

теля может быть принята равной нулю, а изменение статистического веса учтено по оптическому пути, который проходит нейтрон в поглотителе:  $w = e^{-d}$ , где  $d$  — оптический путь. Величина  $d$  подсчитывается при каждом пересечении траектории с поглотителем или с хорошей точностью принимается равной

$$d = \frac{4V}{S} \Sigma_a.$$

Для нахождения по методу корреляций эффекта, вносимого регуляторами с рассеивающими свойствами, которые отличаются от свойств отражателя, необходимо рассчитать серию траекторий.

Практические расчеты на ЭВМ показали, что время, необходимое для расчета тысячи историй с началом в одной из групп для бериллиевого отражателя различной толщины  $q$ , составляет:  $t = 2,5$  мин для  $q = 10$  см;  $t = 5$  мин для  $q = 20$  см;  $t = 7,5$  мин для  $q = 30$  см. При расчете многогрупповой матрицы время увеличивается пропорционально числу групп.

Как показало сравнение результатов, полученных по описанной методике, с результатами аналитических расчетов для системы поглощающих стержней в отра-

жателе, точность 10—15% от  $\Delta k_{\text{эфф}}$  достигается уже после прослеживания одной-двух тысяч историй для каждой группы. Влияние регуляторов на изменение спектра реактора учитывается автоматически при решении диффузионного уравнения для активной зоны.

Практика расчетов показала, что применение коррелированного расчета альбедным методом позволяет исследовать эффекты до величины, равной 0,1% реактивности.

В заключение автор выражает благодарность Е. С. Глушковой, принимавшему участие в постановке задачи, за ценные советы.

Поступило в Редакцию 20/II 1967 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. С. Б. Шихов, В. И. Давыдов, Л. К. Шихов. В сб. «Инженерно-физические вопросы ядерных реакторов». М., Атомиздат, 1966, стр. 67.
2. Г. И. Марчук. «Методы расчета ядерных реакторов». М., Атомиздат, 1961.

## Влияние пустых каналов на длину замедления нейтронов

И. С. ГРИГОРЬЕВ

УДК 621.039.512.42

Теория диффузии в гетерогенных средах неоднократно проверялась экспериментально [1—3]. Представляет интерес выяснить основные закономерности влияния гетерогенной структуры замедлителя на длину замедления нейтронов.

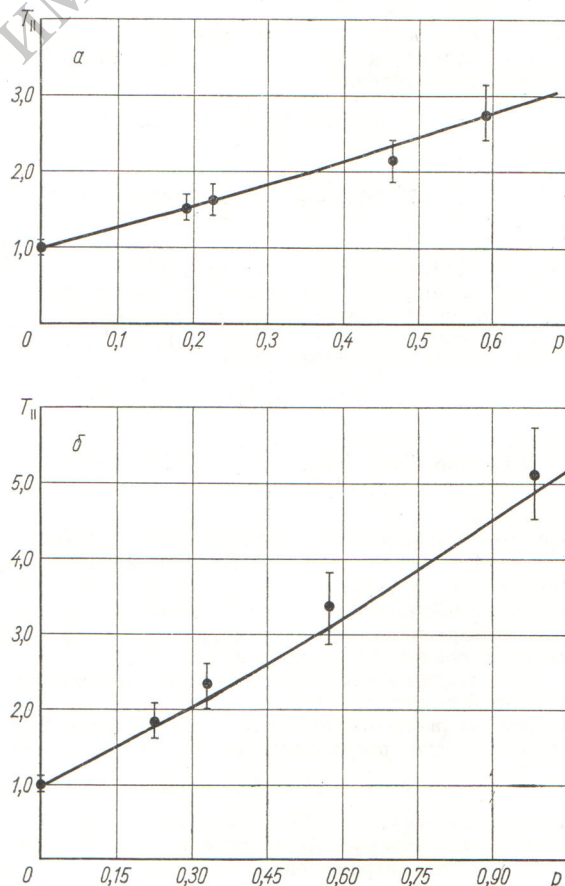
В настоящей работе было проведено экспериментальное измерение относительного влияния решетки пустых цилиндрических каналов на длину замедления нейтронов в воде. Вода в качестве замедлителя была выбрана из тех соображений, что ожидаемый эффект для нее достаточно велик, поскольку зависимость средней длины свободного пробега нейтронов в воде от их энергии более существенна, чем для графита или бериллия.

Возраст нейтронов измерялся в призме размером  $126 \times 126 \times 126$  см. Решетки образовывались двумя наборами тонкостенных алюминиевых труб радиусом  $\rho$ , равным 1,2 и 2,15 см. Источником нейтронов служил мультипликатор из блоков природного урана диаметром 22 мм, помещенный на тепловую колонну реактора. Надтепловой поток нейтронов  $\Phi(x)$  измерялся камерой деления, заполненной  $U^{235}$  (обогащение 75%) и окруженной кадмиевым экраном толщиной 1 мм.

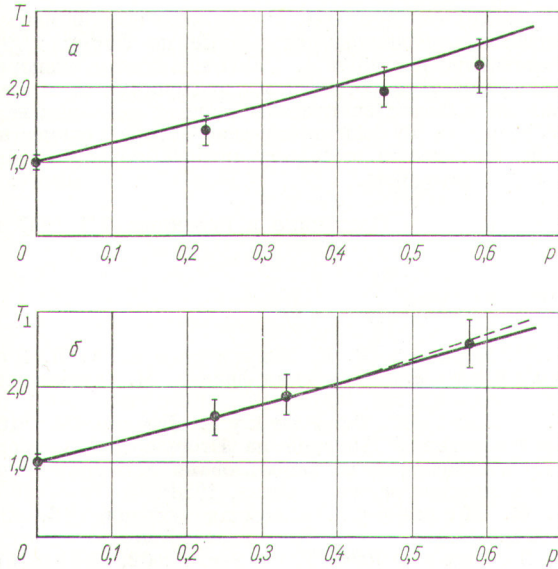
Для определения экспериментального значения возраста нейтронов в гетерогенной среде использовалось соотношение

$$\tau = \frac{1}{2} \overline{R^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\int_0^{\infty} x^2 \Phi(x) dx}{\int_0^{\infty} \Phi(x) dx}. \quad (1)$$

Интегрирование в выражении (1) проводилось в два этапа: 1) от нуля до некоторого  $x_0$  — численно по экспе-



Р и с. 1. Значения факторов  $T_{\parallel}(\rho)$  при  $\rho$ : а — 1,2 см; б — 2,15 см.



Р и с. 2. Значения факторов  $T_{\perp}(p)$  при  $\rho$ :  
а — 1,2 см; б — 2,15 см.

риментальным точкам; 2) от  $x_0$  до  $\infty$  — аналитически по экстраполяционным кривым типа  $Ae^{-\lambda x}$ . Значения экстраполяционных добавок составляли 7—15% от измеренных величин  $\tau$ .

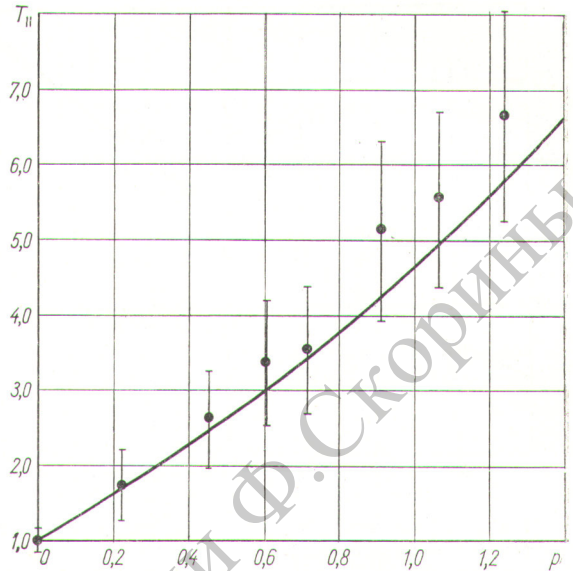
Возраст нейтронов измерялся как в направлении, параллельном оси каналов  $\tau_{\parallel}$ , так и в направлении, перпендикулярном к оси  $\tau_{\perp}$ . На рис. 1, 2 приведены измеренные значения относительного увеличения возраста нейтронов в среде с пустыми каналами:

$$T_i(p) = \frac{\tau_i(p)}{\tau_0}, \quad (2)$$

где  $p$  — пористость;  $\tau_0$  — возраст нейтронов для воды без каналов. Измеренное значение  $\tau_0$  оказалось равным  $(20 \pm 2) \text{ см}^2$ . Такое уменьшение возраста обусловлено смягчением спектра нейтронов, подходящего к гетерогенной среде. Смягчение спектра происходило в результате неупругих соударений в блячках урана, а также рассеяний в материалах, находившихся между мультипликатором и гетерогенной средой (толщина слоя графита  $\sim 40 \text{ мм}$ , алюминия  $\sim 10 \text{ мм}$ , воды  $8 \text{ мм}$ ). Форма нейтронного спектра  $S(u_0)$ , падающего на гетерогенную среду, рассчитывалась на основании вероятности первых столкновений в указанных выше материалах.

Сплошные линии на рис. 2 соответствуют теоретическим значениям фактора  $T_i(p)$ , которые получены из выражения, учитывающего влияние пустот на длину замедления:

$$\tau_i(\bar{u}) = \int_{-2}^{\bar{u}} S(u_0) du_0 \int_{u_0}^{\bar{u}} \frac{L_i(\mu\rho, u, p) du}{3\mu_s(u) \mu_{tr}(u) \xi(u)} + \int_{-2}^{\bar{u}} \frac{S(u_0) L_i(\mu\rho, u_0, p) du_0}{3\mu_s(u_0) \mu_{tr}(u_0)}, \quad (3)$$



Р и с. 3. Значения факторов  $T_{\parallel}(p)$  для  $\rho = 2,15 \text{ см}$  (Ро —  $\alpha$  — Ве-источник).

где  $\bar{u}$  — средняя летаргия камеры (для использованного детектора  $\bar{u} = +11,3$ );  $L_i(\mu\rho, u, p)$  — относительное увеличение квадрата длины диффузии для моноэнергетических нейтронов;  $\mu_s$  и  $\mu_{tr}$  — макроскопическое и транспортное сечение рассеяния;  $\xi$  — логарифмический декремент затухания. Расчетное значение  $\tau_0(\bar{u})$  равно  $18,82 \text{ см}^2$ . Кроме сравнения экспериментальных значений с расчетными, полученными по формуле (3), было вычислено  $\tau(u)$  по формуле

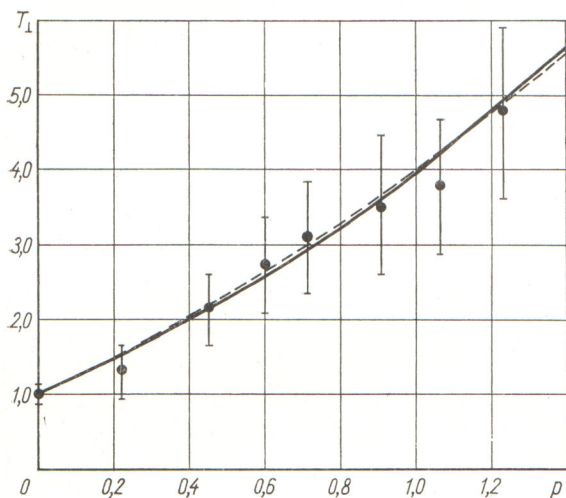
$$\tau(u) = \frac{\int_{-2}^{18,125} \tau(u) W(u) du}{\int_{-2}^{18,125} W(u) du}, \quad (4)$$

где  $W(u)$  — спектральная чувствительность камеры. Полученные результаты отличаются от приведенных не более чем на 2—3%.

Для факторов увеличения  $T_{\parallel}$  значения  $L_{\parallel}$  вычислялись по формуле Биренса [4]. Теоретические значения  $T_{\perp}$  рассчитывались на основании использования для  $L_{\perp}$  формулы Картера [5] (пунктирные линии) и Бенуа [6] (сплошные линии). Причем в последнем случае предельное значение коэффициента  $\delta Q_{\perp}(\mu\rho)$ , учитывающего вклад угловых корреляций отдельных пробегов нейтронов, принято равным 0,62.

Расчетные кривые приведены без учета эффектов, связанных с анизотропией рассеяния нейтронов. Учет этих поправок [7] дает положительный вклад в величины  $T_i$ , равный 2—5%.

Кроме измерений факторов  $T_i$  от плоского источника со спектром несколько мягче, чем спектр деления, были проведены измерения величин  $T_i(p)$  для точечного Ро —  $\alpha$  — Ве-источника. В этом случае индикатором нейтронов служила камера деления с  $U^{235}$  (обогащение 75%), на которую надевался поглощающий чехол из смеси окислов самария и гадолиния, при



Р и с. 4. Значения факторов  $T_{\perp}(\rho)$  для  $\rho = 2,15$  см (Ро —  $\alpha$  — Ве-источник).

этом величина  $\bar{u}$  составляла 11,7. Абсолютное значение возраста нейтронов  $t_0$ , измеренное как разность между квадратами длины миграции и диффузии, оказа-

лось равным  $(62 \pm 5)$  см<sup>2</sup>. Результаты экспериментов и расчетные значения, полученные по формуле (3), приведены на рис. 3 и 4. Различия между экспериментальными и теоретическими значениями и в этом случае не выходит за пределы ошибок эксперимента.

Усреднение (3) было выполнено автором совместно с В. М. Новиковым, которому автор выражает глубокую признательность.

Поступило в Редакцию 7/1 1967 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К. Н. Мухин, В. К. Макарьин, А. П. Венедиктов. Нейтронная физика. М., Атомиздат, 1961, стр. 198.
2. G. Shaefcr, D. Parkyn. Доклад № 310, представленный Англией на Вторую международную конференцию по использованию атомной энергии в мирных целях (Женева, 1958).
3. И. Ф. Жежерун. «Атомная энергия», 16, 123 (1964).
4. D. Behrens. Proc. Phys. Soc. A, 62, 607 (1949).
5. G. Carter. J. Nucl. Energy (part A), 15, 76 (1961).
6. P. Venoist. J. Nucl. Energy (part A), 13, 97 (1961).
7. В. М. Новиков. «Атомная энергия», 21, 272 (1966).

## Исследование электрофорезных фильтров с графитовыми анодами

Ю. Ф. КУЛЕШОВА, В. А. ЦЫКАНОВ, Г. И. ЧИСТЯКОВА

УДК 621.359.3

В работе В. Д. Ганжа и др. \* описано применение электрофорезного фильтра с анодами из платинированного титана и катодами из нержавеющей стали 1X18N9T для очистки воды первого контура реактора. Платина, платинированный титан и цирконий — дефицитные и дорогостоящие материалы, поэтому нами была проведена работа по исследованию возможности применения графита в качестве анода. Показано, что для этой цели можно использовать графит марки ППГ.

Кроме того, определялся коэффициент очистки в зависимости от напряженности электрического поля и скорости протекания воды в межэлектродном пространстве фильтра при различном исходном количестве окислов железа в ней. Так как устойчивость графитовых электродов существенно зависит от температуры воды и плотности тока в ячейке, эксперименты проводились при различных температурах и электропроводностях воды.

Для сравнения эффективности работ электрофорезных фильтров с анодами из платинированного титана и графита марки ППГ были использованы одинаковые схемы исследования обоих фильтров (рис. 1).

В исследованиях применялась вода из бассейна выдержки реактора СМ-2, в которой преобладали взвеси окислов железа. Размеры частиц взвеси были равны 1—7 мк. Электропроводность исходной воды составляла  $(2 \div 6) \cdot 10^{-5}$  ом<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup>, кроме тех случаев, когда проверялась очистка вод при повышенной электропроводности, для чего в бак I добавлялся хлористый калий. При изучении влияния температуры воды на качество фильтрации и поведение фильтра имелась

возможность подогревать воду на входе в ячейку фильтра и измерять температуру графитовых анодов.

В отдельных экспериментах — при изучении возможности повышения коэффициента очистки — межэлектродное пространство заполнялось стекловолокном.

Сначала были проведены эксперименты с целью сравнения коэффициентов очистки фильтров с платинированными \* и графитовыми анодами. Сравнения проводились при различных напряженностях электрического поля  $H$  (при постоянном напряжении изменялось расстояние между электродами) и различных временах контакта воды с электродами. Результаты сравнения приведены на рис. 2 для фильтра без набивки и с набивкой межэлектродного пространства. На рис. 3 приведена зависимость коэффициента очистки от напряженности электрического поля для фильтра с графитовыми анодами.

Для проверки стойкости графитовых анодов были проведены эксперименты с повышенной температурой и электропроводностью воды. Результаты этих экспериментов представлены в табл. 1 и 2. Из табл. 1 видно, что с повышением температуры коэффициент очистки понижается, хотя в исследованном интервале температур разрушение графита не отмечалось. Из табл. 2 следует, что с повышением электропроводности воды резко возрастает ток, а следовательно, и температура графита, что может привести к разрушению анодов. Кроме того, при возрастании тока резко усиливается электролиз воды с ухудшением коэффициента очистки.

\* Работы с платинированными анодами выполнены на той же схеме сотрудниками ФТИ им. Иоффе В. Ганжа и А. Борисовым.

\* В. Д. Ганжа и др. «Атомная энергия», 19, 350 (1965).