

Participarea Romaniei la EUROfusion WPAC (Advance Computing) si cercetari complementare

Pentru a avansa in continuare in intelegerea capacitatilor predictive ale modelarilor computerizate pentru instalatiile experimentale de fuziune, EUROfusion Theory si Coordonarea Simularilor Avansate (E-TASC) a stimulat o abordare moderna si avansata de calcul a cercetarilor in domeniul fuziunii. De acest lucru vor beneficia: modelarea dispozitivelor EUROfusion existente, experimentul international de fuziune ITER, dispozitivul comun de fuziune japonezo-european JT-60SA si proiectarea viitoarei centrale demonstrative de fuziune DEMO.

Proiect: Teorie, Simulare, Validare si Verificare (TSVV) – Modelarea evenimentelor MHD tranzitorii, WPAC-TSVV 8

Acesta este un proiect acceptat de Consortiul EUROfusion pentru finantare in perioada 01.01.2022-31.12.2023.

Director de proiect: Calin Atanasiu (INFLPR, calin.atanasiu@yahoo.com)

Instabilitatile de tip kink ce ating peretele tokamak (Wall Touching Kink Modes (WTKM)) sunt excitate in timpul evenimentelor de deplasare verticala ale plasmei tokamak (Vertical Displacement Events (VDE)) generand forte laterale mari asupra camerei de vid a instalatiei tokamak. Aceste forte sunt greu de contracarat in instalatiile tomakak mari, precum ITER sau DEMO. Intelegerea disruptiilor in plasma tokamak si prezicerea efectelor lor reclama simulari realiste ale curentilor excitati in structurile tridimensionale ale peretelui de catre plasma ce atinge acesti pereti.

S-a elaborat o formulare riguroasa a ecuatiilor ce descriu curentii de suprafata intr-un perete tokamak considerat, data fiind scala de timp in care au loc instabilitatile, ca limita unui perete subtire. In reprezentarea cu triunghiuri de element finit a peretelui tokamak, ambele componente ale curentilor, cea turbionara cu divergenta nula si cea source/sink (sursa/scurgere) cu divergenta potential finita sunt descrise cu acelasi model al unei densitati de curent uniforme in interiorul fiecarui triunghi. Acest model a fost implementat in codurile noastre SSC (curenti sursa-scurgere) si SHL (shell simulation code).

Cuplajul ecuatiilor matriceale de element finit pentru ambele tipuri de curenti contine acelasi termen matriceal al capacitatii mutuale a doua triunghiuri de element finit. Inductantele mutuale dintre curentii turbionari si curentii source/sink, precum si inductantele mutuale dintre curentii source/sink folosesc acelasi element matriceal capacitiv. Acest element comun a asigurat baza interfatarilor necesare codurilor SSC si SHL cu alte coduri similare, cum ar fi, de exemplu, STARWALL sau JOREK.

La cererea partenerilor nostri EUROfusion, codul nostru a capatat statutul de „open source license”, putand fi accesat de catre intreaga comunitate de fuziune din Europa. Recent, modelul nostru de calcul a fost implementat cu succes (in FORTRAN – al nostru fiind scris in C++) in codul JOREK-STARWALL, la Institutul Max-Planck pentru Fizica Plasmei din Garching, Germania.

Obiective:

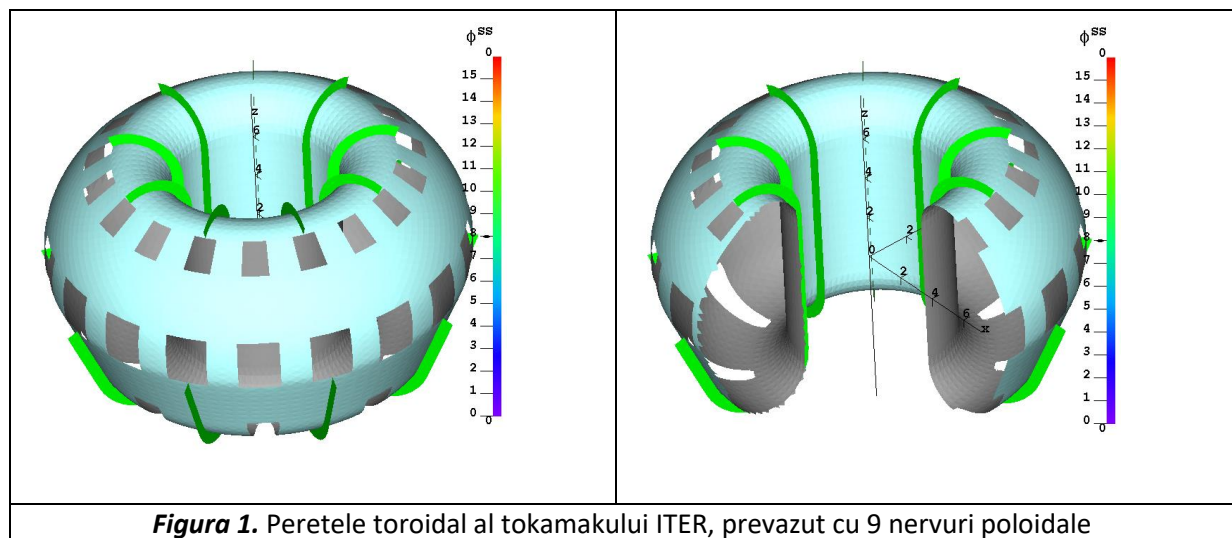
1. Adaptarea codului nostru SSEC (curenti sursa-scurgere-turbionari) la structurile 3D ale peretelui tokamak ce prezinta geometrii nesimetrice si, consistent cu aceste structuri, sa se determine conditiile de continuitate la linia de imbinare dintre o structura nesimetrica, de tip nervura, cu suprafata toroidala a peretelui tokamak.

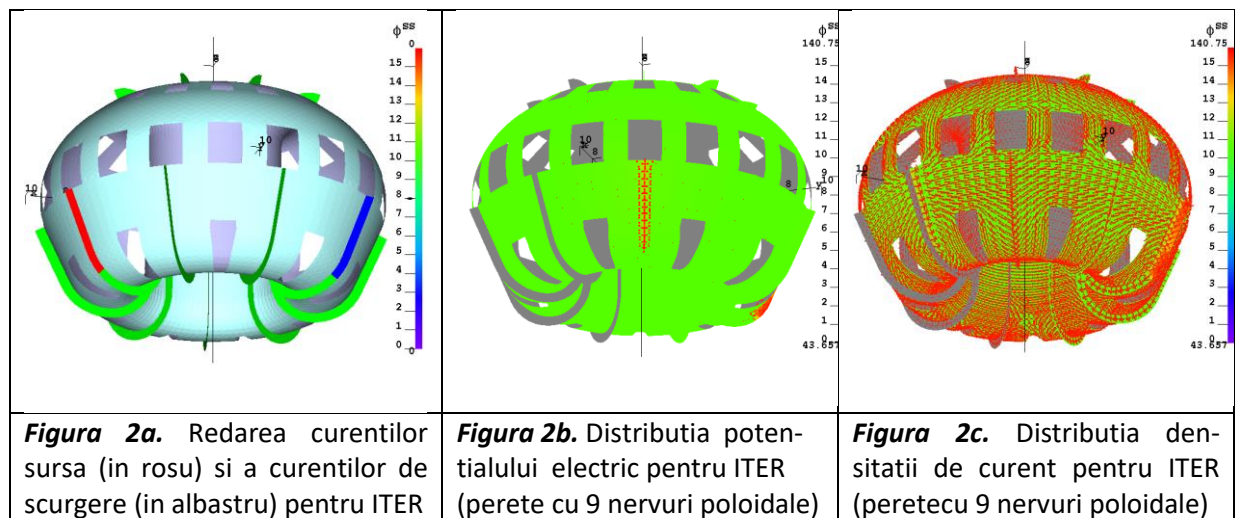
Simularile disruptiilor tokamak necesitand un model realist al structurilor conductoare 3D din jurul plasmei, am inclus in codurile noastre numerice pentru simularea a Evenimentelor de Deplasare Verticala (VDE) ale plasmei tokamak elemente de structuri conductoare 3D ale camerei de reactie tokamak in forma de nervura. Astfel:

- 1) am determinat conditiile de continuitate la imbinarea unui element de perete în forma de nervura cu suprafata peretelui toroidal;
- 2) am dedus modelul de triunghi de element finit pentru cele doua feluri de curenti din peretele tokamak cu nervuri;
- 3) am dedus reprezentarea unei functii liniare in interiorul unui triunghi de element finit in prezenta nervurilor din peretele tokamak;
- 4) am dedus principiul variational pentru curentii de tip sursa-scurgere-turbionari intr-un perete subtire prevazut cu un element in forma de nervura.

Rezultate obtinute

Am considerat geometria 3D nesimetrica a peretelui tokamakului ITER prevazut cu 9 nervuri poloidale (Fig.1). Folosind codul nostru de calcul SSC, in Fig. 2a-2c sunt prezentate rezultatele obtinute.





2. Deducerea unor cazuri test ce au solutii analitice pentru determinarea curentilor de suprafata de tip sursa-scurgere intr-un perete tokamak 3D.

Scopul acestui obiectiv a fost atat imbunatatirea cat si verificarea unor anumite metode de rezolvare numerica dezvoltate de noi mai devreme si de a propune noi abordari pentru simularea disruptiilor plasmei tokamak. Ideea in acest demers a fost verificarea simularilor noastre numerice pe cazuri rezolvabile analitic. Preocuparea noastra de baza a fost investigarea configuratiilor tokamak cu divertor.

Astfel,

- 1) S-a investigat un aspect special din configuratiile tokamak cu divertor: singularitatea generata de catre punctul X al separatricei; s-a dedus transformarea conforma ce elimina punctul X din curba separatricei; s-au aproximat curba separatrice si curbele interioare ei pentru un tokamak cu divertor;
- 2) S-a dezvoltat un algoritm de rezolvare numerica rapida a ecuatiei de difuzie ce descrie componenta cu divergenta nula a curentului din peretele tokamak;
- 3) S-au dezvoltat cazuri test analitice pentru verificarea rezolvarii numerice a distributiei curentilor din peretele tokamak;
- 4) S-au dezvoltat cazuri test analitice pentru a reduce influenta singularitatilor ce apar in domeniile multiplu conexe din peretele tokamak.

Rezultatele acestui proiect s-au obtinut in cadrul unei cooperari internationale de succes cu L.E. Zakharov (LiWFusion, Princeton, USA) si M. Hoelzl (Departamentul de Teorie al Institutului Max-Planck pentru Fizica Plasmei IPP, Garching, Germania).

Parteneri externi:

- 1) Departamentul LiWFusion, Princeton, US

- 2) Departamentul de Teorie al Institutului Max-Planck pentru Fizica Plasmei, Garching b. Munchen, Germania
- 3) Culham Science Center, Culham, UK

PUBLICATII

- [1] Hoelzl M, G.T.A. Huijsmans, S.J.P. Pamela, M. Becoulet, E. Nardon, F.J. Artola, B. Nkonga, Atanasiu C V, et al, *The JOREK non-linear extended MHD code and applications to large-scale instabilities and their control in magnetically confined fusion plasmas*, Nucl. Fusion **61**, 065001, 2021.
- [2] Atanasiu C V, Zakharov L E, Hoelzl M, S. Gerasimov, *A mathematical model for calculation of the influence of ferromagnetic components in Vertical Displacement Events and stability simulations of tokamak plasmas*, Journal of Physics: Conference Series **1730**, 012115, 2021.
- [3] Atanasiu C V, Zakharov L E, Xujing Li, *Simulation of disruptions triggered by Vertical Displacement Events (VDE) in tokamak and leading edge effect in plasma energy deposition to material surfaces*, Journal of Physics: Conference Series **1391** (2019) 012123.
- [4] Atanasiu C V, Zakharov L E, Lackner K, Hoelzl M, *Simulation of the electromagnetic wall response during Vertical Displacement Events (VDE) in ITER tokamak*, Journal of Physics: Conf. Series **1141** (2018) 012065.

CONFERINTE si WORKSHOP_URI

- [C1] Artola F J, Atanasiu C V, Hoelzl M, Huijsmans GTA, Lackner K, Mochalsky S, Oosterwegel G, Strumberger E and Zakharov L E, *Second intermediate report for ITER project IO/16/CT/4300001383 on the Implementation and validation of a model for halo-currents in the nonlinear MHD code JOREK and demonstration of 3-D VDEs simulations in ITER, Version 2*, March 5th 2018 (oral presentation).
- [C2] Atanasiu C V, Zakharov L E, Lackner K and Hoelzl M, *Simulation of the electromagnetic wall response during Vertical Displacement Events (VDE) in ITER tokamak*, 7th Int'l Conference on Mathematical Modeling in Physical Sciences August 27-31, 2018 Moscow, Russia (oral presentation).
- [C3] Atanasiu C V, Zakharov L E 2018, *Interfacing the electromagnetic wall response code with disruption simulation codes*, JOREK Meeting, 14.18.5.2018, Culham, Great Britain (oral presentation).
- [C4] Zakharov L E, Gerasimov S N, Atanasiu C V and Li X, *Inductive effects in disruptions (Hiro currents, forces, voltage spikes) and their simulation with VDE code*, 2018 JOREK Meeting, 14.18.5.2018, Culham, Great Britain (oral presentation).
- [C5] Atanasiu C V, Zakharov L E, Lackner K, Hoelzl M, *Electromagnetic model for simulations plasma wall-touching kink and vertical modes in ITER tokamak*, Int'l Conference on Plasma Physics and Applications - CPPA2019, Iasi, Romania, June 20-22, 2019 (oral presentation).
- [C6] Atanasiu C V, Zakharov L E, X. Li, *Simulation of disruptions triggered by Vertical Displacement Events in tokamak and leading edge effect in plasma energy deposition*, Int'l Conference on Mathematical Modelling in Physical Sciences, Bratislava, Slovakia, August 26-29, 2019 (oral presentation).

[C7] Atanasiu C V, Zakharov L E, Lackner K, Hoelzl M, Strumberger E, Li X, Steinbrecher G, Pometescu N, *Modelling of plasma Wall-Touching Kink and Vertical Modes in ITER*, IAP Euratom-Fusion Association Day, Bucharest, Romania, February 5, 2018 (oral presentation).

[C8] Atanasiu C V, Zakharov L E, Hoelzl M, *Simulation of plasma disruptions triggered by Vertical Displacement Events in ITER*, 19th International Conference on Plasma Physics and Applications, Magurele, Bucharest, Romania, August 31-September 3, 2021 (oral presentation).

[C9] Atanasiu C V, Zakharov L E, Hoelzl M, *A mathematical model for moving the non-linear term from a differential operator to the r.h.s. of the equations*, Annual Scientific Conference of the University of Bucharest, Romania, Faculty of Physics, June 18, 2021 (oral presentation).

[C10] Atanasiu C V, Zakharov L E, Hoelzl M, *Modelling of tokamak plasma disruptions triggered by Vertical Displacement Events*, The International Conference on Laser, Plasma and Radiation - Science and Technology, Bucharest, Romania, 7-10 June 2022 (oral presentation).

Persoana de contact: C. Atanasiu (calin.atanasiu@yahoo.com)