

Поведение $\Phi(r)$ и $u(r)$

$r, \text{см}$	0	10	20	30	40	50	55
$\Phi(r)$	1,25	1,24	1,22	1,21	1,17	1,29	1,49
$u(r)$	0,80	0,81	0,82	0,83	0,86	0,78	0,67

может быть только компоновка с $u(r) = U_{\text{макс}}$ всюду в $[0, R]$. С ростом мощности будет расти и $\Phi(r)$, так что при некоторой мощности P_1 (в случае исследуемого реактора для определенности будем считать, что $L_0 < L_0^*$ и $\tau_0 < L_0^2$) окажется $\Phi(R) = q_{\text{макс}}/U_{\text{макс}}$. При $P > P_1$ и $u(r) = U_{\text{макс}}$ у границы с отражателем появится бы участок с $\Phi(r) > q_{\text{макс}}/U_{\text{макс}}$, на котором нарушается теплотехническое ограничение. Поэтому при $P > P_1$ оптимальным должно быть распределение с $u(r) = U_{\text{макс}}$ в центре реактора и с $u(r) = q_{\text{макс}}/\Phi(r)$ у границы с отражателем. С дальнейшим увеличением мощности при $P = P_2 > P_1$ окажется $\Phi(0) = q_{\text{макс}}/U_{\text{макс}}$, и для $P_1 > P_2$ оптимальной будет компоновка с участками $u(r) = q_{\text{макс}}/\Phi(r)$ в центре и на краю и участком $u(r) = U_{\text{макс}}$ между ними. Наконец, при мощности $P = P_3 > P_2$ участок с $u(r) = U_{\text{макс}}$ стягивается в точку, и при $P \geq P_3$ оптимальной будет компоновка с $u(r) = q_{\text{макс}}/\Phi(r)$ всюду в активной зоне.

Численными расчетами * было подтверждено, что в указанных случаях выполняется необходимое условие оптимальности рассматриваемой системы. Расчеты проводились при $\eta = 2,3$; $L_0 = 169 \text{ см}^2$; $L_0^2 = 10^4 \text{ см}^2$; $\tau = \tau_0 = 144 \text{ см}^2$; $\Delta = 200 \text{ см}$ и одинаковых коэффициентах диффузии активной зоны и отражателя, причем $\Phi(r)$ нормировано так, что $q_{\text{макс}} = 1$.

Приведем в качестве иллюстрации характер изменения $\Phi(r)$ и $u(r)$ для случая, когда $P \geq P_3$ и $R = 55 \text{ см}$ (см. таблицу). Тогда максимальный поток тепловых нейтронов $\Phi(r) \approx 1,84$, а положение максимума потока нейтронов соответствует $r_{\text{макс}} \approx 71 \text{ см}$. При $P > P_3$, как и следовало ожидать, с ростом r поток нейтронов $\Phi(r_{\text{макс}})$ растет слабо, расстояние $r_{\text{макс}} - R$ сокращается незначительно. Так, при изменении R в диапазоне 55—75 см $\Phi(r_{\text{макс}})$ и $r_{\text{макс}} - R$ меняются только в четвертом знаке.

Таким образом, для каждого реактора с известными константами активной зоны и отражателя и с заданными величинами $U_{\text{макс}}$ и $q_{\text{макс}}$ имеются три характерных параметра: значения мощности P_1, P_2 и P_3 (или потока нейтронов $\Phi(r_{\text{макс}})$), являющиеся границами существования указанных выше компоновок. Каждому значению мощности P соответствует своя оптимальная компоновка. Среди таких компоновок и следует отыскивать ту, которая минимизирует функционал (1). Минимум последнего может быть определен после задания конкретного значения $u(r)$.

Поступило в Редакцию 15/VI 1971 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Ерыкалов, Ю. В. Петров. «Атомная энергия», 25, 52 (1968).
2. Л. С. Понтрягин и др. Математическая теория оптимальных процессов. М., Физматгиз, 1959.
3. В. А. Троцкий. «Прикладная математика и механика», 26, 29 (1962).
4. Т. С. Зарицкая, А. П. Рудик. «Атомная энергия», 22, 6 (1967).
5. Э. Г. Сахновский. «Атомная энергия», 29, 201 (1970).

* Расчеты были выполнены В. П. Глушаковым.

Использование твердых трековых детекторов в реакторных экспериментах

В. А. КУЗНЕЦОВ, А. И. МОГИЛЬНЕР, В. П. КОРОЛЕВА, В. С. САМОВАРОВ, Л. А. ЧЕРНОВ УДК 539.1.074.88

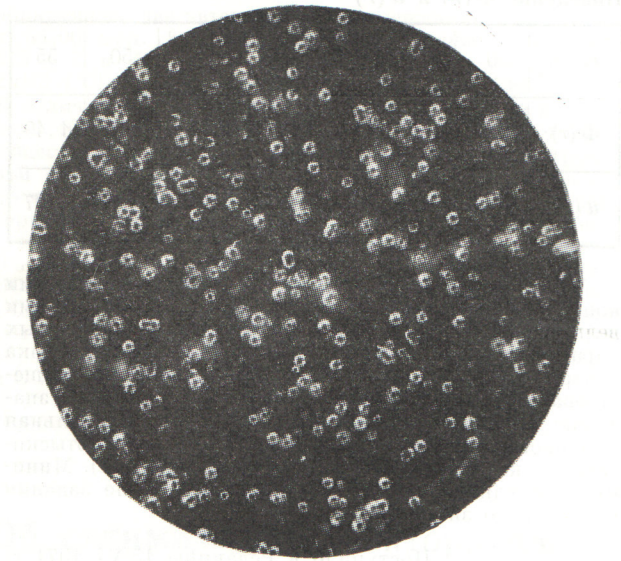
В последние годы для регистрации осколков деления и заряженных частиц в ядерной физике и физике реакторов все чаще находят применение твердые трековые детекторы [1—3]. Высокая чувствительность и эффективность регистрации, малые размеры и малое вносимое излучение — эти преимущества трековых детекторов особенно ценны при измерениях на критических сборках с пассивными решетками и малыми нейтронными ловушками. Цель данной работы — разработка методики регистрации осколков деления с помощью трековых детекторов из нитроцеллюлозы α -частиц из реакций ${}^{235}\text{U}(n, f)$, ${}^{238}\text{U}(n, f)$, ${}^{239}\text{Pu}(n, f)$ и осколков деления ${}^{235}\text{U}$ с помощью слюды, выбор подходящих материалов для регистрации, исследование их характеристик в режимах травления, а также применение методики в экспериментах на реакторе.

Нитроцеллюлоза. Для регистрации α -частиц ${}^{235}\text{U}$ и ${}^{239}\text{Pu}$ использовались киноплёнки марок А-2 и ВЧ и рентгеновские пленки РФ-3, РФ-5 на основе нитрата целлюлозы. При травлении в качестве химического раство-

рителя использовали водные растворы едких натрия или кали. Треки α -частиц размером 20—30 мк после травления рассматривали в микроскопе типа МИМ-7 при увеличении 130. На рис. 1—5 представлены фотографии треков α -частиц слоя B^{10} , а также зависимости размеров треков от времени травления (для двух растворителей), от температуры, концентрации растворителя и энергии α -частиц. Для нитроцеллюлозы можно рекомендовать следующие режимы травления: растворитель NaOH , его концентрация 30%, $t^0 = 60^\circ \text{C}$, $T_{\text{трав}} = 15 \text{ мин}$.

Слюда. Осколки деления регистрировались слюдой. Перед облучением слюду протравливали, чтобы отделить фоновые треки в ней от треков деления в реакторе по размерам.

На рис. 6 показана фотография треков осколков деления слоя ${}^{235}\text{U}$ наряду с фоновыми треками (крупные ромбы). Для травления слюды использовали 40%-ный HF ($t = 60^\circ \text{C}$, $T_{\text{трав}} = 30 \text{ мин}$).



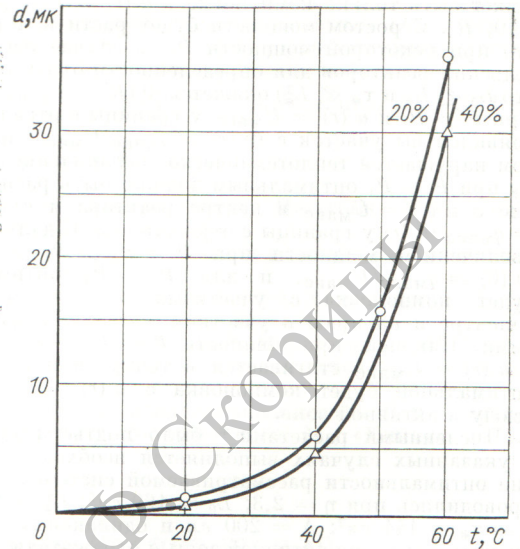
Р и с. 1. Фотография треков α -частиц слоя B^{10} на нитроцеллюлозе.

Индикаторные слои. Образцы нитроцеллюлозы и слюды облучали в реакторе вплотную с индикаторными слоями B^{10} , Li^6 , U^{235} . Слой бора и лития толщиной $0,05 \text{ мг/см}^2$ изготавливали путем вакуумного напыления на медные подложки. Слой U^{235} 90%-ного обогащения толщиной $0,2 \text{ мг/см}^2$ был нанесен на титановую подложку. Кроме того, использовали металлическую урановую фольгу толщиной $0,035 \text{ мм}$.

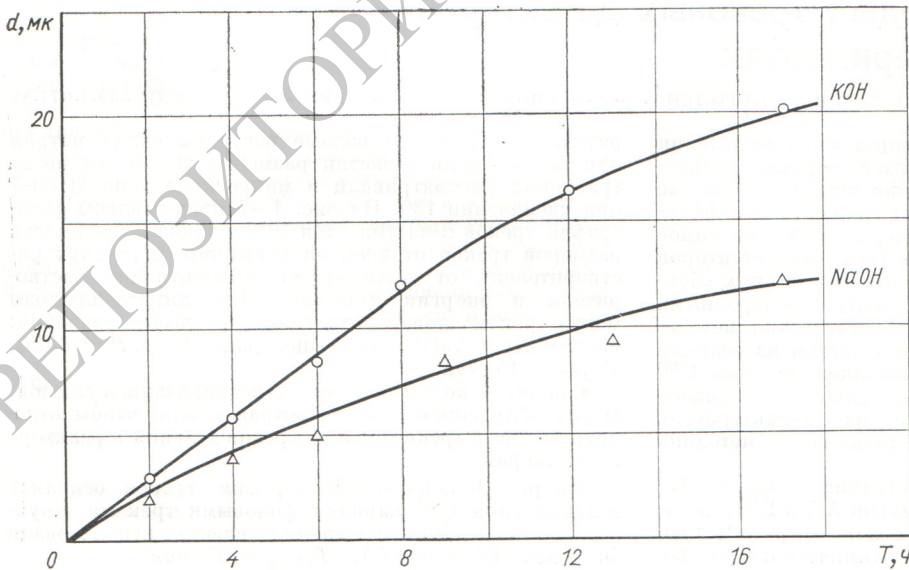
Измерения. На сборке ПФ-4Ф8 [4] в центре с компенсирующим стержнем из карбида бора диаметром $19,2 \text{ мм}$ измеряли относительное распределение плотности поглощения нейтронов по радиусу стержня в средней плоскости реактора с помощью нитроцеллю-

лозы и полупроводникового кремниевоегo счетчика. Результаты представлены на рис. 7. Ошибки при измерении нитроцеллюлозой незначительны ($\sim 1\%$), поэтому на рисунке не показаны.

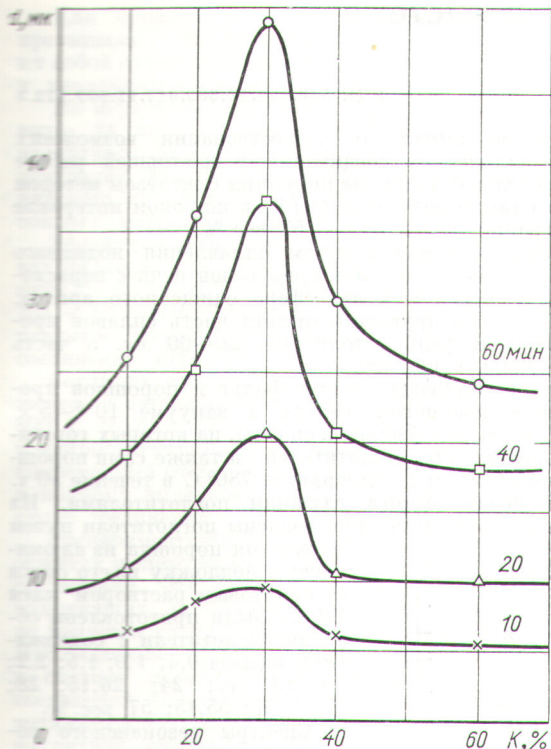
Известно, что отношения сечений нейтронных реакций для некоторых изотопов могут служить чувствительной характеристикой спектра нейтронов в реакторе. Облучая нитроцеллюлозу вместе со слоями B^{10} , Li^6 и слюду со слоем U^{235} в фиксированной точке реактора (на середине радиуса активной зоны в средней плоскости реактора), а также в тепловой колонне, можно



Р и с. 3. Зависимость размеров треков α -частиц слоя B^{10} от температуры растворителя $NaOH$ при концентрациях 20% и 40% (время травления 1 ч).



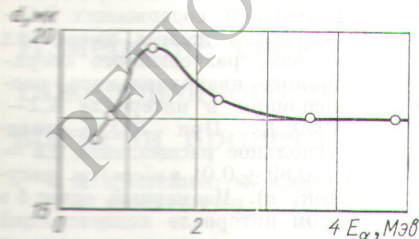
Р и с. 2. Зависимость размеров треков α -частиц слоя B^{10} от времени травления нитроцеллюлозы в различных химических растворителях ($t = 20^\circ \text{C}$, концентрация 20%).



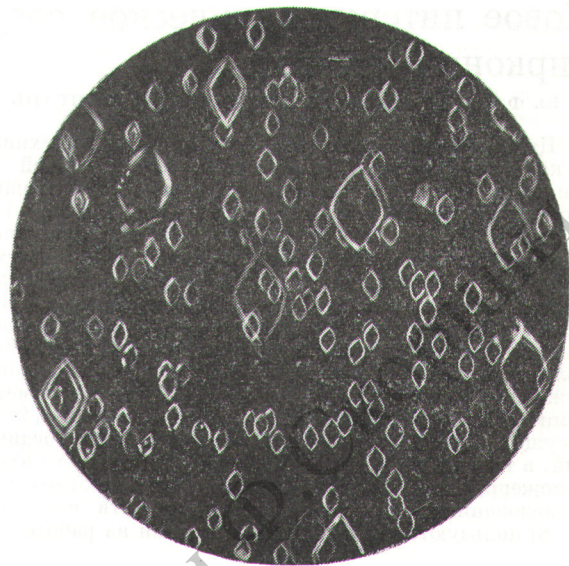
Р и с. 4. Зависимость размеров треков α -частиц слоя B^{10} от концентрации растворителя NaOH при $t = 60^\circ C$ для различных времен травления.

получить спектральные индексы: $\bar{\sigma}(B^{10})/\bar{\sigma}_f(U^5) = 3,48 \pm 0,17$ для трековых детекторов, $\bar{\sigma}(B^{10})/\bar{\sigma}_f(U^5) = 3,53 \pm 0,07$ для ионизационных камер, $\bar{\sigma}(B^{10})/\bar{\sigma}(Li^6) = 4,01 \pm 0,12$ для трековых детекторов. При их вычислении использовали сечения реакции (n, α) на B^{10} и Li^6 для тепловых нейтронов [5] и сечение деления U^{235} для тепловых нейтронов [6]. Круг задач, решаемых с помощью твердых трековых детекторов, может быть значительно расширен в результате использования различных индикаторных слоев.

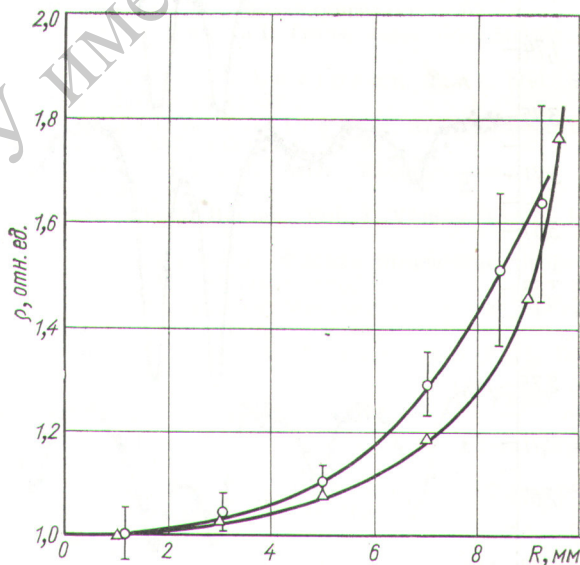
Поступило в Редакцию 7/VII 1971 г.
В окончательной редакции 12/I 1972 г.



Р и с. 5. Зависимость размеров треков от энергии α -частиц (растворитель NaOH, концентрация 30%, $t = 60^\circ C$, время травления 15 мин).



Р и с. 6. Фотография треков осколков деления слоя U^{235} на слюде.



Р и с. 7. Распределение плотности поглощения нейтронов ρ по радиусу стержня из карбида бора, измеренное нитроцеллюлозой (Δ) и полупроводниковым Au - Si-счетом (\circ).

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Fleischer, P. Price, R. Walker. Ann. Rev. Nucl. Sci., 15, 1 (1965).
2. Х. Абдулаев и др. ПТЭ, № 6, 64 (1968).
3. G. Somogyi. Atomki Közlemenyek, 8 Kötet, 3 szam, 1966, p. 218.
4. А. И. Могильнер и др. «Атомная энергия», 24, 42 (1968).
5. И. В. Гордеев и др. Ядерно-физические константы. М., Госатомиздат, 1963.
6. J. Stehn et al. Neutron Cross Section, BNL-325, Second Edition, Supplement № 2. Vol. III, 1965.