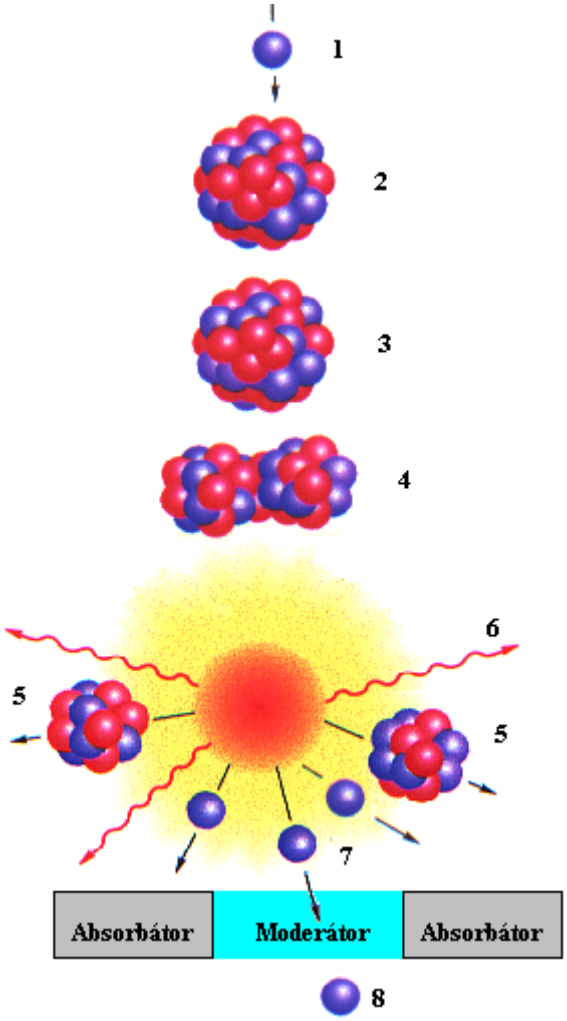
## Jaderné štěpení

Pokusy, které prováděl italský fyzik Enrico Fermi (1901 - 1954, 1938 Nobelova cena) v roce 1934, němečtí radiochemikové Otto Hahn (1879 - 1968, Nobelova cena za chemii v roce 1944) a Fritz Strassmann (1902 - 1980) v roce 1938 a které objasnili rakouští fyzikové Lise Meitnerová (1878 - 1968) a Otto Robert Frisch (1904 - 1979), prokázaly, že neutron zpomalený průchodem vrstvou vody nebo parafinu může rozštěpit těžké jádro uranu $^{235}_{92}U$ na dvě přibližně stejně těžká jádra (**štěpné trosky**) např. podle reakce: $^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{144}_{56}Ba^{*} + ^{89}_{36}Kr^{*} + 3^{1}_{0}n$.

Hvězdička u symbolu prvku zde značí jádro v excitovaném stavu.




Obr. 121

Průběh reakce je možné sledovat na obr. 121. Pomalý neutron (*1*) reaguje s jádrem uranu $^{235}_{92}U$ (*2*), které neutron přijme a vznikne nestabilní nuklid $^{236}_{92}U$ (*3*). Ten se při štěpné reakci (*4*) rozpadá na dva dceřinné produkty (štěpné trosky) (*5*), přičemž se uvolňuje elektromagnetické záření (*6*) a 2 až 3 rychlé neutrony (*7*).

Fakt, že se uvolní 2 až 3 neutrony je dán pravděpodobnostním charakterem průběhu jaderné reakce.

Pokud se podaří neutrony **moderátorem** zpomalit, mohou vyvolat další reakci s podobným průběhem. Na obr. 121 je znázorněn po zpomalení moderátorem i tento pomalý neutron (*8*).

Vzniklá jádra jsou v excitovaném stavu a při reakci se uvolňuje energie přibližně 200 MeV, která

je rozdělena takto:

1. 11 MeV si odnáší neutrino, které reaguje na velkých vzdálenostech v kosmu. Tuto energii tudíž není možné využít.

Reakce neutrina ve velkých vzdálenostech od Země je dána jeho malým účinným průřezem a tedy „neschopností“ trefit jiné částice resp. jádra.

2. 164 MeV (tj. přibližně 80%) je kinetická energie štěpných trosek, tj. těžkých nabitých jader. Tuto energii ztrácejí štěpné trosky na malé vzdálenosti, což se projeví ohřevem materiálu (např. vody), v němž reakce probíhá.
3. 6 MeV připadá na okamžité záření γ.
4. 6 MeV připadá na zpožděné záření γ. Oba druhy tohoto záření ztrácejí energii na velkých vzdálenostech, takže ani tuto energii není možné využít.
5. 6 MeV připadá na zpožděné záření β, což je svazek elektronů.
6. 6 MeV si odnášejí neutrony vzniklé při reakci. Při jednom štěpení vzniká průměrně 2,5 neutronu.

Necelé číslo udávající průměrný počet neutronů vznikajících při dané reakci vyplývá ze statistických výpočtů, tedy ze zpracování velkého počtu případů.

Při štěpení jader uranu $^{235}_{92}\mathrm{U}$ vzniká zároveň i mnoho jiných dvojic přibližně stejně těžkých jader a na každé štěpení se uvolňují v průměru 2 - 3 neutrony. Průběh tohoto typu reakce se podařilo vysvětlit na základě kapkového modelu.

Analogie s kapkou je taková, že reakce probíhá jako postupné protažení, zaškrcení a rozdělení kapky.

Důležité je, že neutrony uvolněné z reakce mohou po zpomalení štěpit další jádra, a tak může nastat **řetězová jaderná reakce**. Protože část neutronů se pohltí bez způsobení dalšího štěpení nebo prostě vyletí z materiálu ven, je třeba k uskutečnění řetězové reakce mít k dispozici určité množství štěpného materiálu nazývané **kritické množství**.

**KRITICKÉ MNOŽSTVÍ MATERIÁLU JE TAKOVÉ MNOŽSTVÍ MATERIÁLU, V NĚMŽ JE POČET NEUTRONŮ VZNIKLÝCH VE DVOU PO SOBĚ JDOUCÍCH REAKCÍCH STEJNÝ.**

Pokud tato podmínka není splněna hovoří se o **nadkritickém množství** resp. **podkritickém množství**.

Kritické množství daného materiálu ale závisí i na tvaru tělesa a okolních podmínkách. Únik neutronů z materiálu je úměrný povrchu tělesa, v němž je materiál soustředěn, zatímco produkce neutronů je dána objemem tělesa. Je tedy třeba najít vhodné množství materiálu a soustředit ho do vhodného tvaru. Ideálním útvarem je koule (např. pro čistý uran $^{235}_{92}\mathrm{U}$ představuje kritické množství asi 44,5 kg ve tvaru koule o průměru 16,8 cm). V kritickém množství materiálu proběhne za jednu sekundu řádově $10^9$ reakcí.

Při dostatečné koncentraci štěpného materiálu a dosažení kritického množství může řetězová reakce probíhat i bez zpomalování neutronů.

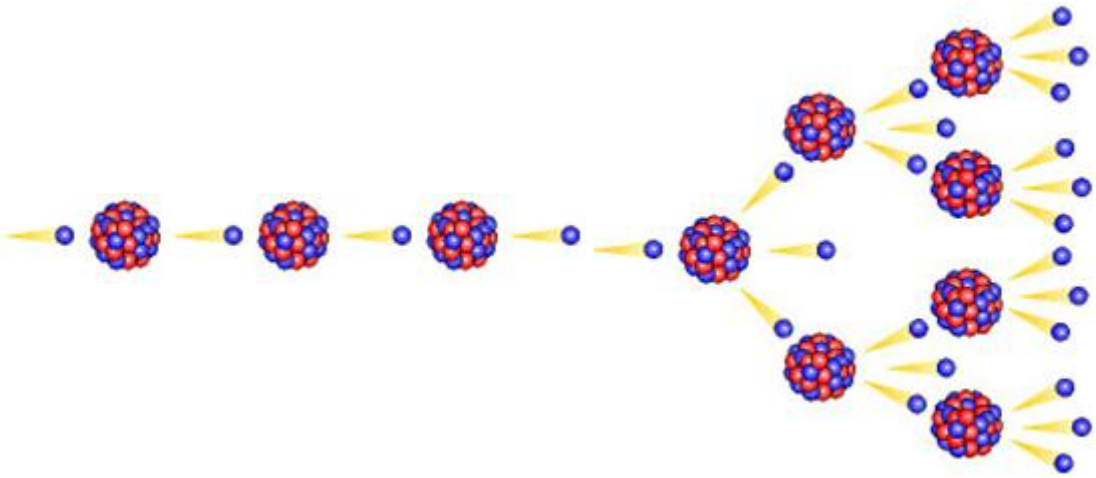
Zjistilo se, že existují pouze čtyři nuklidy, s nimiž je možné uskutečnit řetězovou jadernou reakci a které proto mohou sloužit jako **štěpné materiály** k získávání jaderné energie. Jsou to:

1. uran $^{235}_{92}\mathrm{U}$;
2. plutonium $^{239}_{94}\mathrm{Pu}$;
3. uran $^{233}_{92}\mathrm{U}$;
4. plutonium $^{241}_{94}\mathrm{Pu}$.

Podivnou shodnou okolností se právě jeden z nich vyskytuje v přírodě a lze ho těžit. Je to uran $^{235}_{92}\mathrm{U}$,

který je obsažen v přírodním uranu ve směsi s uranem $^{238}_{92}U$ v množství 0,72 %. Tato netušená náhoda umožnila využití jaderné energie. Kdyby byl poločas přeměny uranu $^{235}_{92}U$ o něco kratší, v přírodě by vymizel a využití jaderné energetiky tak, jak se využívá v současné době, by nebylo možné. Další štěpné materiály je třeba vyrábět v jaderných reaktorech - plutonium ozařováním uranu $^{238}_{92}U$ a uran $^{233}_{92}U$ ozařováním thoria $^{232}_{90}Th$ neutrony.

Význam řetězové reakce, která umožňuje sestrojení ničivé jaderné bomby, si fyzikové uvědomili na prahu 2. světové války. Z obavy, aby fašistické Německo tuto zbraň nevyrobilo, obrátil se tehdy A. Einstein na presidenta Roosvelta s varovným dopisem. Byl spuštěn americký projekt *Manhattan* pod vedením Julia Roberta Oppenheimera (1904 - 1967), který vedl k vytvoření americké jaderné bomby. Její první zkouška se uskutečnila v červenci 1945 v Alamogordo v Novém Mexiku a 6. a 9. srpna téhož roku dopadly tyto bomby na japonská města Hirošima a Nagasaki. První sovětská jaderná bomba vybuchla v září 1949. Štěpná jaderná bomba může vytvořit potřebnou termojadernou teplotu a posloužit jako rozbuška k termojaderné reakci v daleko ničivější vodíkové bombě. Americká termojaderná zbraň byla poprvé vyzkoušena v roce 1952 (autor E. Teller), sovětská o rok později (pod vedením I. V. Kurčatova). Lidstvo vstoupilo do éry jaderných zbraní a jaderné energie a začalo brát jadernou fyziku vážně.



Obr. 122



Obr. 123

Jaderné reakce probíhající v jaderném reaktoru i v jaderné bombě jsou principiálně stejné. Liší se pouze svým průběhem. V jaderném reaktoru jsou přebytečné neutrony pohlcovány tak, že reakce probíhá stále se stejnou intenzitou (je udržováno kritické množství paliva - viz obr. 122). V jaderné bombě intenzita reakce roste - reakce probíhá v nadkritickém množství materiálu (viz obr. 123).

---

**© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička**
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.