

Sistemas Dinâmicos Caóticos

Instituto de Física / USP

11/03/2024

1) Justificativa da Contratação

Coordenador do Grupo de Pesquisa Controle de Oscilações é professor senior (aposentado).

Rede de colaboradores no Brasil e no exterior.

Vários bolsistas: 4 de mestrado, 9 de doutoramento e 4 de pós-doutoramento.

Contratado poderia substituir o coordenador e liderar pesquisas sobre caos.

2) Impacto da Contratação no IF

Assumir a coordenação do grupo de pesquisa e implementar as colaborações mantidas com os grupos do Brasil e do exterior.

Prosseguir com as pesquisas, sobre caos, em desenvolvimento no IF.

Colaborar, com outros docentes do IF, em pesquisas sobre caos em áreas de interesse do IF.

Ministrar disciplinas de caos na graduação e na pós-graduação.

Orientar dissertações e teses sobre caos.

3) Relevância Atual na Física

Interesse crescente em sistemas dinâmicos caóticos.

1. Conferências

Conferência Dynamical Systems (SIAM) com cerca de 1000 participantes, bianual, EUA.

Anualmente, Dynamic Days, nos EUA, e Dynamic Days, na Europa, com cerca de 500 participantes cada.

APS Meetings of Plasma Physics (3000 participantes) and Fluid Dynamics (4000 participantes), anuais (EUA).

2. Revistas

Aumento no fator de impacto das revistas: Chaos, Solitons and Fractals (7,8) / Chaos (3,0) /

Communications on Nonlinear Systems and Numerical Simulations (3,9)/ Nonlinear Dynamics (5,74).

Pesquisa

Plasmas Confinados Magnéticamente

Vital para o sucesso do tokamak ITER e do tokamak TCABR Upgrade.

- Controle das oscilações.
- Transporte caótico.
- Barreiras de transporte em sistemas com perfis não monotônicos (twist).
- Mapas simpléticos não twist. Bifurcações, espaço dos parâmetros.
- Controle da turbulência.

Pesquisa

Outros Sistemas Hamiltonianos

- Rede optica: bifurcações e transporte caótico.
- Potenciais periódicos: controle de caos.
- Problema de três corpos: órbitas celestes.
- Pêndulo elástico: acoplamento de modos, transferência de energia.

Sistemas Dissipativos

Controle de oscilações em sistemas mecânicos e circuitos elétricos.

Transição entre caos e movimento regular. Espaço de parâmetros.

Atratores caóticos, quase-periódicos e periódicos. Bifurcações.

Redes de Osciladores

Sincronização em redes de osciladores não lineares.

Redes neuronais.

Efeito de plasticidade nos ciclos cerebrais e do coração.

Potenciais candidatos pesquisadores em outras instituições (com pós-doutoramento)

Contratados no Brasil

1. André L. P. Livoratti. Doutorado: UNESP (2015). Pós-doutorado: UNESP (2016-2022). Docente na UNESP.
2. Kelly Yarosz. Doutorado: UFPR (2013). Pós-doutorado: USP (2015-2020), Universidade Von Humboldt, Berlin (2018). Docente na UNIFATEB (Paraná)
3. Matheus Hansen Francisco. Doutorado: USP (2019). Pós-doutorado: UFSP (2020-2021). Docente na Universidade Nova de Lisboa, desde 2022
4. **Rene O. Medrano Torricos**. Doutorado: USP (2004). Pós-doutorado: USP (2004-2010), Imperial College (2015-2016). Docente na UNIFESP, desde 2010.
5. **Silvio L. Thomas de Souza**. Doutorado: USP (2003). Pós-doutorado: USP (2004-2007), Universidade de Aberdeen (2013), Universidade da Califórnia (2015). Docente da UFJF desde 2010
6. Thiago Kroetz. Doutorado: ITA (2010). Pós-doutorado: USP (2011-2012), UFPR (2015-2016). Docente na UTFPR desde 2012.

Contratados no exterior

1. **Everton dos Santos Medeiros**. Doutorado: USP (2014). Pós-doutorado: IFUSP (2016-2020), Universidade de Rotemburg (2020-2024)
2. **Fernando Borges**. Doutorado: UFPR (2018). Pós-doutorado: IFUSP (2019), UFABC (2020-2022), Universidade de Columbia (2023-2025)

Potenciais candidatos com estágios de pós-doutoramento **concluídos**

1. Adriane Reis. Doutorado: UFPR (2021). Pós-doutorado: IFUSP (2022), UFSP (2023)
2. David Ciro. Doutorado: USP (2019). Pós-doutorado: IAG/USP (2020)
3. Diogo R. da Costa. Doutorado: USP (2014). Pós-doutorado: UNESP (2015-2020)
4. **Matheus Lazarotto**. Doutorado: USP (2023). Pós-doutorado: Universidade de Aix-Marselha (2023-2024)
5. **Meirielen Caetano de Sousa**. Doutorado: USP (2015). Pós-doutorado: USP (2015-2020),
Universidade de Aix-Marseille (2019), Escola Politécnica, Paris (2021-2024)
6. **Paulo Protachevski**. Doutorado: UEPG (2020). Pós-doutorado: USP (2021-2024),
Universidade de Aberdeen (2022), Universidade Von Humboldt, Berlin (2023)
7. **Vitor Martins de Oliveira**. Doutorado: USP (2021). Pós-doutorado: IME-USP (2022-2025),
Universidade do Porto (2023)

Potenciais candidatos com estágios de pós-doutoramento **em andamento**

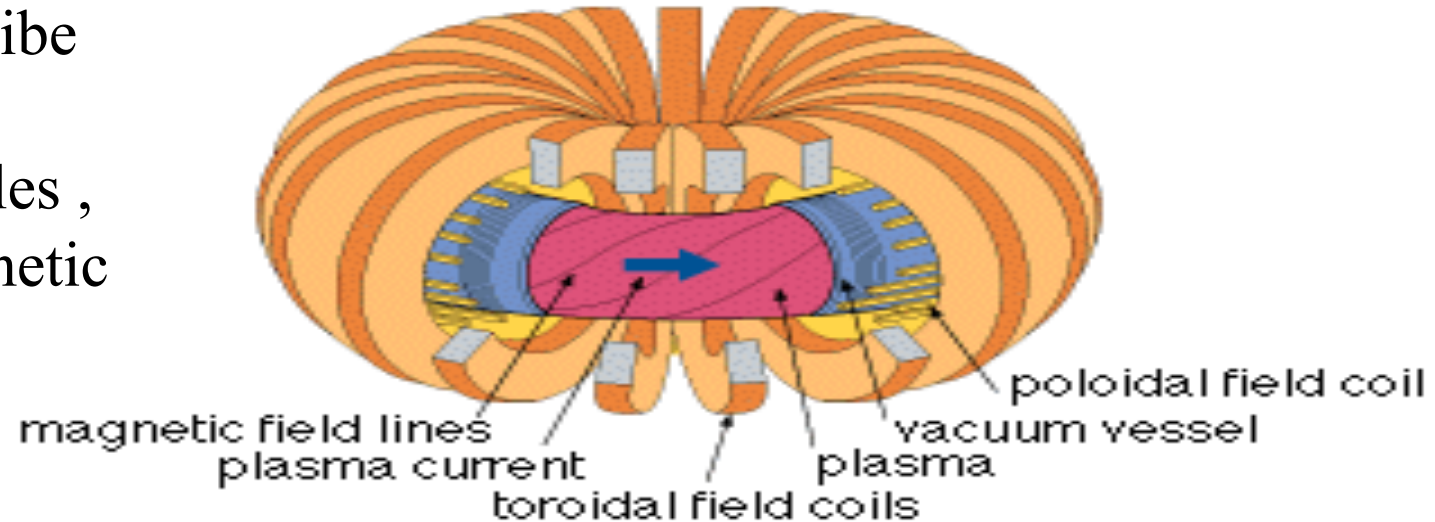
1. **Eduardo Brugnago**. Doutorado: UFPR (2021). Pós-doutorado: IFUSP (2021-2024)
2. Leonardo Sousa. Doutorado: UFPR. Pós-doutorado: USP (a partir de 2024)
3. **Michele Mugnaine**. Doutorado na UFPR (2021). Pós-doutorado: USP (a partir de 2024)
4. Rodrigo Barione. Doutorado: UNESP (2024). Pós-doutorado: USP (a partir de 2022)

Exemplo de Um a Linha de Pesquisa

- Descrição Hamiltoniana
- Sistemas Hamiltonianos quase-integráveis com dois graus de liberdade
- Distribuição de linhas no espaço de fases. Aplicação dos Teoremas de Poincaré-Birkhof, Kolmogorov-Arnold-Moser (KAM),Slater.
- Barreiras sem shear
- Siticknes
- Variedades
- Bifurcações e isócronas

Equilibrium Magnetic Field in Tokamaks

Field lines describe toroidal (ϕ) and poloidal (θ) angles, on toroidal magnetic surfaces.



Field line equation

$$\vec{B}_0 \times d\vec{l} = 0 \quad \rightarrow \quad \dot{q} = \frac{\partial H_0(J)}{\partial J}, \quad \dot{j} = - \frac{\partial H_0(J)}{\partial \vartheta}$$

Integrable Field

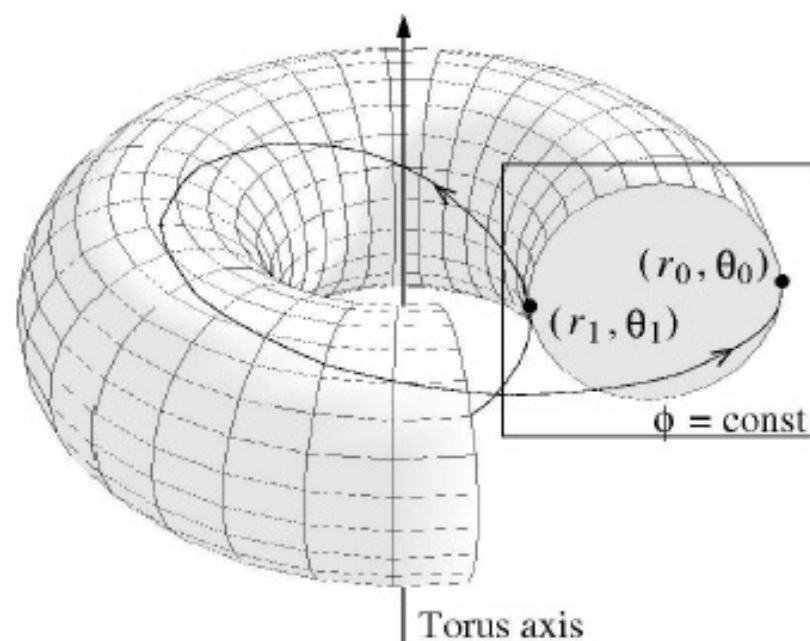
t (canonical time) $\equiv \phi$ (toroidal angle)

Magnetic field line map

- section at constant azimuthal angle
- (\mathcal{J}, θ) action-angle field line coordinates at the Poincaré section
- we integrate the canonical equations

$$\frac{d\mathcal{J}}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \theta}, \quad \frac{d\theta}{dt} = \frac{\partial H}{\partial \mathcal{J}}.$$

- obtaining a field line map
 $(\mathcal{J}_{n+1}, \theta_{n+1}) = \mathbf{F}(\mathcal{J}_n, \theta_n)$

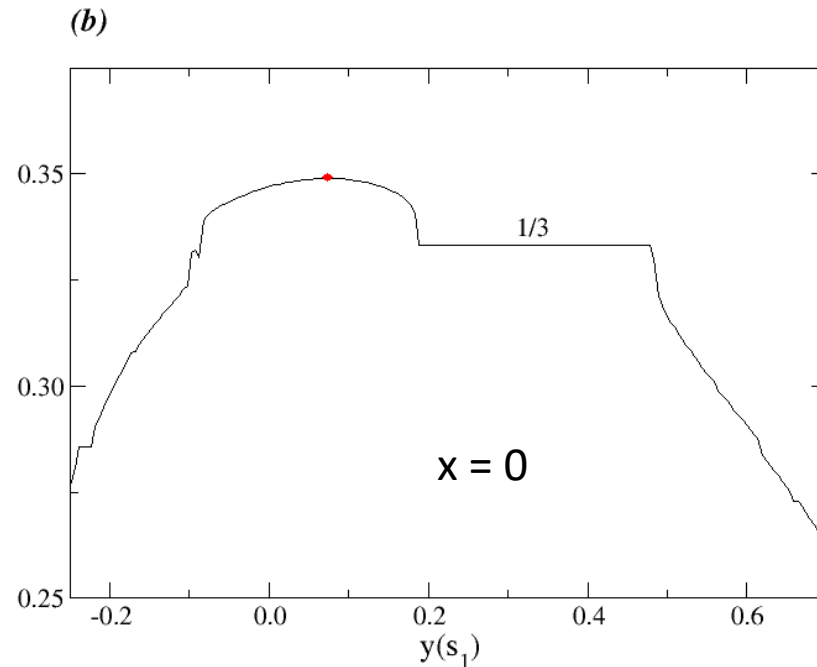
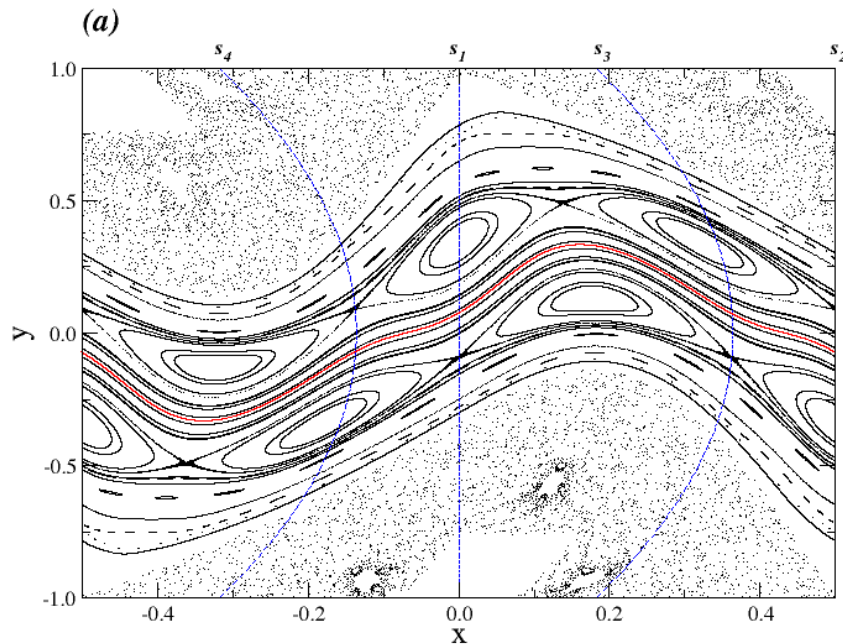


Non Twist Standard Map / Rotation Number

$$y_{n+1} = y_n + a(1 - x_{n+1}^2) \pmod{1}$$

$$x_{n+1} = x_n - b \sin(2\pi y_n)$$

$$\omega = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{x_{n+1} - x_0}{n}$$



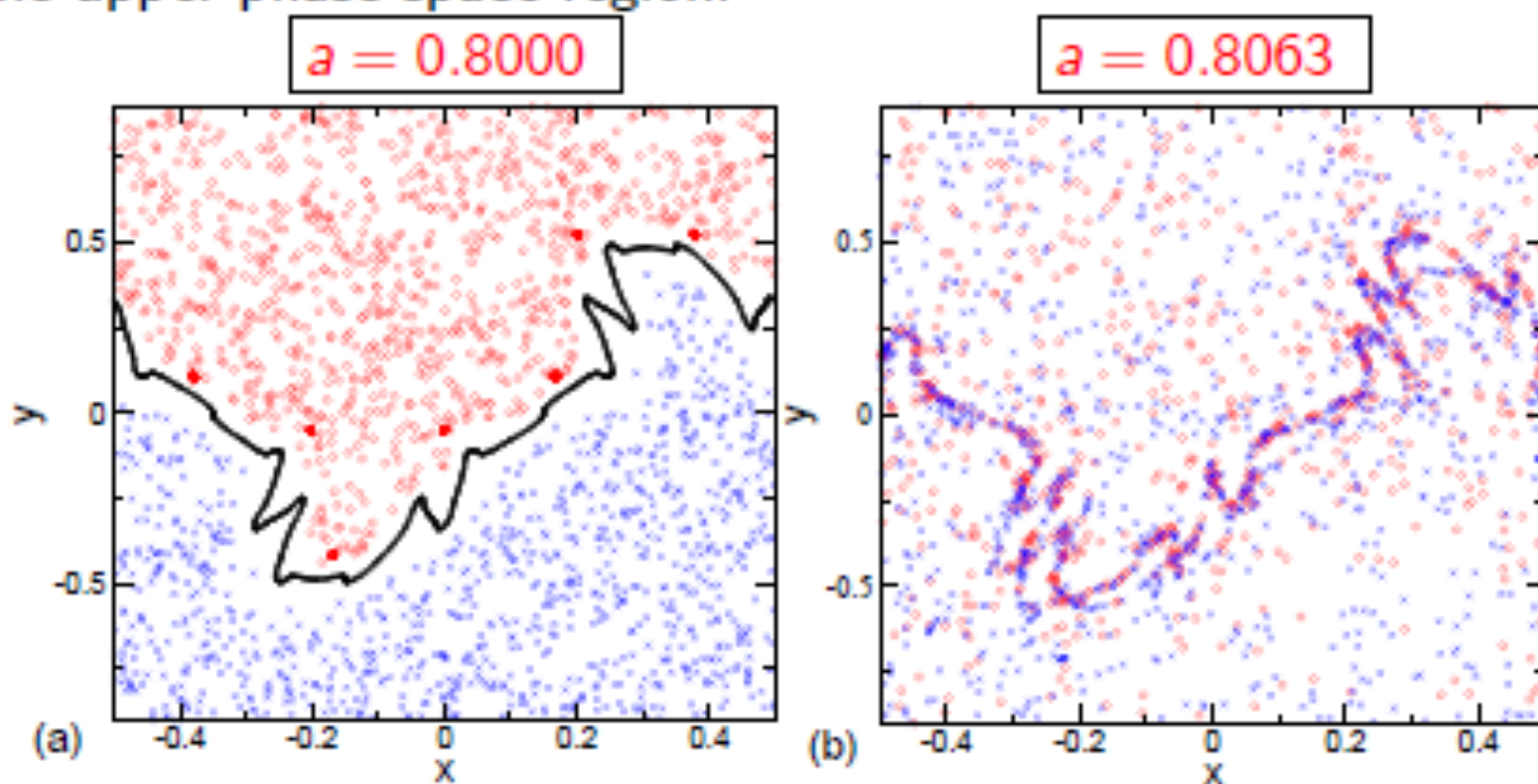
Twin Islands

$$a=0.3640; b=0.5232$$

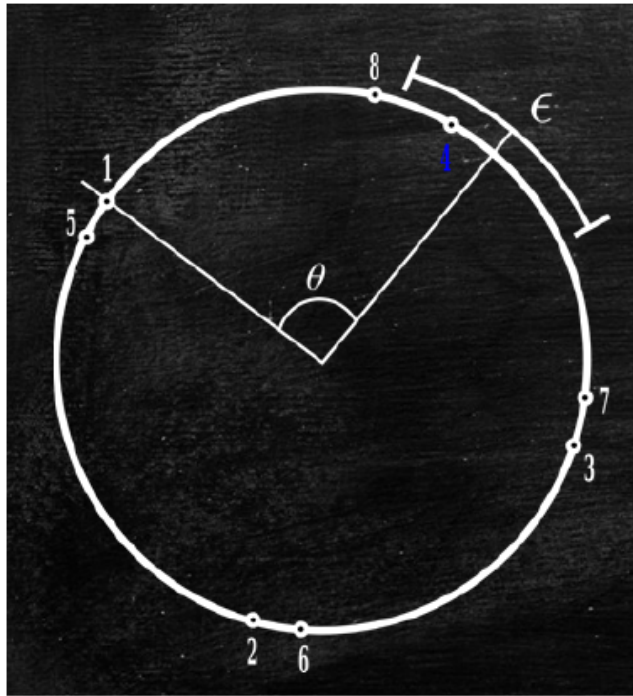
**Poincaré-Birkhof
KAM**

Break up of the barrier

Phase space for before and after the break up of the last invariant (Meander). The blue trajectories represent a initial condition starting in lower phase space region, and the red in the upper phase space region.



The Slater's Theorem



An irrational translation, θ , over an unity circle can take at most three different recurrence times to a connected interval of size $\epsilon < 1$.

$\sigma_1 \quad \sigma_2 \quad \sigma_3$

Irrational: continued fraction expansion

$$\sigma_i = [a_1, a_2, a_3, \dots, a_s, \dots] = \frac{1}{a_1 + \frac{1}{a_2 + \frac{1}{\dots + \frac{1}{a_s}}}} = \frac{P_s}{Q_s}$$

Parameter Space Fractal Critical Curve

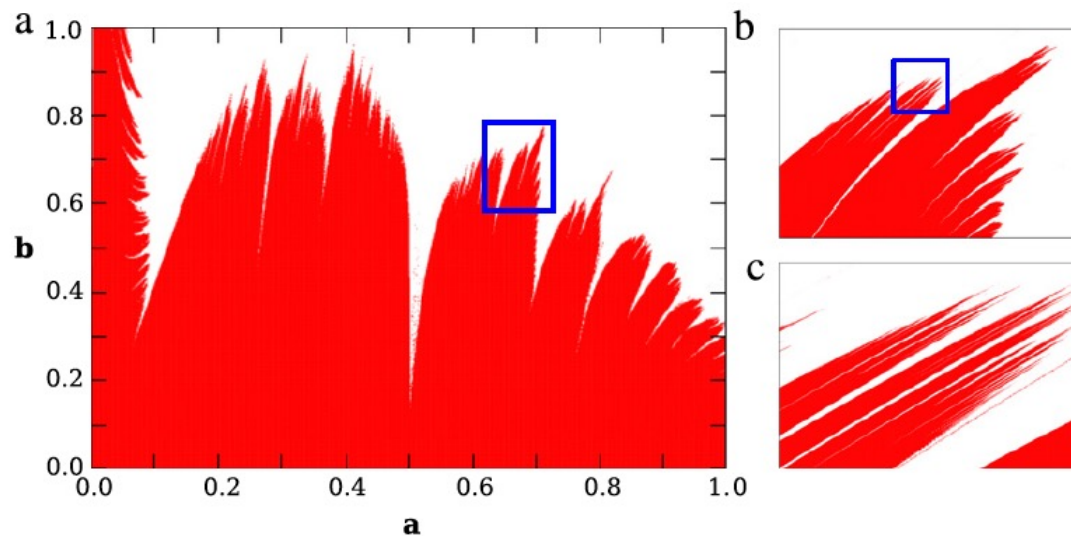


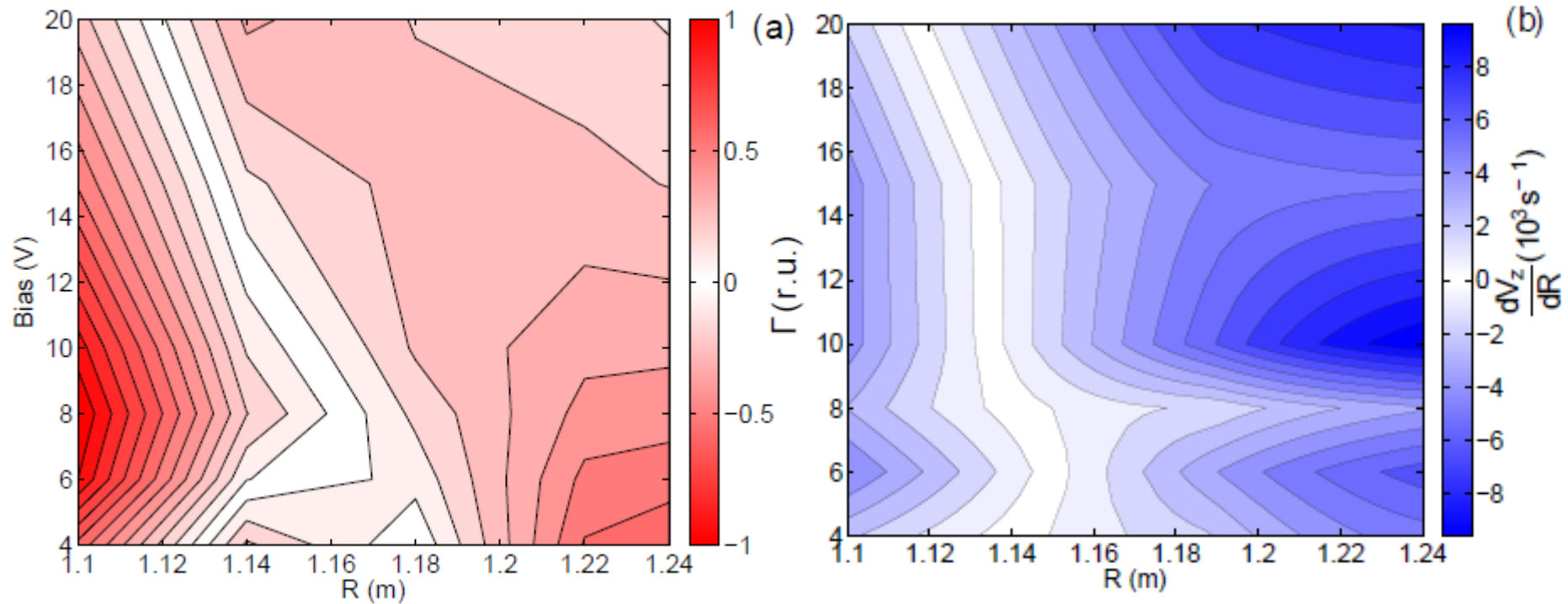
Fig. 2. Parameter space of SNM showing the breakup boundary for the central shearless curve. The red color indicates the set of parameters (a, b) in which the shearless curve exists in the phase space. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

Suited for large parameters set

Evidence of Shearless (Radial) Transport Barriers

Turbulence Driven
Particle Transport Profile
(changing Bias)

Plasma Flow Shear Profile
(changing bias)



Toufen et al. PoP (2012)

Temperature Distribution at Target Plates Experimental Evidences

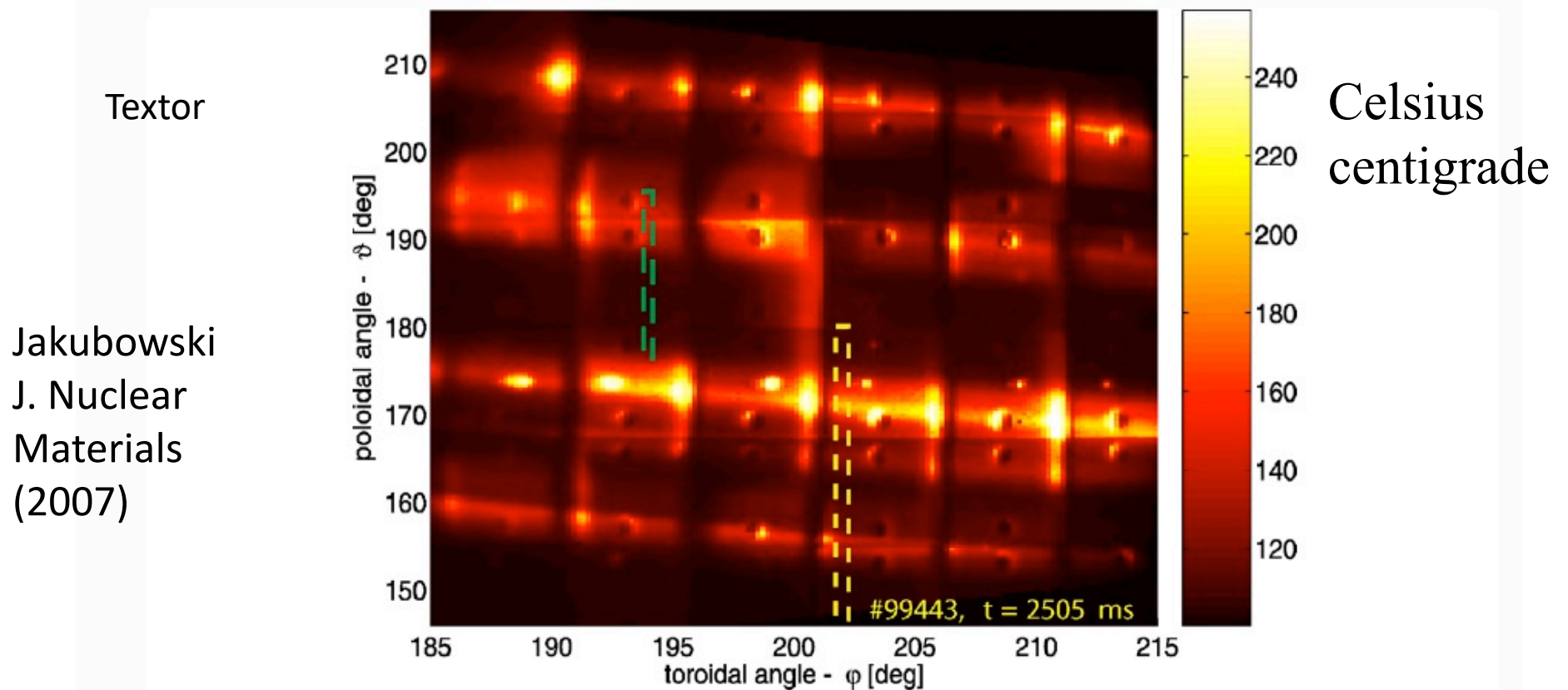
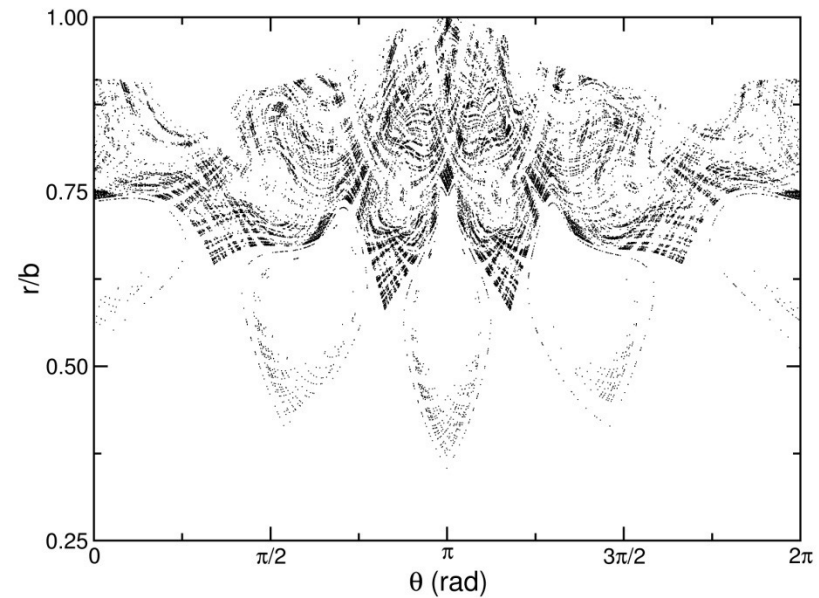


Fig. 1. The temperature distribution over the DED target plates in Celsius centigrade. The image of the curved and oblique surface is corrected with LEOPOLD [12], such that the tiles form a regular pattern. The yellow ($m/n = 6/2$) and green ($m/n = 12/4$) rectangles indicate the areas, where the heat flux density is evaluated with the THEODOR code.

These measurements give evaluation of heat flux

Connection Lengths for Field Lines

Heteroclinic tangle



Normalized radius x Poloidal angle

Kroetz et al., Physics of Plasmas 2008

5) Viabilidade da Execução de Projetos de Pesquisa

Infraestrutura computacional boa, composta por PCs e por um cluster, do Grupo de Controle de Oscilações, de alto desempenho.

Colaboração dos bolsistas que desenvolvem pesquisa com o atual grupo de Controle de Oscilações (4 IC, 3M, 9 D, 4 PD).

Rede de colaboradores no Brasil e no exterior