

Tokamak GOLEM

K. Holanová*, M. Šaur**, M. Matušů***

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

* holankri@fjfi.cvut.cz, **saurmiro@fjfi.cvut.cz,

***matusm10@fjfi.cvut.cz

Abstrakt

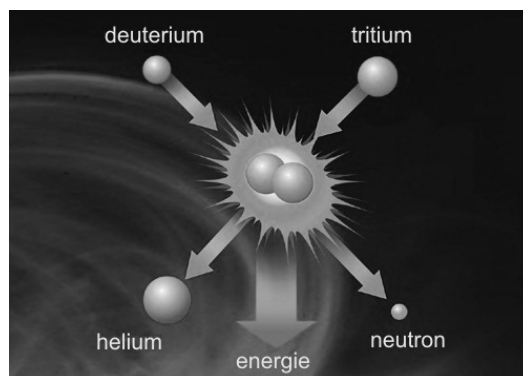
Termojaderná fúze jako zdroj energie v budoucnosti je velice diskutované téma. Cílem autorů je poučení čtenáře o základních informacích o termojaderné fúzi, historii tokamaku GOLEM a popis seznámení autorů s ovládním zmíněného zařízení.

1 Úvod

I přes fakt, že termojaderná fúze je v dnešní době velmi častým předmětem debat, lidé o ni příliš mnoho neví. Cílem autorů proto je přiblížení problematiky čtenáři a jeho seznámení se základy fúze. Druhým cílem bylo seznámení autorů s tokamakem GOLEM, udělat několik výstřelů pro zjištění možné závislosti teploty plazmatu na tlaku v komoře a popsat tuto zkušenost čtenáři.

2 Princip termojaderné fúze

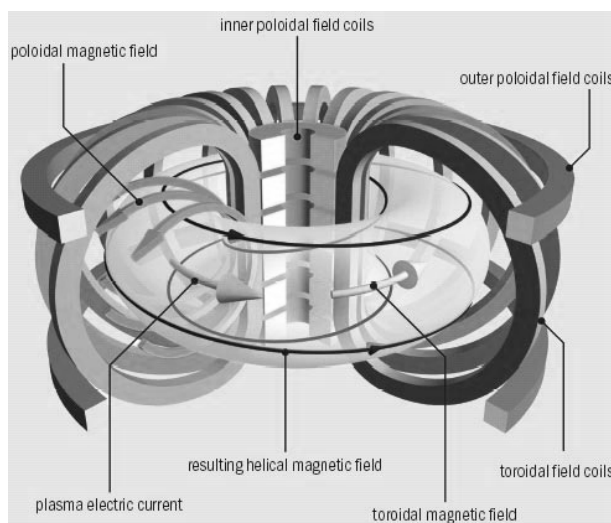
Termojaderná fúze je proces, při kterém se slučují lehčí jádra, vznikají jádra těžší a uvolňuje se energie. K jejímu dosažení je nutné, aby se reagující jádra přiblížila vzájemně natolik, že převládne jaderná síla přitažlivá nad elektrickou silou odpudivou. Aby částice překonaly odpudivou Coulombickou sílu (tedy aby se dostaly dostatečně blízko k sobě a převládly přitažlivé jaderné síly), musí se vzájemně srážet s velkou rychlostí. Nejefektivnějším způsobem jak toho dosáhnout, je ohřátí paliva na velmi vysokou teplotu.



Obr. 1: Princip termojaderné fúze

V pozemských podmínkách je z hlediska energetického využití nejvhodnější reakce deuteria a tritia (těžký a supertěžký izotop vodíku). Při této reakci vzniká helium a neutron (Obr. 1). Výše zmíněná reakce je nejvhodnější zejména z důvodu nejnižší potřebné počáteční teploty ze všech fúzních reakcí. Jedná se o teplotu okolo 100 až 200 milionů K. První podmínkou zvládnutí řízené termojaderné fúze je dosažení této teploty. Jakýkoliv materiál je při takto vysoké teplotě ve stavu plazmatu. Z toho vyplývá druhá podmínka pro úspěšné zvládnutí řízené termojaderné fúze- zabránit dotyku horkého plazmatu a stěny komory.

Торoidalная Камера с Магнитными Катушками („toroidní komora v magnetických cívkách“)



Obr. 2: Tokamak

Tokamak je zařízení (Obr. 2), které zabraňuje dotyku plazmatu a stěny komory pomocí magnetického pole. Jeho základní částí je vakuová reakční komora ve tvaru prstence, která je obklopena cívkami toroidního magnetického pole (na obrázku tokamaku modře). Tyto cívky vytvoří v komoře velmi silné magnetické pole (několik T), které udržuje plazma. Prstencová komora tokamaku je sekundárním závitem transformátoru, který v komoře generuje proud v toroidním směru (na velkých zařízeních až několik MA). Tento proud vytváří kolem sebe poloidní magnetické pole (na obrázku tokamaku zeleně). Pokud složíme magnetické pole toroidní a poloidní, dostáváme výslednou konfiguraci magnetického pole ve tvaru šroubovice (na obrázku tokamaku černě). Siločáry takto vytvářeného magnetického pole se do sebe uzavírají v reakční komoře. Připomeňme, že se elektricky nabitá částice pohybuje podél magnetické siločáry. Právě proto by měly částice plazmatu zůstat v komoře izolované od stěny. Různé nestability a difúze částic napříč magnetickým polem výrazným způsobem zhoršují udržení plazmatu.

3 Historie tokamaku GOLEM

V 50. letech minulého století dochází k intenzivnímu zájmu o termonukleární energetiku, s čímž souvisí nutnost experimentálních zařízení pro ověřování teorií. V 60. letech dochází ke stavbě TM-1 ("Tokamak Malý") v Ústavu atomové energie I. V. Kurčatova v Moskvě,

jakožto jednoho z prvních Tokamaků na světě. Cílem prvních experimentů prováděných na Tokamaku TM-1 bylo nalezení optimálních režimů stabilního provozu a nastavení základních diagnostických prostředků umožňujících měřit základní makroskopické parametry. TM-1 se osvědčil jako spolehlivý experimentální reaktor a v roce 1975 byl věnován na základě smlouvy o spolupráci a dělbě práce Ústavu fyziky plazmatu ČSAV, čímž započíná samotný československý experimentální program.

Při instalaci v ÚFP ČSAV dochází k modernizaci zařízení a dochází k přejmenování na TM-1-MH, ke slavnostnímu spuštění dochází v září 1977. Zařízení je průběžně modernizováno, v roce 1984 však dochází k odstávce a kompletní rekonstrukci zařízení včetně výměny vakuové komory. Po této rekonstrukci dochází k přejmenování na CASTOR (Czech Academy of Sciences TORus).

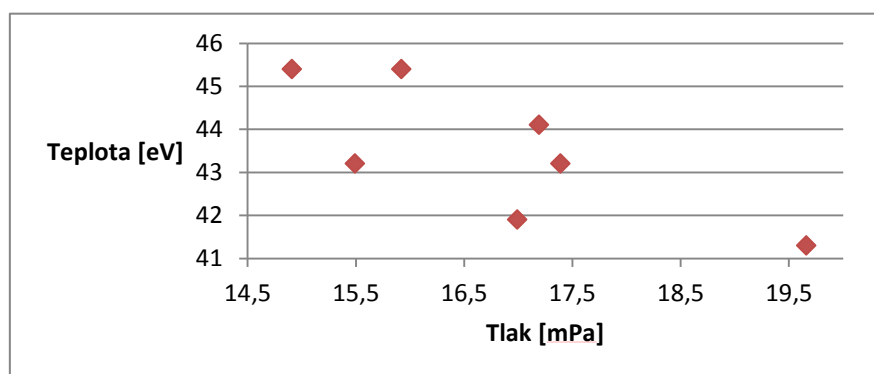
CASTOR slouží při ÚFP až do roku 2006 kdy dochází k ukončení experimentů z důvodu instalace tokamaku COMPASS, věnovaném UKAEA (United Kingdom Atomic Energy Authority).

Následovně dochází k předání FJFI ČVUT, kde tokamak je přejmenován pod název GOLEM a od toho okamžiku slouží k výuce studentů a díky systému dálkové kontroly se stává prvním dálkově ovládaným tokamakem, díky čemuž se na experimentech mohou podílet i studenti ze světa.

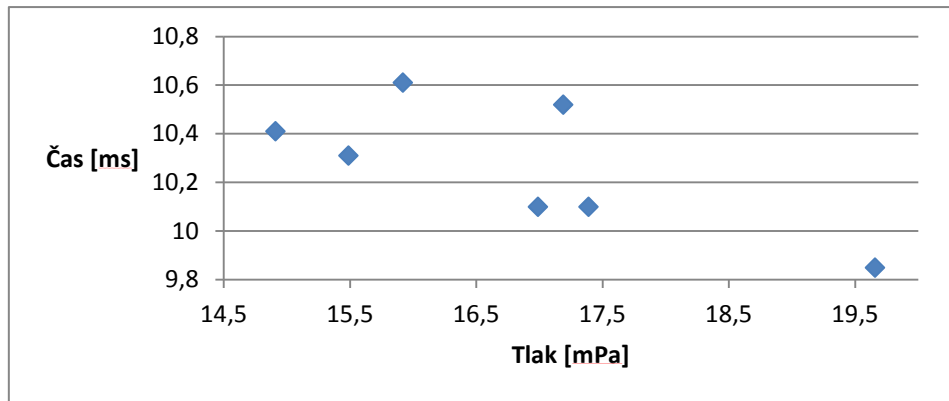
V současné době se jedná o nejstarší, stále užívaný tokamak na světě.

4 Praktická část

Původním cílem autorů bylo zjistit závislost trvání výstřelu a teploty plazmatu na tlaku v komoře. Vzhledem k vytíženosti tokamaku však autoři neměli možnost provést statistické měření, aby se dal udělat jakýkoli závěr. Pro čtenáře jsou přiloženy znázornění závislosti provedených výstřelů (obr. 3 a obr. 4).



Obr. 3: Graf závislosti teploty plazmatu na tlaku



Obr. 4: Graf závislosti teploty plazmatu na tlaku

Poznatkem, který je důležité si uvědomit při práci s tokamakem a plazmatem celkově, je nevyzpytatelnost plazmatu. Z tohoto prostého poznatku plyne fakt, že je v praxi nemožné zreprodukovat shot. K potvrzení tohoto faktu se autoři pokusili zreprodukovat jeden z výstřelů na tokamaku GOLEM, jenž je jako všechny uložen. Ten dle očekávání nebyl stejný, dokonce se v trvání výstřelu a v teplotě lišil přibližně o 40%.

5 Poděkování

Náš velký dík má přede všemi ing. Vojtěch Svoboda, CSc., který nám umožnil i přes vytíženost tokamaku GOLEM udělat několik výstřelů na jmenovaném zařízení. Také mu děkujeme za jeho ochotu při vysvětlování nejasností v tématu. Děkujeme také FJFI za udržování projektu GOLEM v chodu a otevřenost tohoto projektu.

Reference

- [1] V. Svoboda, et al., Tokamak GOLEM na FJFI CVUT.
URL:< <http://golem.fjfi.cvut.cz/?p=tokamak>> [cit: 03.09.2012]
- [2] kol. autorů, *Termojaderná fúze*, http://cs.wikipedia.org/wiki/Termojaderná_fúze
- [3] V. Svoboda, et al., Tokamak GOLEM na FJFI CVUT.
URL:< <http://golem.fjfi.cvut.cz/?p=uvod>> [cit: 03.09.2012]
- [4] anonym, *Tokamak*, <http://www.ipp.cas.cz/Tokamak/>
- [5] kol. autorů, *Tokamak*, <http://cs.wikipedia.org/wiki/Tokamak>
- [6] H. Valouchová, V. Stránský, *Učící se algoritmy aplikované na předvídání vzniku plazmatu v tokamaku*, <http://tydenvedy.fjfi.cvut.cz/2011/cd/prispevky/sbpdf/tokGolemIII.pdf>
- [7] V. Svoboda, osobní sdělení (2011)