



Самоподдерживающиеся цепная реакция деления.

**Сегодня: вторник, 17
марта 2020 г.**

Содержание лекции:

- 1. Элементарная теория деления.**
- 2. Самоподдерживающиеся цепная реакция деления.**
- 3. Коэффициент размножения нейтронов.**



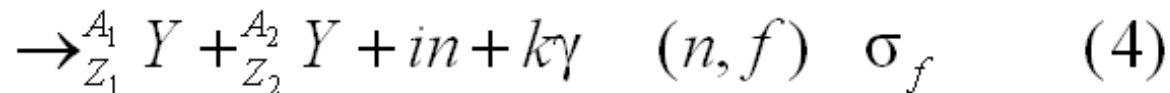
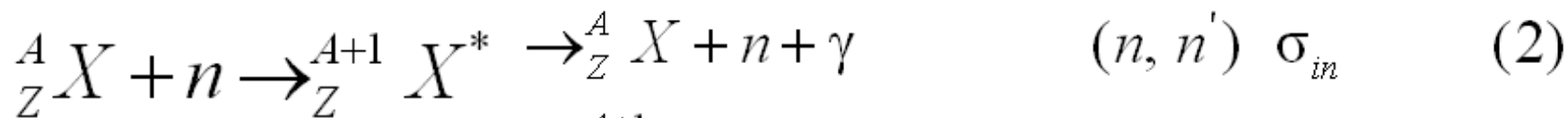
1. Элементарная теория деления.



- *Ядерным реактором* называют аппарат, в котором осуществляется управляемая цепная реакция деления, выделяющаяся при этом энергия превращается в тепловую и отводится из реактора с помощью теплоносителя.
- Сегодня ядерная энергетика РФ базируется в основном на реакторах типа ВВЭР–1000 использующий в качестве топлива диоксид урана UO_2 с обогащением по U-235 4-5 %.



- Деление урана называется присоединением к ядру урана с массовым числом A нейтрона и образование составного ядра.



где $k > 1$ – некоторое количество нейтронов на акт деления.

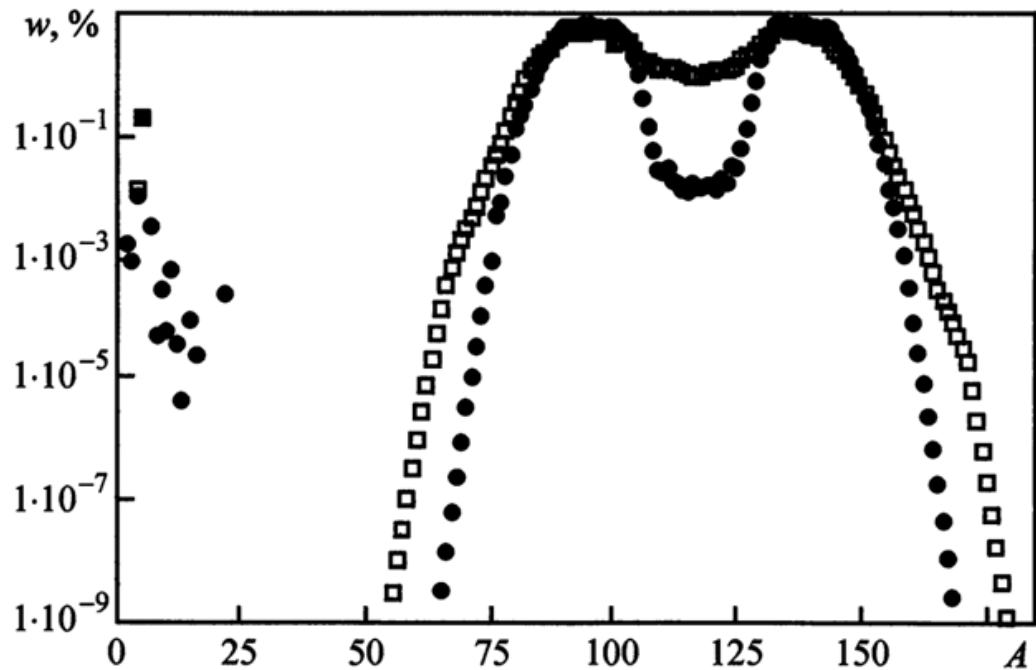


Рис. 1. Распределение выхода осколков деления урана U-235 по атомным массам: $\square$ – деление ядер нейтронами, обладающими энергией 14,06 МэВ; $\bullet$ – 0,0253 эВ.

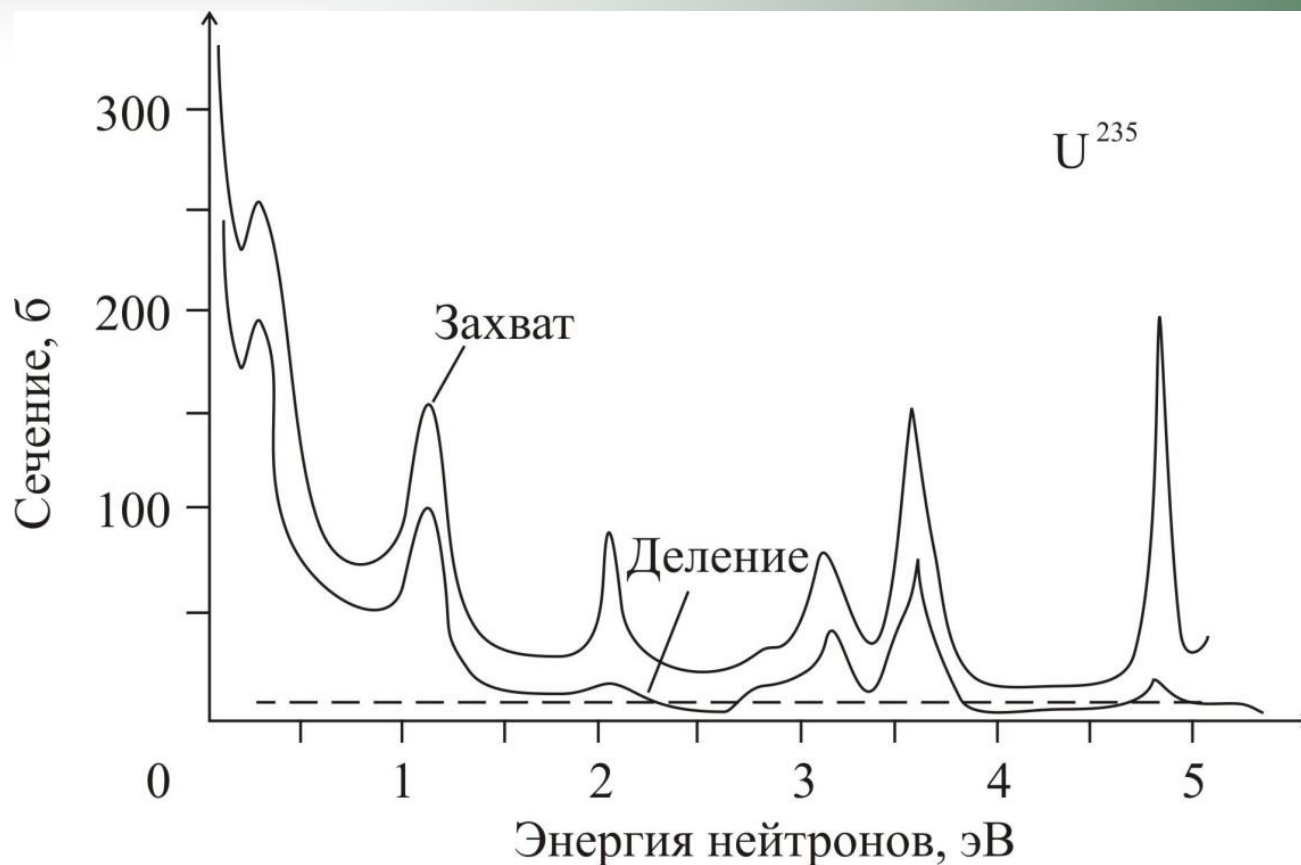


Рис. 2. Зависимость сечения захвата и сечения деления U-235 нейтронами от их энергии. Пунктир – сечение рассеяния нейтронов.

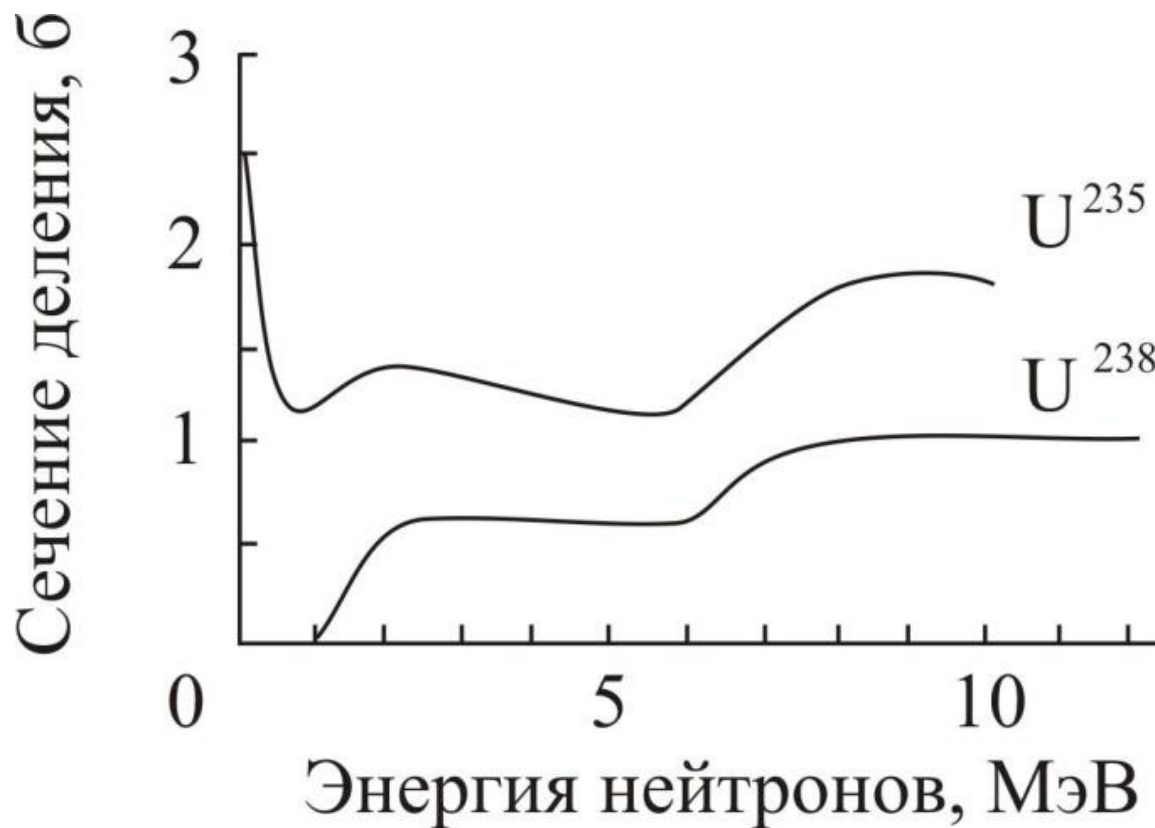


Рис. 3. Зависимость сечения деления U^{235} и U^{238} быстрыми нейтронами от их энергии.

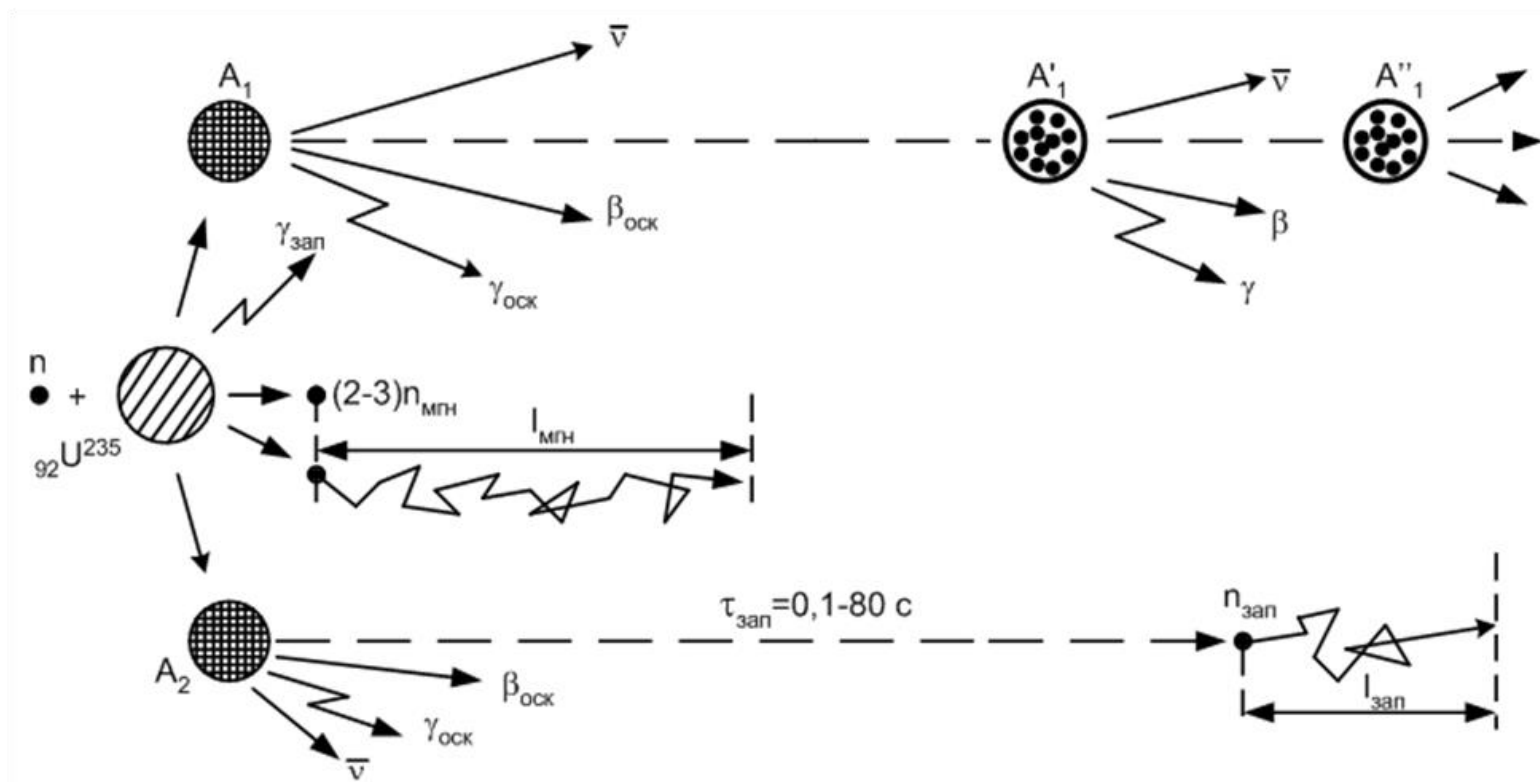


Рис. 4. Схема деления ядра урана



Табл. 1. Энергетические баланс деления, МэВ.

Продукты деления	U^{235}	Pu^{239}
1. Кинетическая энергия осколков деления	166,0	171,5
2. Кинетическая энергия нейтронов деления	4,9	5,8
3. Энергия мгновенных γ -квантов	7,2	7,0
4. Энергия γ -квантов из продуктов деления	7,2	7,0
5. Кинетическая энергия β -излучения осколков	9,0	9,0
6. Энергия антинейтрино	10,0	10,0
Итого:	204,3	210,3

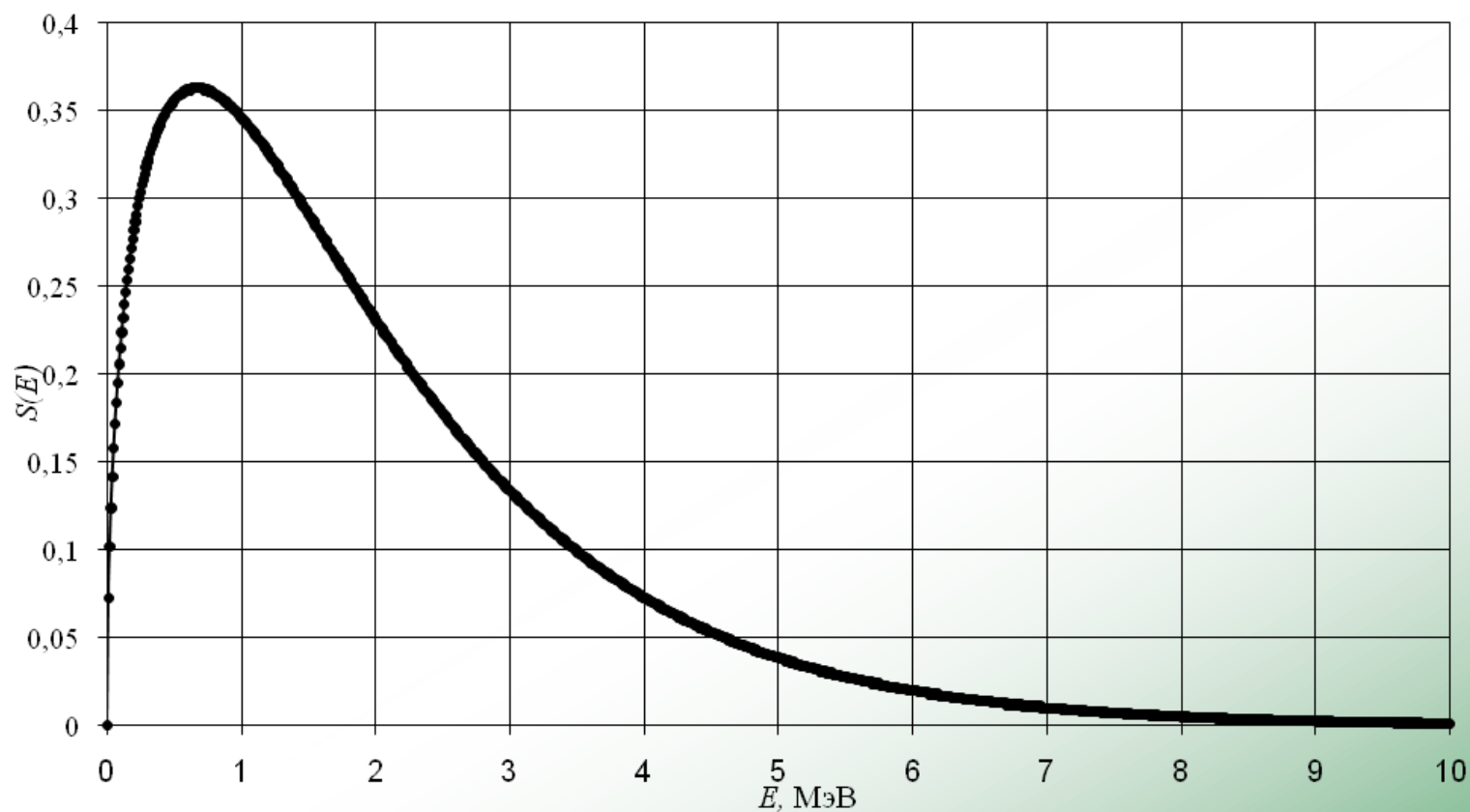


Рис. 6. Спектр нейтронов деления U-235



- *Спектральная функция Уатта:*

$$S(E) = \frac{1}{n_0} \cdot \frac{dn}{dE} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot a^{3/2} \cdot \sqrt{E} \cdot \exp(-a \cdot E).$$

- где a – постоянная определяется из условия нормировки:

$$\int_0^{\infty} S(E) dE = 1.$$

и равная $0,766 \text{ МэВ}^{-1}$ для U^{233} ; $0,775 \text{ МэВ}^{-1}$ U^{235} ; $0,75 \text{ МэВ}^{-1}$ Pu^{239} .



- *Наиболее вероятная энергия:*

$$E_{\text{HB}} = 0,71 \text{ МэВ}, dS(E)/dE = 0$$

- *Средняя энергия нейтронов деления:*

- $$\overline{E} = \frac{\int_0^{\infty} E \cdot S(E) \cdot dE}{\int_0^{\infty} S(E) \cdot dE} \quad E_{\text{cp}} = 2,0 \text{ МэВ}$$

4. Самоподдерживающаяся цепная реакция деления.



- Самоподдерживающейся ЦРД называется незатухающий процесс деления тяжелых нуклидов, в котором каждое последующее деление вызывается нейтронами, полученными при предыдущих делениях.
- Условие протекания СЦРД :
 1. Хотя бы один из ν_f получаемых в акте деления нейтронов обязательно должен вызывать следующее деление нового ядра урана.
 2. Остальные $(\nu_f - 1)$ нейтроны должны быть исключены из процесса деления ядер.



- **Табл. 3.** Критические массы и размеры делящихся веществ.

Материал	$m_{кр}$, КГ	$R_{кр}$, см
^{233}U	16	6
^{235}U	48	8,5
^{239}Pu	17	6



- **Табл. 4.** Критические массы и размеры делящихся веществ.

Критический параметр	^{235}U	^{233}U	^{239}Pu
Масса сферы, кг	22,8	7,5	5,6
Диаметр бесконечного цилиндра, см	7,8	4,8	4,3
Толщина бесконечной пластины, см	1,5	0,7	0,6



- Первая *критическая сборка*, названная *ядерным реактором*, была построена в 1942 году под руководством Э. Ферми на территории Чикагского университета.
- При делении ядер, возникают 2 – 3 свободных нейтрона, которые могут принять участие в последующем процессе деления ядер, значит при определенных условиях в системе, содержащей ядра горючего, может быть осуществлена СЦРД.



Табл. 5. Сечения делящихся нуклидов при $E_n=0,025$ эВ, бн.

Нуклид	$\sigma_a = \sigma_f + \sigma_\gamma$	σ_f
U^{233}	575	530
U^{235}	680	584
Pu^{239}	1011	744
U^{238}	2,7	0
$U_{ест}$	7,55	4,17

Табл. 6. Сечение ^{238}U и ^{235}U при $E_n=2$ МэВ, бн.

Парциальное сечение	U^{238}	U^{235}
σ_f	0,57	1,32
σ_γ	0,03	0,05
σ_{in}	2,3	1,8
σ_{el}	4,3	7,38
σ_{tot}	7,2	7,37

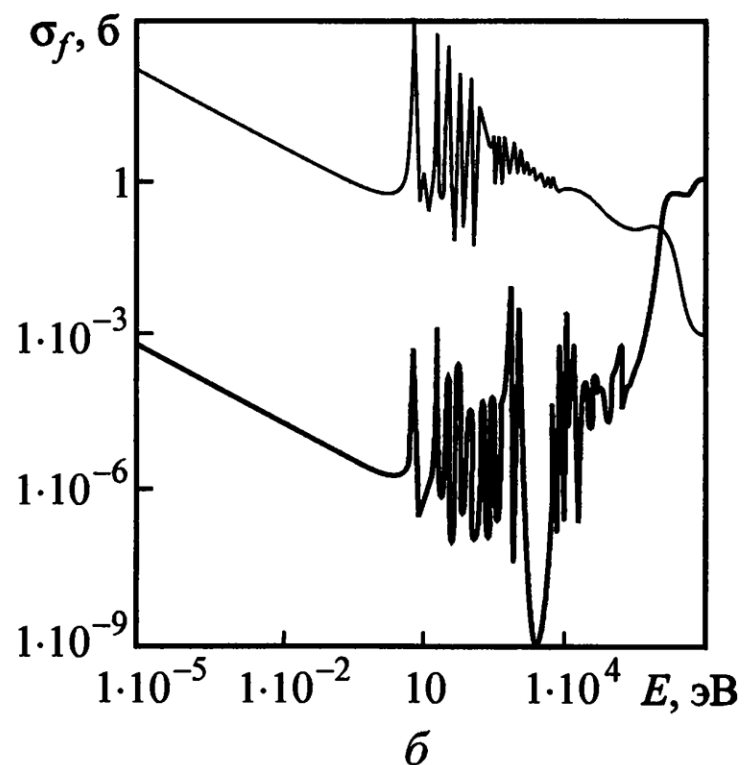
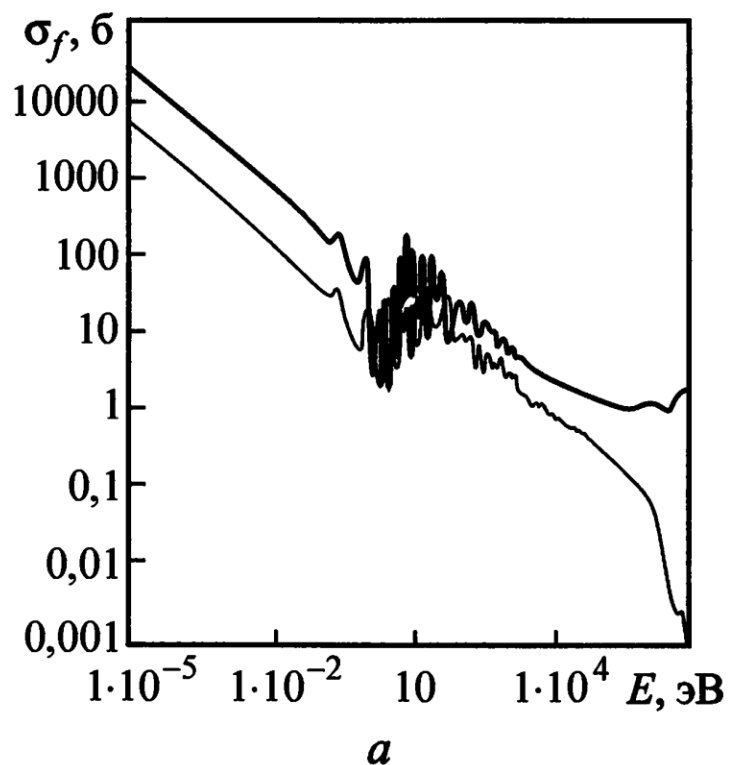


Рис. 7. Зависимость микро сечений реакций деления (—) и радиационного захвата (- -) для ядер урана ^{235}U (а) и ^{238}U (б).



- Создание более благоприятных условий для самоподдерживающейся цепной реакции возможно если:
 1. Увеличить макроскопическое сечение деления Σ_f .
 2. Увеличить концентрацию нейтронов в системе за счет снижения потери нейтронов на основе минимизации паразитного поглощения нейтронов материалами среды и утечки нейтронов из системы (реактора).

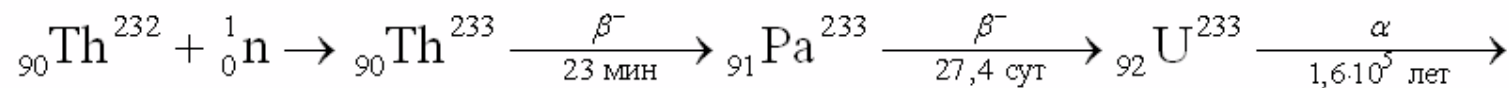
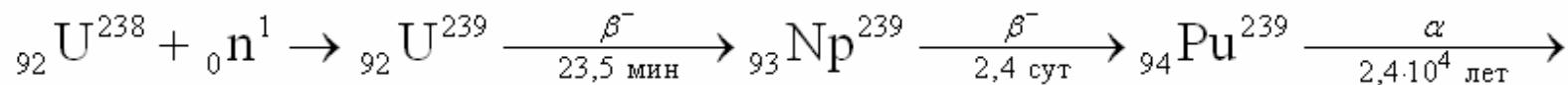


4. Ядерные материалы

- *Делящиеся изотопы* – ^{235}U , ^{233}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{232}Th .
- *Нечетные изотопы* – ^{235}U , ^{233}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu – способны к беспороговому делению.
- *Четные изотопы* – ^{238}U , ^{232}Th – делятся только нейтронами с энергией больше некоторого определенного значения – *энергии порога*.



- В любом ядерном реакторе, в топливе которого содержится ^{238}U и ^{232}Th , будет возникать ^{233}U , ^{239}Pu :



^{235}U – является первичным ядерным горючим;

^{233}U , ^{239}Pu – вторичным ядерным горючим.



- *Ядерное горючее* – это делящиеся нуклиды (о них мы говорили выше).
- *Ядерное топливо* – это матрица из неделящегося вещества, содержащая в себе делящиеся нуклиды.
- ТВЭЛ, ТВС.
- *Активной зоной* называют пространство внутри реактора, где расположено ядерное топливо.



- $(U, Pu)O_2$ – смешанное оксидное топливо (*mixed oxide* – MOX-топливо).
- Мононитридное, монокарбидное топливо UC, UN.
- $(U, Pu)N$, $(U, Pu)C$ – смешанное карбидное, нитридное топлива.