

Měření hustoty plazmatu interferometrickou metodou na tokamaku GOLEM.

Ondřej Grover

1. minikonference projektu Cesta k vědě, 4.11.2010



Evropský sociální fond
Praha & EU: Investujeme
do vaší budoucnosti

Obsah prezentace

- 1 Motivace
 - Jaderná fúze
 - Jak udržet plazma
- 2 Tokamak
 - Princip tokamaku
 - Stručná historie tokamaku GOLEM
- 3 Měření hustoty plazmatu
 - Interferometrie
 - Analýza dat
 - Konečný výstup

Jaderná fúze

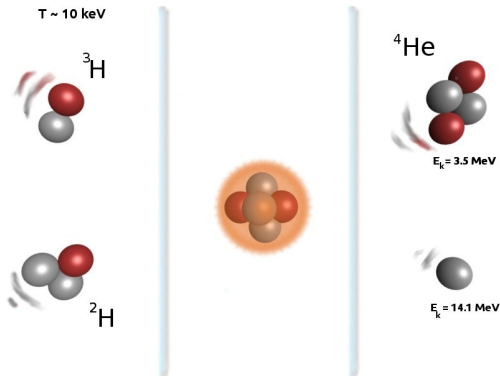
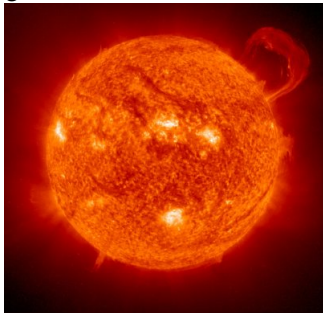


Schéma fúze Deutheria a Trithia

- Nutnost překonat elektrostatické síly mezi jádry
- $1 \text{ MeV} = 1.60217646 \cdot 10^{-13} \text{ J}$
- $1 \text{ eV} \sim 11600 \text{ K}$

Jak udržet plazma

- gravitace

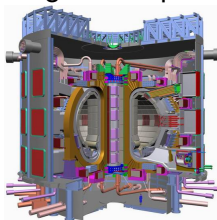


- inerciální udržení



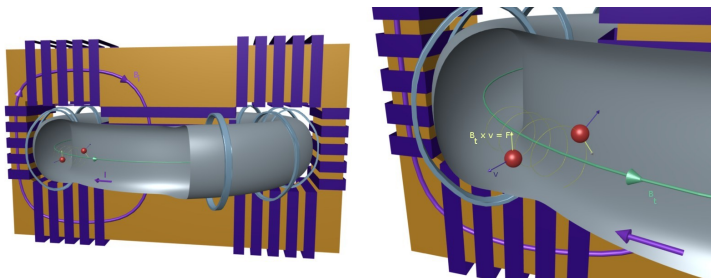
HiPER

- magnetické pole



ITER

Princip tokamaku

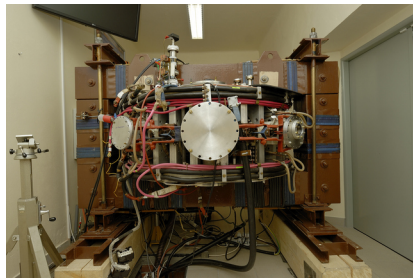


Obrázek: Schéma tokamaku

- Magnetické pole usměrňuje pohyb částic ... $\vec{F} = \vec{B} \times \vec{v}q$
- Indukovaný proud urychluje částice

Stručná historie tokamaku GOLEM

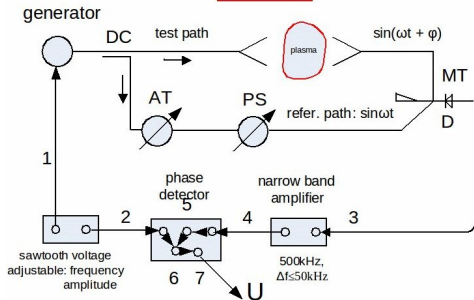
- první funkční tokamaky v 50. letech v SSSR
- 1960, Moskva: TM-1
- 1975 darován Ústavu fyziky plazmatu ČSAV
- 1977 zahájen provoz pod názvem CASTOR
- od 2006 v provozu na FJFI pod jménem GOLEM



Dnešní podoba tokamaku GOLEM v suterénu FJFI

Interferometrie

Direct reading interferometer on CASTOR tokamak

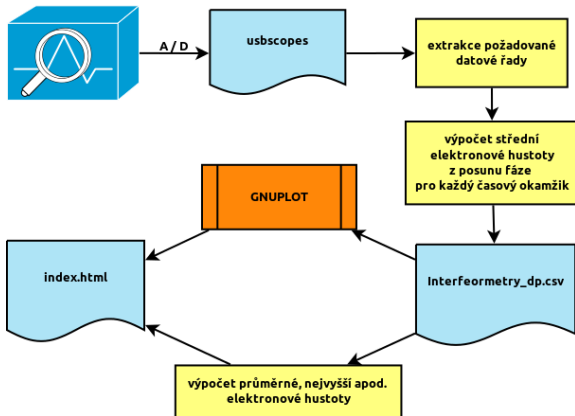


Obrázek: Schéma konstrukce a funkce interferometru

Princip

- 1 Šíření vlny v plazmatu závisí na jeho hustotě
- 2 Posun fáze vlny v disperzní lince oproti referenční
- 3 Výpočet posunu fáze z výsledné interference obou linek

Analýza dat



Vzorce

$$\bar{n}_e = \frac{4\pi m_e \epsilon_0 c^2}{e^2 \lambda_0 l} \Delta\varphi$$

Konečný výstup

Golem shot: XXXX

2010-??-?? 152935

Basic parameters:

- Chamber pressure p_{chamber} : 1.62->31.04 mPa (request: 20 mp)
- Chamber temperature: 0 grad C
- C_B capacitors (23 mF) charged to: 400 V
- C_{D1} capacitors (3.6 mF) charged to: 100 V, triggered 4.0 ms after B_t
- C_{D2} capacitors (11.3 mF) charged to: 400 V, triggered 2.0 ms after B_t
- [chambering test 1: \$U_{C1}\$, \$U_{C2}\$, \$U_{C3}\$, \$U_{C4}\$, \$U_{C5}\$, \$U_{C6}\$, \$U_{C7}\$, \$U_{C8}\$, \$U_{C9}\$, \$U_{C10}\$, \$U_{C11}\$, \$U_{C12}\$, \$U_{C13}\$, \$U_{C14}\$, \$U_{C15}\$, \$U_{C16}\$, \$U_{C17}\$, \$U_{C18}\$, \$U_{C19}\$, \$U_{C20}\$, \$U_{C21}\$, \$U_{C22}\$, \$U_{C23}\$, \$U_{C24}\$, \$U_{C25}\$, \$U_{C26}\$, \$U_{C27}\$, \$U_{C28}\$, \$U_{C29}\$, \$U_{C30}\$, \$U_{C31}\$, \$U_{C32}\$, \$U_{C33}\$, \$U_{C34}\$, \$U_{C35}\$, \$U_{C36}\$, \$U_{C37}\$, \$U_{C38}\$, \$U_{C39}\$, \$U_{C40}\$, \$U_{C41}\$, \$U_{C42}\$, \$U_{C43}\$, \$U_{C44}\$, \$U_{C45}\$, \$U_{C46}\$, \$U_{C47}\$, \$U_{C48}\$, \$U_{C49}\$, \$U_{C50}\$, \$U_{C51}\$, \$U_{C52}\$, \$U_{C53}\$, \$U_{C54}\$, \$U_{C55}\$, \$U_{C56}\$, \$U_{C57}\$, \$U_{C58}\$, \$U_{C59}\$, \$U_{C60}\$, \$U_{C61}\$, \$U_{C62}\$, \$U_{C63}\$, \$U_{C64}\$, \$U_{C65}\$, \$U_{C66}\$, \$U_{C67}\$, \$U_{C68}\$, \$U_{C69}\$, \$U_{C70}\$, \$U_{C71}\$, \$U_{C72}\$, \$U_{C73}\$, \$U_{C74}\$, \$U_{C75}\$, \$U_{C76}\$, \$U_{C77}\$, \$U_{C78}\$, \$U_{C79}\$, \$U_{C80}\$, \$U_{C81}\$, \$U_{C82}\$, \$U_{C83}\$, \$U_{C84}\$, \$U_{C85}\$, \$U_{C86}\$, \$U_{C87}\$, \$U_{C88}\$, \$U_{C89}\$, \$U_{C90}\$, \$U_{C91}\$, \$U_{C92}\$, \$U_{C93}\$, \$U_{C94}\$, \$U_{C95}\$, \$U_{C96}\$, \$U_{C97}\$, \$U_{C98}\$, \$U_{C99}\$, \$U_{C100}\$](#)
- Time since [session](#) beginning: 3900 s

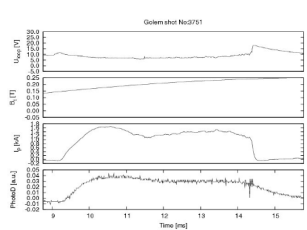
Data (sampling interval $T_s = 100$ kHz):

- [Raw data \(\$U_{C1}\$, \$U_{C2}\$, \$U_{C3}\$, \$U_{C4}\$, \$U_{C5}\$, \$U_{C6}\$, \$U_{C7}\$, \$U_{C8}\$, \$U_{C9}\$, \$U_{C10}\$, \$U_{C11}\$, \$U_{C12}\$, \$U_{C13}\$, \$U_{C14}\$, \$U_{C15}\$, \$U_{C16}\$, \$U_{C17}\$, \$U_{C18}\$, \$U_{C19}\$, \$U_{C20}\$, \$U_{C21}\$, \$U_{C22}\$, \$U_{C23}\$, \$U_{C24}\$, \$U_{C25}\$, \$U_{C26}\$, \$U_{C27}\$, \$U_{C28}\$, \$U_{C29}\$, \$U_{C30}\$, \$U_{C31}\$, \$U_{C32}\$, \$U_{C33}\$, \$U_{C34}\$, \$U_{C35}\$, \$U_{C36}\$, \$U_{C37}\$, \$U_{C38}\$, \$U_{C39}\$, \$U_{C40}\$, \$U_{C41}\$, \$U_{C42}\$, \$U_{C43}\$, \$U_{C44}\$, \$U_{C45}\$, \$U_{C46}\$, \$U_{C47}\$, \$U_{C48}\$, \$U_{C49}\$, \$U_{C50}\$, \$U_{C51}\$, \$U_{C52}\$, \$U_{C53}\$, \$U_{C54}\$, \$U_{C55}\$, \$U_{C56}\$, \$U_{C57}\$, \$U_{C58}\$, \$U_{C59}\$, \$U_{C60}\$, \$U_{C61}\$, \$U_{C62}\$, \$U_{C63}\$, \$U_{C64}\$, \$U_{C65}\$, \$U_{C66}\$, \$U_{C67}\$, \$U_{C68}\$, \$U_{C69}\$, \$U_{C70}\$, \$U_{C71}\$, \$U_{C72}\$, \$U_{C73}\$, \$U_{C74}\$, \$U_{C75}\$, \$U_{C76}\$, \$U_{C77}\$, \$U_{C78}\$, \$U_{C79}\$, \$U_{C80}\$, \$U_{C81}\$, \$U_{C82}\$, \$U_{C83}\$, \$U_{C84}\$, \$U_{C85}\$, \$U_{C86}\$, \$U_{C87}\$, \$U_{C88}\$, \$U_{C89}\$, \$U_{C90}\$, \$U_{C91}\$, \$U_{C92}\$, \$U_{C93}\$, \$U_{C94}\$, \$U_{C95}\$, \$U_{C96}\$, \$U_{C97}\$, \$U_{C98}\$, \$U_{C99}\$, \$U_{C100}\$ \)](#)
- DAS data processing evolution: [raw](#)->[integrated](#)->[final](#)
- [Accessing data](#)

Plasma parameters:

- Plasma life from 9.73 over 4.61 to 14.34 [ms]
- Mean toroidal magnetic field B_t : 0.207 T
- Mean plasma current: 1.4 kA
- Mean U_{loop} : 7.4 V
- Break down voltage: 11.4 V
- Plasma total charge: 6.3 C
- Ohmic heating power: 10.4 kW
- Q edge: 13.4
- Central electron temperature: 29.6 eV

- **Average plasma density:**



Thanks to the specific help



and



Obrázek: <http://golem.fjfi.cvut.cz/operation/shots/XXXX/>






Shrnutí

- Tokamak ... možný alternativní zdroj energie budoucnosti
- Měření hustoty plazmatu na základě šíření elektromagnetických vln v plazmatu

- Plány do budoucna
 - Uskutečnit a vyhodnotit první měření
 - Implementovat do systému automatické diagnostiky

Reference

-  REED, Garrett D.; HARGUS, William A.; CAPELLI, Mark A. *Microwave Interferometry (90 GHz) for Hall Thruster Plume Density Characterization.* Joint Propulsion Conference, Tuscon, AZ, 2005. 7 s.
-  Oficiální stránky tokamaku GOLEM
<http://golem.fjfi.cvut.cz/>
-  E-mailová korespondence mezi V. Svobodou a F. Žáčkem