

# Měření základních parametrů tokamaku GOLEM

Bajajová B. A.

barcaanna@seznam.cz

Holanová K.

tynaholanova@seznam.cz

Kaňovský Z.

kanovskyz@seznam.cz

Lidrych J.

jindra.li@seznam.cz

Valíček T.

tomashval@seznam.cz

Veselý V.

vesely.vojtech@seznam.cz

Vlková B.

baja01@seznam.cz

## Abstrakt

Cílem projektu bylo seznámit se s principem termojaderné fúze. Poznali jsme také, jak se pracuje na tokamaku GOLEM a že ne vždy se praxe shoduje s teoretickými předpoklady. Dále jsme se pokusili dosáhnout co nejdelší doby udržení plazmatu v tokamaku.

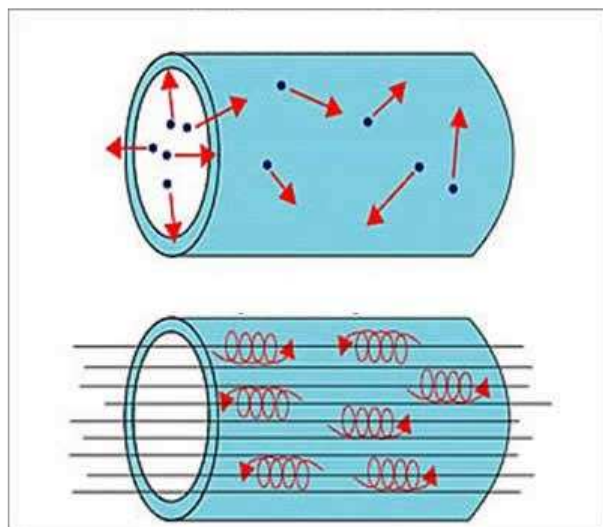
## 1. Úvod

V rámci miniprojektů jsme dostali možnost pracovat s unikátním zařízením pro zvládnutí řízené termojaderné fúze – tokamakem GOLEM. Snažili jsme se dosáhnout co nejdelší doby trvání výboje v plazmatu pomocí změn několika parametrů, o kterých bude řeč dále.

Co je vlastně fúze? Jde o proces slučování lehkých jader za vzniku těžších jader a uvolňování energie. Nutnou podmínkou realizace fúzní reakce je, že se lehká jádra přiblíží na takovou vzdálenost, aby mezi nimi převládly jaderné síly přitažlivé nad odpudivými elektrickými silami. Tato reakce běžně probíhá ve hvězdách a na Zemi by byla vhodným zdrojem energie. Jako nejvhodnější palivo se jeví směs těžkých izotopů vodíku - deuteria ( $^2\text{H}$ ) a tritia ( $^3\text{H}$ ).

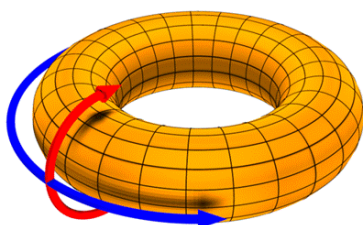
Základním úkolem tokamaků, tedy budoucích termojaderných reaktorů, bude vytvořit a udržet plazma, ve kterém budou vhodné podmínky pro dosažení termojaderné fúze s energetickým ziskem, zejména dostatečná teplota a hustota paliva.

## 2. Princip tokamaku



Obr. 1 Pohyb nabitě částice bez magnetického poli(nahore) a v magnetickém poli(dole).

Na Obr. 1 vidíme, že nabitá částice v magnetickém poli sleduje indukční čáru. Lorentzova síla „drží“ částici na magnetické siločáře. Pokud siločáry uzavřeme v komoře, nedostanou se teoreticky částice ven z magnetického pole. Ale difúze napříč magnetickým polem a nestabilní chování plazmatu v této konfiguraci magnetického pole velmi ztěžují udržení plazmatu tímto způsobem, nicméně je to pro nás i tak stále nejnadhřejší cesta k dosažení fúze s energetickým ziskem.



Obr. 2 *Působení toroidálního a poloidálního pole*  
*modrá – toroidální směr, červená – poloidální směr*

Plazma je v tokamaku izolováno od stěny pomocí magnetických polí, které jsou v zásadě dvojího typu. Základní komponenty magnetického pole jsou toroidální pole a poloidální pole. **Toroidální pole** je pole s magnetickou indukcí ve směru podél obvodu prstence (viz. Obr. 2). Je vytvářeno magnetickými cívkami okolo prstence komory. Je to magnetické pole, které udržuje nabitě částice uvnitř prstence a zabraňuje jim narážet do stěny. **Poloidální pole** je magnetické pole vytvářené podél průřezu trubice (viz. Obr. 2). Formuje tvar plazmatu a pomáhá udržet jeho stabilitu. Je produkováno jednak vnějšími cívkami rozmístěnými podél obvodu prstence a jednak proudem v samotném plazmatu. V případě tokamaku tak magnetického pole, které je potřebné pro vytvoření požadovaných šroubovovitých siločar, kromě vnějších cívek vytváří z velké části i samotný elektrický proud, který plazmatem prochází a zároveň jej ohmicky zahřívá.

### 3. Měření, výsledky

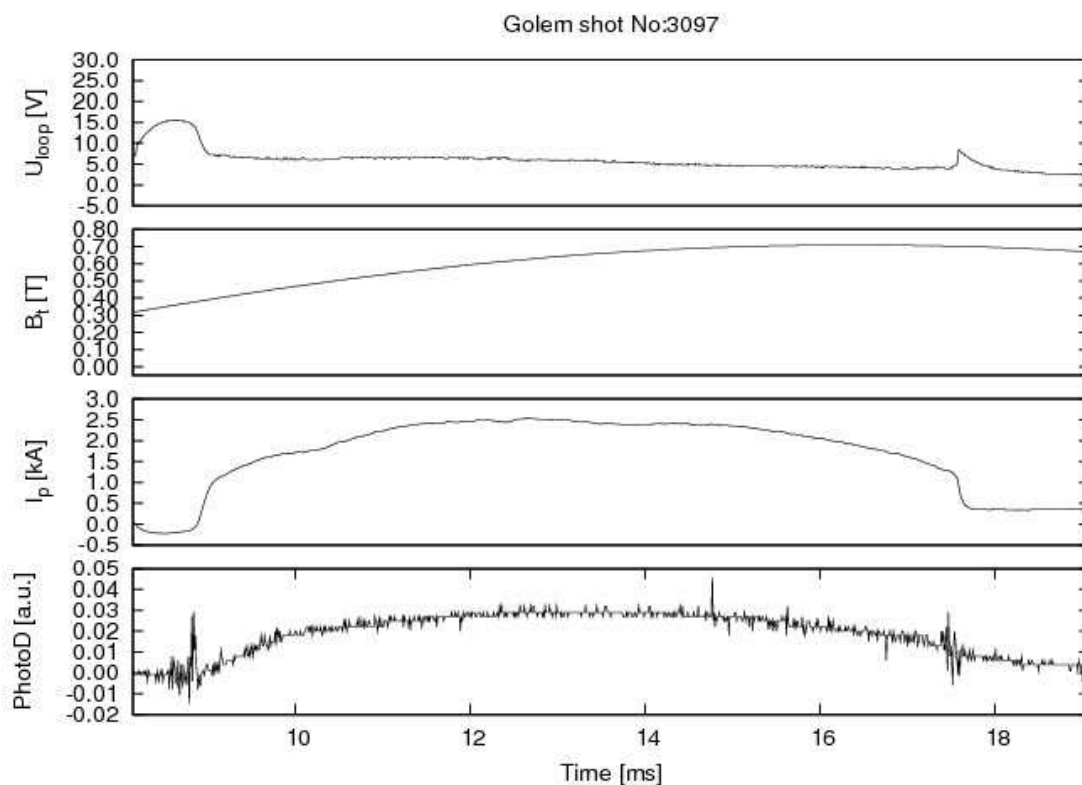
Všechny cívky, které vytvářejí potřebnou konfiguraci magnetického pole na tokamaku GOLEM, jsou napájeny z kondenzátorů. Pomocí napětí, na které tyto kondenzátory nabijeme, můžeme měnit následující parametry:

- $B$  [T] – velikost magnetického toroidálního pole
- $I$  [A] – velikost elektrického toroidálního pole
- $U_{bd}$  [V] – velikost průrazového napětí

Některé další nastavitelné parametry jsou:

- $T$  [ms] – zpoždění elektrického pole za magnetickým polem
- předionizace napuštěného plynu
- tlak napuštěného vodíku

Nejdelší výboj (8,8 ms) se nám podařilo získat za těchto parametrů: napětí  $U_b = 1000$  V (napětí na kondenzátoru které vytváří toroidální magnetické pole),  $U_e = 200$  V (napětí na kondenzátoru které indukuje proud plazmatem),  $U_{bd} = 150$  V (napětí na kondenzátoru kterým prorážíme plazma),  $p_{H_2} = 65$  (nastavení otevření ventilu) při zapnuté předionizaci.



*Náš nejúspěšnější pokus o udržení plazmatu (výboj trvající 8,8 ms)  
 $U_{loop}$  – napětí na závit (napětí vytvářející proud plazmatem),  
 $B_t$  – toroidální magnetické pole,  $I_p$  – proud plazmatem, PhotoD – signál z fotodiody  
zaznamenávající záření plazmatu, Time - čas*

#### 4. Závěr

Na tokamaku GOLEM jsme provedli 70 měření s různými parametry, z nichž 27 vedlo ke vzniku plazmatu. Nejdelší výboj trval 8,8 ms. Většina výbojů trvala cca 5 ms. Dobu výboje bude v budoucnu možno prodloužit pomocí dynamické stabilizace a zpětnovazebního systému pro řízení polohy plazmatu.

#### 5. Poděkování

Tímto bychom rádi poděkovali Bc. Ondřeji Kudláčkovi, Bc. Michalu Šmídovi a Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za jejich čas, úsilí, odborné rady, obětavost, trpělivost a snahu nám dát odpověď na všechny naše dotazy.

#### 6. Reference

- <http://www.osel.cz/index.php?clanek=4629> (15.6.2010)
- Bc. Ondřej Kudláček, Řízená termojaderná fúze, 2006, zatím nepublikováno
- [www.golem.fjfi.cvut.cz/tasks/Practica/TydenVedy/](http://www.golem.fjfi.cvut.cz/tasks/Practica/TydenVedy/) (15.6.2010)