

Participarea Romaniei la EUROfusion WPTE-SA si cercetari complementare

Perioada desfasurare: 1 ianuarie 2022 – 30 septembrie 2024

Proiectul cumuleaza participarea cercetatorilor romani la pachetele de lucru EUROfusion TE (*Tokamak Exploitation*) si SA (*Preparation of exploitation of JT-60SA*).

WPTE cumuleaza campaniile experimentale, de modelare si analiza, desfasurate la instalatiile tokamak din Europa: JET (Culham, Marea Britanie), ASDEX-Upgrade (Garching, Germania), TCV (Lausanne, Elvetia), MAST-U (Culham, Marea Britanie) si WEST (Cadarache, Franta). WPSA cumuleaza activitatile de cercetari Europene la instalatia tokamak JT-60 de la Naka, Japonia.

Participarea cercetatorilor romani la aceste pachete de lucru are urmatoarele obiective:

- Dezvoltarea de metode de diagnostica a plasmei si utilizarea acestor metode in cursul campaniilor experimentale
- Dezvoltarea de modele ale evolutiei perturbatiilor de tip MHD
- Dezvoltarea de modele si realizarea de simulari numerice privind turbulenta fenomenelor de transport in plasma de fuziune

Metode de diagnostica a plasmei de fuziune

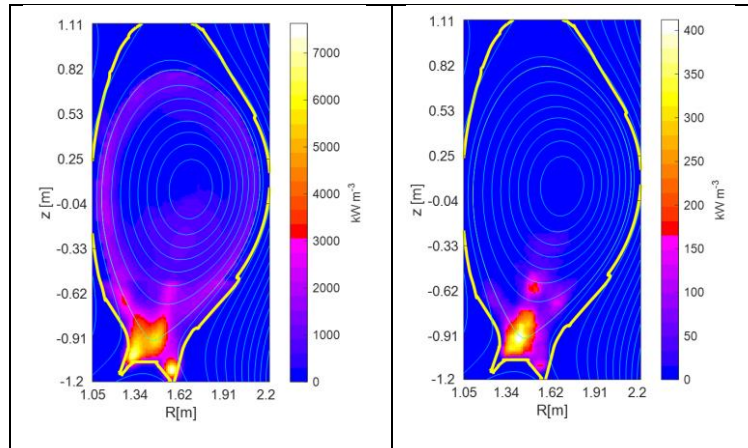
(persoana de contact: Teddy Craciunescu, INFLPR, teddy.craciunescu@inflpr.ro)

Dezvoltarea si aplicarea de metode de diagnostica a plasmei de fuziune cuprinde urmatoarele componente:

- metode de reconstructie a distributiilor 2D ale emisivitatii gama si neutronice in plasa de fuziune prin metode tomografice – cu aplicatii in special in fizica ionilor rapizi
- metode de reconstructie a distributiei 2D a puterii radiate (bolometrie)
- metode de identificare a non-stationaritatii plasmei de fuziune, a disruptiilor si de evaluare a eficientei tehnicilor de *pacing* a disruptiilor, bazate pe analiza seriilor temporale corespunzatoare unor semnale de diagnostica.

In cursul anului 2022 cercetatorii romani au participat la campaniile experimentale de la JET, ASDEX: campania experimentală C2, acoperind subiecte de cercetare relevante pentru misiunile 1 (regimuri de oprire a plasmei) si 2 (extragerea excesului de energie din plasma), campania de Helium in sisteme tokamak cu pereti metalici, ca support pentru pregatirea fazei pre-operationale a ITER, campania RT22, centrata pe prioritati ale ITER, DEMO. Pe tot parcursul anului 2022 s-a desfasurat si campania de analiza a datelor si modelare dedicate experimentelor din campania Deuteriu-Tritiu C41-DT, desfasurata in 2021. Campania de cleaning C42 s-a desfasurat tot in acest an, urmand imediat campaniei C41-DT.

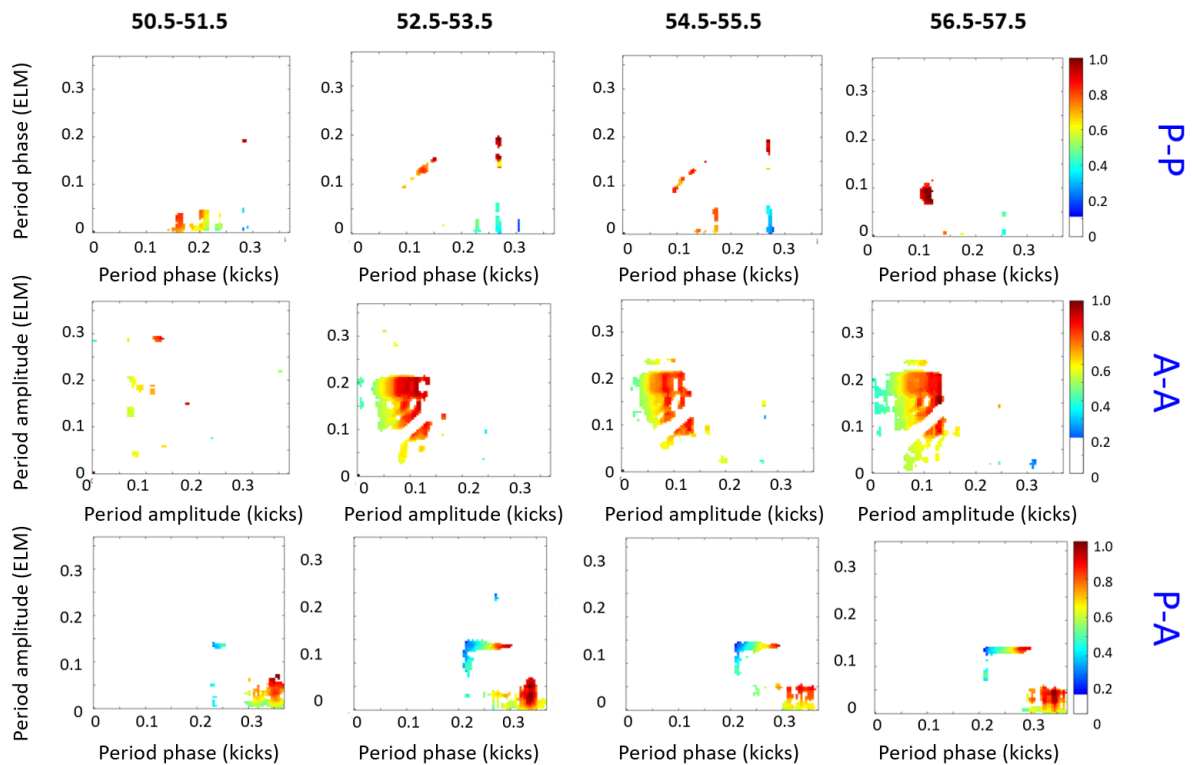
Au fost realizate analize de bolometrie si tomografie de neutroni/gama pentru 13 experimente, insumand analize pentru mai mult de 100 de descarcari. Pe langa aceasta, un effort semnificativ a fost dedicat dezvoltarii metodelor de diagnostic. In acest sens, principala activitate a fost implementarea metodei de reconstructie bolometrica bazata pe principiul '*maximum likelihood*' (ML) pentru sistemul de diagnostica de la instalatia tokamak ASDEX. De asemenea o noua implementare a algoritmului a permis o accelerare a vitezei de rulare cu un ordin de marime.



Reconstructie bolometrica pentru descarcarea AUG #33280 la $t=5.4s$ (experiment cu un scenariu de inalta emisie si injectie de Ar)

Controlul instabilitatilor macroscopice, ca de exemplu instabilitatile ELM si *sawtooth*, reprezinta un element esential pentru viitoarea generatie de instalatii tokamak si pentru demonstrarea capacitatii acestora de a produce energie in regim comercial. Diferite metode de *pacing* pentru controlul instabilitatilor au fost dezvoltate pentru diferite instalatii tokamak, insa multe detalii privind interactiunea elementului perturbator/stabilizator cu plasma sunt inca nedescifrate, in particular evaluarea contributiilor relative ale fazei si amplitudinii elementului stabilizator. A fost dezvoltata o metodologie dedicata evaluarii acestor contributii. Metodologia se bazeaza pe descompunerea *wavelet* a seriilor temporale obtinute de sistemele de diagnostic ce monitorizeaza evolutia elementului perturbator/stabilizator al procesului de *pacing* si respectiv instabilitatile plasmei, urmata de calculul unor indicatori informationali care evalueaza interactia. In speta, indicatorul utilizat este informatia mutuala conditionala, echivalenta cu entropia informationala, care poate detecta nu numai corelatiile statistice ci si influentele cauzale. Metoda cea mai flexibila de *pacing* a instabilitatilor de tip ELM, prin inducerea de oscilatii verticale ale plasmei (*vertical kicks*) a permis validarea experimentală a metodologiei dezvoltate. Metoda a fost apoi aplicata pentru experimente de *pacing* a instabilitatilor ELM prin injectia de pastile de deuteriu (*pellets*) si respectiv a instabilitatilor de tip *sawtooth* prin modulatii ICRH. Au fost utilizate date experimentale de la JET si ASDEX. Amplitudinea elementului perturbator/stabilizator are influenta preponderanta, dar a fost pusa in evidenta si existenta unui cuplaj al fazelor, ceea ce lasa loc pentru optimizarea suplimentara a procesului de *pacing*. Ajustarea fazei in experimentele de *pacing* ar diminua aportul densitatii si puterii ICRH, lasand o mai mare marja de libertate pentru alte metode de control al stabilitatii plasmei. Metodologia dezvoltata poate fi utila, pe de o parte, la o mai buna interpretare fizica a experimentelor de *pacing*, iar, pe de alta parte, din perspectiva operationala, la dezvoltarea de scenarii relevante, asa cum este exemplificat pentru cazul

experimentelor de pacing al instabilitatilor ELM prin injectia de *pellet*-uri, desfasurate in pregatirea campaniei DT (deuteriu-tritiu) de la JET.



Diagrame ale cuplajului amplitudine/faza pentru un experiment de pacing al instabilitatilor ELM prin inducerea de oscilatii verticale ale plasmei (vertical kicks): faza-faza (P-P, prima linie), amplitudine-amplitudine (A-A, a doua linie) si faza-amplitudine (P-A, a treia linie), pentru patru intervale temporale: [50.5-51.5]s, [52.5-53.5]s, [54.5-55.5]s, [56.5-57.5]s. Diagramele sunt reprezentate cu perioada seriei temporale master (evolutia kicks) pe axa X si respective perioada seriei temporale 'slave' (ELMs) pe axa Y. Perioadele sunt masurate in secunde. In diagrame sunt reprezentate elementele cu un nivel de semnificatie statistica de peste 99% (evaluare realizata utilizand 50 serii temporale surogat).

A fost dezvoltata si o noua metodologie de analiza a sincronizarii in experimentele de pacing a instabilitatilor de tip sawtooth prin modulatii ale frecventei ICRH. Metodologia se bazeaza pe utilizarea diagramelor de recurenta, complementar cu metoda informational de transfer conditinal al entropiei. Analizele bazate pe aceasta metodologie au evidentiat efectul *pacing*-ului asupra populatiei de ioni rapizi, majoritari si minoritari, in plasma aflata in regim H.

Articole

- [1] T. Craciunescu, E. Peluso, A. Murari, M. Bernert, M. Gelfusa, R. Rossi, L. Spolladore2, I. Wyss, P. David, S. Henderson, O. Fevrier, Maximum likelihood bolometry for ASDEX Upgrade Experiments, submitted to NIMA.

- [2] Peluso, E., Gelfusa, M., Craciunescu, T., Martellucci, L., Gaudio, P., Carvalho, P., Murari, A., Dealing with artefacts in JET iterative bolometric tomography using masks, (2022) PPCF 64 (4), art. no. 045013. DOI: 10.1088/1361-6587/ac4854.
- [3] Kiptily, V.G., Kazakov, Y.O., Nocente, M., Ongena, J., Belli, F., Dreval, M., Craciunescu, T., Eriksson, J., Fitzgerald, M., Giacomelli, L., Goloborodko, V., Iliasova, M.V., Khilkevitch, E.M., Rigamonti, D., Sahlberg, A., Salewski, M., Shevelev, A.E., Garcia, J., Oliver, H.J.C., Sharapov, S.E., Stancar, Z., Weisen, H., Excitation of Alfvén eigenmodes by fusion-born alpha-particles in D-3He plasmas on JET, (2022) PPCF 64 (6), art. no. 064001. DOI: 10.1088/1361-6587/ac5d9e.
- [4] Ruiz, M., Nieto, J., Costa, V., Craciunescu, T., Peluso, E., Vega, J., Murari, A., Acceleration of an Algorithm Based on the Maximum Likelihood Bolometric Tomography for the Determination of Uncertainties in the Radiation Emission on JET Using Heterogeneous Platforms, (2022) Appl. Sci. 12 (13), art. no. 6798. DOI: 10.3390/app12136798
- [5] Peluso, E., Murari, A., Craciunescu, T., Lerche, E., Gaudio, P., Gelfusa, M., Gallart, D., Taylor, D., Conditional recurrence plots for the investigation of sawteeth pacing with RF modulation, (2022) PPCF 64 (8), art. no. 084002. DOI: 10.1088/1361-6587/ac757c
- [6] Nocente, M., Kiptily, V., Tardocchi, M., Bonofiglio, P.J., Craciunescu, T., Molin, A.D., De La Luna, E., Eriksson, J., Garcia, J., Ghani, Z., Gorini, G., Hägg, L., Kazakov, Y., Lerche, E., Maggi, C.F., Mantica, P., Marcer, G., Maslov, M., Putignano, O., Rigamonti, D., Salewski, M., Sharapov, S., Siren, P., Stancar, Z., Zohar, A., Beaumont, P., Crombe, K., Ericsson, G., Garcia-Munoz, M., Keeling, D., King, D., Kirov, K., Nave, M.F.F., Ongena, J., Patel, A., Perez Von Thun, C., Fusion product measurements by nuclear diagnostics in the Joint European Torus deuterium-tritium 2 campaign, (2022) Rev. Sci. Instrum. 93 (9), art. no. 093520. DOI: 10.1063/5.0101767
- [7] Rigamonti, D., Dal Molin, A., Gorini, G., Marcer, G., Nocente, M., Rebai, M., Craciunescu, T., Ghani, Z., Kiptily, V., Maslov, M., Shevelev, A., Zohar, A., Tardocchi, M., Role of neutron attenuators for gamma-ray measurements in deuterium-tritium magnetic confinement plasmas, (2022) Rev. Sci. Instrum. 93 (9), art. no. 093515. DOI: 10.1063/5.0101783
- [8] Solano, E.R., Delabie, E., Birkenmeier, G., Silva, C., Hillesheim, J.C., Vincenzi, P., Nielsen, A.H., Rasmussen, J.J., Bacierio, A., Aleiferis, S., Balboa, I., Boboc, A., Bourdelle, C., Carvalho, I.S., Carvalho, P., Chernyshova, M., Coelho, R., Craciunescu, T., Dumont, R., Dumortier, P., Luna, E.D.L., Flanagan, J., Fontana, M., Fontdecaba, J.M., Frassinetti, L., Gallart, D., Garcia, J., Giovannozzi, E., Giroud, C., Gromelski, W., Henriques, R., Horvath, L., Jacquet, P., Jepu, I., Kappatou, A., Keeling, D.L., King, D., Kowalska-Strzëciwilk, E., Lennholm, M., Lerche, E., Litherland-Smith, E., Kiptily, V., Kirov, K., Loarte, A., Lomanowski, B., Maggi, C.F., Mantsinen, M.J., Manzanares, A., Maslov, M., Meigs, A.G., Monakhov, I., Morales, R.B., Nina, D., Noble, C., Parail, V., Diaz, F.P., Pawelec, E., Pucella, G., Réfy, D., Righi-Steele, E., Rimini, F.G., Robinson, T., Saarela, S., Sertoli, M., Shaw, A., Silburn, S., Sirén, P., Štancar, Å., Sun, H., Szepesi, G., Taylor, D., Tholerus, E., Vartanian, S., Verdoolaege, G., Viola, B., Weisen, H., Wilson, T., Recent progress in L-H transition studies at JET: Tritium, helium, hydrogen and deuterium, (2022) Nucl. Fusion 62 (7), art. no. 076026. DOI: 10.1088/1741-4326/ac4ed8.
- [9] Zohar, A., Nocente, M., Kos, B., Štancar, Å., Rebai, M., Rigamonti, D., Craciunescu, T., Gorelenkova, M., Kazakov, Y.O., Kiptily, V.G., Snoj, L., Tardocchi, M., Lengár, I., Validation of realistic Monte Carlo plasma gamma-ray source on JET discharges, (2022) Nucl. Fusion 62 (6), art. no. 066004. DOI: 10.1088/1741-4326/ac50c0.
- [10] Iliasova, M., Shevelev, A., Khilkevich, E., Kazakov, Y., Kiptily, V., Nocente, M., Giacomelli, L., Craciunescu, T., Stancar, Z., Molin, A.D., Rigamonti, D., Tardocchi, M., Doinikov, D., Gorini, G., Naidenov, V., Polunovsky, I., Gin, D., Gamma-ray measurements in D3He fusion plasma experiments on JET, (2022) NIMA 1031, art. no. 166586. DOI: 10.1016/j.nima.2022.166586.
- [11] Dreval, M., Sharapov, S.E., Kazakov, Y.O., Ongena, J., Nocente, M., Calado, R., Coelho, R., Ferreira, J., Figueiredo, A., Fitzgerald, M., Garcia, J., Giroud, C., Hawkes, N.C., Kiptily, V.G., Nabais, F., Nave, M.F.F., Weisen, H., Craciunescu, T., Salewski, M., Štancar, Å., Alfvén cascade eigenmodes above the TAE-frequency

and localization of Alfvén modes in D-3He plasmas on JET, (2022) Nucl. Fusion 62 (5), art. no. 056001. DOI: 10.1088/1741-4326/ac45a4.

Conferinte

- [1] C. Giroud, R.A. Pitts, I.S. Carvalho, E. Kaveeva, V. Rozhansky, S. Brezinsek, A. Huber, J. Mailloux, D. Keeling, M. Marin, M. Tómes, I. Veselova, E. Lerche, E. Pawelec, J. Hillesheim, D. Kos, B. Viola, P. Carvalho, S. Aleiferis, H.J. Sun, R. Henriques, S. Henderson, M. Maslov, M. Brix, D. Refy, I. Coffey, J.M. Fontdecaba, L. Horvath, I. Jépu, J. Karhunen, E. Litherland-Smith, A. Meigs, R.B. Morales, T. Pereira, D. Refy, Z. Stancar, M. Sertoli, L. Garzotti, S. Silburn, G. Szepesi, A. Thorman, S. Wiesen, K. Lawson, V. Parail, T. Craciunescu, E. Peluso, G. Pucella, P., Puglia, Alex Tookey, Shane Scully, E. Viezzer, *High performance Ne-seeded baseline scenario in JET-ILW in support of ITER*, 48th EPS Conference on Plasma Physics (EPS), Maastricht, Netherlands, June 27th – July 1st 2022. (invited)
- [2] M. Dreval, S.E. Sharapov, Ye.O. Kazakov, J. Ongena, M. Nocente, R. Calado, R. Coelho, J. Ferreira, A. Figueiredo, M. Fitzgerald, J. Garcia, C. Giroud, N.C. Hawkes, V.G. Kiptily, F. Nabais, M.F.F. Nave, H. Weisen, T. Craciunescu, M. Salewski, Ž. Štancar, Alfvén cascade eigenmodes above the TAE-frequency and localization of Alfvén modes in D-3He plasmas on JET, 48th EPS Conference on Plasma Physics (EPS), Maastricht, Netherlands, June 27th – July 1st 2022. (oral)
- [3] Ye.O. Kazakov, M. Nocente, J. Garcia, V.G. Kiptily, J. Ongena, R. Coelho, T. Craciunescu, E. Delabie, E. de la Luna, M. Dreval, R. Dumont, S.E. Sharapov, M. Schneider, P. Siren, Ž. Štancar, H. Weisen, Fast-ion studies with three-ion ICRF scenarios in non-active JET plasmas, 48th EPS Conference on Plasma Physics (EPS), Maastricht, Netherlands, June 27th – July 1st 2022. (poster)
- [4] G. Kocsis, A. Cathey, G. Cseh, T. Craciunescu, S. Futatani, M. Hoelzl, G.T.A. Huijsmans, P.T. Lang, T. Szepesi, Analysis of pellet ELM triggering potential in different ASDEX Upgrade plasma scenarios, 48th EPS Conference on Plasma Physics (EPS), Maastricht, Netherlands, June 27th – July 1st 2022. (poster)
- [5] Ye.O. Kazakov, J. Ongena, V. Bobkov, J. Garcia, M. Nocente, S. Wukitch, J.C. Wright, V.G. Kiptily, M.J. Mantsinen, M. Schneider, H. Weisen, R. Bilato, M. Dreval, A. Kappatou, K.K. Kirov, S. Mazzi, R. Ochoukov, S.E. Sharapov, Ž. Štancar, Y. Baranov, M. Baruzzo, A. Bierwage, A. Chomiczewska, R. Coelho, T. Craciunescu, K. Crombé, E. Delabie, R. Dumont, P. Dumortier, F. Durodié, J. Eriksson, M. Fitzgerald, J. Galdon-Quiroga, D. Gallart, M. Garcia-Munoz, L. Giacomelli, C. Giroud, J. Gonzalez-Martin, A. Hakola, R. Henriques, P. Jacquet, I. Jépu, T. Johnson, D. Keeling, D. King, C. Klepper, P. Lamalle, Ph. Lauber, M. Lennholm, E. Lerche, B. Lomanowski, C. Lowry, M. Maslov, S. Menmuir, I. Monakhov, F. Nabais, M.F.F. Nave, C. Noble, E. Panontin, S.D. Pinches, U. Plank, A.R. Polevoi, F. Poli, D. Rigamonti, A. Sahlberg, M. Salewski, P.A. Schneider, H. Sheikh, K. Shinohara, P. Siren, S. Sumida, A. Teplukhina, A. Thorman, A. Tinguely, D. Valcarcel, M. Van Schoor, J. Varje, M. Weiland, N. Wendler, Progress with Applications of Three-Ion ICRF Scenarios for Fusion Research: a Review, 24th Topical Conference on Radio-frequency Power in Plasmas, Annapolis, Maryland (USA), 26-29 Sept. 2022. (oral)
- [6] Ye.O. Kazakov, M. Nocente, J. Garcia, V.G. Kiptily, J. Ongena, R. Coelho, T. Craciunescu, A. Dal Molin, E. Delabie, E. de la Luna, M. Dreval, R. Dumont, G. Marcer, D. Rigamonti, S.E. Sharapov, M. Schneider, P. Siren, Ž. Štancar, H.J. Sun, M. Tardocchi, H. Weisen, Energetic ion experiments with three-ion ICRF scenarios in non-active plasmas at JET, Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (APS), Spokane, USA, 17-21 Oct. 2022. (poster)
- [7] Ye.O. Kazakov, J. Garcia, J. Ongena, M. Dreval, V.G. Kiptily, S. Mazzi, M. Nocente, S.E. Sharapov, Ž. Štancar, A. Bierwage, R. Coelho, T. Craciunescu, J. Eriksson, M. Fitzgerald, A. Sahlberg, M. Salewski, G. Szepesi, H. Weisen, Fast ions as a tool for plasma control and enhanced performance on JET, Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (APS), Spokane, USA, 17-21 Oct. 2022. (oral)

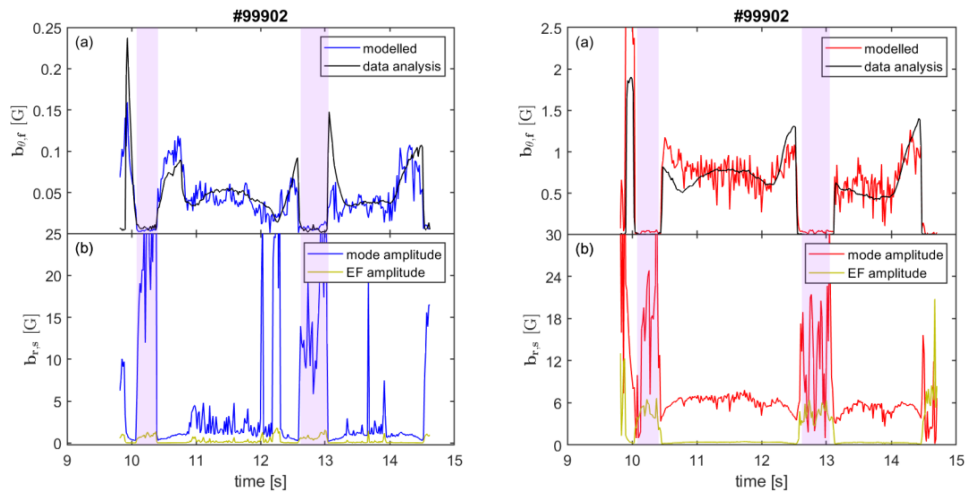
- [8] E. Peluso, A. Murari, T. Craciunescu, P. Gaudio, P. Carvalho, M. Gelfusa, P. Mantica, K. Kirov, E. Lerche, C. Maggi, J. Garcia, P. Siren, First order correction of local gas puffing effects on Bolometric Maximum Likelihood Tomography on JET, 32nd Symposium on Fusion Technology (SOFT2022), Dubrovnik, Croatia, 18-23 September 2022. (poster)
- [9] M. Nocente, V. Kiptily, M. Tardocchi, P.J. Bonfiglio, T. Craciunescu, A. Dal Molin, E. De La Luna, J. Eriksson, J. Garcia, Z. Ghani, G. Gorini, L. Hagg, Y. Kazakov, E. Lerche, C.F. Maggi, P. Mantica, G. Marcer, M. Maslov, O. Putignano, D. Rigamonti, M. Salewski, S. Sharapov, P. Siren, Z. Stancar, A. Zohar, P. Beaumont, K. Crombe, G. Ericsson, M. Garcia-Munoz, D. Keeling, D. King, K. Kirov, M. F. F. Nave J. Ongena, A. Patel, C. Perez von Thun, Fusion products and fast ion diagnostics in JET DTE2 campaign, 6th International Conference Frontiers in Diagnostic Technologies (ICFDT6), Frascati, Italy, 19-21 Oct. 2022. (oral)
- [10] P. J. Bonfiglio, V. G. Kiptily, M. Nocente, M. Podestà, Ž. Štancar, M. Poradzinski, V. Goloborodko, S. E. Sharapov, M. Fitzgerald, R. Dumont, J. Garcia, D. Keeling, D. Frigione, L. Garzotti, F. G. Rimini, D. Van Eester, H. J. C. Oliver, T. Craciunescu, R. B. Henriques, J. C. Hillesheim, E. de la Luna, K. K. Kirov, A. Patel, L. Horvath, M. Baruzzo, C. Reux, I. H. Coffey, First-Orbit and MHD Induced Alpha Losses in JET DT Plasmas, 28th ITPA Topical Group Meeting on Energetic Particle Physics, Caradache, France, 21-25 Nov. 2022. (oral)

Modelarea evolutie perturbatiilor MHD pe baza datelor de diagnostica a plasmei

(Persoane de contact: Iulian Gabriel Miron, INFLPR, igmiron@infim.ro)

În ceea ce privește contribuția științifică legată de echilibrul și perturbatiile de la starea de echilibru a plasmelor tokamak, a fost construit un model teoretic, dinamic, self-consistent, interpretativ, capabil să ofere rezultate care se suprapun cu suficientă acuratețe peste rezultatele experimentale. Testarea acestuia privitoare la plierea teoretică versus experimentală a dinamicii amplitudinii și frecvenței perturbatiilor din plasma a avut loc pentru descărcări în toate instalațiile tokamak ce participă la proiectul WPTE-SA: JET, Asdex-Upgrade și TCV. Bazându-ne pe validitatea structurală a modelului de mai sus, a fost posibilă deducerea unor perturbatii cautate, perturbatii inerente instalațiilor tokamak, așa-numitele perturbatii de câmp magnetic-eroare, generate de alinierea imperfectă a bobinelor de putere de inducție ale instalațiilor. Câmpurile eroare au fost introduse în model iar acesta din urmă a fost inversat. Perturbatiile din plasma au preluat rolul de date de intrare, soluțiile cautate devenind câmpurile magnetice eroare. Modelul inițial, direct, fiind dinamic, modelul inversat va fi, la rândul său, dinamic. Câmpurile eroare practic satisfac aceleași ecuații exterioare plasmei, cele în vid, în pereții rezistivi exterior plasmei și în structurile externe rezistive, cum ar fi sistemele de spire receptoare sau de feedback ale instalației. În mod evident, câmpurile eroare nu satisfac ecuațiile plasmei. În final a fost obținută o relație clară și explicită pentru amplitudinea câmpurilor magnetice eroare ce a fost aplicată pentru diverse descărcări în plasma de la instalațiile JET și TCV. S-a demonstrat că ori de câte ori câmpurile magnetice eroare sunt responsabile pentru efectele de blocare a perturbatiilor în plasma (mode locking), câmpurile eroare calculate prezintă comportamentul disruptiv rezonant cu perturbatiile în plasma, așa cum s-a observat experimental, pentru diverse descărcări în plasma [1]. Atunci când câmpul magnetic eroare nu este responsabil de fenomenul

mentionat, amplitudinea calculata a acestuia e redusa, asa cum ar trebui sa fie. Un exemplu este prezentat in figura de mai jos.



Cazul descarcarii nr. 99902 in JET: in stanga e reprezentata dinamica perturbatiei 3/2 si anume (a) amplitudinea perturbatiei de camp magnetic poloidal masurata la nivelul spirelor sistemului de diagnostica a plasmei, calculata folosind modelul nostru versus cea experimentală, furnizata de catre sistemul de analiza de date si (b) amplitudinea perturbatiei de camp magnetic radial calculata la nivelul suprafetei de camp magnetic aferente si campul magnetic-eroare calculat. In dreapta sunt reprezentate aceleasi marimi pentru cazul perturbatiei 2/1. In figurile (a) e vizualizata clar suprapunerea buna dintre marimile calculate si cele experimentale astfel incat sa modelul nostru sa fie considerat valid spre a putea fi folosit pentru calculul campurilor eroare. In figurile (b) disruptia perturbatiei in anumite intervale de timp e insotita de cresterea campurilor magnetice eroare doar pentru cazul perturbatiei 2/1, in cazul 3/2 campul eroare fiind mic. Putem afirma ca marimea campului magnetic eroare e responsabila de disruptia perturbatiei in plasma via rezonanta in cazul 2/1, nu si in cazul 3/2, aceasta observatie fiind confirmata si experimental.

Folosindu-ne de modelul teoretic pe care l-am construit, am deschis o alta directie de cercetare, cea a localizarii perturbatiilor din plasma tokamak. Localizarea perturbatiilor e importanta in special pentru corectia sau validarea profilurilor factorului de siguranta al plasmei. Am oferit o noua metoda teoretica de determinare a localizarii perturbatiilor in JET. Pornind de la plierea rezultatelor teoretice obtinute aplicand modelul nostru peste rezultatele experimentale, modelul nostru e capabil de a calcula distanta radiala a suprafetei de camp magnetic de echilibru la nivelul careia perturbatia cautata se dezvolta. Daca datele diagnosticii de schimb de sarcina si recombinaie (CXRS) sunt disponibile, pe langa compararea teoretic versus experimental a amplitudinilor perturbatiei, pot fi comparate si frecventele acestora din urma astfel incat plierea rezultatelor si in aceste caz duce la o crestere a increderii in validitatea modelului pe care-l folosim. Pentru a testa si mai mult modelul nostru, distanta radiala calculata va fi comparata cu distanta oferita de diagnostica de date experimentale pentru cazul descincarilor pentru care chiar e disponibila aceasta din urma, doar pentru a testa acuratetea modelului ce urmeaza ulterior a fi folosit in cazul descincarilor pentru care perturbatiile sunt nelocalizate. Metoda e importanta in special atunci cand datele CXRS nu sunt disponibile si cand diagnostica de emisie ciclotronica a electronilor (ECE) nu poate determina pozitia perturbatiilor. In mod specific, metoda e foarte utila pentru cazurile descincarilor ce prezinta perturbatii blocate (locked modes) in conditiile in care diagnostica CXRS lipseste iar distanta radiala a perturbatiei sufera o cadere abrupta cat timp aceasta e blocata. Metoda noastra a fost verificata si testata intensiv astfel incat sa devina o alternativa valida la tehnicile uzuale folosite pentru localizarea perturbatiilor.

În concluzie modelul teoretic pe care l-am construit se dovedește a fi nu doar un instrument interpretativ de verificare a dinamicii descărcărilor perturbative în plasma tokamak ci și generatorul unor direcții noi teoretice de cercetare finalizate cu metode sau instrumente noi ce pot substitui sau valida pe cele existente.

Articole:

[1] I.G. Miron, *Dynamic error fields derivation by inverting a validated interpretative perturbations model*, uploaded on EUROfusion Pinboard, 33382.

Conferințe:

[1] G. Miron, *Dynamic error fields derivation by inverting a validated interpretative perturbations model*, P2a.104, 48th EPS Conference on Plasma Physics, Maastricht, Netherlands, 27 June-1 July 2022.

Dezvoltarea de modele de transport și coduri numerice asociate pentru impurități și particule rapide. Simulări numerice extinse pentru comparare cu date experimentale.

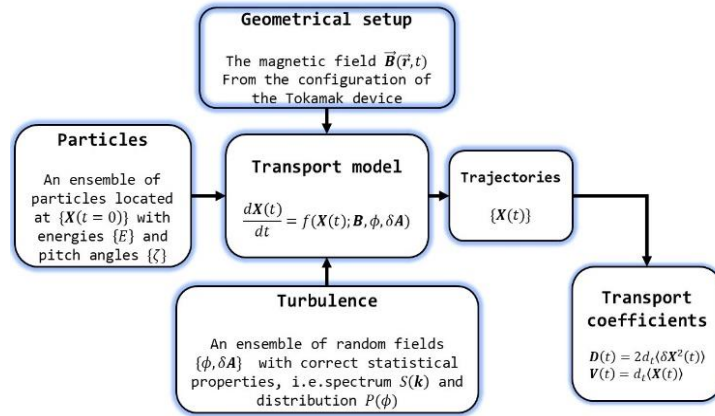
(persoana de contact: dr. Dragoș Iustin Palade, INFLPR, dragos.palade@inflpr.ro)

Una dintre problemele curente ale dispozitivelor de fuziune este reprezentată de acumularea impurităților în centrul plasmei. Acest fenomen de transport nu este pe deplin înțeles iar simulările numerice de tip giro-cinetic nu sunt capabile să îl reproducă mereu cu acuratețe. În proiectul de față investigăm driftul de polarizare și accelerația paralelă ca posibile cauze ale acestui tip de transport convectiv radial.

Obiective

- Dezvoltarea unui model de transport capabil să descrie efectele câmpurilor turbulentei cu incluziunea tuturor componentelor relevante dinamicii; reprezentarea ecuațiilor în sistem de coordonate de tip “field-aligned”;
- Implementarea numerică a acestor ecuații în cadrul metodei statistice a simulărilor numerice directe (DNS)
- Obținerea rezultatelor numerice pentru compararea lor cu date experimentale

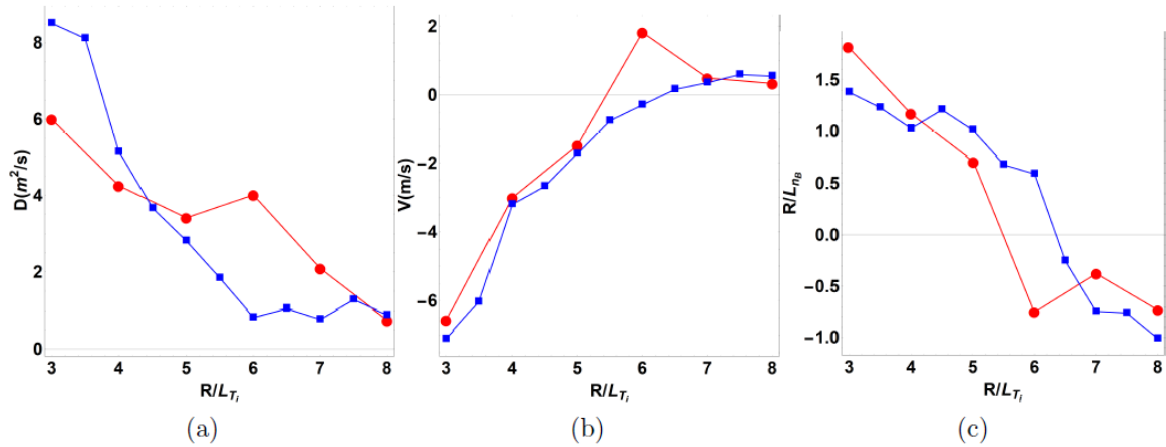
Rezultate obținute



Modelul de transport si schema implementarii metodei simularilor numerice directe

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dX(t)}{dt} = \mathbf{v} = \mathbf{u} + v_{\parallel} \frac{\mathbf{B}^*}{B_{\parallel}^*} + \frac{\mathbf{E}^* \times \mathbf{b}}{B_{\parallel}^*} + \boldsymbol{\eta} \\ \frac{dv_{\parallel}}{dt} = \frac{q}{m} \frac{\mathbf{E}^* \cdot \mathbf{B}^*}{B_{\parallel}^*} \\ \mathbf{B}^* = \nabla \times \mathbf{A}^*, \mathbf{E}^* = -\partial_t \mathbf{A}^* - \nabla \Phi^* \\ \mathbf{A}^* = \mathbf{A} + \frac{m}{q} (v_{\parallel} \mathbf{b} + \mathbf{u} + \mathbf{v}_E) \\ \phi^* = \phi + \frac{\mu}{q} B - \frac{m u^2}{2q} \end{array} \right.$$

In urma simularilor numerice s-au obtinut rezultate care au putut fi comparate cu datele experimentale din literatura. In Fig. De mai jos prezentam difuzia radială (a), convecția (b) și factorul de peaking (c) vs gradientul de temperatura R/LTi pentru impuritățile de bor in experimente din cadrul ASDEX Upgrade. Predicțiile teoretice sunt prezentate în roșu, în timp ce rezultatele experimentale în albastru.



Article

[1] D. I. Palade, *Peaking and hollowness of low-Z impurity profiles: an interplay between ITG and TEM induced turbulent transport*, DOI 10.1088/1741-4326/acb959

Conferințe

[1] Dragos Iustin PALADE, Madalina VLAD, *Transport of Low-Z Impurities in the Presence of Drift-Type Turbulence in Tokamak Plasmas*, International Conference on Laser, Plasma, and Radiation – Science and Technology 2022

[2] Madalina VLAD, Dragos Iustin PALADE, Florin SPINEANU, *On the Existence of Hidden Coherent Motion of Particles and the Effects on Transport in Turbulent Plasmas and Fluids*, International Conference on Laser, Plasma, and Radiation – Science and Technology 2022