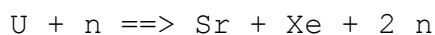


## JADERNÁ REAKCE

Při **jaderných reakcích** se uvolňuje obrovské množství energie. Energeticky významné jsou štěpné jaderné reakce, při nichž se nuklid štěpí účinkem neutronů tak, že se uvolní větší počet neutronů, než kolik se na štěpení spotřebovalo. Tuto vlastnost mají nuklidy  $^{235}\text{U}$  a  $^{239}\text{Pu}$ , používané jako jaderné palivo. V jaderném reaktoru probíhají např. reakce:



Jaderná reakce štěpení uranu je **řetězová**. Každý uvolněný neutron může štěpit další atom uranu nebo plutonia a uvolní se při tom další neutrony. Štěpením  $^{235}\text{U}$  o hmotnosti 1 kg se uvolní energie přibližně  $8 \cdot 10^{13}$  J, což odpovídá energii uvolněné hořením uhelného paliva a hmotnosti 3000 tun.

Více než 99% přírodního uranu tvoří izotopy  $^{238}\text{U}$  a méně než 1% izotop  $^{235}\text{U}$ . Pravděpodobnost, že jakýkoliv neutron (rychlý nebo pomalý) způsobí štěpnou reakci, je mnohem větší pro  $^{235}\text{U}$ . Aby řetězová reakce mohla pokračovat, musí být rychlé neutrony zpomaleny. Při řízené reakci v jaderném reaktoru se zpomalení dosáhne pomocí moderátorů. Moderátor je látka, která rychlé neutrony v pružných srážkách zbrzdí a zmenší jejich energii, aniž by je pohltila. Tuto schopnost mají jádra prvků malých hmotností, např.  $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$  (D) a  $^{12}\text{C}$ . Proto se jako moderátor používá zejména lehká voda  $\text{H}_2\text{O}$ , těžká voda  $\text{D}_2\text{O}$  a grafit.

Jako jaderné palivo se nejčastěji používá **obohacený uran** (obsahuje 3 - 4% izotopu  $^{235}\text{U}$ ). Obohacení se provádí složitou technologií, např. dělením plynného  $^{238}\text{UF}_6$  od  $^{235}\text{UF}_6$  difuzí. Nuklidy  $^{233}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  se připravují v jaderných reaktorech.

**Průběh štěpné reakce** a kontrola optimálního počtu neutronů se řídí kontrolními tyčemi z materiálů silně pohlcujících neutrony (B, Cd), které se zasazují mezi palivové články do štěpné aktivní zóny reaktoru. Jaderným palivem (válečky  $\text{UO}_2$ , směsného oxidu  $\text{UO}_2/\text{PuO}_2$  nebo kovového uranu) jsou palivové pruty, vkládané ve svazcích do palivových článků. Jejich soubor, tzv. aktivní zóna, je umístěn v tlakové nádobě a je omýván chladivem, které může být zároveň i moderátorem. Chladivo (např.  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{D}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ , kapalný Na) předává teplo získané z jaderné reakce ve výměníku a vrací se zpět.

**Jaderné reaktory** se podle energie (rychlosti) neutronů vyvolávajících štěpení dělí na reaktory tepelné (moderátor), reaktory rychlé či množivé (bez moderátoru), v nichž štěpením vznikají nové štěpné materiály ( $^{233}\text{U}$ ). Podle účelu se rozlišují reaktory výzkumné (k výrobě umělých radionuklidů -  $^{60}\text{Co}$ ) a reaktory energetické, v nichž se teplo uvolněné z jaderné reakce v jednom nebo dvou okruzích zpravidla pomocí vodní páry přeměňuje v turbogenerátoru na elektrickou energii. Teplota vody na výstupu z reaktoru dosahuje přibližně  $320^\circ\text{C}$ .

Závažným problémem je **zpracování a uložení vyhořelého paliva** (jaderného odpadu), které je vysoce radioaktivní a také jedovaté. Proto se uzavírá v pevném stavu do betonových, skleněných nebo bitumenových bloků, které se zpravidla shromažďují v meziskladu a pak se ukládají v geologicky vhodném prostředí, které má zajistit, aby jaderný odpad neohrožoval okolí.

**Baterie radionuklidů** se používají jako zdroje energie v kosmických sondách a družicích. Oxid plutoničitý  $^{238}\text{PuO}_2$ , slisovaný do tablet, se zahřívá vlastní absorpcí záření na teplotu více než  $1000^\circ\text{C}$ . Teplota rozžhavených tablet lze přeměnit na elektrickou energii.

Neřízená řetězová reakce s lavinovitým štěpením probíhá při výbuchu **jaderné pumy**. Používají se při ní stejné nuklidy jako v jaderných reaktorech. Jako štěpná látka slouží čistý  $^{235}\text{U}$  nebo  $^{239}\text{Pu}$ . Po překročení tzv. kritické hmotnosti (u kovového U 50 kg, u Pu 15 kg) dochází k samovolné řetězové reakci. Jaderná puma s náloží 1 kg  $^{238}\text{U}$  odpovídá náloži 20000 tun TNT. Teplota při výbuchu dosahuje řádově  $10^7^\circ\text{C}$  a výbuch je doprovázen nejrůznějšími druhy záření velké intenzity. Principem jaderné pumy je náhlé uvolnění velkého množství energie ve formě elektromagnetického záření pestré palety vlnových délek a kinetické energie vzniklých částic. Výbuch sám (tvar hříbu) je docela efektní. V nepatrném okamžiku se uvolní ohromné množství energie, které zbytek nálože odpaří a promění v plazma o teplotě několika milionů kelvinů. Navenek se to projevuje jako jasná a rozpínající se koule ohně, šířící kolem sebe tlakovou vlnu ničící vše živé i neživé a zametající zemský povrch. Tlakové vlně předchází vlna světelná a tepelná, které trvají několik sekund a způsobují oslepnutí a až smrtelné popálení nechráněných osob. Jsou to neutrony. Radiový a magnetický impuls (provázeny radiovým zářením), působí poškození elektroniky, radiační vlna působí silně ionizačně. Ionizační záření vyvolává fragmentaci molekul, denaturaci bílkovin, štěpení aminokyselin a vznik amoniaku a sulfanu, vznik vodíku a kyslíku z vody, inaktivaci enzymů atd. Sekundárním důsledkem jaderného výbuchu je radioaktivní zamoření rozsáhlého prostoru. Bezesporu je jaderná puma velmi strategickou zbraní, která může znamenat hrozbu pro celé lidstvo.