

# Jaderné reakce

Jaderná reakce je jaderná přeměna vyvolaná vzájemnou srážkou s jinými jádry nebo částicemi. Každá jaderná reakce splňuje určité podmínky, a to zákony zachování energie, hybnosti a hmotnosti, zákon zachování náboje, zákon zachování počtu nukleonů a další zákony.

Jaderné reakce se zapisují stejně jako chemické, je však důležité kromě značek prvků psát i počty protonů a nukleonů.

Z energetického hlediska rozlišujeme dva typy jaderných reakcí: endoenergetické a exoenergetické. U endoenergetických reakcí je nutné energii dodávat, aby reakce proběhla. U exoenergetických reakcí se energie v průběhu reakce uvolňuje. Není divu, že z hlediska praktického využití je zájem především o reakce exoenergetické. Jedná se především o jaderné štěpení, při němž dochází k rozkladu těžkých jader na jádra lehčí, nebo jadernou fúzi, při které naopak dochází k syntéze lehčích jader na jádra těžší. To, zda se bude daný prvek štěpit či spojovat, záleží na jeho separační energii.

V praxi se povětšinou setkáváme s využíváním jaderného štěpení v jaderných elektrárnách.

Při jaderné reakci se uvolňuje energie jednak formou kinetické energie rozlétávajících se částic, ale také může být unášena částicemi s nulovou klidovou hmotností pohybujícími se rychlostí světla (fotony). Rozdílem energie do reakce dodané a energie z reakce vycházející můžeme dostat energetickou bilanci, tedy kolik energie získáme.

Vhodnými jadernými reakcemi v jaderných reaktorech se vyrábějí umělé radionuklidy pro použití v medicíně.

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Radionuklidy v nukleární medicíně.*

## Separační energie

Separační energii značíme řeckým písmenem  $\epsilon_j$ . Je to vazebná energie připadající na jeden nukleon.

Vypočítáme ji pomocí vztahu  $\epsilon = \frac{E}{A}$ . Tuto veličinu zavádíme pro jednodušší srovnávání jednotlivých vazebných energií jader prvků.

Vazebná energie je energie (práce), kterou musíme vykonat k rozložení jádra na jednotlivé nukleony. Její velikost je tedy závislá na nukleonovém čísle A. Dále závisí na hmotnostním úbytku. Vazebnou energii můžeme spočítat ze vztahu  $E_j = (Zm_p + Nm_n - m_j)c^2$ , pro který platí, že  $m_p$  je klidová hmotnost protonu,  $m_n$  je klidová hmotnost neutronu,  $m_j$  je klidová hmotnost atomu a  $c$  je rychlost světla ve vakuu.

Zjednodušeně tedy jadernou syntézou (fúzí) lze ze dvou jader lehčích než je jádro  $^{56}\text{Fe}$  vytvořit jádro těžší a stabilnější. Nelze však vyrobit jádro těžší než je  $^{56}\text{Fe}$ .

Štěpením jádra těžšího je možné vyrobit dvě jádra lehčí a stabilnější. Stabilní však vždy být nemusí. K určení, zda jádro bude stabilní či nebude, nám pomáhá tzv. řeka stability. Většina z produktů jaderného štěpení však stabilní není a po kratší či delší době samovolně přechází do podob jiných jader. V tomto případě hovoříme o radioaktivitě.

## Jaderné štěpení

Jaderné štěpení je jaderná reakce, při níž dochází k rozbití jádra těžkého prvku na dvě lehčí, přibližně stejně těžká jádra pomocí cizí částice (nejčastěji neutronu) za uvolnění energie. Dvěma vzniklým jádřům říkáme štěpné trosky. Při rozštěpení těžkého jádra (např. uranu) zpravidla vznikají také dva až tři vysokoenergetické neutrony. Aby proběhla štěpná jaderná reakce, je třeba, aby bylo splněno několik podmínek. Zúčastněný nuklid musí být štěpitelný. To znamená, že při zachytu neutronu podléhá štěpné jaderné reakci (některé nuklidy neutron zachytí bez štěpení). Dále musí být neutron zpomalený (zpravidla vodou nebo parafinem, obecně moderátorem). Takový neutron téměř nevniká do jádra jinou než svoji klidovou energii. Štěpení vysokoenergetickým neutronem je nepravděpodobné, poněvadž v takovém případě může dojít k pružnému či nepružnému rozptylu neutronu na jádře. Zpomalíme-li neutrony vzniklé při štěpné jaderné reakci, mohou dále vyvolat štěpení dalších jader, a tak může nastat řetězová jaderná reakce. Ta nastává ve chvíli, kdy je k dispozici kritické množství štěpného materiálu (to je takové množství, při kterém počet neutronů vzniklých ve dvou po sobě jdoucích reakcích je stejný). Je-li k dispozici více štěpného materiálu, hovoříme o nadkritickém množství. V takovém případě reakce probíhá nekontrolovaně (dochází k výbuchu). Je-li k dispozici méně materiálu, než je kritické množství, hovoříme o podkritickém množství. Experimenty se zjistilo, že existují pouze čtyři nuklidy, u nichž může probíhat řetězová jaderná reakce a které tedy mohou sloužit jako palivo pro jadernou energetiku. Jsou to uran  $^{235}_{92}\text{U}$ , uran  $^{233}_{92}\text{U}$ , plutonium  $^{239}_{94}\text{Pu}$  a plutonium  $^{241}_{94}\text{Pu}$ .

## Jaderná fúze

Jaderná fúze je děj, při němž se slučují jádra dvou lehčích prvků a vzniká jádro těžší; zároveň se uvolňuje energie. Jedná se o děj, který probíhá ve vesmíru běžně v jádrech hvězd a kterým vznikly veškeré prvky těžší než helium. Nejjednodušším příkladem jaderné fúze je slučování dvou jader vodíku na jádro deuteria. Tato reakce probíhá na slunci a je součástí reakčního cyklu, při němž vzniká helium a sluneční záření.

O jaderné fúzi se mluví jako o možném zdroji energie budoucnosti. Aby však tato reakce proběhla, je třeba překonat elektrostatickou odpudivou sílu jader, tzv. potenciálovou bariéru (kladně nabitá jádra k sobě přiblížit natolik, že převládne přitažlivá jaderná síla a jádra se sloučí v jedno). Toho lze docílit několika způsoby, pro energetické využití se však jeví jako nejvýhodnější použití vysoké teploty a tlaku (překonání potenciálové bariéry zajišťuje tepelný pohyb částic). V takovém případě mluvíme o termonukleární fúzi.

Pro energetické využití na Zemi je nejzajímavější reakce deuteria a tritia, která probíhá nejsnadněji a zároveň se uvolní velké množství energie. Problém je však v získávání tritia, kterého je ve volné přírodě velmi málo, je radioaktivní (s poločasem rozpadu 12 let) a toxické. Jednou z možností zisku tritia je ozařování lithia neutrony. Další poměrně výhodnou reakcí je syntéza dvou jader deuteria, které nalezneme v mořské vodě v podobě D<sub>2</sub>O, těžké vody.

## TOKAMAK

TOKAMAK neboli „toroidální kamera s magnetními katuškami“ je ruský vynález, který umožňuje udržovat velmi horké plazma pomocí silného magnetického pole. Ve své podstatě to je velký transformátor obsahující sekundární cívku s jedním závitem ve tvaru toroidní trubice. Uvnitř této toroidní trubice se nachází plazma vzniklé z jader deuteria a tritia.

Díky indukovanému elektromotorickému napětí vznikne v plynu uvnitř toroidní trubice výboj. Pomocí tohoto výboje se plyn ionizuje. Indukovaný proud o velikosti 10<sup>3</sup>-10<sup>6</sup>A zahřívá ionizovaný plyn s hustotou částic 10<sup>18</sup>-10<sup>21</sup>m<sup>-3</sup> na vysokou teplotu řádově okolo 11,6×10<sup>6</sup> K. Nadále dochází k doplňkovému ohřevu.

Takto vysoké teploty by při kontaktu se stěnami nevydržel žádný materiál a docházelo by k závažným problémům, a proto je plazma udržováno silným magnetickým polem v ose toroidní trubice. Nedochází tak ke kontaktu plazmatu s okolními stěnami reaktoru a tepelné zatížení stěn se sníží na technologicky únosnou mez. Stěny se pak ještě dále chladí na teploty v rozmezí 1000-1300 °C. Po zahřátí na potřebnou teplotu dochází k termojaderné fúzi, při které se uvolňuje energie, kterou odnáší neutrony. Ty pak ohřívají vodu v primárním okruhu. Ta pak putuje do výměníku tepla, kde dochází k ohřevu vody v sekundárním okruhu. Z vody v sekundárním okruhu vzniká pára, která pohání parní turbínu. Obecné schéma je totožné se schématem jaderné elektrárny využívající štěpných reakcí. Veškeré vznikající produkty se přečisťují v kryodestilační aparatuře a zpět do toroidní trubice se vrací tritium a je doplňováno deuterium. Helium je odváděno pryč.

## Odkazy

### Literatura

- GOSMAN, Alexandr a Čestmír JECH. *Jaderné metody v chemickém výzkumu*. 1. vyd. Praha: Academia, 1989, 618 p. ISBN 80-200-0106-9.
- USAČEV, Sergej, Martin CHUDÝ, Ján VANOVIČ a Jan CHRAPAN. *Experimentální jadrová fyzika*. Bratislava: Alfa, 1982. ISBN 63-559-82.
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006-2014 [cit. 2014-02-28]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/>
- Jaderná energetika (miniencyklopedie)* [online]. 2004 [cit. 2015-11-24]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k31.htm>
- Štěpná jaderná reakce. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 2015-5-17 [cit. 2015-11-24]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0t%C4%9Bpn%C3%A1\\_jadern%C3%A1\\_reakce](https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0t%C4%9Bpn%C3%A1_jadern%C3%A1_reakce)

### Související články

- Radioaktivita
- Ochrana před škodlivými účinky radioaktivního záření
- Využití radioaktivity
- Historie objevů v oblasti radioaktivity
- Radioterapie