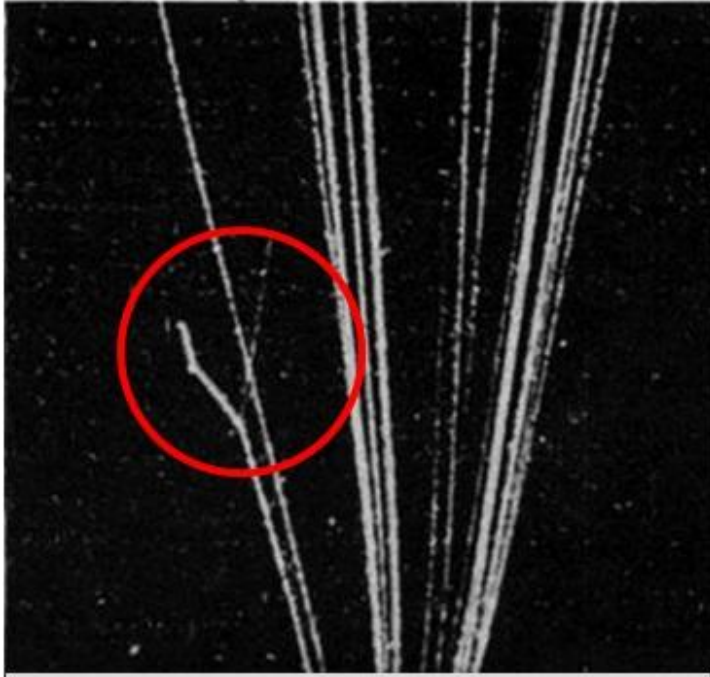


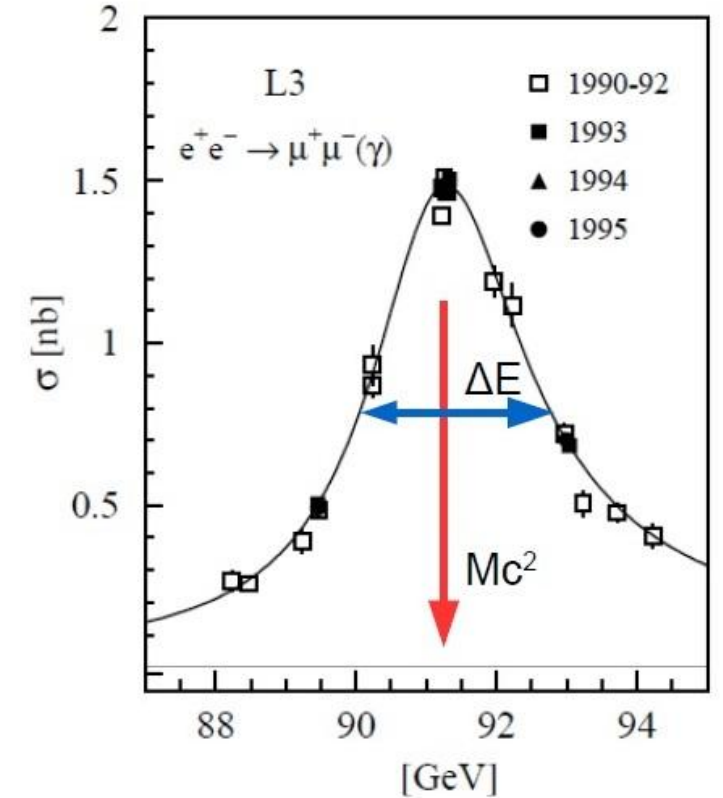
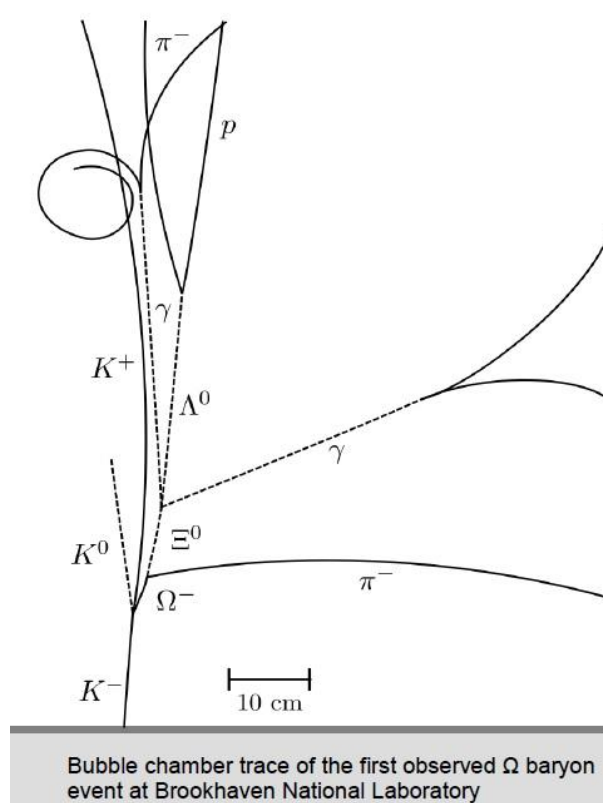
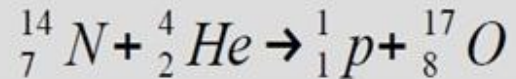
1930-е

1960-е

1990-е



Из атома азота выбит протон (тонкий след)

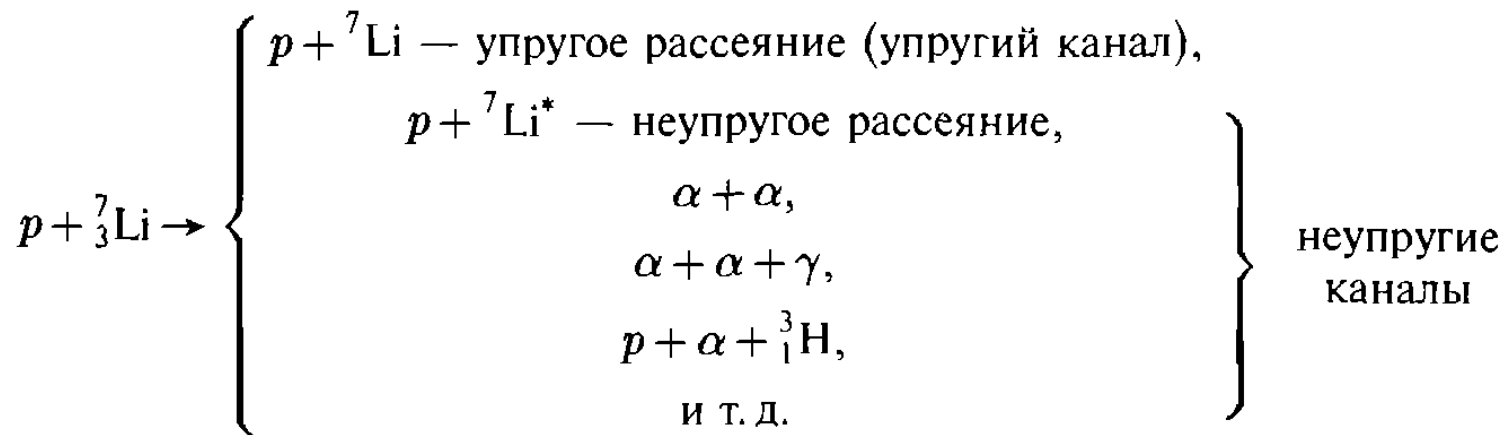


Семинар №12

Ядерные реакции

Кубышкин А.В. – осень 2020

Каналы реакции и парциальные сечения

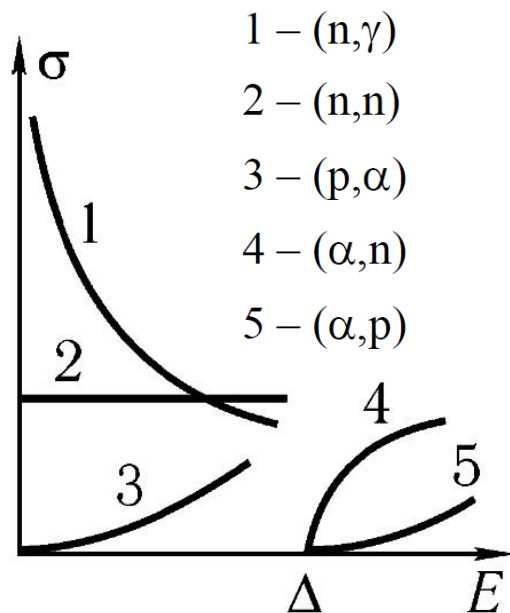


Законы сохранения: $E, p, Z, A, J, \pi, B, \dots$

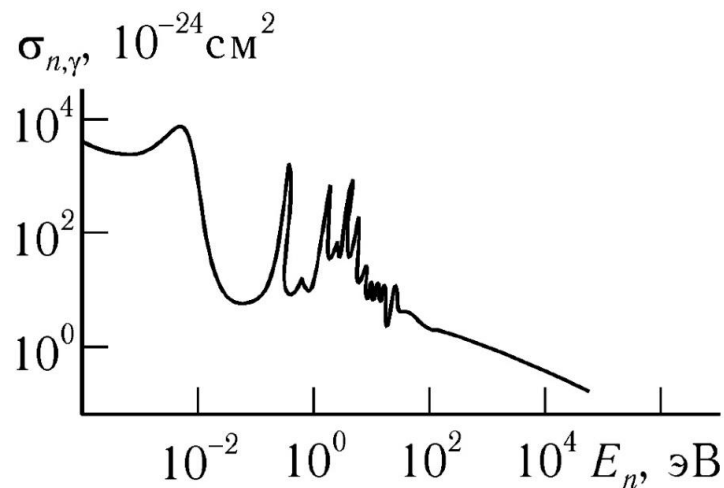
Сечение реакции: $\frac{dN}{dt} = j n_{\text{мишеней}} \sigma_{\text{эфф}}$

Полное сечение: $\sigma_{\text{tot}} = \sigma_{\text{упр}} + \sigma_{\text{неупр}} =$
 $= \sigma_{\text{упр}} + \sigma_1 + \sigma_2 + \dots$

Типовые реакции:



Резонансные ядерные реакции на примере радиационного захвата:



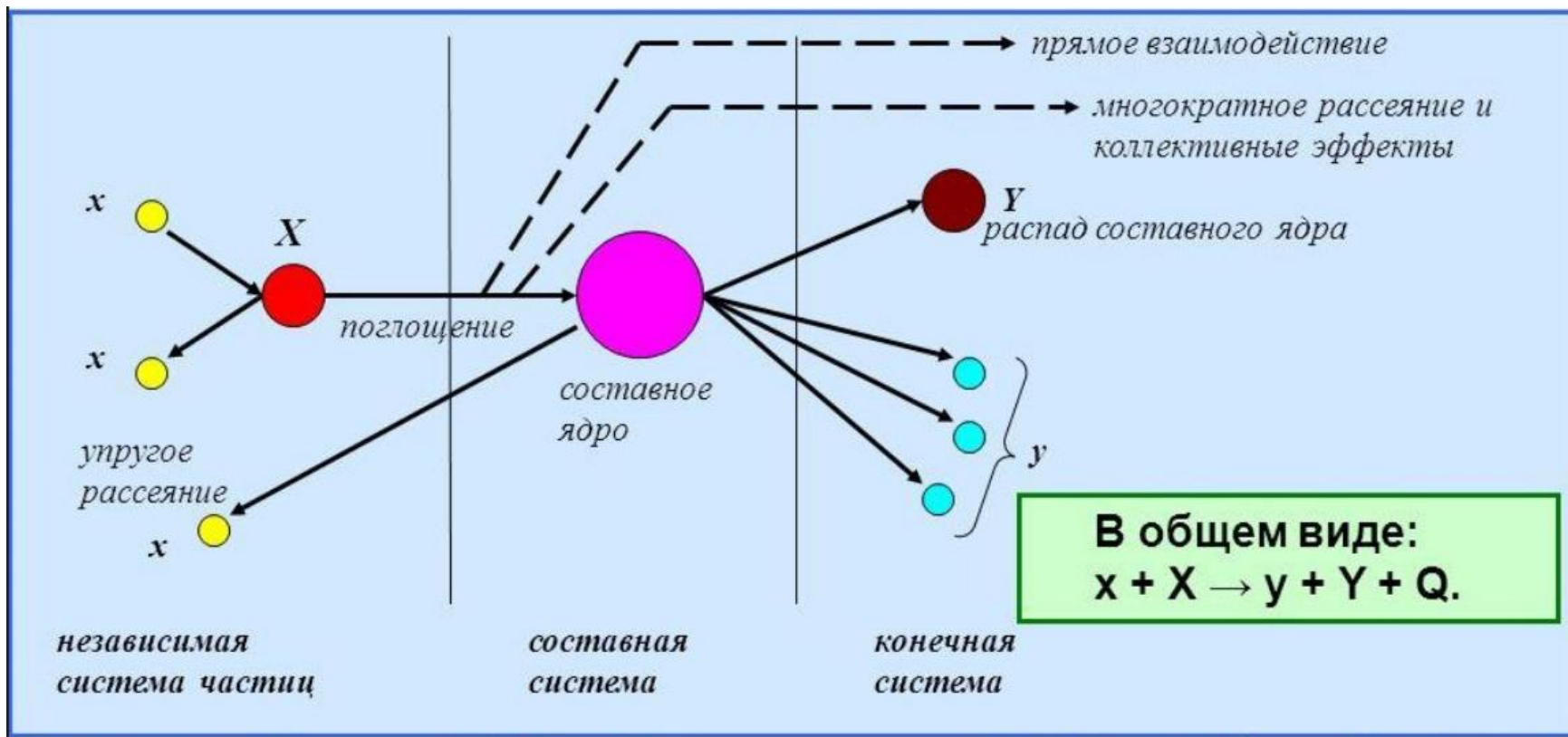
Закон Бете (проницаемость надбарьерного прохождения):

$$\sigma \simeq \pi (\lambda + R)^2 D(E)$$

$$D = \frac{4kK}{(k+K)^2} \simeq 4 \frac{k}{K} \simeq 4 \sqrt{\frac{E}{U_0}}$$

$$\sigma \simeq 4\pi \lambda^2 \sqrt{\frac{E}{U_0}} = 4\pi \frac{\hbar^2}{p^2} \sqrt{\frac{E}{U_0}} = \frac{2\pi \hbar^2}{m} \frac{1}{\sqrt{EU_0}} \propto \frac{1}{V}$$

Теория составного ядра и формула Брейта-Вигнера



$$\sigma_{xy} = \pi(\lambda + R)^2 \frac{\Gamma_x \Gamma_y}{(E - E_0)^2 + \Gamma^2/4}$$

$$\Gamma = \Gamma_x + \Gamma_y + \dots \Rightarrow 1 = \frac{\Gamma_x}{\Gamma} + \frac{\Gamma_y}{\Gamma} + \dots$$

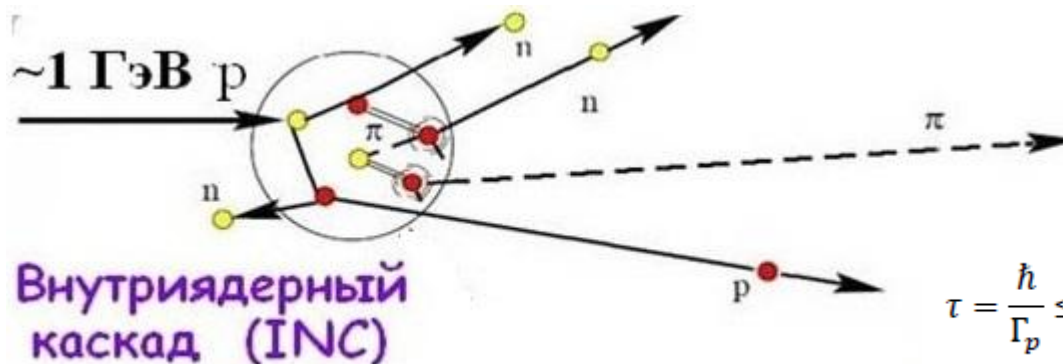
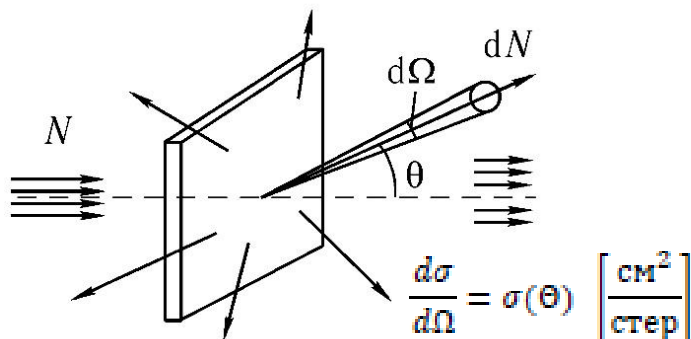
$$\frac{\sigma_{xx}}{\sigma_{xy}} = \frac{\Gamma_x}{\Gamma_y} = \frac{\tau_y}{\tau_x}$$

При $R \ll \lambda$ ($E < \text{МэВ}$ для нуклонов)
 резонансные максимумы:

$$\sigma_{xy} = 4 \pi \lambda^2 \frac{\Gamma_x \Gamma_y}{\Gamma^2},$$

$$\sigma_{xx} = 4 \pi \lambda^2 \frac{\Gamma_x^2}{\Gamma^2}$$

$$\sigma_{xc} = 4 \pi \lambda^2 \frac{\Gamma_x}{\Gamma}$$



$$\tau = \frac{\hbar}{\Gamma_p} \leq \tau_{\text{я}} = \frac{2R}{v} \sim 10^{-22} \text{ с}$$

Деление ядер под действием нейтронов. Ядерные реакторы

Устройство ядерного реактора на тепловых нейтронах

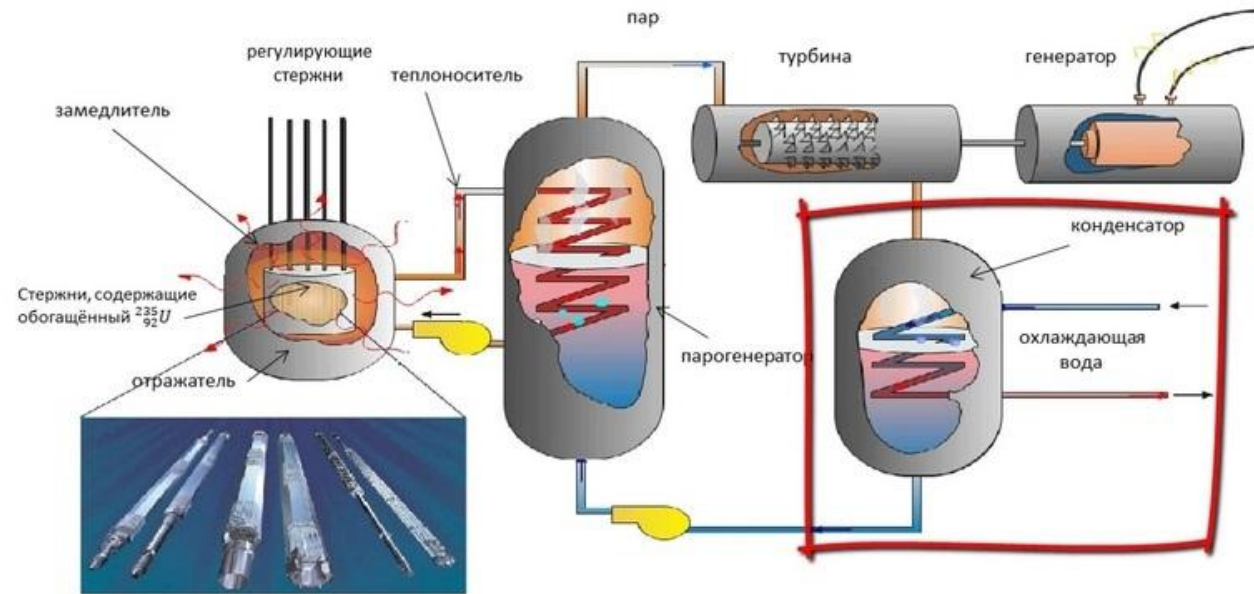
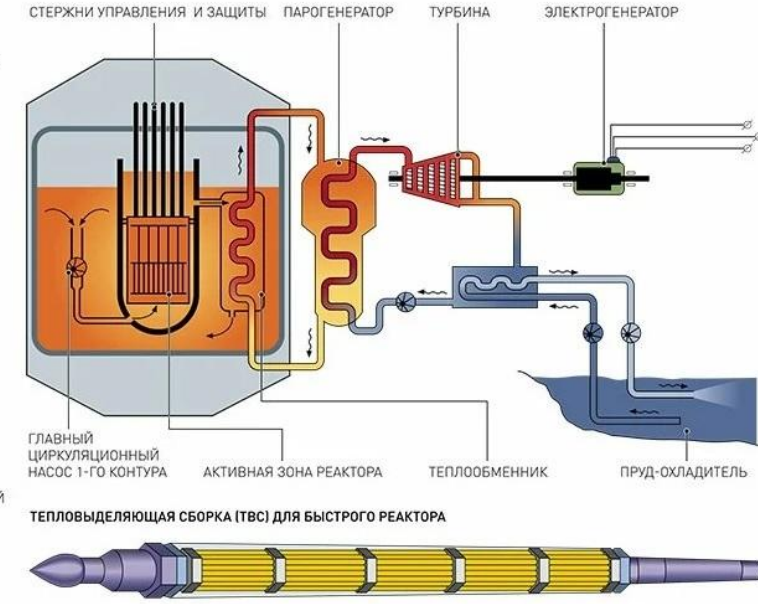
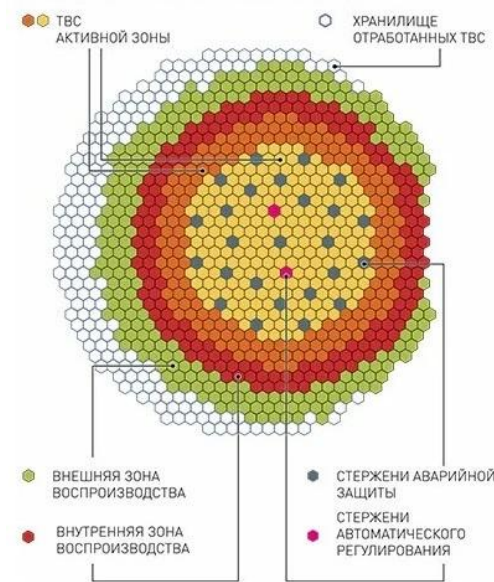


СХЕМА ЗАГРУЗКИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА БН-600



Реакторы на быстрых нейтронах

Энергия делящихся нейтронов – более 0,1 МэВ

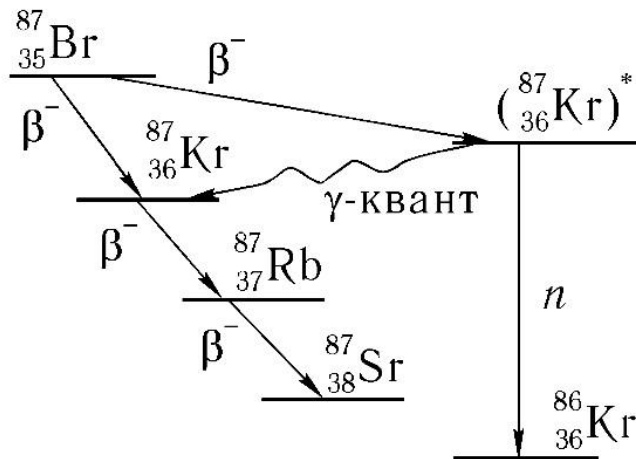
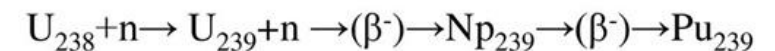
Делящиеся изотопы - U-235, U-238 и Pu-239

В каждом акте деления ядер образуется большее количество нейтронов (по сравнению с тепловым), которые могут быть использованы для интенсивного превращения U-238 в делящийся изотоп плутония Pu-239

Отсутствие замедлителя

Натриевый теплоноситель

Реакция получения Pu-239:

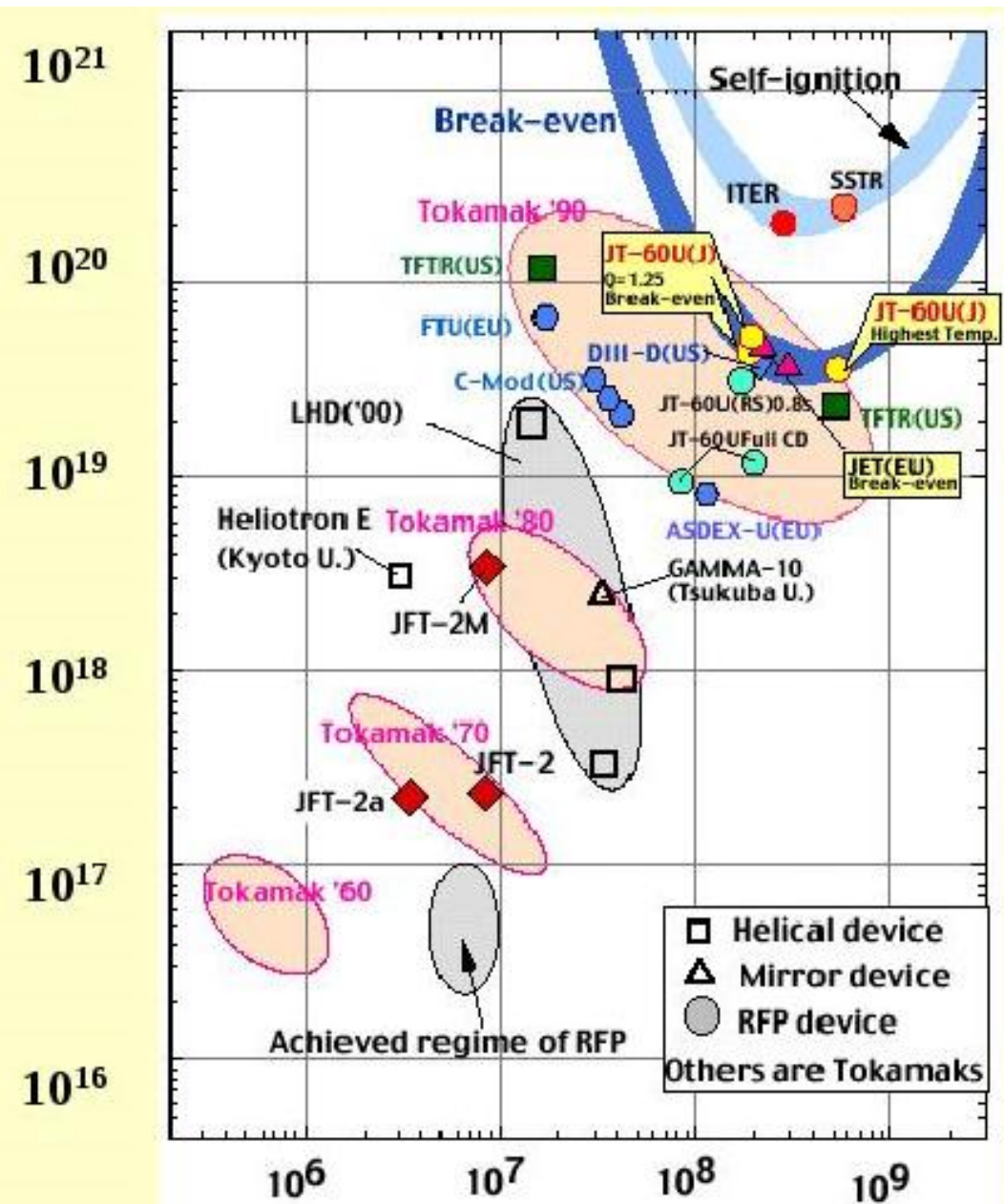


**Запаздывающие нейтроны
как способ безопасного
управления реактором**

$$\frac{dN}{dt} = \frac{k-1}{T} N$$

$$T = \frac{(1-\beta)\nu T_0 + \beta\nu T_3}{\nu} \simeq T_0 + \beta T_3$$

Критерий Лоусона ($n \times t \sim 10^{20} \text{ м}^{-3} \text{ с}$ при $T=10^8 \text{ К}$) и его достижение



ITER'S TOKAMAK — TOO HOT TO HANDLE

Fusion scientists often describe the job of containing a hot plasma in magnetic fields as akin to holding jelly using rubber bands.

Coils for magnetic field
These superconducting magnets run both laterally and longitudinally around the machine. They are the 'rubber bands' that suspend the plasma in ITER's core.

External heating
In addition to the solenoid, ITER will use external radio waves and microwaves to heat the plasma to more than 100 million degrees centigrade.

Diverter
The diverter absorbs hot helium atoms from the fusion reaction. It must be able to withstand extreme temperatures and high levels of radiation.

Solenoid

A superconducting coil at the centre of the machine, the solenoid helps to stabilize the plasma and heats it through induction.

Blanket

The blanket surrounding the plasma absorbs neutrons and heat from the fusion reaction. It must be made of materials that can withstand high levels of radiation.

Plasma

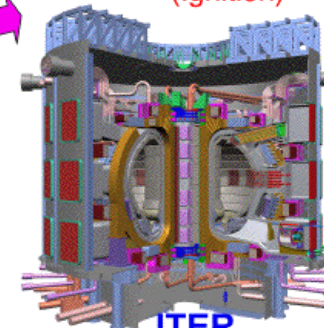
Most likely consisting of deuterium and tritium, the plasma suspended within the reactor will release up to ten times the amount of energy it absorbs.

Break-even Plasma



JT-60

Burning Plasma (Ignition)



ITER

Generation of Electrical Power for Steady-State



DEMO