Определение асимптотического спектра нейтронов и эффект «фиктивного» поглощения

В. П. ГОРЕЛОВ, Е. В. МАЛИНОВСКАЯ, В. И. ЮФЕРЕВ

УДК 621.039.51.12

Уравнение переноса в приближении независимости сечений реакций от скорости в операторном виде записывается следующим образом:

$$\hat{L}[\varphi(x)] = \hat{S}[\varphi(x)]. \qquad (1)$$

Здесь x — точка фазового пространства $\{\mathbf{r}, \mathbf{\Omega}, u\}$, где $u = \ln\frac{E_0}{E}$ — летаргия;

$$L[\ldots] = \mathbf{\Omega}\nabla\ldots + \Sigma_{tr}(\mathbf{r})\ldots -$$

$$-\frac{\Sigma_{es}(\mathbf{r})}{4\pi}\int_0^u du' \int d\Omega' g_{es}(u'-u)\ldots -$$

$$-\frac{\Sigma_{in}(\mathbf{r})}{4\pi} f(u) \int_0^u du' \int d\Omega' \ldots;$$

$$\hat{S}[\ldots] = \frac{\nu_f \Sigma_f(\mathbf{r})}{4\pi} \mathrm{X}(u) \int_0^\infty du' \int d\Omega' \ldots;$$

$\Sigma_{tr}, \Sigma_{es}, \Sigma_{in}, \Sigma_f$ — транспортное сечение, сечения упругого, неупругого рассеяний и деления соответственно; $g_{es}(u'-u) = ae^{-\beta(u-u')} + b\delta(u-u')$ — индикатриса упругого рассеяния в синтетическом виде, предложенном в работе [1]; $f(u)$ — спектр неупругого рассеяния; $f(u)\,du = f(E)\,dE$, по модели испарения $f(E) = \frac{E}{T_1^2} e^{-E/T_1}$; $T_1 = 0{,}23$ *Мэв* для массового числа $A \sim 240$; $\mathrm{X}(u)$ — спектр деления; $\mathrm{X}(u)\,du = \mathrm{X}(E)\,dE$; $\mathrm{X}(E) = \frac{2}{\sqrt{\pi}\,\theta^{3/2}} \sqrt{E}\,e^{-E/\theta}$; $\theta \approx 1{,}32$ *Мэв*.

Решение уравнения (1) должно удовлетворять обычным условиям непрерывности на границах раздела сред и отсутствия нейтронов извне: $\varphi(\mathbf{R}, \mathbf{\Omega}, u) = 0$ при $(\mathbf{\Omega n}) < 0$, где $\mathbf{R}$ — радиус-вектор внешней поверхности, $\mathbf{n}$ — нормаль к внешней поверхности в точке $\mathbf{R}$.

Формально уравнение (1) можно рассматривать как неоднородное уравнение с источником

$$\hat{L}[\varphi(x)] = \eta(x), \qquad (2)$$

где

$$\eta(x) = \hat{S}[\varphi(x)].$$

Общее решение уравнения (2) можно записать в виде суммы общего решения однородного уравнения $\hat{L}[q(x)] = 0$ и частного решения неоднородного уравнения $\hat{L}[H(u)\Psi(\mathbf{r}, \mathbf{\Omega})] = \hat{S}[H(u)\Psi(\mathbf{r}, \mathbf{\Omega})]$;

$$\varphi(\mathbf{r}, \mathbf{\Omega}, u) = H(u)\Psi(\mathbf{r}, \mathbf{\Omega}) + q(\mathbf{r}, \mathbf{\Omega}, u). \qquad (3)$$

Функция $q(\mathbf{r}, \mathbf{\Omega}, u)$ удовлетворяет условию $\int d\Omega \times \int_0^\infty du\, q(\mathbf{r}, \mathbf{\Omega}, u) = 0$ и представляет собой поправку к асимптотическому спектру $H(u)$.

Пространственно-угловая часть асимптотического спектра (если рассматриваемая система слоиста) может быть определена так же, как и в работе [2]. В пределах отдельного слоя асимптотический энергетический спектр нейтронов может быть описан в первом приближении следующим выражением:

$$H(E) = \frac{1}{\lambda}\left\{\nu_f\Sigma_f \frac{2}{\sqrt{\pi}\,\theta^{3/2}}\sqrt{E}\,e^{-E/\theta} + \right.$$

$$+ \frac{\nu_f\Sigma_f 2}{\lambda\sqrt{\pi}\,\theta^{3/2}}\left[b\sqrt{E}\,e^{-E/\theta} + 0{,}1\,(0{,}1E)^{\beta-1} b^{-\left(\frac{3}{2}-\beta\right)} \times \right.$$

$$\left. \times \left\langle \gamma\left(\frac{3}{2}-\beta, \frac{E}{\theta}\right) - \gamma\left(\frac{3}{2}-\beta, \frac{10}{\theta}\right)\right\rangle\right] +$$

$$\left. + \frac{\Sigma_{in}}{T_1^2} E e^{-E/T_1} \left(\frac{10}{\theta}\right)^{-3/2} \left\langle \gamma\left(\frac{3}{2}, \frac{E}{\theta}\right) - \gamma\left(\frac{3}{2}, \frac{10}{\theta}\right)\right\rangle \right\}. \qquad (4)$$

Здесь $\gamma(a, x)$ — неполная гамма-функция; λ характеризует эффективное число вторичных нейтронов на единицу длины свободного пробега и равно

$$\lambda = \nu_f\Sigma_f + \Sigma_{es} g(0) + m\Sigma_{in}, \qquad (5)$$

где $m = \int_0^\infty f(u)\,du \int_0^u H(u')\,du'$.

Определение λ в виде (5) объясняет появление σ_x — «псевдосечения» захвата, которое вводится для описания экспериментальной величины $(\lambda - \Sigma_{tr})$ при использовании одногрупповой теории.

Фиктивное сечение поглощения Σ_x с помощью выражения (5) определяется как $\Sigma_x = (1-m)\,\Sigma_{in}$. Это подтверждает вывод работы [3], что величина Σ_x связана со спектральным эффектом неупругого рассеяния.

Расчет одногрупповых констант с использованием спектра $H(E)$ показывает, что определение λ в виде (5) улучшает согласие с экспериментом.

(**№ 544/6407.** Поступила в Редакцию 13/V 1971 г. Полный текст 0,4 а. л., 2 табл., 6 библиографических ссылок.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. В. Ширков. В сб. «Физика и теплотехника реакторов». М., Атомиздат, 1958, стр. 62.
2. В. П. Горелов, В. И. Юферев. «Журнал вычислительной математики и математической физики», № 1, 11 (1971).
3. Л. Кодд и др. В сб. «Успехи в области ядерной энергетики». М., Изд-во иностр. лит., 1958, стр. 289.