## Ondas e Turbulência em Plasmas de Laboratório

#### D. Ciro, Z.O. Guimarães Filho e I.L. Caldas

FAP0326 - Introdução à Física de Plasmas e Fusão Termonuclear Controlada

## **TCABR tokamak**

### (Tokamak Chauffage Alfvén Brésilien)

- Small size tokamak
  - Major radius R = 0,61 m
  - Minor radius a = 0,18 m
  - Circular cross section
- Ohmic Hydrogen plasmas
  - Plasma duration  $\approx 0.2$  s
  - $-n \approx 10^{19} \text{ m}^{-3}$ ,  $I_P \approx 100 \text{ kA}$ ,  $B_0 = 1.1 \text{ T}$
  - $-T_{0e} \approx 500 \text{ eV}, T_{0i} \approx 200 \text{ eV}$





## Schematic view of experimental setup



## TCABR discharge





### **Rake probe**





21 pins radial space 5 mm poloidal space 5 mm



## Perfis radiais da média e desvio padrão do potencial flutuante e da corrente de saturação iônica no TCABR



# Relação de dispersão depende da posição radial



## Propagação de ondas

 Uma perturbação harmônica simples pode ser descrita pela frequência (f), número de onda (k) e amplitude (φ<sub>0</sub>):

$$\varphi(\vec{r},t) = \varphi_0 \cdot \cos\left(2.\pi \cdot f \cdot t - \vec{k} \cdot \vec{r}\right)$$

- A evolução temporal da perturbação em uma mesma posição permite determinar a frequência e a amplitude
- A observação em diversas posições distintas permite determinar também o número de onda
  - Em particular, observando-se a evolução temporal de perturbações em duas posições distintas (r<sub>1</sub> e r<sub>2</sub>) permite determinar a componente do vetor de onda na direção paralela ao vetor r<sub>1</sub> - r<sub>2</sub>

## Efeito do crescimento da atividade MHD





#### **Bobinas de Mirnov no TCABR**



# Perturbação se propaga entre as bobinas



### **Exemplo de sinais 1 - Bobinas de Mirnov**



## Autocorrelação



**Cross correlação** 

## Espectro de potência das oscilações magnéticas



### 3. Texas Helimak

- Localizado na Univ. do Texas em Austin.
- Maquina de geometria toroidal com configuração simplificada das linhas de campo magnético de forma que se possa considerar o plasma no Texas Helimak como dependente apenas da coordenada radial (problema unidimensional).

### 3. Helimak x Tokamak

• Comparação: Plasma TCABR x Plasma Texas Helimak

Parâmetros do TCABR:		Parâmetros do Texas Helimak:	
Raio maior:	$R_{maior} = 0,61 m$	Raio maior:	$R_{maior} = 1,6 m$
Raio menor:	$R_{menor} = 0,19 m$	Raio menor:	$R_{menor} = 0,6 m$
Densidade central de elétrons:	$n_e = 1 \ a \ 4 \ \times 10^{19} \ m^{-3}$		< 10 <sup>17</sup> -3
Densidade de elétrons no SOL:	$n_e = 1,5 \times 10^{18}  m^{-3}$	Densidade dos eletrons:	$n_e \leq 10^{17} m^{-5}$
Temperatura média de elétrons:	$T_{e\_m\acute{e}dia} = 400 \; eV$	Temperatura típica dos elétrons:	$T_{e\_m\acute{e}dia}$ =10 eV
Temperatura dos elétrons na borda:	$T_e = 10 \ a \ 20 \ eV$		
Temperatura dos elétrons no SOL:	$T_{e\_SOL} = 5 \ eV$		

• Helimak apresenta um plasma "frio" e com características similares às da borda e do SOL de um tokamak de médio porte.

### Geometria das linhas do campo B



• A componente vertical do campo magnético permite a existência de equilíbrio MHD no Helimak, criando maneira das particulas carregadas se deslocarem verticalmente para para anular polarização causada pelas derivas:  $\mathbf{v}_{R} + \mathbf{v}_{\nabla B}$ 

### Texas Helimak



Sistemas de Diagnósticos: Sondas de Langmuir





- Aproximadamente 700 sondas de Langmuir fixas;
- 3 ADCs:
  - Lento:
    - 128 canais e 7kHz de taxa de amostragem;
  - Rápidos:
    - 16 canais e 100 kHz.
    - 96 canais e 500 kHz (inicio da utilização em 2011).

3. Texas Helimak



### Exemplo de sinais 2 – Corrente de saturação iônica no Texas Helimak



## Autocorrelação



Cross correlação

## Espectro de potência da turbulência eletrostática



## Texas Helimak



Picture of Texas Helimak

HELIMAK  $B_T = 0.1(T)$   $B_V = 0.001(T)$ 



Illustration of the Texas Helimak B-lines

K.W. Gentle, W.L. Rowan, I. Bespamyatnov, K. Liao, K. Lee.

### Texas Helimak

Cylindrical chamber:

0.6 m < R < 1.6 m</li>
h = 2 m
B<sub>T</sub> = 0.1 T
Bv ≤ 0.01 T



K.W. Gentle, Huang He. Plasma Sci. and Tech., V. 10, No. 3, Jun. 2008.

## Probe positions



View inside Vacuum Vessel (bottom)

K.W. Gentle, www.ph.utexas.edu/~phy315/Helimak.pdf

### **TCABR** tokamak $I_{p} \approx 100 \text{ kA}$ $B_{t} = 1.1 \text{ T}$ Hydrogen circ. plasma: At the scrape-off layer: $n_e \approx 1.5 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$ $T_e \approx 5 \text{ eV}$ Limiter Electrode bias at $r_B/a = 0.92$ $V_{B} = 470 V$ $\Delta t_{B} = 30 ms$ Plasma a r<sub>B</sub> Electrode

**Mirnov** coil L**angmuir** probes R Electrode





- Major radius: 61 cm
- Minor radius: 18 cm
- Plasma current:100 kA
- Duration: 100 ms
- Toroidal field: 1.1 T
- Electron density: 10<sup>19</sup> m<sup>-3</sup>
- Elec. temperature: 650 eV
- Filling pressure: 10<sup>-4</sup> Pa

## **TCABR TOKAMAK**



#### Perfis radiais dos momentos das PDFs de potencial flutuante no TCABR



