

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗРАСТА НЕЙТРОНОВ В МАТЕРИАЛАХ БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ

Кабанова М.А., Кузьмин А.В., Южаков А.В.

Научный руководитель: Кузьмин А.В., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: kma1509@mail.ru

DETERMINATION THE AGE OF NEUTRONS IN MATERIALS OF THE FAST REACTORS

Kabanova M.A., Kuzmin A.V., Yuzhakov A.V.

Scientific Supervisor: Kuzmin A. V., Ph.D., Associate Professor

Tomsk Polytechnic University, Russia, Lenin str., 30, 634050

E-mail: kma1509@mail.ru

Рассматривается методика расчета возраста нейтронов в двух основных зонах быстрого реактора – в теплоносителе и топливе. Для вычисления возраста используются групповые константы. Кроме того дается краткая оценка имеющимся системам констант.

Идею быстрого реактора впервые в сороковых годах высказал Э.Ферми и независимо от него воплотил наш соотечественник А. Лейпунский. К 50 годам прошлого века введена программа перехода на эти эффективные, но при этом дорогие реакторы. Топливом в них помимо основных делящихся нуклидов ^{235}U и ^{239}Pu будут служить более распространенные в природе ^{238}U и ^{232}Th , а теплоносителем апробированный в эксплуатации натрий. Одной из важнейших характеристик в нейтронной физике является возраст нейтронов. Возраст связан с миграцией быстрых нейтронов в процессе замедления. Эта характеристика важна при расчете размеров активной зоны ядерного реактора, так как она определяет утечку замедляющихся нейтронов. По согласованию теоретического и экспериментального определения возраста судят о правильности выбора ядерно-физических констант.

В данной работе расчет возраста нейтронов ведется по методике, использованной в [1] для графита – самого первого замедлителя тепловых реакторов. Отличительной особенностью для материалов в быстром реакторе является упругое резонансное рассеяние в среде натрия и резонансное поглощение в ^{238}U (рис. 1).

Для определения возраста нейтронов в i -ой группе используются следующие формулы группового метода [1-3]:

$$\tau_i = \frac{D^{(i)}}{N \cdot (\sigma_a^{(i)} + \sigma_R^{(i)})}, \quad (1)$$

где коэффициент диффузии нейтронов в группе определяется выражением

$$D^{(i)} = \frac{1}{3\Sigma_{tr}^{(i)}} = \frac{1}{3 \cdot N\sigma_{tr}^{(i)}}, \quad (2)$$

а сечение поглощения в среде с ядерной концентрацией $N \text{ см}^3$ определяется выражением:

$$(\sigma_a^{(i)} = \sigma_c^{(i)} + \sigma_{in}^{(i)}). \quad (3)$$

Для расчета возраста нейтронов использованы следующие сечения 28-групповой системы констант [2]: $\sigma_c^{(i)}$ – микроскопическое эффективное сечение радиационного захвата в i -той группе; $\sigma_{in}^{(i)}$ –

сечение неупругого рассеяния, которое в себя включает сечения реакций $(n, 2n)$ и $(n, 3n)$; $\sigma_c^{(i)} \equiv \sigma_e^{(i)}$ – сечение упругого рассеяния; $\mu^{(i)}$ – средний косинус угла рассеяния, $\zeta^{(i)}$ – среднее приращение летаргии при упругом рассеянии.

Кроме этого данные были дополнены расчетом транспортного сечения, которое определялось по формуле:

$$\sigma_{tr}(\mathbf{u}) = \sigma_c(\mathbf{u}) + \sigma_{in}(\mathbf{u}) + \sigma_s(\mathbf{u}) \cdot (1 - \mu(\mathbf{u}))$$

и сечением увода нейтронов из группы за счет упругого рассеяния нейтрона ядром среды [4]:

$$\sigma_R^{(i)} = (\zeta \sigma_s)^{(i)} / \Delta u,$$

где Δu – ширина группы в единицах летаргии.

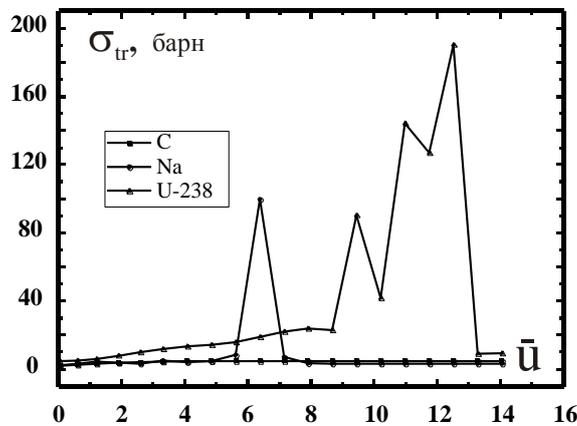


Рис. 1. Микроскопические транспортные сечения углерода, натрия и урана-238 в зависимости от среднего значения летаргии в группах

Поскольку обычно используемые в экспериментах границы замедления моделируются от средней энергии спектра нейтронов деления ^{235}U равного 2 МэВ до индиевого резонанса $E=1,46$ эВ [4], которые являются лишь частью энергетического диапазона 4 и 23 групп, то с учетом правки получим следующие значения возраста в 4-й группе – 556,9 см², а в 23 группе – 229,3 см².

После сложения всех составляющих в группах значение возраста в натрии при замедлении в указанном интервале энергий будет равно:

$$\sum \tau_i^{21 \text{ yA} \dots 1,46 \text{ yA}} = 6702,6 \text{ см}^2.$$

Для сравнения были привлечены результаты численного эксперимента работы ФЭИ [5], в которой для того же диапазона замедления и по данным ядерно-физических свойств на то время значение возраста оказалось равным 6616,6 см². Относительная разница результатов составила 1,3%, что говорит о достоверности экспериментальных данных.

Для ^{238}U в [2] приведены две библиотеки констант: БНАБ-МИКРО и БНАБ-78, основанные на данных до 1977 года. В БНАБ-МИКРО сечения ^{238}U были выявлены расчетно-экспериментальные расхождения, поэтому была предложена БНАБ-78 с откорректированными сечениями для данного нуклида (рис. 2). Считается, что БНАБ-78 наиболее рекомендуемая библиотека для проектных расчетов.

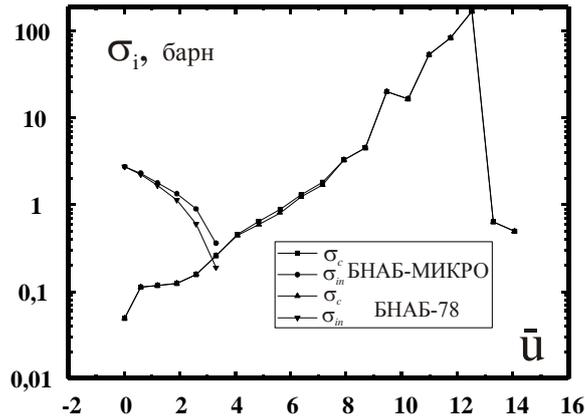


Рис. 2. Корректировка сечений радиационного захвата и неупругого рассеяния ^{238}U в БНАБ-78

Используя прежнюю процедуру расчета с учетом правки в 4 и в 23 группах и не учитывая сечения деления ^{238}U , были получены следующие значения возраста по данным БНАБ-МИКРО и БНАБ-78, соответственно:

$$\sum \tau_i^{21 \text{ y} \dot{\text{A}} \dots 1,46 \text{ y} \dot{\text{A}}} = 161,43 \text{ см}^2, \quad \sum \tau_i^{21 \text{ y} \dot{\text{A}} \dots 1,46 \text{ y} \dot{\text{A}}} = 177,53 \text{ см}^2.$$

Корректировка сечений (рис.2) на более надёжные экспериментальные данные привела к отличию в результатах на +9%. Если сравнивать с оценкой возраста в ^{238}U , проведенной ФЭИ на основе экспериментальных данных до 1969 года [5] и равной $288,6 \text{ см}^2$, то отличие относительно наших результатов составит -38,5%.

Таким образом, судить о достоверности групповых констант по ^{238}U пока невозможно в виду отсутствия прямых опытных данных по определению возраста и поэтому следует ожидать их дальнейшей корректировки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кузьмин А.В. К расчёту возраста нейтронов в графите. Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т.323. – №2. – С.135-139.
2. Абагян Л.П., Базаянц Н.О., Бондаренко И.И., Николаев М.Н. Групповые константы для расчета ядерных реакторов: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1964. – 122 с.
3. Основы теории и методы расчёта ядерных энергетических реакторов: Учеб. пособие для вузов / Г.Г. Бартоломей, Г.А. Бать, В.Д. Байбаков, М.С. Алхутов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 512 с., ил
4. Кузьмин А.В. Экспериментальное и расчетное определение возраста нейтронов деления в различных средах: Учеб. пособие для вузов. – Томск: Изд-во ТПУ. 2011. – 208 с.
5. Марченко Л.В., Сергеев Ю.А. Расчет квадрата длины замедления для различных сред в 18- и 26-групповых приближениях и их сравнение с экспериментальными данными // Бюллетень центра по ядерным данным. – М.: Атомиздат, 1969. – Вып. 6. С.319–390.