphi = 0, 30, 45, 60, 75^\circ$ между направлением потока нейтронов и нормалью к плоскости детектора. При времени облучения 5 с флюенс нейтронов в области расположения детекторов составил около $2 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$.

После облучения детекторы подвергались травлению в 6Н растворе $NaOH$ при температуре 70° в течение 7 часов. (Объемная скорость травления 1,3 мкм/ч.) Исследование полученных треков проводилось на оптическом микроскопе МБИ-9.

Методика подсчета 3α -событий заключалась в следующем. Из всего многообразия треков, вызванных взаимодействиями $D-T$ нейтронов в детекторе, отбирались только треки, удовлетворяющие следующим условиям:

- 1) Треки должны иметь четкую форму, указывающую направление вылета α -частицы.
- 2) Направления треков должны сходиться в одной точке с точностью около 10 мкм, что примерно равно среднему диаметру трека α -частицы для данных условий травления.
- 3) Треки должны располагаться в круге диаметром не более 80 мкм, что соответствует сумме пробега в CR-39 α -частиц с максимальной энергией, генерированных в реакции (1), и максимального диаметра трека α -частицы.

Микрофотографии различных типов 3α -событий представлены на рис. 1. В зависимости от количества энергии, переданной нейтроном ядру C^{12} , и направления вылета α -частиц картины 3α -событий значительно различаются.

Средняя плотность всех треков в детекторе CR-39 без радиатора, расположенном под углом $\varphi = 0^\circ$, равнялась $(1,53 \pm 0,05) \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$. Отсюда можно оценить полную эффективность (т.е. с учетом всех процессов взаимодействия) для нормально падающего потока $D-T$ нейтронов. Она равна $\eta_0 = (7,6 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$. Это значение хорошо согласуется с приведенным в [3] значением эффективности $(7 - 8) \cdot 10^{-5}$.

Плотность 3α -событий в детекторах до облучения была меньше 1 см^{-2} . Эффектив-

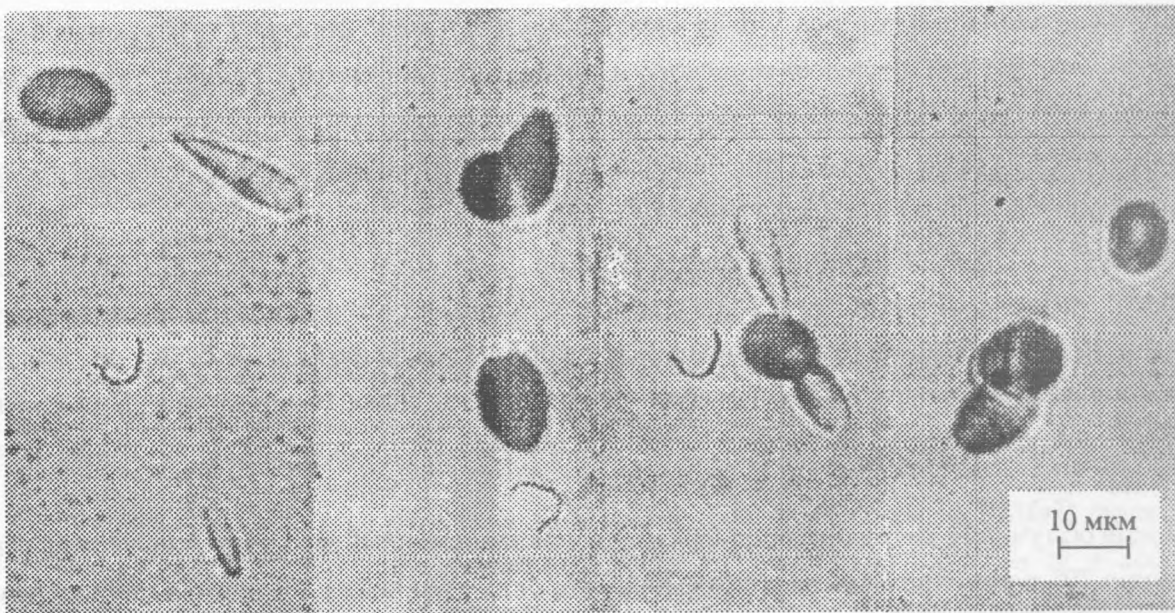


Рис. 1. Микрофотографии 3α -событий в детекторе CR-39 (травление в 6N растворе NaOH, 7 часов при 70°C).

ность регистрации $D-T$ нейтрона по реакции (1) оценивалась как $\eta_{3\alpha}(\varphi) = N_{3\alpha}(\varphi)/N_n$, где $N_{3\alpha}(\varphi)$ (см^{-2}) – плотность 3α -событий при данном угле φ , $N_n = 2 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$ – флюенс нейтронов за время облучения. Экспериментально полученные значения $\eta_{3\alpha}(\varphi)$ приведены на рис. 2. В случае детектора с радиатором зависимость эффективности от угла выражена более ярко.

Среднее значение эффективности определяется как $\langle \eta_{3\alpha} \rangle = \langle N_{3\alpha} \rangle / N_n$, где $\langle N_{3\alpha} \rangle = (\sum_i^5 N_{3\alpha}(\varphi_i)) / 5$ – средняя плотность 3α -событий для пяти детекторов (с радиатором или без него). В случае детектора без радиатора $\langle \eta_{3\alpha} \rangle = (4,7 \pm 0,6) \cdot 10^{-7}$, а с радиатором $\langle \eta_{3\alpha} \rangle = (1,2 \pm 0,1) \cdot 10^{-6}$. Т.о., наличие радиатора увеличивает эффективность регистрации в 2,6 раза. Увеличение эффективности при наличии радиатора связано с тем, что такой детектор регистрирует продукты реакции (1), происходящей не только в слое травления, но и в тонком радиаторе перед детектором (пробег α -частиц с энергией 4 МэВ в полиэтилене около 20 мкм).

В случае детектора без радиатора слой, где происходит регистрация, примерно равен слою травления (около 10 мкм). Отсюда можно оценить вероятность η взаимодействия

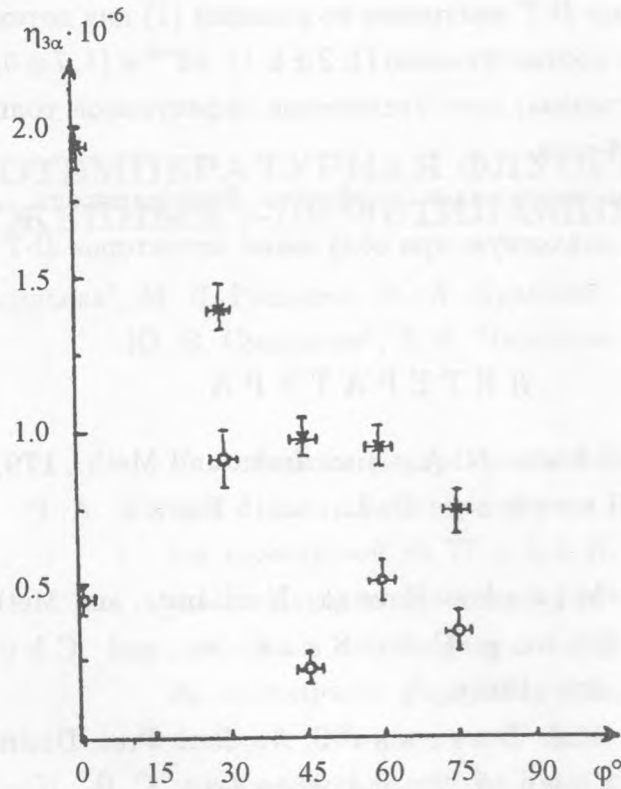


Рис. 2. Эффективность регистрации D-T нейтрона в CR-39 с помощью реакции (1) $\eta_{3\alpha}$ при различных углах φ . о – детектор без радиатора, х – детектор с радиатором (50 мкм полиэтилена).

D-T нейтрона в CR-39 по каналу (1):

$$\eta = 1 - \exp(-N_c \sigma_{3\alpha} x),$$

где $N_c = 3 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ – концентрация C^{12} в CR-39, $\sigma_{3\alpha} = 190 \text{ мб}$ – сечение реакции (1) при $E_n = 14,5 \text{ МэВ}$, $x \simeq 10 \text{ мкм}$ – толщина регистрирующего слоя, что дает $\eta \simeq 5,6 \cdot 10^{-6}$. Отношение $\eta_{3\alpha}(0^\circ)/\eta \simeq 0,07$, т.е. только около 7% всех 3α -распадов удовлетворяют условиям отбора 3α -событий.

Описанная методика может найти применение для изучения потоков высокоэнергичных нейтронов ($E_n > 10 \text{ МэВ}$). Она также позволяет измерить энергию, переданную нейтроном ядру C^{12} . Таким образом, зная порог реакции (1), можно оценить первоначальную энергию нейтрона. Наличие треков трех α -частиц, вылетевших из одной точки, позволяет с хорошей точностью отделять данные события от фоновых. Средние

эффективности регистрации D - T нейтронов по реакции (1) для детекторов CR-39 с радиатором и без него равны соответственно $(1,2 \pm 0,1) \cdot 10^{-6}$ и $(4,7 \pm 0,6) \cdot 10^{-7}$. Наличие радиатора (50 мкм полиэтилена) дает увеличение эффективной толщины регистрирующего слоя примерно в 2,6 раза.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность А. В. Андрееву (ГИРЕДМЕТ) за помощь, оказанную при облучении детекторов D - T нейтронами.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Khan H. A. and Khan N. A. Nucl. Instr. and Meth., **179**, 491 (1980).
- [2] Turner T. W., Hershaw D. L., and Fews A. P. Nucl. Tracks Rad. Meas., **8**, 341 (1984).
- [3] Oda K., Ito M., Miyake H. et al. Nucl. Instr. and Meth., **B35**, 50 (1988).
- [4] Bradley D. A., Chong C. S., Saat A., and Chose A. M. Nucl. Tracks Rad. Meas., **11**, 205 (1986).
- [5] Matiullah K. J. and Durrani S. A. Rad. Prot. Dosimetry, **19**, 5 (1987).
- [6] Hooton B. W., Haque A. V. and Besant C. B. Nucl. Instr. and Meth., **197**, 443 (1982).
- [7] Физические величины (Справочник под ред. И. С. Григорьева и Е. З. Мейлихова). М., Энергоатомиздат, 1991, с. 1128.
- [8] Андреев А. В., Барит И. Я., Варич О. М. и др. Атомная энергия, **66**, вып. 2, 134 (1989).

Поступила в редакцию 29 апреля 1998 г.