

Все письма и статьи, опубликованные в журнале, поддаются рецензии. Письма и статьи, не имеющие рецензий, не поддаются рецензии. Письма и статьи, не имеющие рецензий, не поддаются рецензии.

## Определение параметров кинетики подкритических сборок

Б. И. КОЛОСОВ, И. П. МАТВЕЕНКО, В. Я. ПУПКО, Э. А. СТУМБУР, В. А. ТАРАСОВ,  
А. Г. ШОКОДЬКО

УДК 621.039.512

Одним из наиболее распространенных методов исследования размножающихся систем является изучение эффектов, вносимых при введении относительно малых образцов. Это позволяет при интерпретации подобных экспериментов использовать аппарат теории возмущений первого порядка. Как правило, такие изменения проводятся на реакторах вблизи критического состояния, а мерой возмущения системы служит изменение ее реактивности.

Для глубоко подкритических систем, где определение реактивности затруднено, аналогичные методы изучения их нейтронофизических характеристик могут быть развиты на основе метода импульсного нейтронного источника [1]. Основной величиной, характеризующей возмущение системы и измеряемой экспериментально, является изменение асимптотического декремента затухания  $\alpha$  для мгновенных нейтронов.

Асимптотическое распределение мгновенных нейтронов  $\varphi(\bar{r}, \bar{v})$  в системе с размножением определяется \* уравнением

$$\hat{Q}_p \varphi - \hat{L} \varphi + \frac{\alpha}{v} \varphi = 0, \quad (1)$$

где

$$\hat{Q}_p \varphi \equiv (1-\beta) \chi_p \int v \Sigma_f(\bar{r}, \bar{v}') \varphi(\bar{r}, \bar{v}') d\bar{v}',$$

$$\hat{L} \varphi \equiv \bar{\Omega} \nabla \varphi + \Sigma_t(\bar{r}, \bar{v}) \varphi - \int \Sigma_s(\bar{r}, \bar{v}' \rightarrow \bar{v}) \varphi(\bar{r}, \bar{v}') d\bar{v}';$$

остальные обозначения общепринятые.

В частности, такие эксперименты позволяют относительно просто определять важные параметры кинетики системы — времена генерации и жизни мгновенных нейтронов:

$$\Lambda = \frac{\left( \varphi^+, \frac{1}{v} \varphi \right)}{\left( \varphi^+, \hat{Q}_p \varphi \right)}, \quad (2)$$

$$l = \frac{\left( \varphi^+, \frac{1}{v} \varphi \right)}{\left( \varphi^+, \hat{L} \varphi \right)}, \quad (3)$$

где  $\varphi^+(\bar{r}, \bar{v})$  — собственная функция уравнения, сопряженного с выражением (1) [2]. Эти параметры связаны

\* Предполагается, как и в большинстве работ [1], что  $\alpha \gg \lambda_i$ , т. е. большие всех постоянных распада источников запаздывающих нейтронов, и поэтому ими можно пренебречь.

соотношением

$$\alpha = \frac{1}{l} - \frac{1}{\Lambda}. \quad (4)$$

Различие между временем генерации  $\Lambda$  и временем жизни  $l$  растет по мере увеличения величины  $\alpha$ , т. е. уменьшения  $K_{\text{эфф}}$  реактора; для подкритических систем  $\Lambda > l$ .

Применение теории возмущений первого порядка (для квазистационарного распределения нейтронов — эта теория развита в работе [3]) показывает, что время генерации мгновенных нейтронов  $\Lambda$  относительно просто может быть измерено при частичном замещении по всему объему активной зоны делящегося вещества на поглотитель с эквивалентными поглощающими и рассеивающими свойствами [4].

В общем случае из теории возмущений следует:

$$\delta \alpha = \frac{(\varphi^+, \delta \hat{L} \varphi - \delta \hat{Q}_p \varphi)}{\left( \varphi^+, \frac{1}{v} \varphi \right)}, \quad (5)$$

где  $\delta \hat{L} \varphi - \delta \hat{Q}_p \varphi = -\varphi \delta \Sigma_t + \int \varphi \delta \Sigma_s d\bar{v}' + (1-\beta) \chi_p \times \times \int \varphi \delta (v \Sigma_f) d\bar{v}'$ . Очевидно, что в случае упомянутого выше частичного замещения, когда  $\delta \hat{L} = 0$ , а  $\delta \hat{Q}_p = -\varepsilon \hat{Q}_p$  (где  $\varepsilon$  — доля делящегося вещества, замененного эквивалентным поглотителем), имеем

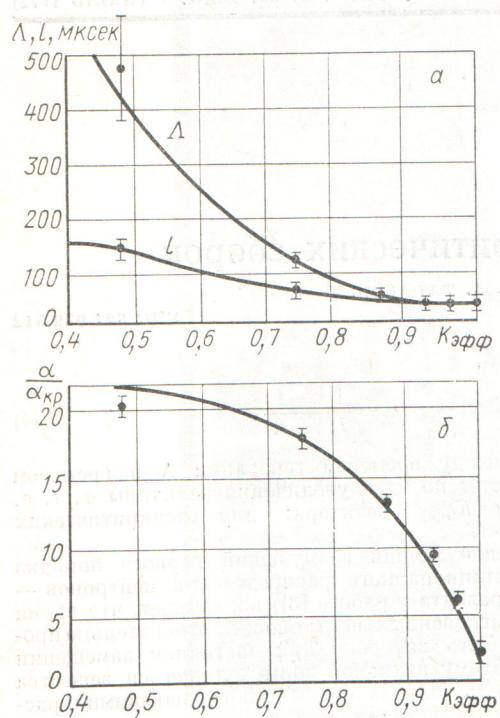
$$\delta \alpha = \frac{(\varphi^+, \hat{Q}_p \varphi)}{\left( \varphi^+, \frac{1}{v} \varphi \right)} \varepsilon = \frac{\varepsilon}{\Lambda}. \quad (6)$$

Однако практически в эксперименте удобно осуществить полное замещение делящегося вещества поглотителем ( $\varepsilon = 1$ ) в небольшом объеме активной зоны  $\Delta V_i$ . Это приводит к изменению декремента потока мгновенных нейтронов  $\Delta \alpha_i$  для всей системы, которое регистрируется в эксперименте. Суммирование эффекта от подобных операций по всему объему активной зоны позволяет определить времена генерации:

$$\Lambda = \frac{1}{\sum \Delta \alpha_i}. \quad (7)$$

Время жизни  $l$  может быть найдено из соотношения (4).

Следует отметить, что поскольку в эксперименте наиболее просто измерять наименьшее значение декремента для мгновенных нейтронов, определяемый таким образом параметр  $\Lambda$  характеризует асимптотическое (во времени) распределение нейтронов, хотя в принципе метод позволяет находить аналогичные величины для более высоких гармоник.



Зависимость параметров кинетики от  $K_{\text{эфф}}$ .  
— расчет; ● — эксперимент.

Экспериментальная проверка этой методики проводилась на гетерогенной уран-водной сборке [5]. Гексагональную решетку высокообогащенных твэлов, расположенных с шагом 3,2 см, помещали в плексигласовый бак, заполненный водой. Бак имел форму прямоугольной призмы и представлял собой критический реактор без отражателя. Уменьшение  $K_{\text{эфф}}$  осуществляли за счет последовательной выгрузки четного числа симметрично расположенных рядов твэлов, начиная с двух противоположных внешних границ системы. Создаваемые таким образом подкритические системы имеют фиксированные наружные размеры, но переменные (по одной из осей) размеры активной зоны и водяного отражателя.

Декременты затухания мгновенных нейтронов изменились методом импульсного нейтронного источника с помощью аппаратуры и методик обработки экспериментальных данных, аналогичных описанным ранее [5].

Для экспериментов были изготовлены поглотители из порошкообразного карбида бора (в смеси с  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), которые по сечению поглощения (для  $v = 2200 \text{ м/сек}$ ) и геометрическим размерам соответствуют топливной композиции. В подкритических сборках эффект возмущения определялся при замене одного твэла на поглотитель, а число точек измерения определялось симметрией системы и числом твэлов в ней. Поскольку замещение целого твэла в данном реакторе приводило к относительно большому возмущению, эффект в критической системе измерялся от образцов небольшой длины (до 0,1 длины твэла), и в дальнейшем в результатах экспериментов вводилась соответствующая поправка.

Для учета неэквивалентности замещения по сечениям поглощения и рассеяния были проведены специальные расчеты \* в 18-групповом  $R_1$ -приближении (с учетом гетерогенности в тепловой группе), показавшие, что для данной гетерогенной системы поправка на этот эффект незначительна ( $\sim 3,5\%$ ).

Результаты экспериментов и расчетные зависимости, полученные по программе «Спектр» [6], приведены на рисунке. Результаты экспериментов согласуются с расчетными данными и показывают, что для изучения систем параметр  $\Lambda$  (см. рисунок a) изменяется в широком диапазоне (от  $\sim 30$  до  $\sim 500 \text{ мксек}$ ). Следует отметить, что интенсивный рост времени генерации соответствует ослаблению зависимости  $\frac{\alpha}{\alpha_{\text{кр}}} = f(K_{\text{эфф}})$  (см. рисунок b), т. е. переходу к случаю «толстого» отражателя [7]. При этом время жизни мгновенных нейтронов приближается к значению времени жизни тепловых нейтронов в отражателе (пределное значение его для данной сборки  $170 \text{ мксек}$ ).

Авторы призывают Ю. Е. Егорову за помощь в экспериментах и Р. М. Струтинскому за проведение расчетов.

Поступило в Редакцию 9/IX 1971 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Pulsed Neutron Research. Vienna, IAEA, 1965.
2. Б. Дэвисон. Теория переноса нейтронов. М., Атомиздат, 1960.
3. E. Pendlebury. Proc. Phys. Soc. A, 68, 474 (1955).
4. В. Я. Пупко. Препринт ФЭИ-103, 1967.
5. Э. А. Стумбур и др. «Атомная энергия», 25, 13 (1968).
6. Б. И. Колосов. Препринт ФЭИ-166, 1969.
7. Э. И. Стумбур и др. «Атомная энергия», 27, 215 (1969).

\* Расчеты были проведены Р. М. Струтинским.

## Определение площади миграции

Н. В. СЕРГЕЕВ, Ю. А. ПЛАТОВСКИХ

Обычное определение площади миграции  $M^2 = L^2 + \tau$  может быть использовано для нахождения  $k_{\text{эфф}}$  реактора без отражателя в том случае, когда деление происходит только в тепловой области. В настоящей работе показано, как определить площадь миграции при наличии деления в надтепловой области.

УДК 621.039.51.12

Запишем статическое уравнение для плотности нейтронов  $N(r, v)$  в форме

$$HN = k_{\text{эфф}}^{-1} \Phi(v) \int_0^\infty vv' \Sigma_f N(r, v') dv', \quad (1)$$