

УДК 621.039.54

ПРОГРАММА ВЫЧИСЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ СЕЧЕНИЙ

Е. М. БЕЛОВ, С. М. НЕЕЛОВ, В. К. ЯСЕЛЬСКИЙ, М. С. СУХАНОВ

(Представлена научным семинаром физико-технического факультета)

При проведении физических экспериментов по облучению нейтронами исследуемых образцов в реакторном спектре часто необходимо знать эффективное микроскопическое сечение поглощения различных материалов σ . Эффективное сечение поглощения может быть определено следующим образом.

В процессе замедления распределение плотности нейтронов по энергиям может быть записано в виде [1]

$$n(E) dE = n(1 - \alpha) N(E) dE + n\alpha f(E) dE, \quad (1)$$

где $N(E)$ и $f(E)$ — функции распределения тепловых и замедляющихся нейтронов по энергиям соответственно; α — доля нейтронной плотности, приходящейся на надтепловую часть спектра.

Функция распределения тепловых нейтронов (распределение Максвелла) $N(E)$ имеет вид

$$N(E) dE = \frac{2}{\sqrt{\pi}} E_T^{-3/2} \sqrt{E} e^{-E/E_T} dE, \quad (2)$$

а надтепловых —

$$f(E) dE = \sqrt{\frac{E_T}{2E}} \Delta \frac{dE}{E}, \quad (3)$$

где энергия E_T определяется по формуле

$$E_T = \kappa T.$$

Здесь T — температура нейтронного газа, а κ — постоянная Больцмана.

Функция Δ введена в выражение (3) для того, чтобы ограничить спектр надтепловых нейтронов снизу энергией $\mu\kappa T$. Простейшим видом данной функции является ступенчатая функция, удобная в случае проведения численных расчетов на ЭЦВМ

$$\Delta = \begin{cases} 0, & E < \mu\kappa T \\ 1, & E \geq \mu\kappa T. \end{cases} \quad (5)$$

Скорость реакции поглощения нейтронов ядром с сечением поглощения $\sigma(E)$ при нейтронном потоке, определяемом выражением (1), равна

$$R = \int_0^{\infty} n(E) \sqrt{E} \sigma(E) dE. \quad (6)$$

Эффективное сечение поглощения $\hat{\sigma}$ в этом случае определяется выражением

$$\hat{\sigma} = \frac{\int_0^{\infty} n(E) \sqrt{E} \sigma(E) dE}{\sqrt{E_0} \int_0^{\infty} n(E) dE}, \quad (7)$$

где $E_0 = 0,253$ эв — энергия тепловых нейтронов при $T_0 = 239^\circ\text{K}$.

После подстановки в (7) соотношения для нейтронного потока (1) с учетом уравнений (2), (3) и проведения ряда преобразований для эффективного сечения поглощения можно записать [1]

$$\hat{\sigma} = \sigma_0 (g + rs), \quad (8)$$

где σ_0 — сечение поглощения при энергии $E = E_0$, а параметры g и s определяются согласно формул

$$g = \frac{1}{\sigma_0 E_T^2} \sqrt{\frac{4T}{\pi T_0}} \int_0^{\infty} E e^{-E/E_T} \sigma(E) dE, \quad (9)$$

$$s = \frac{1}{\sigma_0} \sqrt{\frac{4T}{\pi T_0}} \int_{\mu KT}^{\infty} \left[\sigma(E) - \sigma_0 g \sqrt{\frac{E_0}{E}} \right] \frac{dE}{E}. \quad (10)$$

Параметр r характеризует отношение плотности нейтронов в над-тепловой области к общей плотности нейтронов

$$r = \alpha \sqrt{\frac{\pi \mu}{16}}. \quad (11)$$

Величина α зависит от нейтронно-физических характеристик материалов и определяется по формуле

$$\alpha = \frac{2\gamma \sqrt{1/\mu}}{1 + 2\gamma \sqrt{1/\mu}}, \quad (12)$$

где

$$\gamma = \frac{l_s}{\xi l_a} \quad (13)$$

величина, обратная коэффициенту замедления.

Параметр μ характеризует энергию „сшивки“ нейтронов и зависит от коэффициента γ . Его можно определить в зависимости от численного значения γ из трансцендентного уравнения вида

$$e^{-\mu} \mu^2 = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \gamma. \quad (14)$$

Таким образом, для определения спектра нейтронов необходимо знание следующих нейтронно-физических величин:

l_s — длины пробега рассеяния;

l_a — длины пробега поглощения;

ξ — среднелогарифмической потери энергии нейтрона на одно столкновение.

По приведенному алгоритму была составлена программа вычисления эффективных микроскопических сечений поглощения. В качестве исходных данных, кроме указанных выше величин, задавались также значения $\sigma(E)$. Погрешность вычислений в общем случае не превышает 0,01%.

Программа расчета эффективных микроскопических сечений

```

begin integer  $i, j, n, m$ ;
real array  $E1[1:38], \sigma1[1:38], \sigma2[1:38], E2[1:1998],$ 
 $A[1:2], C[1:2], D[1:2];$ 
 $P0042(E1, \sigma1); j := 2; E2[1] := E1[1]; \sigma2[1] := \sigma1[1];$ 
for  $i := 1$  step 1 until 37 do begin
 $n := (E1[i+1] - E1[i])/0.005;$ 
if  $n = 1$  then begin
 $E2[j] := E1[i+1]; \sigma2[j] := \sigma1[i+1]; j := j + 1;$ 
end;
else begin
 $C[1] := E1[i]; C[2] := E1[i+1]; D[1] := \sigma1[i]; D[2] :=$ 
 $= \sigma1[i+1];$ 
for  $m := 1$  step 1 until 2 do
 $A[m] := D[m] \times \text{sqrt}(C[m] \times ((C[m] - 0.08418) \uparrow 2 +$ 
 $(0.5 \times (0.9572 + 0.06788 \times \text{sqrt}(C[m]))) \uparrow 2); A[1] := A[2] - A[1]$ 
for  $m := 1$  step 1 until  $n$  do begin
real  $\alpha; \alpha := E1[i] + 0.005 \times m;$ 
 $\sigma2[j] := \sigma1[i] + m \times A[1]/\text{sqrt}(\alpha)/$ 
 $((\alpha - 0.08418) \uparrow 2 + (0.5 \times (0.9572 + 0.06788 \times$ 
 $\text{sqrt}(\alpha))) \uparrow 2; E2[j] := E1[i] + m \times 0.005; j := j + 1;$ 
end;
end;
end;
begin real array  $E3[1:198], \sigma3[1:198],$ 
for  $j := 1$  step 1 until 198 do begin
 $\sigma3[j] := \sigma2[j]; E3[j] := E2[j];$  end;  $P1041(E3, \sigma3);$ 
end;
begin real  $g, s, v, w, r, \mu, T, \sigma4, \sigma5, Em, \alpha, \beta;$ 
for  $T := 250$  step 50 until 1200 do begin
 $Em := 8.6167_{10} - 5 \times T; \alpha := 4 \times T / (3.1416 \times 293.16);$ 
 $v := \text{sqrt}(\alpha)/2.652_{10} 6;$ 
 $w := v/Em \uparrow 2;$ 
for  $r := 0$  step 0.1 until 0.8 do begin
for  $\mu := 3$  step 1 until 6 do begin
real  $B1, B2; B1 := B2 := 0;$ 
for  $i := 1$  step 1 until 1998 do begin

```

```

 $\alpha := -E2[i]/Em;$ 
 $B1 := B1 + E2[i] \times \exp(\alpha) \times \sigma2[i] \times 0.005;$ 
end;
 $g := w \times B1;$ 
for  $n := \mu \times Em/0.005$  step 1 until 1998 do begin
 $\alpha := 0.0253/E2[n];$ 
 $B2 := B2 + (\sigma2[n] - 2.652_{10} 6 \times g \times \sqrt{\alpha})/E2[n] \times 0.005;$ 
end;
 $s := v \times B2; \alpha := 3.1416 \times \mu; \beta := 10/\mu \times Em);$ 
 $\sigma4 := 2.652_{10} 6 \times (g + r \times s);$ 
 $\sigma5 := \sigma4/(v \times 2.652_{10} 6)/(1 + 4 \times r/\sqrt{\alpha} \times \sqrt{\mu}/4 \times \ln(\beta) - 1);$ 
P1041(g, s,  $\sigma4$ ,  $\sigma5$ );
end;
end;
end;
end; end.

```

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Артамкин, О. Гужавина. Эффективные сечения для спектра нейтронов тепловых реакторов. «Атомная энергия», 1959, т. 6, № 2.