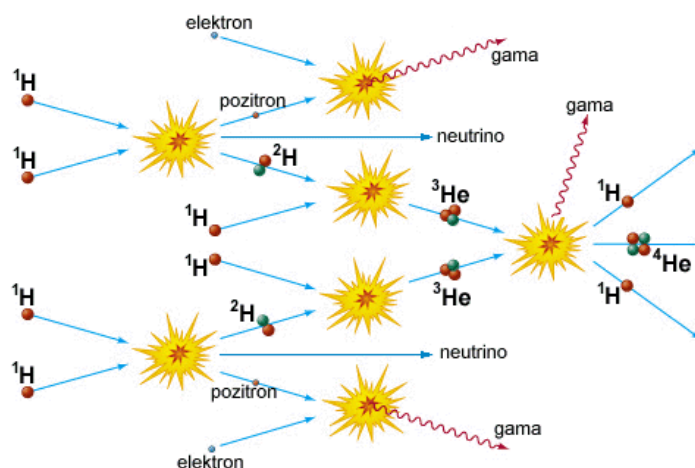


## Termojaderná fúze

Termonukleární reakce či termojaderná fúze je proces, při kterém dochází ke sloučení atomových jader (jaderné fúzi) za pomoci vysoké teploty či tlaku.

Během termojaderné reakce se uvolňuje velké množství energie, která je ekvivalentem hmotnostního úbytku. Proti slučování jader působí odpuzivá coulombova interakce<sup>1</sup>, která například při pokojové teplotě zabraňuje dvěma jádřům s kladnými náboji přiblížit se natolik, aby se uplatnila krátkodosahová jaderná síla. Výška Coulombovy potenciálové bariéry například pro dva protony je asi 400 keV. Možnost jejího překonání roste s energií tepelného pohybu.



### Termojaderná fúze v jádru Slunce

Slunce vyzařuje konstantním výkonem  $3,9 \times 10^{26}$  Wattů (po několik miliard let). Téměř všechna energie Slunce je vyzařována ve formě elektromagnetického záření, které je nezbytným předpokladem pro všechny formy života na Zemi. Vzniká jako výsledek termonukleární reakce, kdy dochází k přeměně vodíku na hélium za současného uvolňování energie. Předpokládá se, že každou sekundu Slunce spotřebuje a přemění 700 milionů tun vodíku na 695 milionů tun hélia. Zbytek v podobě 5 milionů tun je přeměněn na energii v poměru 96 % elektromagnetického záření a 4 % elektronová neutrina. Všechno elektromagnetické záření včetně viditelného záření pochází z fotosféry. **Každou sekundu vyzaří Slunce do okolí tolik energie, že by to stačilo pokrýt potřeby celého světa na více než 1000 let.** Od svého vzniku už Slunce spotřebovalo polovinu svých zásob vodíku. Dalších přibližně 5 až 7 miliard let bude ještě ve Slunci probíhat termonukleární reakce, během které se přemění většina vodíku na helium. Až dojde vodík v jádře, naruší se na krátký čas hydrostatická rovnováha<sup>2</sup>, což povede k tomu, že se stane červeným obrem<sup>3</sup>. Zvětšováním průměru Slunce dojde k tomu, že nejbližší planety budou pohlceny rozšiřujícím se Sluncem. Předpokládá se, že bude pohlcena i Země.

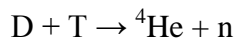
<sup>1</sup> Z hlediska kvantové teorie pole není Coulombova interakce nic jiného, než výměna kvanta elektromagnetického pole, fotonu, mezi dvěma elektrony.

<sup>2</sup> Hydrostatická rovnováha nastává, když je tíhová síla rovna velikosti vztlakové síly, působící v opačném směru. Tento fyzikální pojem se vztahuje na všechna tělesa v gravitačním poli.

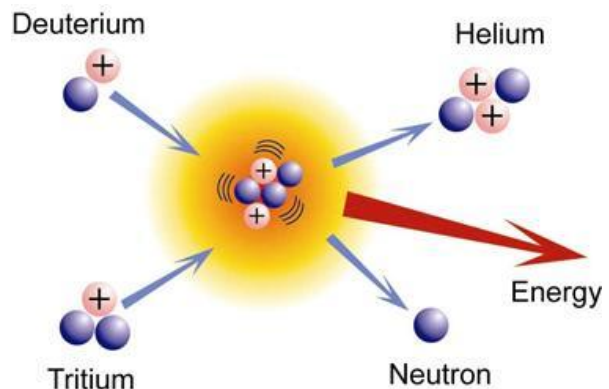
<sup>3</sup> Červení obři jsou svými rozměry velmi velké hvězdy (v řádu deseti- až stonásobků poloměru Slunce), neboť došlo k nafouknutí jejich vnějších vrstev po vyčerpání jaderného paliva v jejich nitru.

## Palivový cyklus deuteria a tritia

Nejjednodušší a nejslibnější reakce použitelná pro jadernou fúzi je tato:



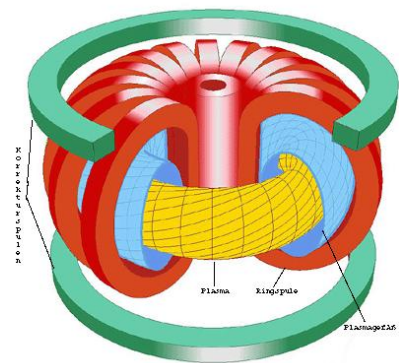
Deuterium je v přírodě běžně se vyskytující izotop vodíku. Tritium je také izotop vodíku, ale vyskytuje se poměrně vzácně, protože jeho poločas rozpadu je 12 let.



## Řízená reakce

Extrémně vysokou teplotu (miliony kelvinů) může snést hmota jen ve formě plazmatu. Navíc žádné těleso není schopno tuto teplotu udržet, vypařilo by se. Proto vyvíjeli v 50. letech 20. století američtí, britští a sovětské vědci přístroj na bázi tak silného magnetismu, aby se plazma nemohla „dotknout“ stěny přístroje. Nejdál došli sovětské vědci, kteří vyvinuli zařízení, známá pod názvem tokamaky<sup>4</sup>. Ty mají 2 magnetická pole, kde jedno z nich je toroidální (tvar pneumatiky, vytváří jej měděná stočená cívka) a druhé je polodiální, generováno elektrickým proudem, který teče plazmatem. Tato pole se sčítají a vytvářejí magnetické šroubovice.

Plazma se však nedaří udržet dostatečně dlouho v magnetickém poli, snaží se z magnetického pole uniknout. Plazma přestává být také stabilní, když vzroste elektrický proud nebo hustota nad mezní hodnotu, pak náhle vyhasne.



## Neřízená reakce

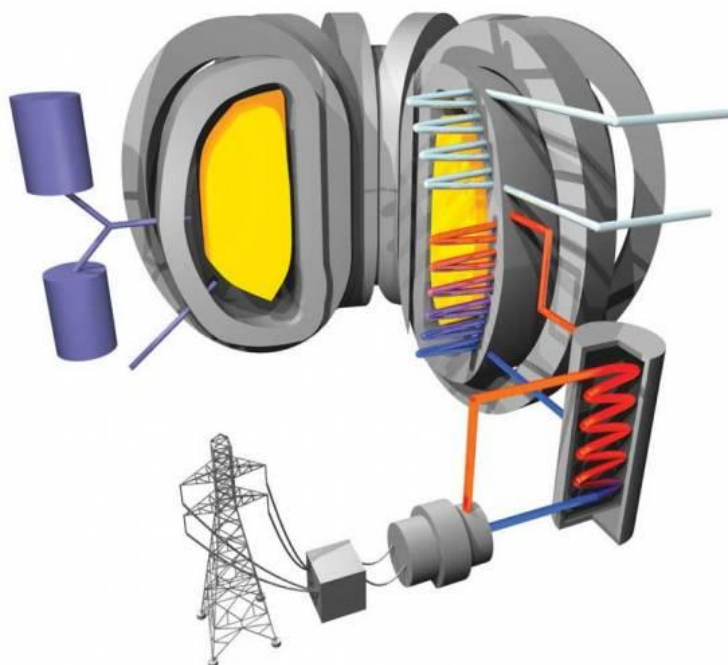
Zažehnutí neřízených reakcí už bylo dosaženo ve zbrojním průmyslu. Jedná se o termionukleární zbraně. Tyto zbraně mají díky obrovskému množství uvolněné energie velmi devastující účinky, mnohem větší než obyčejná štěpná atomová bomba.

<sup>4</sup> Tokamak je zařízení, vytvářející toroidální magnetické pole, používané jako magnetická nádoba pro uchovávání vysokoteplotního plazmatu. Slovo pochází z ruštiny, kde Tokamak je zkratkou (*toroidní komora v magnetických cívkách*).

## Nejperspektivnější zdroj energie

Ovládnutí energie, kterou doposud disponovaly jen hvězdy, může v budoucnu vyřešit energetickou krizi. A proto je potřeba tuto ohromnou sílu využít ve prospěch lidstva, jako „elektrárnu budoucnosti“.

Dnes ve světě pracuje na tři desítky tokamaků: nejstarší fungující tokamak CASTOR (Czech Academy of Sciences TORus) v pražském Ústavu fyziky plazmatu AV ČR i největší tokamak na světě JET (Joint European Torus) v anglickém Culhamu. JET byl prvním tokamakem, který uvolnil termojadernou energii "v množství větším než malém" (1991 - 1 megawatt, rekordní výkon 16 MW v roce 1997). JET ještě neumí vyprodukovat ani tolik výkonu, kolik sám spotřebuje. Ale už nastupuje tokamak nové generace - ITER. Ten by měl podat výkon desetkrát větší, než bude jeho spotřeba. ITER má odpovědět na otázky fyziků a inženýrů ohledně chování plazmatu a konstrukce reaktoru. To bude krokem ke stavbě komerční termojaderné elektrárny.



## Literatura:

- [1] WEINZETTL, Vladimír. *Československý časopis pro fyziku*. Fyzikální ústav akademie věd ČR : ČVUT, 2005.
- [2] *Ústav fyziky a plazmatu akademie věd České republiky* [online]. Dostupné z [www: http://www.ipp.cas.cz/](http://www.ipp.cas.cz/).
- [3] *Termonukleární fúze* [online]. 7.11.2010 [cit. 2010-11-27]. Dostupné z [www: http://cs.wikipedia.org/wiki/Termonukle%C3%A1rn%C3%AD\\_f%C3%BAze](http://cs.wikipedia.org/wiki/Termonukle%C3%A1rn%C3%AD_f%C3%BAze).
- [4] *Tokamak* [online]. 9.11.2010 [cit. 2010-11-27]. Dostupné z [www: http://cs.wikipedia.org/wiki/Tokamak](http://cs.wikipedia.org/wiki/Tokamak).
- [5] *Obrázky*. [online]. 2010 [cit. 2010-11-27]. [www: http://www.google.cz/imghp?hl=cs&tab=wi](http://www.google.cz/imghp?hl=cs&tab=wi)