

ОСНОВЫ ФИЗ. ЗАЩИТЫ И ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ



Содержание лекции:

- 1. Основы физ. защиты и ядерной безопасности.**
- 2. Эффективное сечение ядерной реакции.**
- 3. Типы ядерных реакций.**
- 4. Взаимодействие нейтронов с ядрами.**



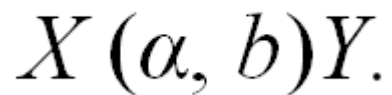
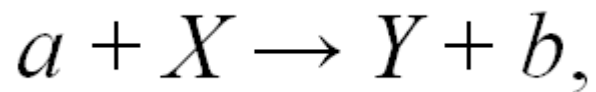
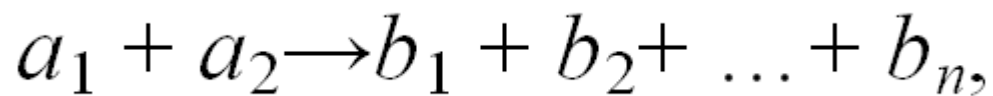
1. Основы физ. защиты и ядерной безопасности.



- Благодаря действию ядерных сил две частицы (два ядра или ядро и частица) при сближении до расстояний порядка $10E-13$ см вступают между собой в интенсивное *ядерное взаимодействие*, приводящее к преобразованию ядра.
- Этот процесс называется *ядерной реакцией*.

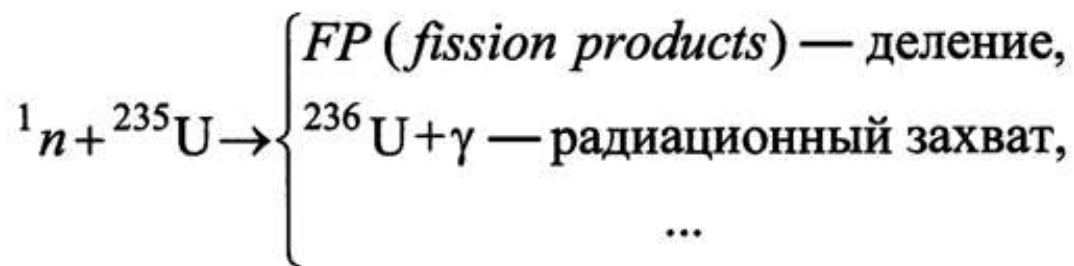
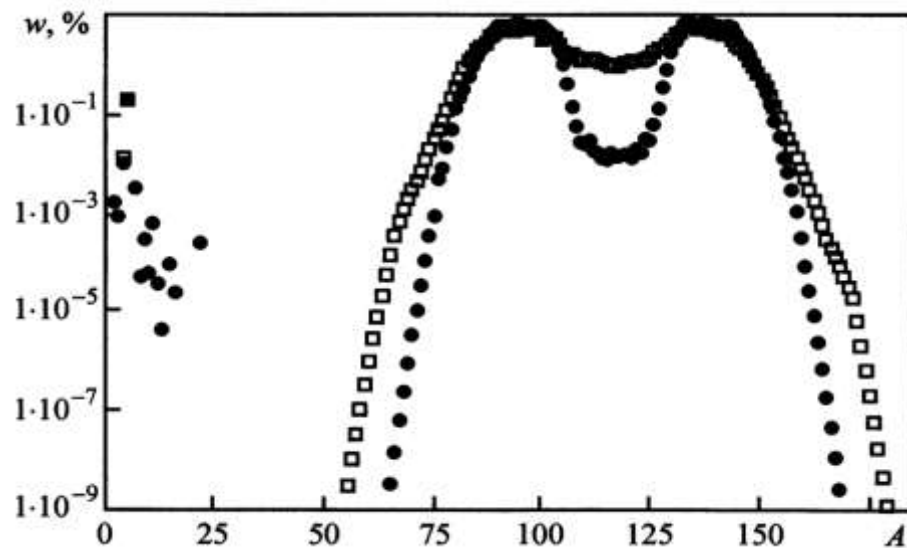
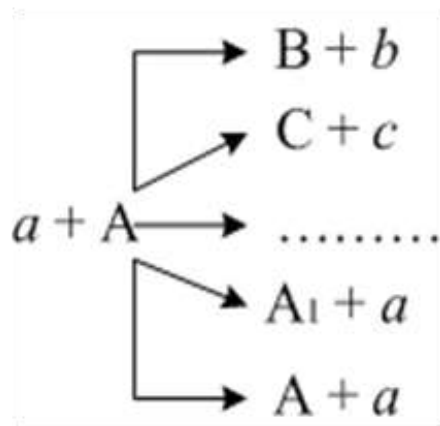


- Символьное обозначение *ядерных реакций*:



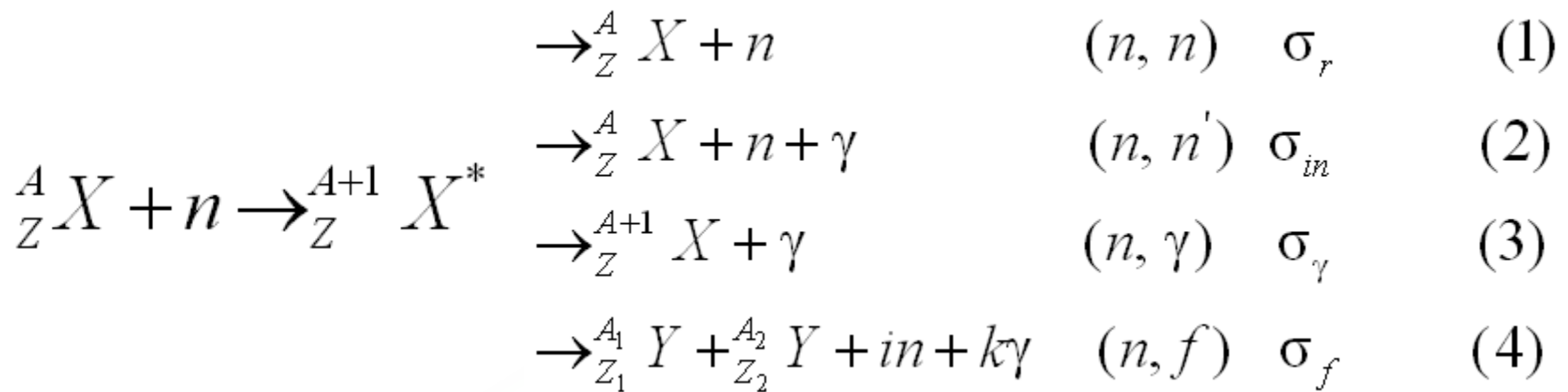


Каналы ядерных реакций:





Реакции идущие через образование составного ядра:





Нейтронные сечения

σ_{comp} – сечение образования составного (компаунд);

$\sigma_S = \sigma_p + \sigma_r + \sigma_{in}$ – сечение рассеяния;

$\sigma_{el} = \sigma_p + \sigma_r$ – сечение упругого рассеяния.

σ_p – сечение потенциального рассеяния;

σ_r – сечение резонансного рассеяния;

σ_{in} – сечение неупругое рассеяния;

$\sigma_a = \sigma_f + \sigma_\gamma$ – сечение поглощения;

$\sigma_{tot} = \sigma_s + \sigma_a$.



$$D = a \exp(-b\sqrt{E^*})$$

где D – среднее расстояние между

уровнями энергии, МэВ;

E^* – энергия возбуждения ядра, МэВ;

a, b – коэффициенты постоянные

для данного ядра.

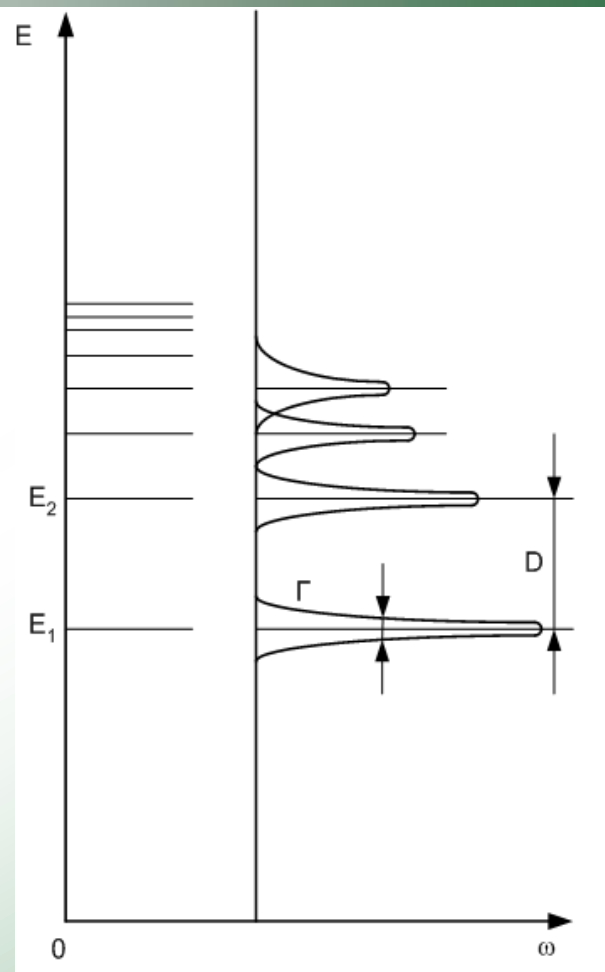


Рис. 1. Схема энергетических уровней ядра



- Соотношение Гейзенберга:

$$\Delta E = \hbar / \Delta t$$

- Время жизни:

$$\tau = \hbar / \Gamma$$

- Вероятность распада:

$$\omega_i = \lambda_i = \frac{\Gamma_i}{\hbar}$$

$$\omega = \sum_i \lambda_i = \sum_i \frac{\Gamma_i}{\hbar}$$

$$\sigma_i \sim \sigma^*(c) \cdot \omega_i / \omega = \sigma^*(c) \cdot \Gamma_i / \Gamma$$

2. Эффективное сечение ядерной реакции



- Эффективное сечение $\sigma_{\text{эфф}}$ ядерной реакции — величина, характеризующая процесс протекания реакции.

$$\sigma = \pi R^2 + \pi r^2$$

$$\sigma_{\text{tot}} = \sum \sigma_i$$

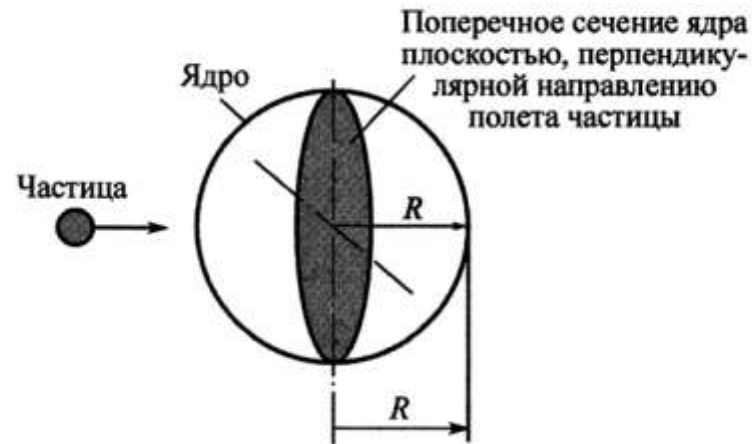


Рис. 2. Эффективное поперечное микроскопическое сечение взаимодействия частицы с ядром



Реакции идущие через образование *составного ядра*:

$$a + X \rightarrow C^* \rightarrow Y + b \quad \sigma_{ip} = \pi \lambda_i^2 \sum_{l=0}^{l_c} (2l+1) e^{-2C_l} \cdot \frac{\Gamma_p}{\Gamma}$$

$$\sigma_i(c) = \pi \lambda_i^2 \sum_{l=0}^{l_c} (2l+1) e^{-2C_l} \quad \text{– сечение образования составного ядра.}$$

$$\xi = e^{-2C_l} \quad \text{– коэффициент прилипания, который}$$

определяется прозрачностью центробежного и кулоновского барьеров.

$$C_l = \sqrt{\frac{2\mu}{\hbar}} \int_{r_1}^{r_2} \sqrt{V(r) - E} dr$$



- Произведение $\Sigma = \sigma N$ называют макроскопическим эффективным сечением, 1/см.
- Характеризует вероятность совершения реакции в 1 см³ одним нейтроном, имеющим скорость v .
- Макроскопическое эффективное сечение гомогенной смеси:

$$\Sigma_{\text{см}} = \sum_i \Sigma_i$$

$$N_i = c_i N_A \rho_{\text{см}} / \mu_i$$

где c_i - массовая концентрация в долях.



- При гетерогенном расположении материалов необходимо учитывать объемную долю, занятую данным веществом ω_i .
- Ядерная концентрация каждого i -го компонента умножают на ω_i :

$$N_i = N_{0i} \omega_i$$

$$\sum_i^n \omega_i = 1$$

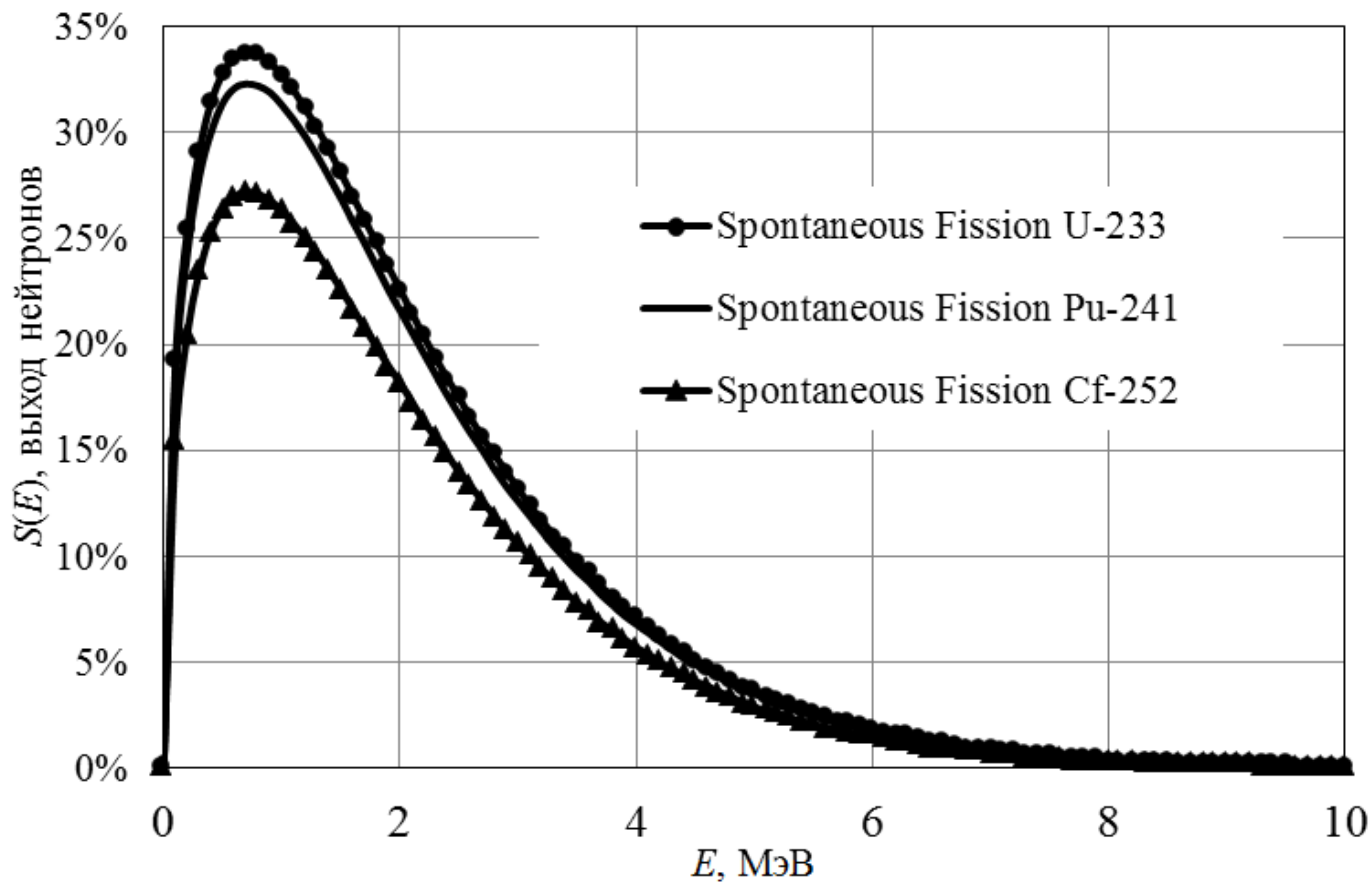
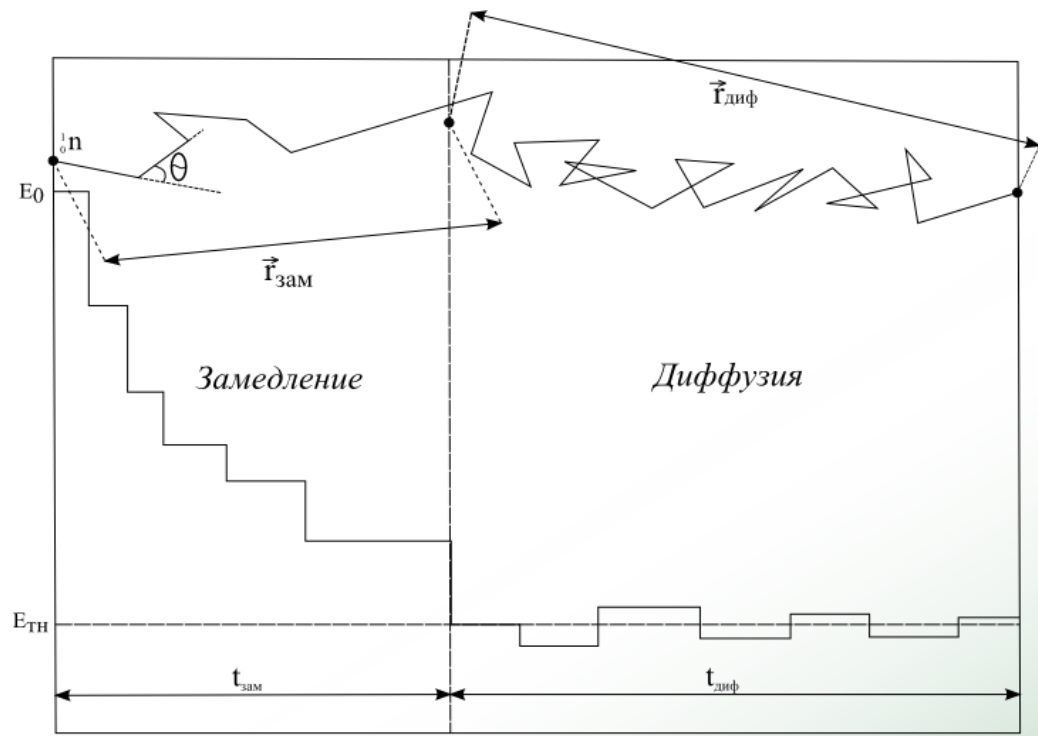


Рис. 3. Спектр нейтронов деления ядер актиноидов.



$E_0 = 2 \text{ МэВ}$

$E_{ТН} = 0,025 \text{ эВ}$

Рис. 4. Схема замедления и диффузии нейтронов в размножающей среде



Табл. 1. Значения $t_{\text{зам}}$ и $t_{\text{диф}}$ для некоторых замедляющих сред

Замедлитель	$t_{\text{зам}}, \text{с}$	$t_{\text{диф}}, \text{с}$
H ₂ O	$6,70 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$
D ₂ O	$4,80 \cdot 10^{-5}$	0,138
¹² C	$1,49 \cdot 10^{-4}$	0,015



Классификация нейтронов по энергиям:

- Тепловые нейтроны – $5 \cdot 10^{-3} \dots 0,625$ эВ

$$S(E) = \frac{1}{n_0} \cdot \frac{dn}{dE} = \frac{2\pi}{(\pi kT)^{3/2}} \sqrt{E} e^{-\frac{E}{kT}},$$

$$E_{\text{cp}} = \frac{1}{n_0} \int_0^{\infty} E \cdot n(E) \cdot dE = \frac{3}{2} kT_{\text{HT}}. \quad \underline{E_{\text{HB}}} = \underline{kT_{\text{HT}}}$$

$$E_{\text{T}} = (0,025-0,5) \text{ эВ.}$$



Классификация нейтронов по энергиям:

- Тепловые нейтроны – $5 \cdot 10^{-3} \dots 0,625$ эВ

В водных урановых размножающих растворах:

$$T_{\text{н.г.}} \sim T \left(1 + 1,8 \cdot \frac{\Sigma_a}{\Sigma_s} \right).$$

Для размножающих систем с другими соединениями (кислотные или щелочные):

$$T_{\text{н.г.}} \sim T \left(1 + 0,91 \cdot \frac{A \Sigma_a}{\Sigma_s} \right).$$



Классификация нейтронов по энергиям:

- Тепловые нейтроны – $5 \cdot 10^{-3} \dots 0,625$ эВ

$$\sigma_{n,\gamma} \sim 1/v$$

$$\sigma = g_W \cdot \sigma_0 \quad g_W = \frac{2}{\sqrt{\pi} \sigma_0 E_T^2} \int_0^{\infty} \sigma(E) E \exp\left(-\frac{E}{E_T}\right) dE.$$



Классификация нейтронов по энергиям:

- Промежуточные нейтроны – $0,625 \dots 10^4$ эВ
Спектр Ферми –

$$\Phi(E) \sim 1/E$$

Характеристики спектра Ферми зависят от замедляющих свойств замедлителя.

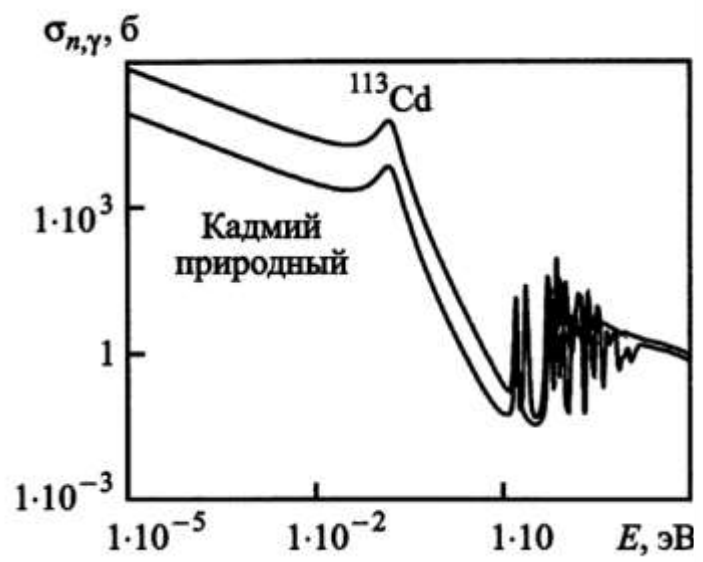


Рис. 5. Зависимость микросечения радиационного захвата нейтронов Cd от кинетической энергии нейтрона

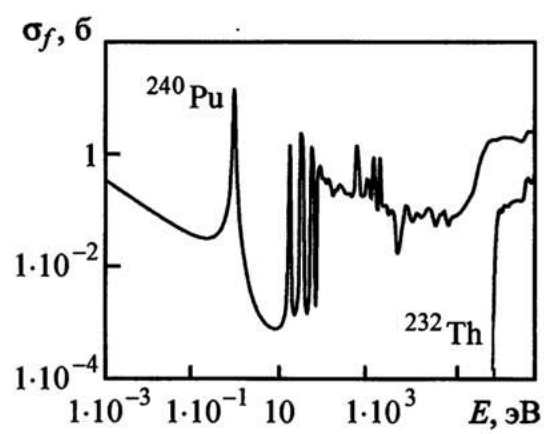
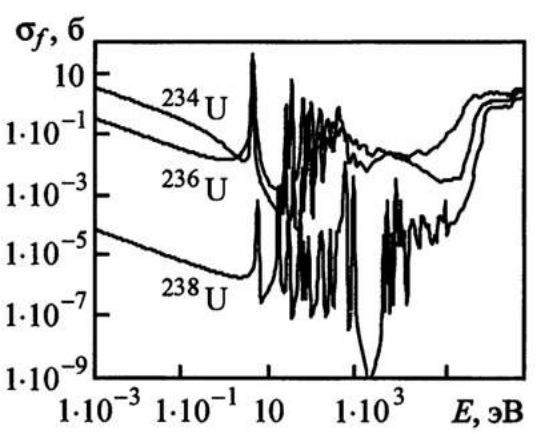
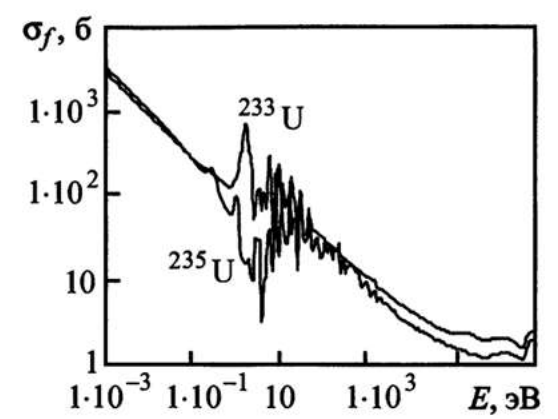
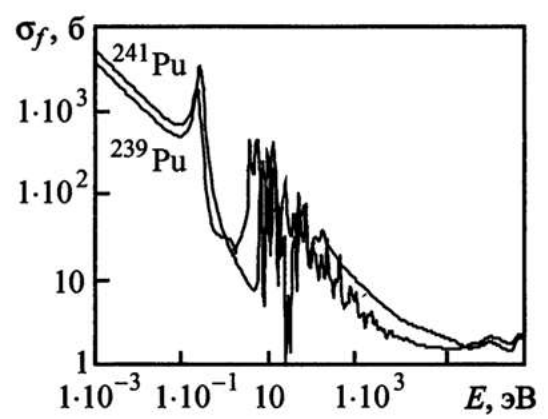


Рис. 6. Зависимость микросечения реакции деления от энергии налетающего нейтрона для различных нуклидов

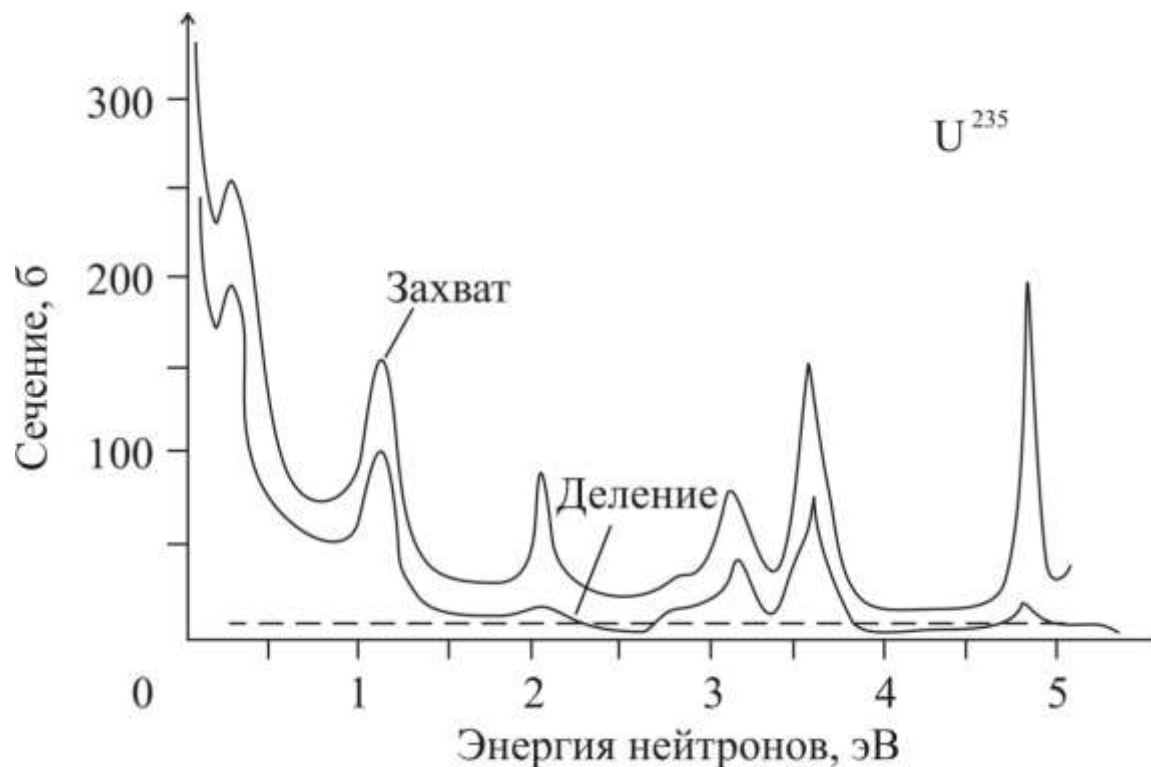


Рис. 7. Зависимость сечения захвата (поглощения) и сечения деления ^{235}U нейтронами от их энергии.

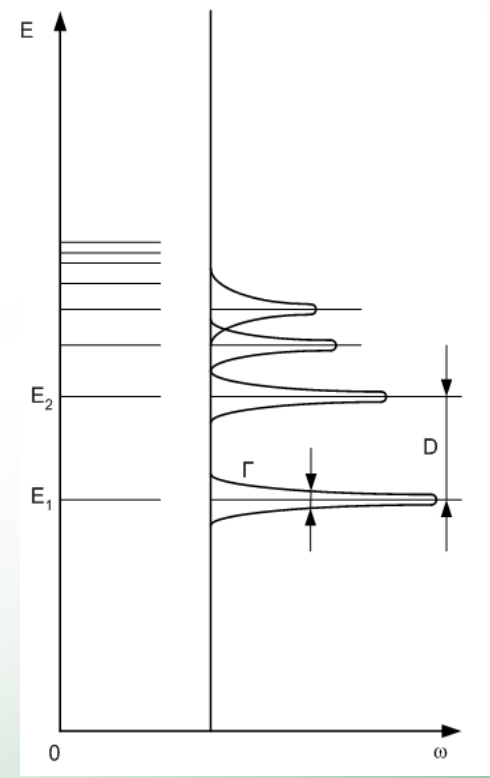
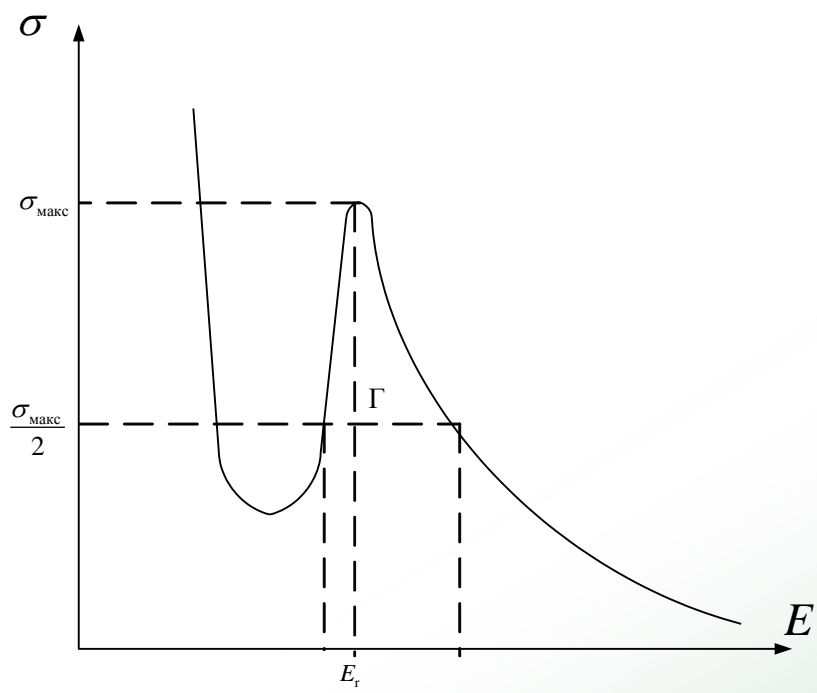


Рис. 8. *Зависимость нейтронного сечения в заимодействия от энергии нейтрона*



Классификация нейтронов по энергиям:

- Формула Брейта-Вигнера:

$$\sigma_i(E) = \sigma_{0i}(E_{0i})(\Gamma_i/2)^2(E_{0i}/E_i)^{1/2} / ((E_i - E_{0i})^2 + (\Gamma_i/2)^2),$$

- где σ_{0i} – максимальное значение сечения резонанса i -го актиноида; Γ_i – полуширина резонанса i -го актиноида; E_{0i} – энергия максимума резонанса i -го актиноида.

Взаимодействие нейтронов с веществом



$$\Phi(x) = \Phi(0) \cdot \exp(-\sigma N x),$$

здесь $\Phi(x)$ – плотность потока нейтронов в веществе на расстоянии x от границы.

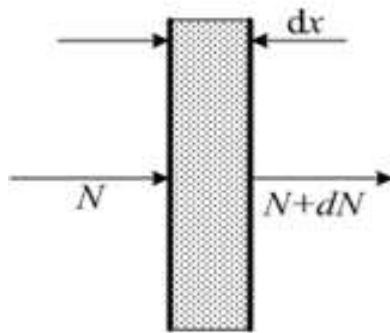


Рис. 9. Взаимодействие нейтронов с веществом

Взаимодействие нейтронов с веществом



$$T(\sigma, t) = e^{-nt \cdot \sigma}$$

$$\langle T \rangle = \sum_k a_k e^{-nt \cdot \sigma_k},$$

где a_k и σ_k — подгрупповые параметры.



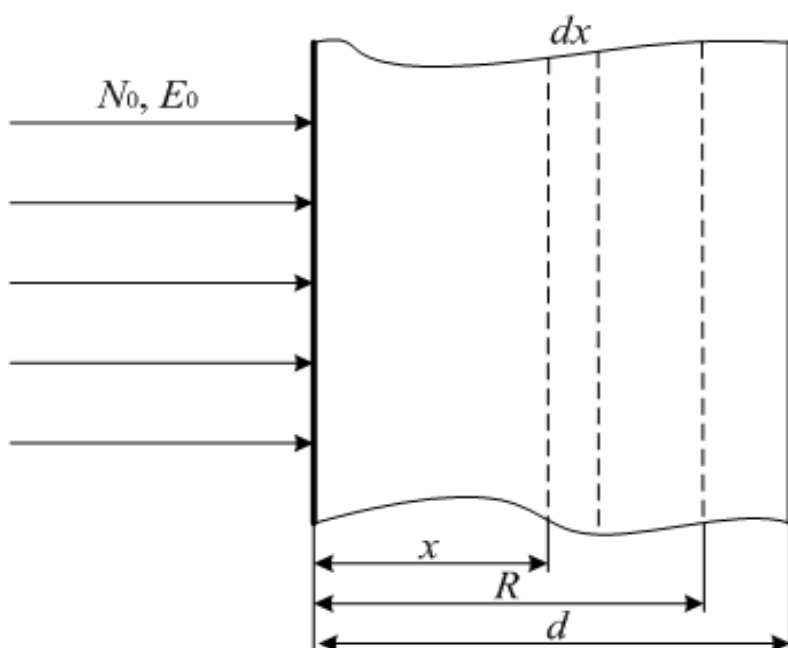
Классификация нейтронов по энергиям:

- Быстрые нейтроны – 10^4 эВ ... 10 МэВ
- Характеристики спектра Уатта:

$$E_{\text{нв}} = 0,71 \text{ МэВ} \quad E_{\text{ср}} = 2,0 \text{ МэВ}$$

$$\sigma_{n,\gamma} \sim 1/E^m, \quad \sigma_{\text{tot}}(E) \approx 2\pi(R + \lambda_n)^2,$$

где m изменяется в пределах $1,0 < m < 1,6$ и увеличивается с ростом E .



1. Тонкая мишень ($d \ll R$).

$$Y = n\sigma R,$$

где Y – выход реакции;
 n – концентрация ядер мишени, яд/см³;
 σ – эффективное сечение реакции, см²;
 R – пробег частицы в веществе, см.

$$Y = 1 - \exp(-\sigma N x) \text{ - толстая мишень.}$$

Рис. 10. x – глубина, на которой рассматривается взаимодействие подающих частиц с ядрами мишени, R – пробег частицы в веществе, d – толщина мишени.



2. Толстая мишень ($d > R$).

В тонком слое dx , находящемся на глубине x , выход равен:

$$dY = \sigma(x) n dx,$$

Глубина мишени равна пробегу бомбардирующих частиц R , следовательно:

$$Y = n \int_0^R \sigma(x) dx.$$



Сечение реакций $\sigma(E)$:

$$Y(E) = n \int_{E_0}^0 \frac{\sigma(E)}{\frac{dE}{dx}} dE = n \int_0^{E_0} \frac{\sigma(E)}{-\frac{dE}{dx}} dE = n \int_0^{E_0} \frac{\sigma(E) dE}{\left| \frac{dE}{dx} \right|}.$$

$$\frac{dY}{dE} = n \cdot \frac{\sigma(E)}{\left| \frac{dE}{dx} \right|},$$

$$\sigma(E) = \frac{1}{n} \cdot \frac{dY}{dE} \cdot \left| \frac{dE}{dx} \right|.$$

EXPERIMENTAL NUCLEAR REACTION DATA (EXFOR)



EXFOR/CSISRS: Experimental Nuclear Reaction Data - Mozilla Firefox


Файл Правка Вид Журнал Закладки Инструменты Справка

http://www-nds.iaea.org/exfor/exfor.htm

Google

mail.ru Найти! Блоги Фото Ответы Знакомства Афиша Авто \$ 32.9740 € 43.9939 Прага, +11 °C

Help » EXFOR-Manual Output Plot+ R33 Databases » ENDF CINDA IBANDL CD-ROM » EXFOR-CINDA-ENDF CD-Catalog

NNDC **NRDC** **Experimental Nuclear Reaction Data (EXFOR)** 

Database Version of April 16, 2009
Software Version of 2009.02.06 Old interface is [\[here\]](#)

News

2009/02 Improvements and extensions:
1) New output format X4±: EXFOR interpreted-interactive-tree [\[about\]](#) [\[example\]](#)
[\[History\]](#)

The EXFOR library contains an extensive compilation of experimental nuclear reaction data. Neutron reactions have been compiled systematically since the discovery of the neutron, while charged particle and photon reactions have been covered less extensively.
The library contains data from **17827** experiments (see [statistics](#) and [new compilation](#)).

Request Examples: [1](#) [2](#) [3](#) [4](#)

Target »
Reaction »
Quantity »
Product »
Energy from to eV »
Author(s) »
Publication year »
Accession # »

[Extended](#)
[Keywords](#)
[Expert](#)

Options

- Exclude superseded data
- No reaction combinations (ratios,...)
- Retrieve listing only
- Disable Prompt-Help

Sort by:
 Reaction
 Accession# (Entry#, Subent#)

Ranges (Z,A)

Reaction Sub-Fields

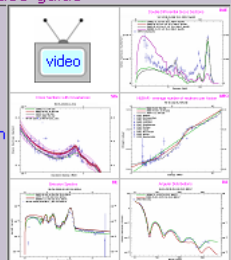
SF1 <input type="checkbox"/>	» Target
SF2 <input type="checkbox"/>	» Incident Particle
SF3 <input type="checkbox"/>	» Product Particle/Process
SF4 <input type="checkbox"/>	» Product
SF5 <input type="checkbox"/>	» Branch
SF6 <input type="checkbox"/>	» Parameters
SF7 <input type="checkbox"/>	» Particles Considered
SF8 <input type="checkbox"/>	» Modifiers

Tip of the day: video-guide

How-to video-guide
• Plot EXFOR-ENDF double differential cross-sections

Advanced plotting
• Cross sections
• Angular distribution
• Emission spectra
• Double differential
• NUBAR

Default
• Map



Готово

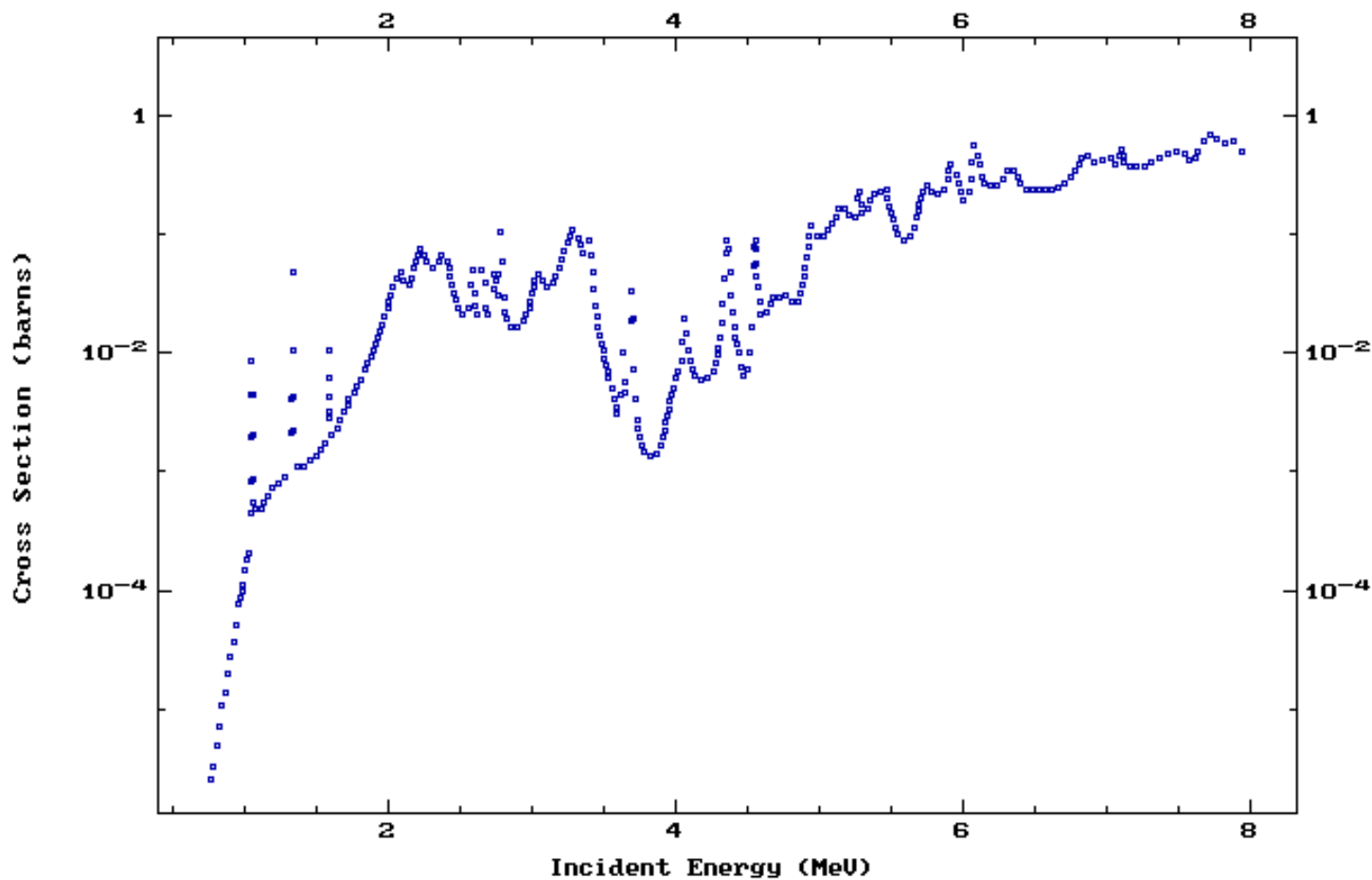
пуск Зарождение ... EXFOR/CSISR... Центр ядерн... Загрузки ABBYY Lingvo 12 18. Duran Dur... Документ1 - ... RL 17:34

EXPERIMENTAL NUCLEAR REACTION DATA (EXFOR)



6-C-13(A,N)8-0-16

EXFOR Request: 1964/1, 2009-Mar-27 18:58:45





Выводы:

1. Взаимодействие нейтронов с ядрами составляют самый обширный класс ядерных взаимодействий, так как нейтроны входят в состав любого ядра, в котором они прочно связаны ядерными силами.
2. Первичную классификацию взаимодействий нейтрона с ядром сводят к двум процессам: упругому рассеянию в поле ядерных сил, либо к захвату нейтрона ядром с образованием составного ядра.
3. Протекание той или иной реакции процесс вероятностный и характеризуется микро- и макро сечениями.



Выводы (продолжение):

4. Сечения зависят от энергии нейтронов. Формально нейтроны делятся на 3 три группы: тепловые, резонансные и быстрые нейтроны.
5. Энергетическая зависимость сечения от энергии для каждой группы имеет свой определенный вид.
6. Сечения нейтронных реакции в резонансной области сложным образом зависят от энергии нейтронов.

Программное обеспечение: Internet Explorer 5.0 и выше. — Режим

доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/m/2010/m2/main.html>. 33

СПЕЦИАЛЬНОЕ ОБРАЩЕНИЕ С ЯДЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ



**Сегодня: среда, 25 июня
2014 г.**

Содержание лекции:

- 1. ЯДЕРНАЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.**
- 2. ПАРАМЕТРЫ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.**
- 3. ВЫХОД НЕЙТРОНОВ ПО КАНАЛУ СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ.**
- 4. ВЫХОД НЕЙТРОНОВ В (α, n) -РЕАКЦИЯХ.**

ЯДЕРНАЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ



Ядерная безопасность – свойства системы (ядерного объекта), обуславливающие невозможность ядерной аварии.

Радиационная безопасность – защищенность от прямого облучения всеми видами ионизирующего излучения.



Нейтронно-физический расчет

1. Расчет нуклидного состава ОЯТ.
2. Нуклидный состав топлива и специальное обращения с ядерными материалами.
3. Расчет источников излучения в ОЯТ.
4. Расчет микро- и макросечений и связанных ними функционалов ($k_{эфф}$, поток и др.).

ПАРАМЕТРЫ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ



1. Расчет нуклидного состава топлива.

Накопление и убыль концентраций N_i нуклидов в ОЯТ решается посредством системы дифференциальных уравнений вида:

$$\frac{dN_i}{dt} = -\omega_i N_i + \sum_{j=i+1}^I \omega_{ji} N_{ji} \quad (*)$$

где $\omega_i = \lambda_i + \sigma_i \Phi$, $\omega_{ji} = \lambda_{ji} + \sigma_{ji} \Phi$, Φ – эффективная плотность потока нейтронов.

ПАРАМЕТРЫ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ



1. Расчет нуклидного состава топлива (продолжение).

Двухкомпонентное представление скорости реакций в ТВЭЛ таких реакторов следующее:

$$\sigma_i = g_i^w \sigma_i^0 + \gamma I_i, \text{ см}^2,$$

σ_i^0 – сечение взаимодействия при энергии $E_0 = 0,0253$ эВ, см^2 ;

g_i^w – фактор Вескотта;

I_i – эффективней резонансный интеграл от граничной энергии $E_{\text{гр}} = 0,5$ эВ, см^2 ;

γ – жесткость спектра нейтронов.

ПАРАМЕТРЫ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ



1. Расчет нуклидного состава топлива (продолжение).

Резонансное поглощение определяется резонансным интегралом вида:

$$I_i = \int_{E_{rp}}^{\infty} \sigma_i(E) \frac{dE}{E}.$$

Жесткость спектра нейтронов может быть найдена следующим образом:

$$\gamma = \frac{\nu_f \sum_i \sigma_{fi} N_i}{\sum_i \xi_i N_i \sigma_{si}},$$

ПАРАМЕТРЫ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ



1. Расчет нуклидного состава топлива (продолжение).

Эффективная плотность потока тепловых нейтронов в активной зоне ядерного реактора:

$$\Phi = \frac{\bar{N}}{E_f \sum_i \sigma_{fi} N_i \cdot V}, \text{ нейтр./}(\text{см}^2 \cdot \text{с})$$

Система дифференциальных уравнений (*)

$$\frac{dN_i}{dt} = -\omega_i N_i + \sum_{j=i+1}^I \omega_{ji} N_j$$

в общем случае нелинейна, так как скорости реакций зависят от реакторного спектра нейтронов, который в свою очередь зависит от числа ядер N_i .

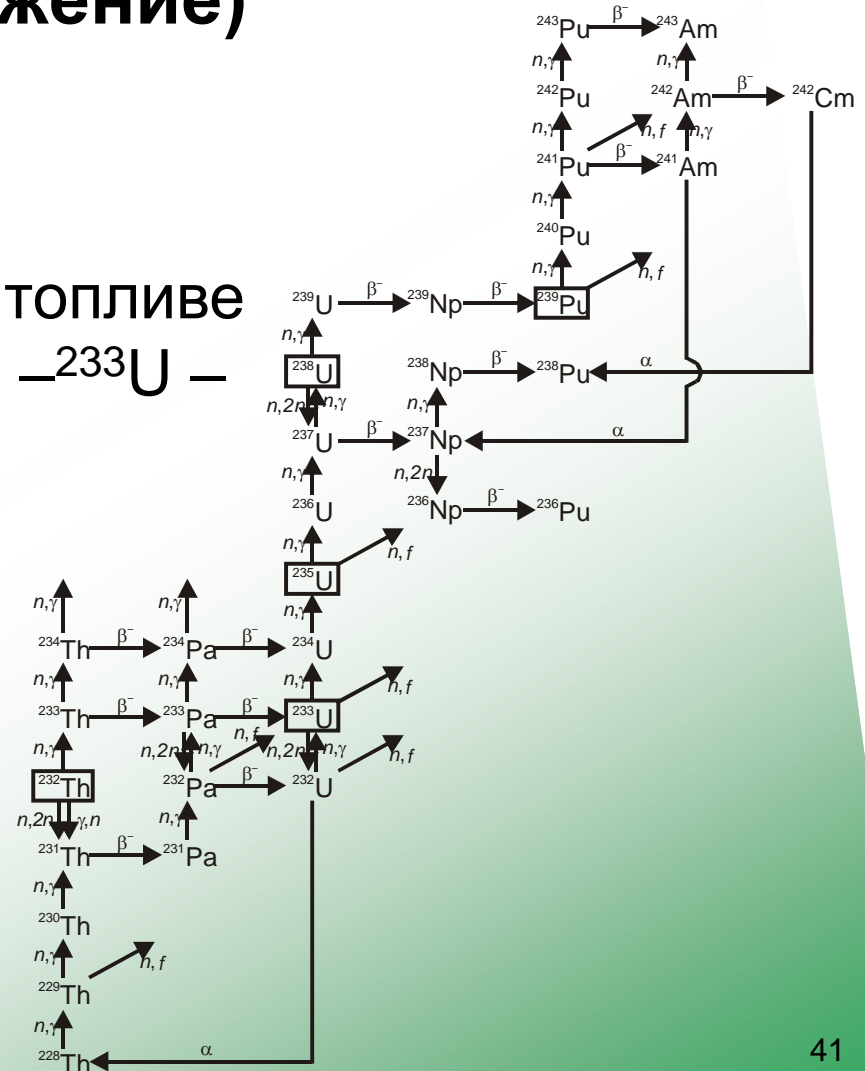
ПАРАМЕТРЫ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ



1. Расчет нуклидного состава топлива (продолжение)

Схема ядерно-физических процессов, происходящих в топливе на основе композиций: ^{232}Th – ^{233}U – ^{235}U – ^{238}U – ^{239}Pu

$$\frac{dN_i}{dt} = -\omega_i N_i + \sum_{j=i+1}^I \omega_{ji} N_j$$



ПАРАМЕТРЫ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ



2. Нуклидный состав топлива и специальное обращение с ядерными материалами.

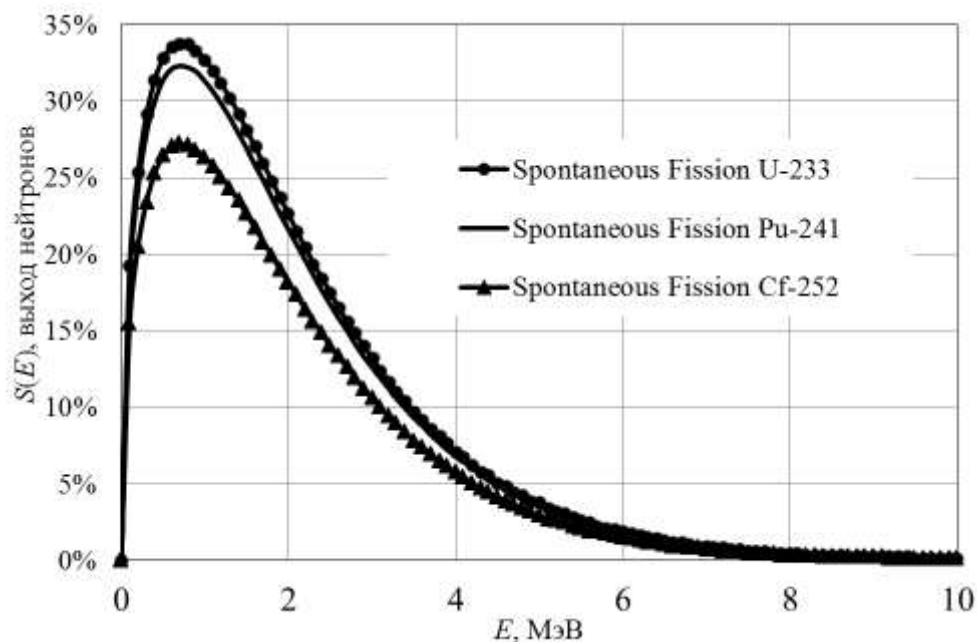
1. Численный метод Рунге-Кутта в отечественной программе ТВС-М.
2. Аналитическое решения дифференциальных уравнений в программе Origen-Arp (SCALE 5/0).
3. В Физико-энергетическом институт разработана программа WIMS, предназначенная для нейтронно-физического расчета реакторов типа ВВЭР.
4. Специалистами Лос-Аламосской лабораторией разработаны ППП MONTEBURNS (MCNP-5, Origen-S и Origen-Arp).

ВЫХОД НЕЙТРОНОВ ПО КАНАЛУ СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ

3. Расчет источников излучения в ОЯТ.



3.1. Выход нейтронов по каналу спонтанного деления:



$$Q_i^{sf} = m_i \cdot q_i^{sf} \cdot \nu_i^{sf}, \text{ нейтр./с}$$

$$m(Z) \sim \alpha \cdot Z^{4,85}, \text{ г/т}$$

Рис. 11. Спектр нейтронов спонтанного деления ядер актиноидов

ВЫХОД НЕЙТРОНОВ В (α,n) -РЕАКЦИЯХ



3. Расчет источников излучения в ОЯТ

3.2. Особенности (α,n) -реакции:

$$\bar{E} = \frac{\int_0^{E_{\max}} E \cdot S(E) dE}{\int_0^{E_{\max}} S(E) dE}$$

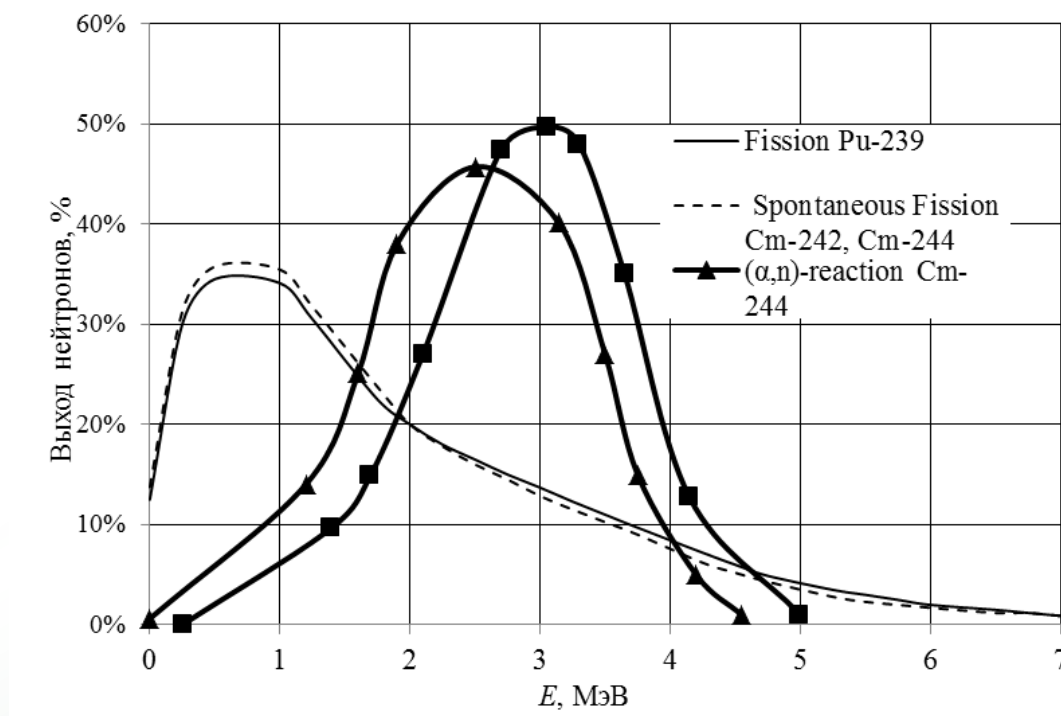


Рис. 12. Спектр нейтронного излучения облученной двуокиси плутония

ВЫХОД НЕЙТРОНОВ В (α, n) -РЕАКЦИЯХ



3.2. Особенности (α, n) -реакции:

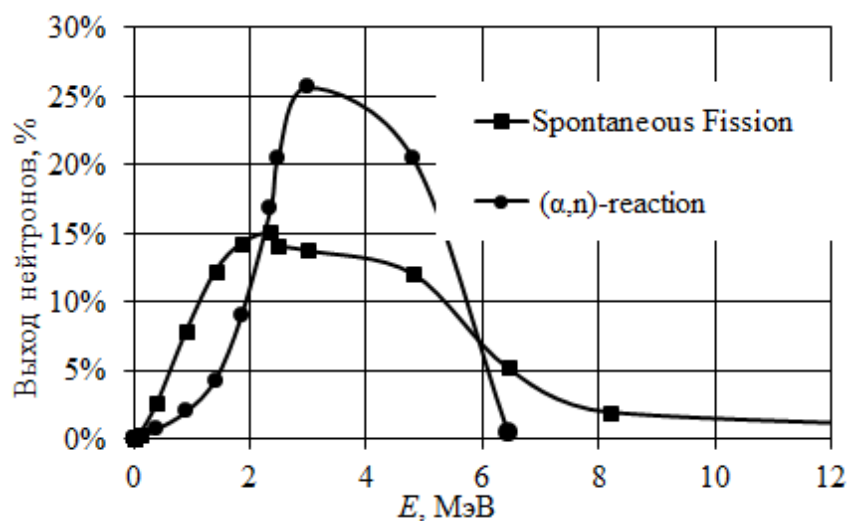


Рис. 13. Спектры нейтронов облученного штатного топлива теплового водородного реактора.

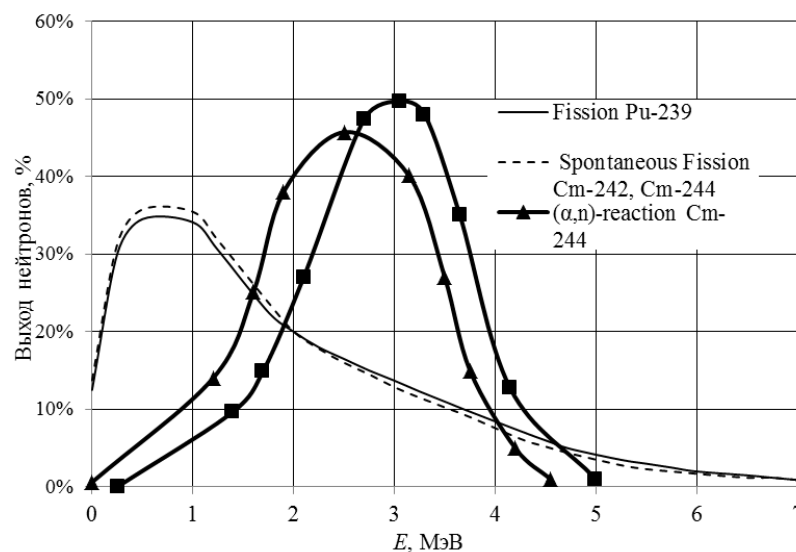


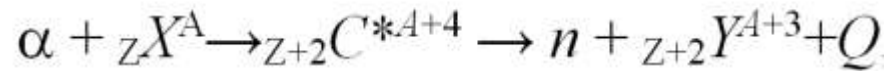
Рис. 14. Спектр нейтронного излучения облученной двуокиси плутония.

ВЫХОД НЕЙТРОНОВ В (α, n) -РЕАКЦИЯХ

3. Расчет источников излучения в ОЯТ



3.2. Особенности (α, n) -реакции:



$$B_K \approx \frac{Z \cdot z}{A_1^{1/3} + A_2^{1/3}}, \text{ МэВ.}$$

$$Q = (m_\alpha + M_X - m_n - M_Y) \cdot c^2.$$

$$E_{\alpha, n}^{\text{пор}} \geq |Q| \frac{M_X + m_\alpha}{M_X}.$$

ВЫХОД НЕЙТРОНОВ В (α, N) - РЕАКЦИЯХ

3. Расчет источников излучения в ОЯТ



3.3. Выход нейтронов в результате (α, n) -реакции:

$$Q_i^{\alpha, n}(E) = m_i q_i^{\alpha, n}(E), \text{ нейтр./с,}$$

m_i – масса α -активного актиноида, г;

$q_i^{\alpha, n}(E)$ – удельный выход нейтронов, нейтр./ $(\text{с}\cdot\text{г})$.

$$q_i^{\alpha, n}(E) = q_i^{\alpha} \cdot n_j \int_{B_j}^{E_i} \frac{\sigma_j^{\alpha, n}(E)}{f_{\text{соед}}(E)} dE, \text{ нейтр./}(\text{с}\cdot\text{г})$$

$f(E) = (-dE/dx)$ – ионизационные потери энергии α -частицы на атомах i -го соединения, МэВ/см.

ВЫХОД НЕЙТРОНОВ В (α, N) -РЕАКЦИЯХ

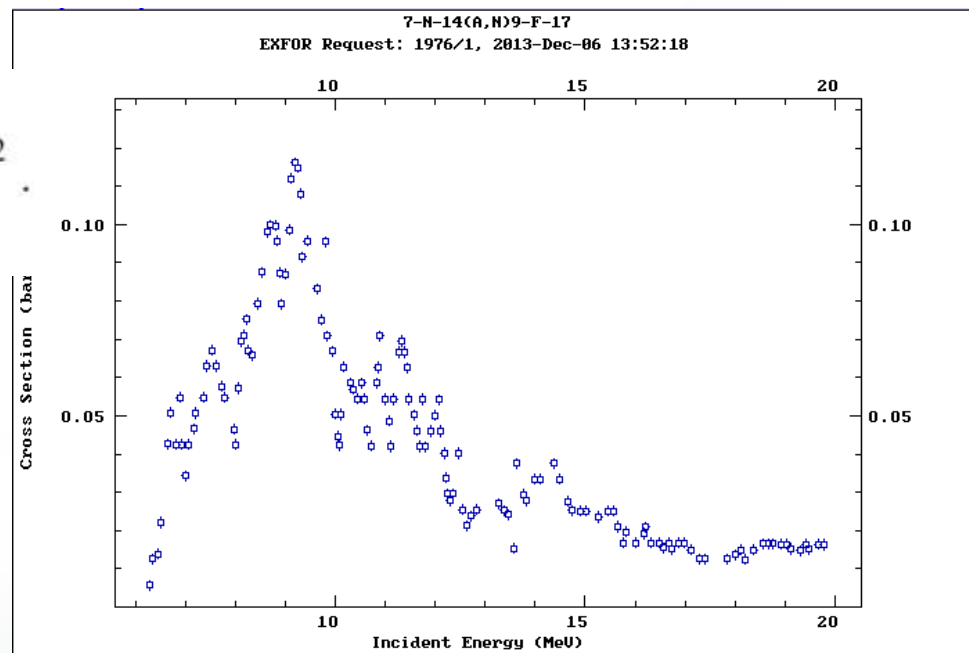


3. Расчет источников излучения в ОЯТ

3.3. При расчете сечения (α, n) -реакций можно воспользоваться моделью:

$$\sigma_j^{\alpha, n}(E_i) = \frac{1}{N_j} \cdot \frac{dY_j(E)}{dE} \cdot |f_j(E)|, \text{ см}^2.$$

$dY_j(E)/dE$ – производная от полуэмпирической функции $Y(E)$, МэВ⁻¹.





ВЫХОД НЕЙТРОНОВ В (α, N) -РЕАКЦИЯХ



3. Расчет источников излучения в ОЯТ

3.3. Выход нейтронов в результате (α, n) -реакции:

$$q_i^{\alpha, n}(E) = q_i^{\alpha} \cdot n_j \int_{B_j}^{E_i} \frac{\sigma_j^{\alpha, n}(E)}{f_{\text{соед}}(E)} dE, \text{ нейтр.}/(\text{с}\cdot\text{г}).$$

$$E_i = \frac{\sum_{i=1}^n E_{\alpha_i} \cdot n_{\alpha_i}}{\sum_{i=1}^n n_{\alpha_i}}, \text{ МэВ} \quad \int = n_j \int_{B_j}^{E_i} \frac{\sigma_j^{\alpha, n}(E)}{f_{\text{соед}}(E)} dE.$$

где n – полное число энергетических групп α -частиц;
 $E_{\alpha i}$ – средняя энергия α -частиц i -ой группы, МэВ; $n_{\alpha i}$
– квантовый выход (среднее число α -частиц с
энергией E_i , приходящихся на один акт распада ядра)
 α -частиц i -ой группы, $(\text{Бк}\cdot\text{с})^{-1}$.

ВЫХОД НЕЙТРОНОВ В (α, N) -РЕАКЦИЯХ



3.3. Радиационные характеристики некоторых радионуклидов и их соединений

Нуклид	E_i^α , МэВ	q_i^α , $\alpha/\text{с}/\Gamma$	q_i^{sf} , $sf/\text{с}/\Gamma$	Q_i^{sf} , н/с/Г	$q_i^{\alpha,n}(\text{MeO}_2)/$ ω_i , н/с/Г	$q_i^{\alpha,n}(\text{MeN})/$ ω_i , н/с/Г
^{235}U	4,34	$8,002 \cdot 10^4$	$5,601 \cdot 10^{-6}$	$1,348 \cdot 10^{-5}$	$4,588 \cdot 10^{-4}$	$3,839 \cdot 10^{-5}$
^{238}Pu	5,49	$6,342 \cdot 10^{11}$	$1,205 \cdot 10^3$	$2,808 \cdot 10^3$	$1,337 \cdot 10^4$	$9,430 \cdot 10^2$
^{239}Pu	5,15	$2,297 \cdot 10^9$	$7,122 \cdot 10^{-3}$	$2,047 \cdot 10^{-2}$	$3,400 \cdot 10$	2,476
^{240}Pu	5,16	$8,403 \cdot 10^9$	$4,790 \cdot 10^2$	$1,030 \cdot 10^3$	$1,247 \cdot 10^2$	9,192
^{242}Pu	4,89	$1,459 \cdot 10^8$	$8,023 \cdot 10^2$	$1,709 \cdot 10^3$	1,608	0,123
^{242}Cm	6,10	$1,226 \cdot 10^{14}$	$7,604 \cdot 10^6$	$1,772 \cdot 10^7$	$4,650 \cdot 10^6$	$3,031 \cdot 10^5$
^{244}Cm	5,80	$2,998 \cdot 10^{12}$	$4,107 \cdot 10^6$	$1,109 \cdot 10^7$	$8,483 \cdot 10^4$	$5,740 \cdot 10^3$

РАСЧЕТ МИКРО- И МАКРОСЕЧЕНИЙ И СВЯЗАННЫХ НИМИ ФУНКЦИОНАЛОВ ($K_{эфф}$, ПОТОК)



Беденко, Сергей Владимирович. Основы учета и контроля делящихся материалов в производстве [Электронный ресурс] : учебное пособие / С. В. Беденко, И. В. Шаманин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 1 компьютерный файл (pdf; 3.4 МВ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2011. — Заглавие с титульного экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Доступ из корпоративной сети ТПУ. — Системные требования: Adobe Reader. — Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2012/m259.pdf>