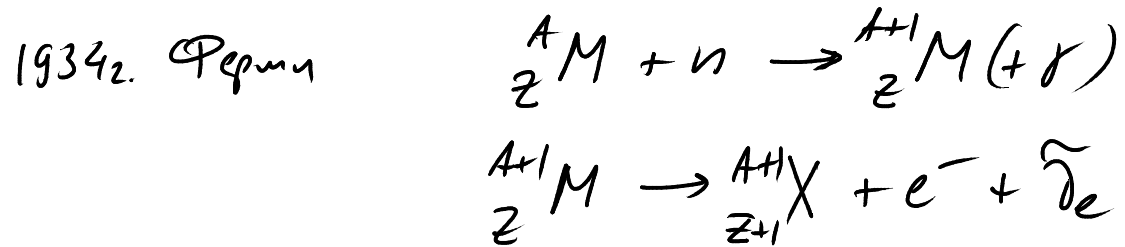


Глава 7. Ядерная энергия

7.1. Деление ядер



${}_{92}^{235}\text{U}$ захватывает нейтрон $Z = 93$

1938г. Курч, Савурт. ; Хан, Мейтнер, Штрассман

Ba

средняя табл. Менделеева
 Ba , La .

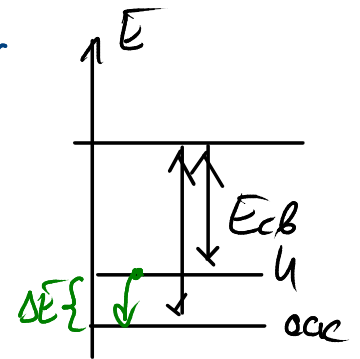
Шнобеля Фриша и Мейтнер

уран при облучении нейтронами не образует новых элементов, а делится на 2 легких осколка.

1940г. Физсов, Петряк — спонтанное деление урана

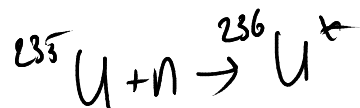
$$T_{1/2} = 10^{16} \text{ лет}$$

В 12 U за час расп. 25 атом



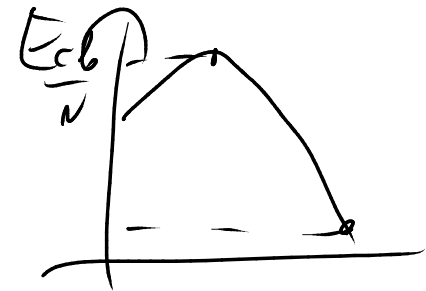
Энергия деления

Энергия связи на 1 нуклон



уран $\approx 7,6 \text{ МэВ}$

осколки $\approx 8,5 \text{ МэВ}$



$$Q = A_i [8,5 - 7,6] = 0,9 \cdot 236 \approx 210 \text{ МэВ}$$

7.2. Продукты деления урана

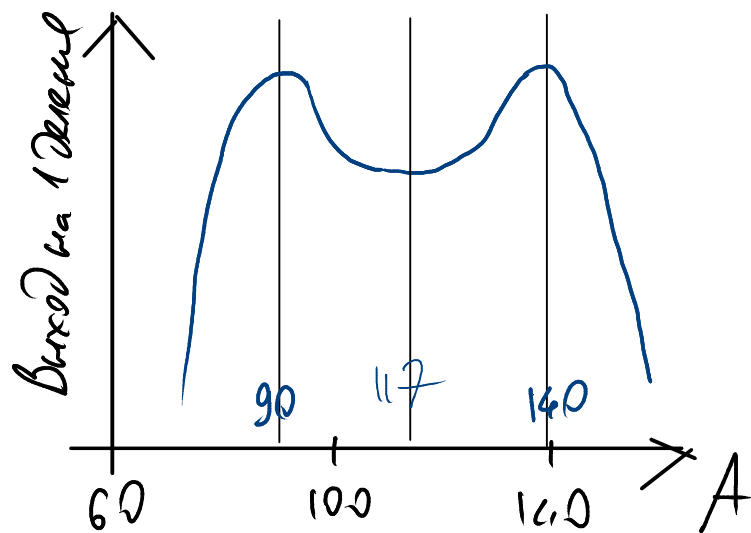
2 группы осколков : около Kr $A_1 = 90$
при делении ^{235}U около Xe $A_2 = 140$

Тепловыми нейтронами

$$T_n \sim 0,03 \text{ эВ}$$

КТ

$$\underline{A_1/A_2 = 1,45}$$

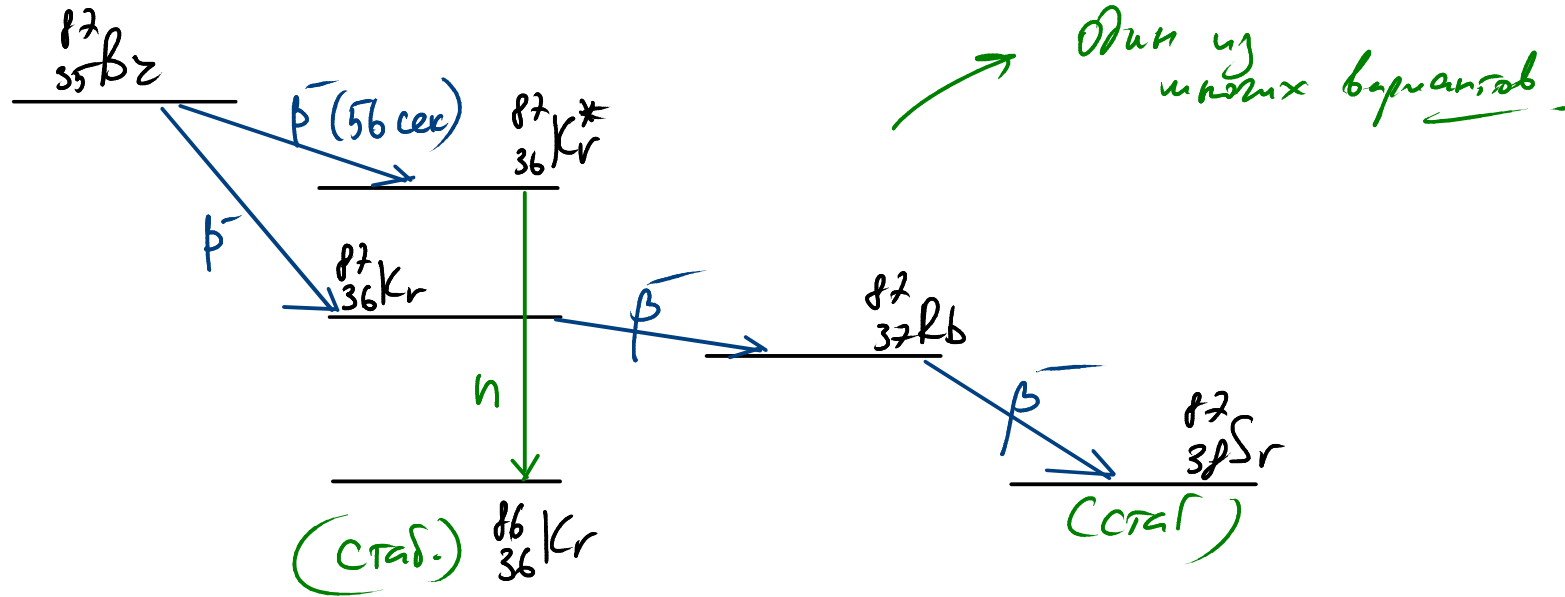


При делении нейтр.

с $T_n >$ несколькими МэВ

осколки примерно одинаковы по массе

Запаздывающие нейтроны

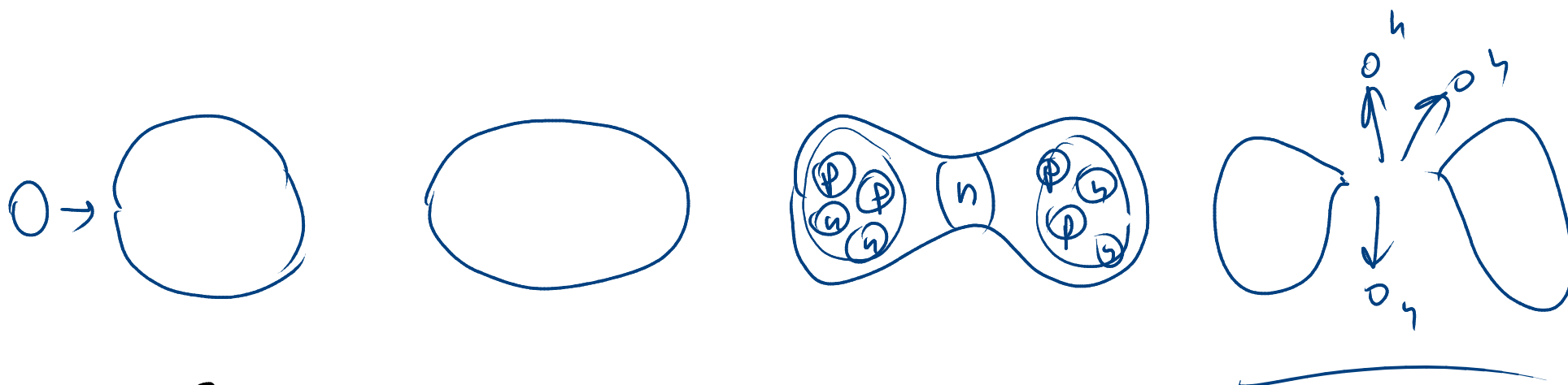


Нейтроны, испускаемые $^{87}_{36}\text{Kr}^*$ запаздывают от
акт деления.

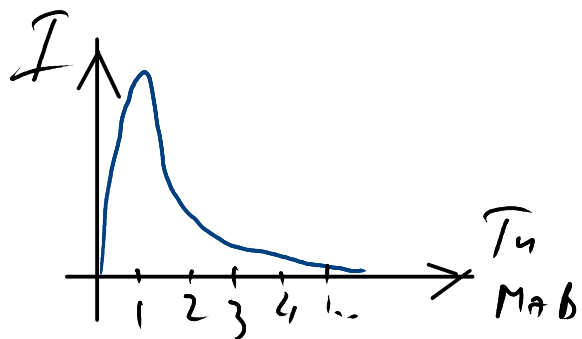
Запазд. нейтроны ос. 0,75% от
всех нейтронов деления

Мнововетные нейтроны

> 99% всех нейтронов в процессе деления γ используются в реакторе очень малое время



За 1 акт деления в среднем используется $\approx 2,5$ нейтронов



$$T_n^{\text{мкм}} \approx 1 \div 2 \text{ МэВ}$$

Распределение энергии Урана

МэВ

Кинетическая эн. осколков Урана

168

Энергия нейтронов Урана

5

Энергия β^- продуктов Урана (e^-)

7

Энергия мгновенного γ -изл.

5

Энергия γ -изл. продуктов Урана

6

Энергия $\bar{\nu}_e$ и продуктов Урана

10

201

7.3. Типы реакций деления

Природный уран: ^{235}U ^{238}U
0,7% 99,3%

Эксперимент \Rightarrow Энергия активации деления:



Энергия возбуждения = кин. эн. нейтрона + энергия связи ядра

↓
освобождается при образовании
дополнительных ядра.

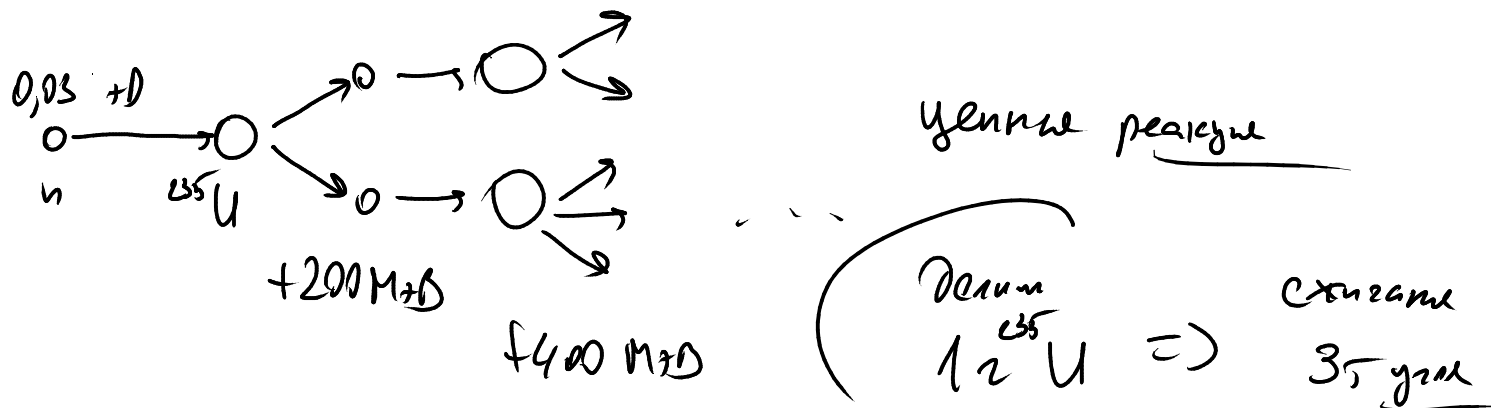
Энергия связи нейтрона : $\text{Dn } ^{236}\text{U} - 6,8 \text{ МэВ}$
 $\text{Dn } ^{239}\text{U} - 5,5 \text{ МэВ}$

^{235}U : $6,8 - 6,5 = 0,3 \text{ МэВ} > 0$ будет выгода
независимо от энергии нейтрона

^{238}U $5,5 - 7,1 < 0 \Rightarrow$ для реакции необходима
крит. энергия $T_{кр} = 1,6 \text{ МэВ}$

② Th, Pu — также могут делиться

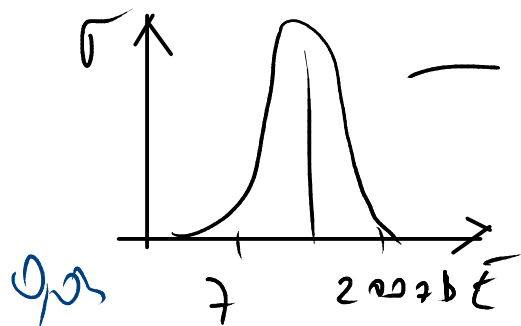
7.4. Возможность использования ядерной энергии



Проблема

Энергия нейтронов деления недостаточна для деления ^{238}U ($\approx 1 \text{ MeV}$)

Деление ^{238}U



сечение резонансного захвата нейтронов ядром ^{238}U

Захват ^{238}U обрывает реакцию

В природном уране ^{238}U в 140 раз больше, чем $^{235}\text{U} \Rightarrow$ реакция не идет.

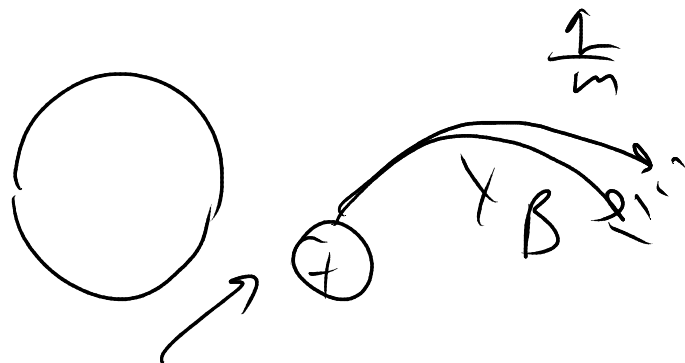
Решение: 1) Обогащение по изотопу ^{235}U .

2) Замедление и рассеивание элементов
 H_2O , C (графит),

Be, U и т.д.



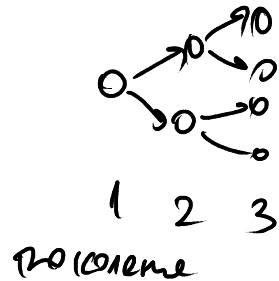
H_2O поглощает нейтроны



7.5. Цепная ядерная реакция

Конкурирующие процессы:

- 1) $^{235}\text{U} + n \rightarrow X + Y + 2,3n$
- 2) $^{238}\text{U} + n \rightarrow ^{239}\text{U}$



Мин. условие возникновения цепной реакции:

$$n_i \geq n_{i-1}$$

n_i - число тепловых нейтронов в i -ом поколении

$$K = \frac{n_i}{n_{i-1}} \quad \text{коэффициент воспроизводства (размножения)}$$

$K = 1$ - критическая система. $\sigma_{реакции} = \text{const}$

$K > 1$ - надкритич. сист. $\sigma_{реакции}$ - возрастает

$K < 1$ - подкритич. сист. Реакция затухает.

Пусть за 1 поколение прирост числа нейронов: $\Delta n = n(k-1)$

τ - ср. вр жизни нейрона

$$\Delta n = n_i - n_{i-1} = n_{i-1} \left(\frac{n_i}{n_{i-1}} - 1 \right)$$

$\leq k$

$$\Rightarrow dn = n \frac{(k-1)}{\tau} dt$$

$$\Rightarrow \int \frac{dn}{n} = \int \frac{k-1}{\tau} dt \quad \ln n = \frac{k-1}{\tau} t + C$$

$$n_{pm} + 0 \quad n = n_0 \quad \Rightarrow \quad \ln n/n_0 = \frac{k-1}{\tau} t$$

$$\boxed{n = n_0 e^{\frac{k-1}{\tau} t}}$$

Растворы нитратов и,
висмутовые на К

- 1) Витет из системы
- 2) Захват ^{238}U без деления
- 3) Захват без деления замедлителем,
консерв. матер. и т.д.
- 4) Захват с делением ^{235}U , ^{238}U ...

7.6. Ядерные реакторы

Реакторы на тепловых нейтронах

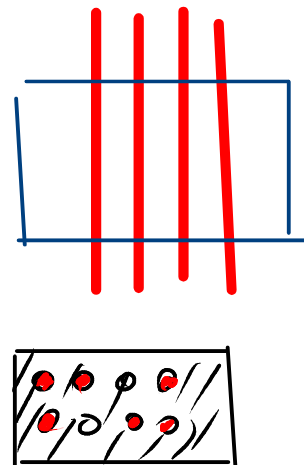
Топливо (U_3O_8) + Замедлитель

Замедлитель : 1) Графит . РБМК
(Термодемь)

2) D₂O Санду .

3) вода H₂O , ВВЭР , PWR APR?
ex конструкция .

BWR и др. — одно контур .



Уравнение. Рекуррент K . Стерхит, содержащие C или B .

Стабильная работа $K = 1$.

Остановка $K < 1$

Роль запаздывающих нейронов

механизм отрегулировать на парастание количества
мгновенных нейронов — не возможно.

Запазд и 0,75% $\beta = 0,0075$ $(1-\beta)$
запазд. мгновенные.

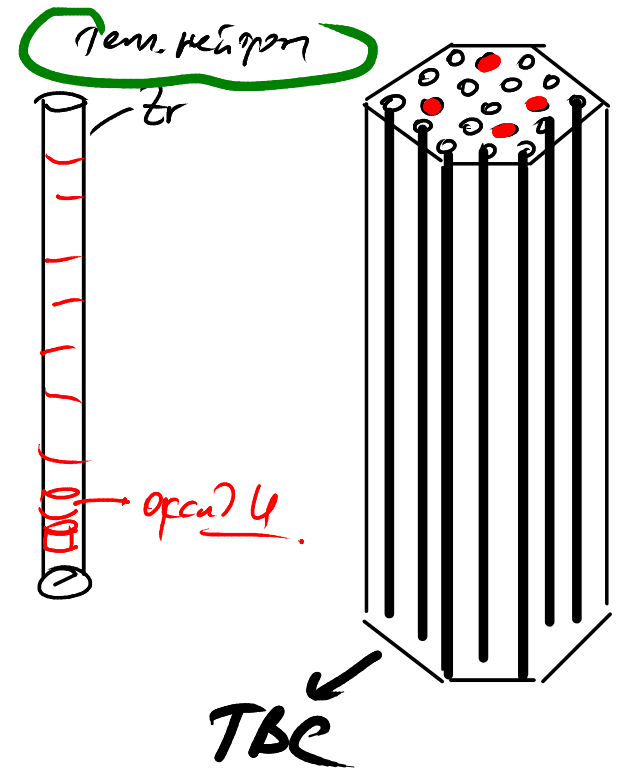
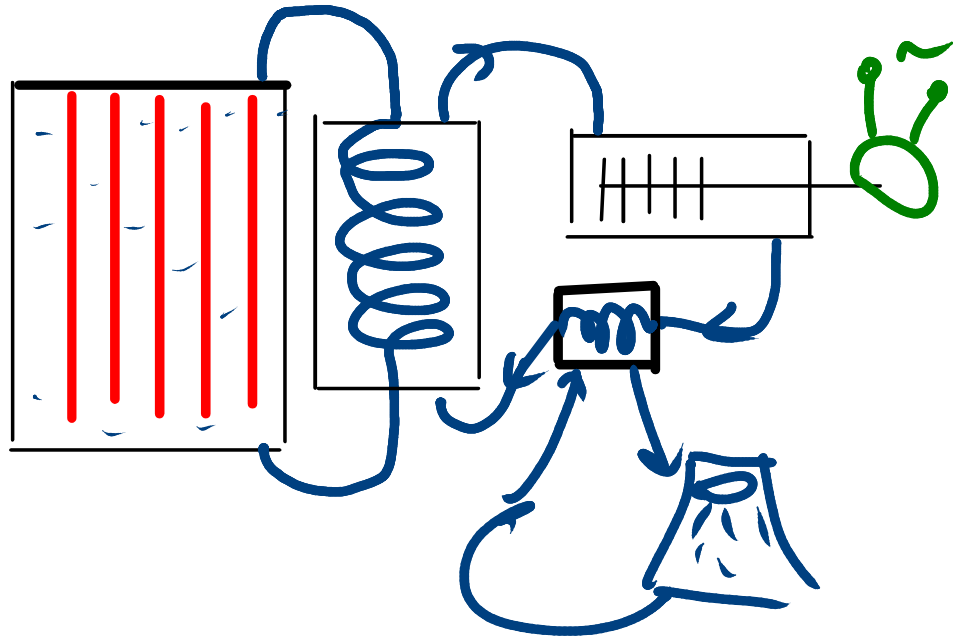
$$K = K \cdot \beta + (1-\beta)K$$

Можно подобрать параметры

$$(1-\beta)K = 1;$$

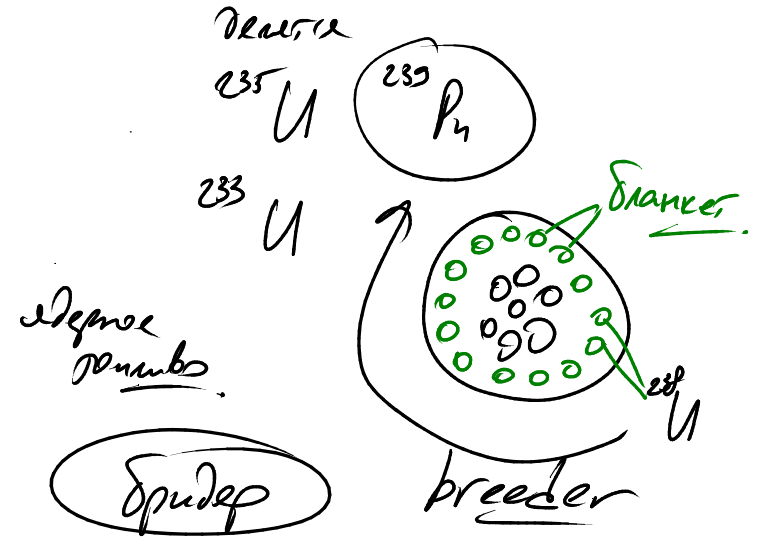
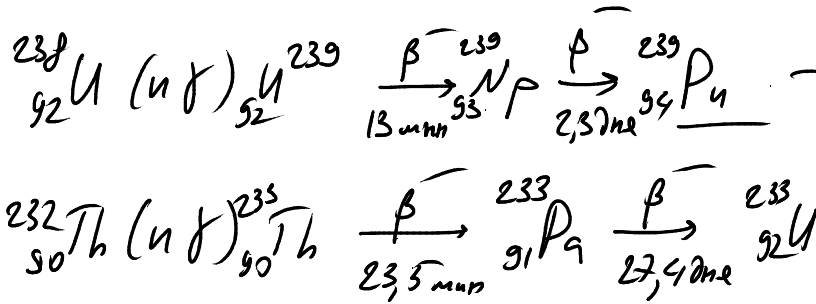
плотность нейтр. актива и мощность
будут парастать медленно и управление возможно.

BB7P



Реактор на бързих неутрони

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$



Температура : Na $t_m \approx 100^\circ\text{C}$

БН-600
 БН-800

LOI
 Греси 300-

Озон химически

активни

може работи на более високих темп.
 \Rightarrow луче термодинамически
 КПД турбин
 \Rightarrow предет особено обрзене,

Pb, Pb+Bi

t_m - висока

705 Аурн

хим. акти - ниска