

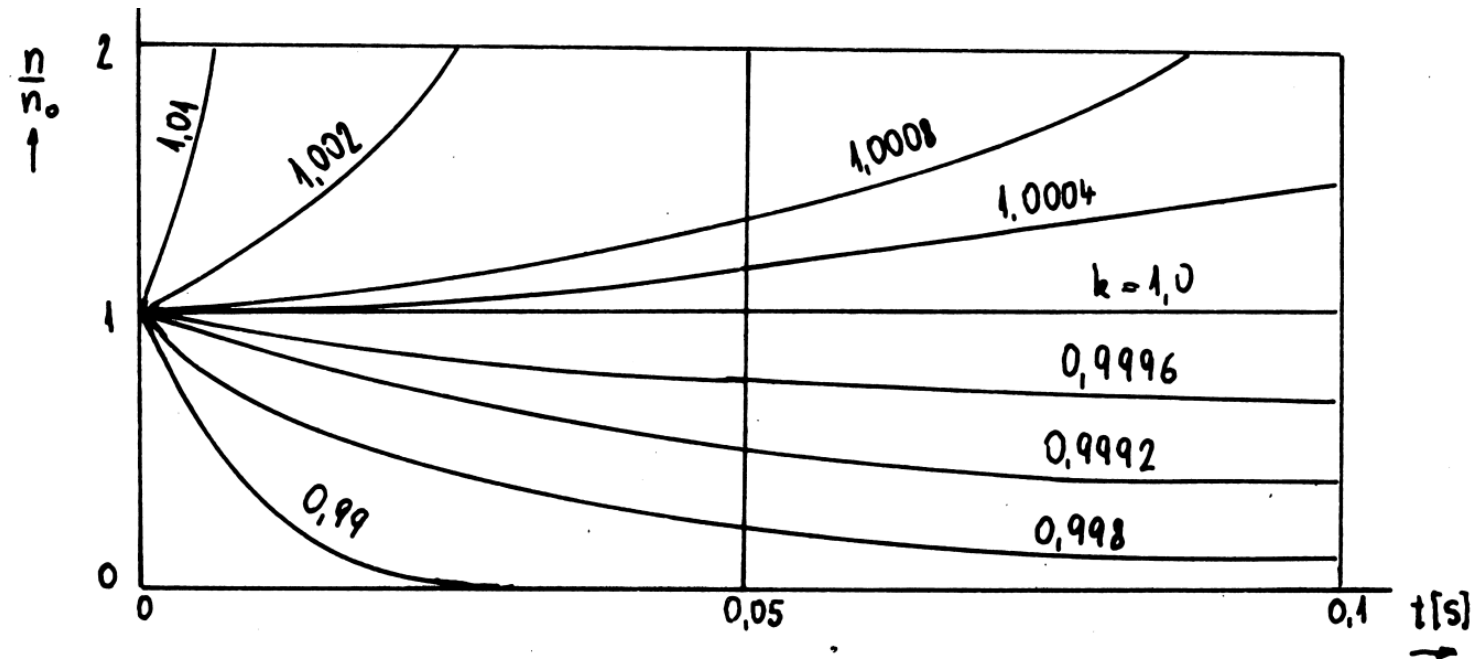
Jaderné reaktory a elektrárny

Mgr. Ondřej Jašek, Ph.D., 15.10.2015

Řetězová reakce a její využití

- Stabilního stavu lze dosáhnout rovnováhou mezi počtem neutronů v současné a budoucí generaci , k
- V reálném systému konečných rozměrů dochází k uniku neutronů a jejich úbytku v reakcích bez štěpení $k=k_0\omega=1$
- Pro $k=1$ definujeme kritické rozměry aktivní zóny, kritické množství izotopu pro štěpení
- Pro jaderný reaktor s dobou neutronového cyklu $\tau 10^{-3}$ s a pro $k=1,01$ vzroste počet neutronů za 1s 20 000 x
- Při těchto hodnotách nelze řetězovou reakci stabilně řídit

Časové změny v tepelném reaktoru



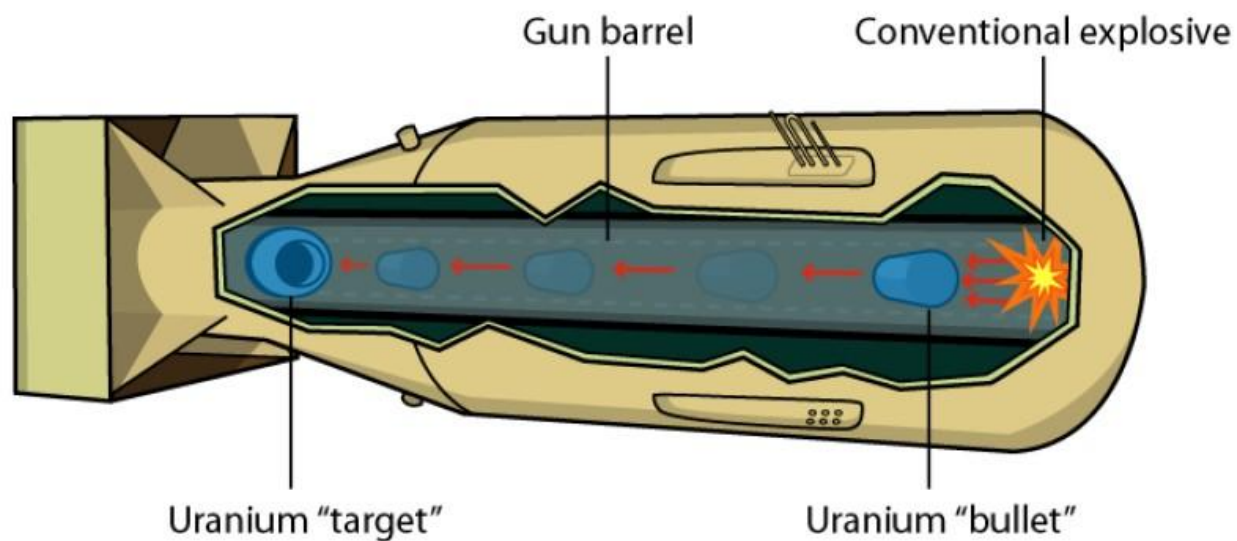
Řetězová reakce a její využití

- Nestabilní systém s velmi rychlým časovým vývojem se však využívá v jaderných zbraních
- Pro čisté štěpné materiálu ^{235}U , ^{239}Pu bez absorpce neutronů jinými izotopy je τ 10^{-8} s
- 1 kg U^{235} v systému s $k=1,1$ uvolní energii 20 kT TNT
- 1 tuna TNT 4,184 GJ
- Účinnost systému může být zlepšena umístěním reflektoru kolem kritického množství, tím lze snížit množství potřebného materiálu 2-3x
- Materiály vhodné jako reflektor jsou grafit, Be, lehká a těžká voda

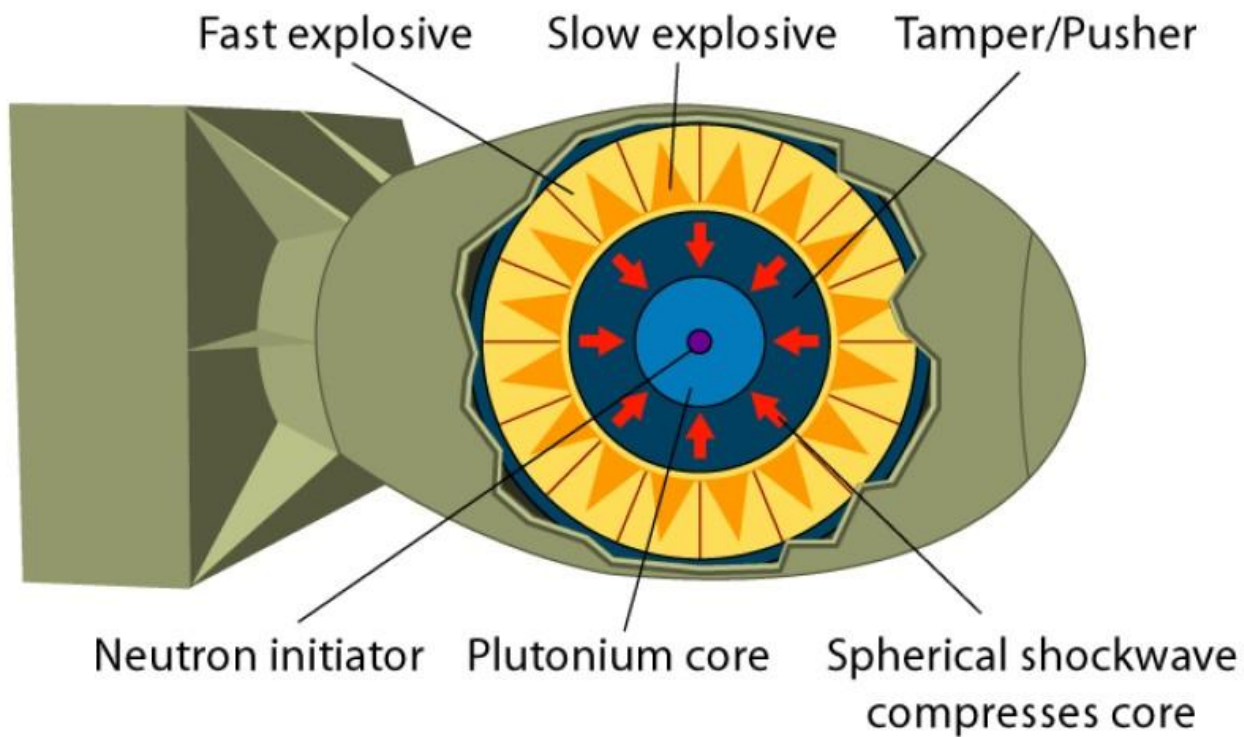
Řetězová reakce a její využití

- Materiály a jejich kritická množství (poloměry koulí tohoto množství):
 - ^{233}U 16 kg 6 cm
 - ^{235}U 48 kg 8,5 cm
 - ^{239}Pu 17 kg 6 cm
- Přírodní složení uranu: ^{238}U 99,28 %, ^{235}U 0,741 %, ^{234}U 0,006 %
- Obohacování – energetický do 5 %, několik desítek procent – vojenský
- Centrifugování, difúze, laserová excitace s elektrostatickým oddělením

Atomová bomba vystřelovacího typu



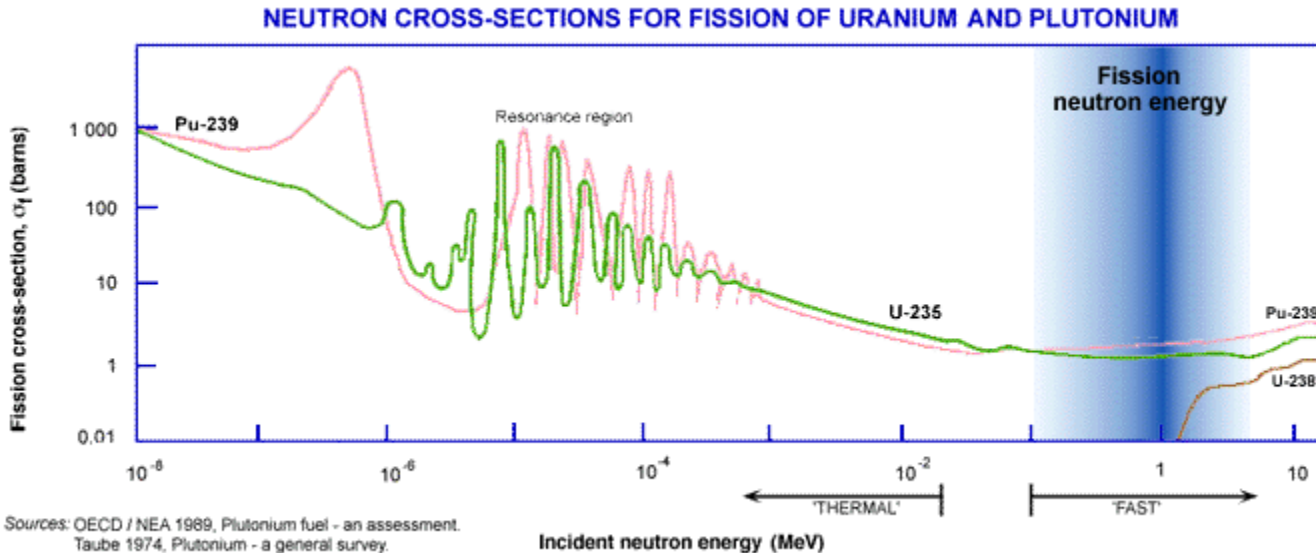
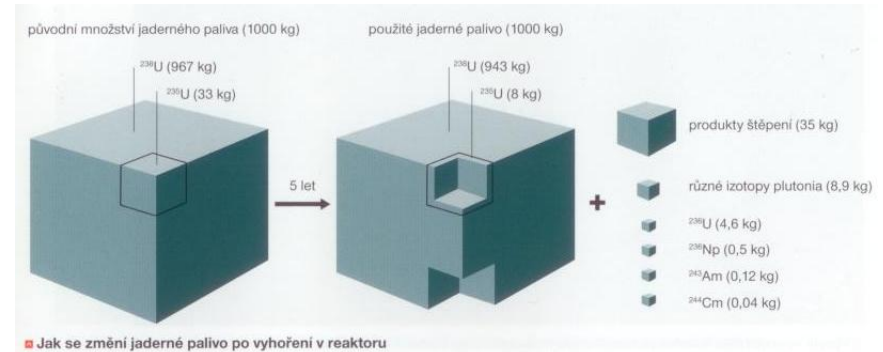
Atomová bomba implosivního typu



Účinný průřez pro různé energie neutronů

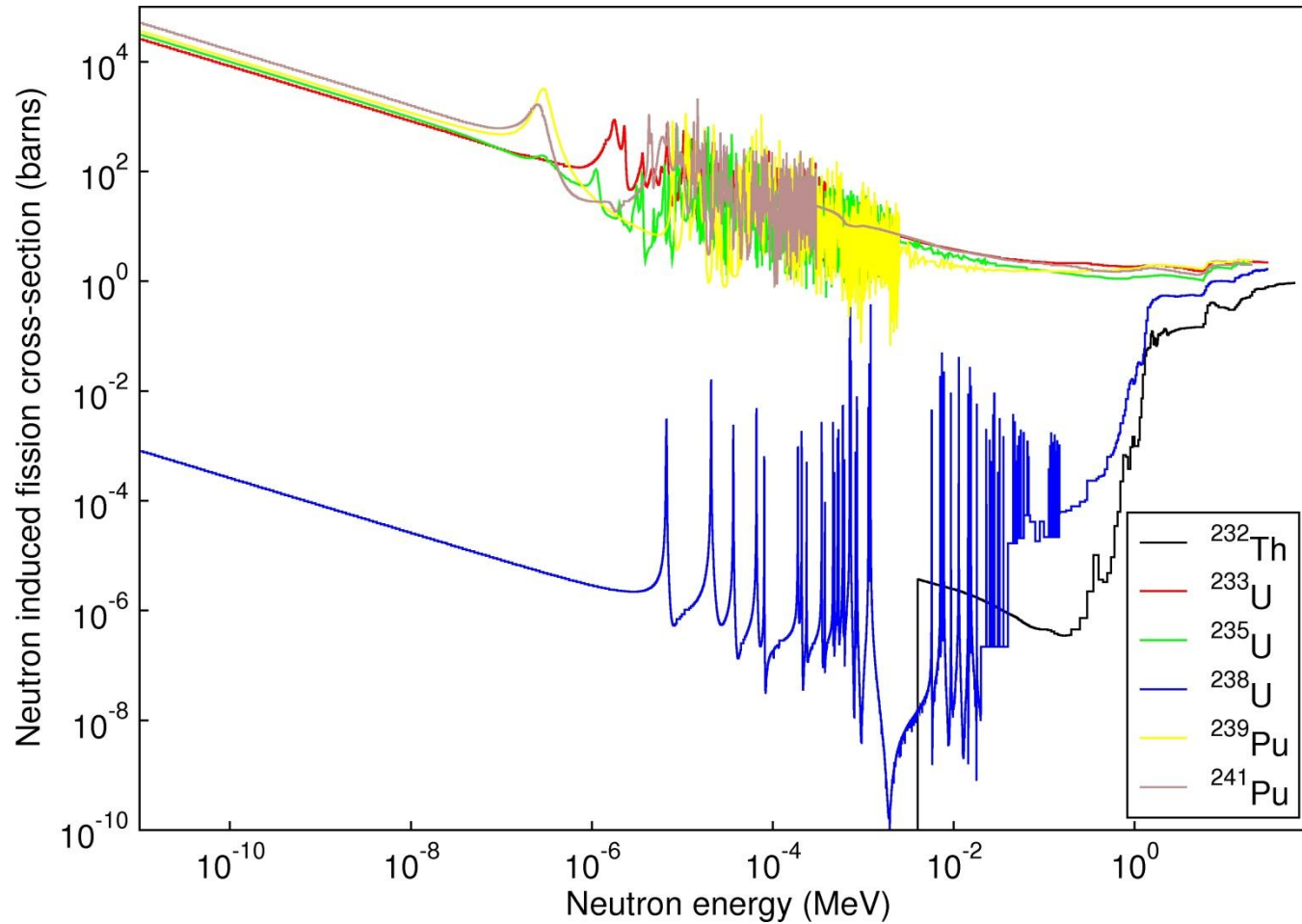
E=2 MeV

parciální účinný průřez [b]	^{238}U	^{235}U
σ_f štěpení	0,57	1,32
σ_γ radiační záchyt	0,03	0,05
$\sigma_{n'}$ nepružné srážky	2,3	1,8
σ_n pružné srážky	4,3	4,2
σ_t celkový	7,2	7,37



Sources: OECD / NEA 1989, Plutonium fuel - an assessment.
 Taube 1974, Plutonium - a general survey.
 1 barn = 10^{-28}m^2 , 1 MeV = $1.6 \times 10^{-13}\text{J}$

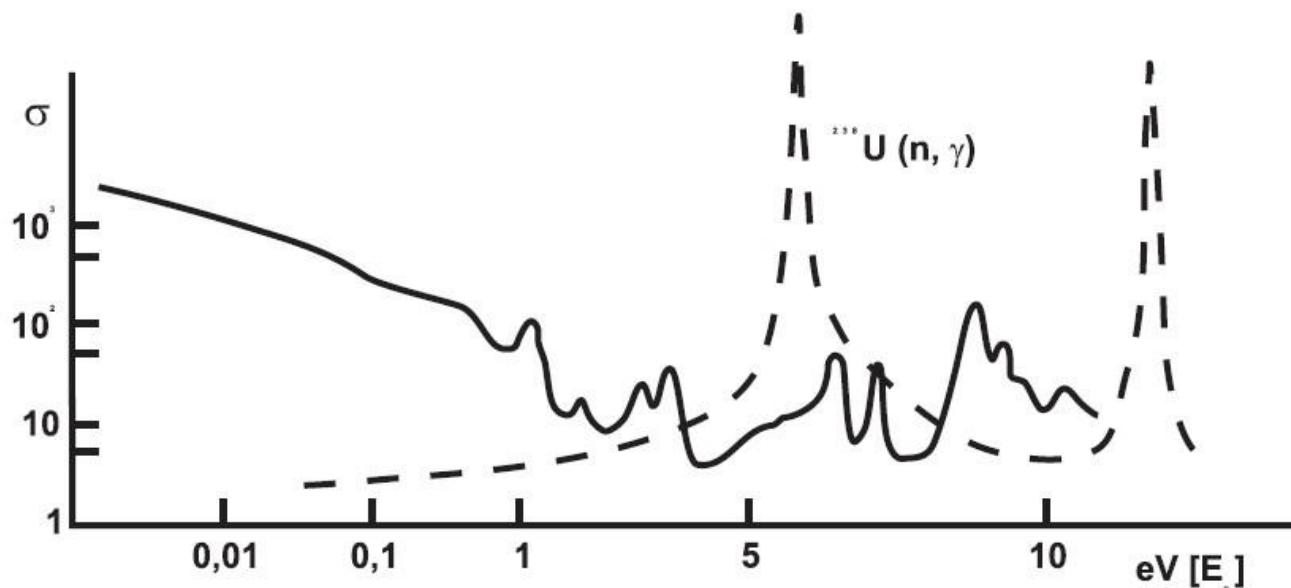
Účinný průřez pro štěpení jader neutrony



http://thorea.wikia.com/wiki/Thermal,_Epithermal_and_Fast_Neutron_Spectra

Účinný průřez

účinný průřez σ [m²] 1 barn = 10⁻²⁸ m²



— účinný průřez pro štěpení ²³⁵U neutronem

- - účinný průřez pro radiační záchyt neutronu jádrem ²³⁸U

Řetězová reakce v jaderném reaktoru

pro klesající energii neutronů:

- pro ^{238}U klesá účinný průřez pro štěpení
- pro ^{235}U stoupá účinný průřez pro štěpení

při malé koncentraci ^{235}U dochází hlavně k radiačnímu záchytu v ^{238}U

$k_0 > 1$ pro $^{235}\text{U} > 5\%$

nebo se použijí moderátory, neutrony se zpomalí dříve než nastane radiační záchyt na ^{238}U

moderátor: např. těžká voda (D_2O , lze dosáhnout $k > 1$ i pro neobohacený uran), Be, grafit, lehká voda
stejně látky jsou dobrými reflektory