

Participarea Romaniei la EUROfusion WPMST1 si cercetari complementare

Efectul fenomenului de amplificare a campurilor magnetice rezonante asupra perturbatiilor de tip tearing neoclasice

In cadrul programului de lucru Medium-Size Tokamak 1 Campaign (WPMST1 2015) au avut loc doua campanii experimentale al caror scop declarat a constat in intelegerea mecanismelor si scenariilor experimentale ale aparitiei si dinamicii modurilor neoclasice de forfecare (NTM), pe de o parte, si in descrierea interactiunii dintre NTM si perturbatiile magnetice rezonante, pe de alta parte. Prima campanie, "Advanced NTM Physics", avand codul de identificare TCV15-1.4-4, a fost realizata folosind instalatia tokamak TCV (20 descarcari), apartinand de EPFL Lausanne, Elvetia. A doua campanie, "Interaction between resonant magnetic perturbations and NTM stability", avand codul AUG15-1.4-3, s-a desfasurat in urma a 7 descarcari in tokamak-ul ASDEX-Upgrade din Garching bei Munchen, Germania. Au fost efectuate doua vizite, a cate o saptamana fiecare, pentru a participa la campaniile experimentale descrise mai sus la EPFL-CRPP Lausanne si IPP Max-Planck Garching bei Munchen. Sarcina noastra a constat in descrierea dinamicii NTM astfel incat modelarea teoretica sa poata fi comparata calitativ cu datele culese experimental, privitoare la efectul RFA si al campurilor magnetice-eroare asupra comportamentului NTM.

A fost imbunatatit semnificativ un model matematic propriu preexistent, care descrie convenabil regimul liniar al dinamicii modurilor de forfecare, model suficient de acoperitor pentru a surprinde dinamica data de catre asa numitul prag al latimii insulelor magnetice, dedus din teoria liniara a perturbatiilor de forfecare. Latimea insulei fiind limitata, nu este necesara descrierea fenomenologiei interne a insulei, ci e nevoie doar de expresia saltului perturbatiei magnetice prin insula, calculat in exteriorul acesteia. Imbunatatirea noului model este substantiala si marcheaza trecerea la regimul liniar de variatie a insulei magnetice ce ia in considerare dinamica fenomenelor intrinseci acesteia. Ecuatiile dinamice ale perturbatiilor din interiorul insulei au fost rezolvate iar solutia dependenta de timp a fost obtinuta in mod explicit, analitic. Cu alte cuvinte dinamica insulei este acum descrisa de o solutie obtinuta in interiorul acesteia, pornind de la saltul perturbatiei prin insula, salt ce ia in calcul si dinamica perturbatiei inafara insulei, aceasta din urma satisfacand ecuatiile fizice ale perturbatiilor din afara insulei, prin urmare nefiind doar o simpla functie test pentru deducerea solutiei din interiorul insulei.

Avand la indemana expresia dependenta de timp, a perturbatiei magnetice calculate, i.e. a NTM-lui, ca o functie explicita de parametrii plasmei, de spectrul perturbatiilor campurilor magnetice-eroare, obtinerea dinamicii efectelor ce fac obiectul proiectului de fata a fost simpla. A fost aratat in mod clar si explicit efectul destabilizator al campurilor magnetice-eroare rezonante asupra amplitudinii NTM.

A fost dedus pragul temporal de la care, pentru o rotatie joasa a plasmei, perturbatiile externe duc la aparitia unei cresteri abrupte a perturbatiei neoclasice, punandu-se in evidenta efectul RFA la timpi foarte mici. A fost pus in evidenta cu claritate impactul destabilizator al cuplajului perturbatiei NTM si cu spectrul non-rezonant al campurilor magnetice-eroare, dand masura efectului destabilizator al cuplajului inter-modal asupra perturbatiei NTM centrale.

Stagiul stiintific din 2016 din cadrul campaniei experimentale Medium-Size Tokamak 1 Campaign (WPMST1 2015) a avut ca obiectiv studiul influentei perturbatiilor magnetice (MP) asupra evolutiei modurilor de forfecare neoclasice (NTM), prin intermediul experimentului realizat in instalatia tokamak ASDEX-Upgrade (AUG), avand denumirea "Interactiunea dintre perturbatiile magnetice and stabilitatea NTM (2/2)" si indicativul AUG15-1.4-3. Adiacent acestui studiu, efectul perturbatiilor vecine perturbatiei NTM centrale constituie un subiect important, ce a fost tratat in cadrul acestui proiect principal. Referitor la cazul cuplajului rezonant dintre perturbatii, rezultatele prezentate in cadrul proiectului sunt menite a fi aplicate instalatiei AUG, avand constructia specifica a structurilor externe coloanei de plasma, in mod special a asa-numitelor spire de tip B, i.e. un set de doua randuri a cate opt spire, dispuse pe directie toroidala, de o parte si de alta a planului median al coloanei de plasma.

Ecuatia generalizata a lui Ohm in structurile externe plasmei si ecuatiile perturbate in vacuum s-au modificat si, in consecinta, solutiile calculate ale ecuatiilor perturbate in afara insulei magnetice corespunzatoare NTM au fost recalculate. Inaintea estimarii efectului de cuplaj magnetic asupra evolutiei insulei magnetice insasi, e obligatoriu a fi verificat efectul asupra dinamicii NTM, deoarece marimea amplitudinii NTM ca urmare a efectului de cuplaj cu perturbatiile externe nu influenteaza automat dinamica insulei. Aceasta din urma depinde de rata de crestere temporala a perturbatiei si de saltul indicelui de stabilitate al perturbatiei prin insula magnetica. Un regim de amplitudine crescuta a NTM datorata interactiunii cu MP poate pastra rata de crestere temporala initiala a NTM, dinaintea pornirii spirelor de tip B, generatoare de MP. Modelul tridimensional construit si prezentat aici a oferit rezultate analitice clare privind marimea tariei cuplajului magnetic dintre NTM si perturbatiile rezonante, pe de o parte, si a celor vecine, adiacente, pe de alta parte, cu scopul de a verifica si calcula efectul acestora asupra NTM-ului. Desi marimea amplitudinii NTM nu e direct responsabila de cresterea grosimii insulei magnetice corespunzatoare, ea poate afecta local rotatia plasmei via cuplurile de torsiune electromagnetice locale ce se dezvoltă la nivelul insulelor magnetice. Caderea rotatiei plasmei afecteaza in mod direct si neechivoc evolutia insulelor magnetice.

A fost calculata influenta perturbatiilor rezonante (RMP), generate de catre spirele de tip B ale AUG, asupra perturbatiilor NTM. Aceasta etapa de cercetare reprezinta o parte a contributiei personale in cadrul campaniilor experimentale ale Pachetului de Lucru Eurofusion MST1 in 2016 si anume:

AUG15-1.4-3 "Interactiunea dintre perturbatiile magnetice rezonante si stabilitatea NTM" si TCV15-1.4-4 "Fizica avansata a perturbatiilor NTM".

Perioada de desfasurare: 2014-2022

Obiective:

- Constructia unui model teoretic multimodal tridimensional care sa descrie comportamentul modurilor tearing in asa-numitul regim liniar de evolutie, model ale carui rezultate sa se plezeze pe datele experimentale obtinute prin participarea la Campania experimentală AUG14-1.4-4 "Dinamica NTM si perturbatiile magnetice", din cadrul programului EUROfusion WPMST1.
- Intelegerea mecanismelor si scenariilor experimentale ale aparitiei si dinamicii modurilor neoclasice de forfecare (NTM), pe de o parte, si in descrierea interactiunii dintre NTM si perturbatiile magnetice rezonante, pe de alta parte. Imbunatatirea model teoretic existent este substantiala si marcheaza trecerea la regimul liniar de variatie a insulei magnetice ce ia in considerare dinamica fenomenelor intrinseci acesteia.
- Efectul tarii cuplajului dintre modul de perturbatie central si modurile de perturbatie adiacente asupra marimii amplitudinii, ratei temporale de crestere si evolutiei celui dantai, i.e. perturbatia de forfecare neoclasica. Determinarea spectrului cel mai favorabil al componentelor perturbatiilor vecine, in sensul unei destabilizari minime a modului central de perturbatie.
- Efectul rezonantei dintre perturbatiile magnetice externe, generate de catre spirele de tip B ale AUG si NTM, asupra stabilitatii celui din urma.

Etape:

- Modelarea liniara tridimensionala a comportamentului perturbatiilor de tip tearing ideale. Efectul modurilor resistive de perete si al rotatiei plasmei asupra dinamicii perturbatiilor de tip tearing ideale.
- Efectul amplificarii campurilor rezonante (RFA)/cuplajului cu spectrul rezonant al campurilor magnetice-eroare asupra ratei de crestere a NTM.
- Efectul cuplajului cu modurile de perturbatie adiacente asupra perturbatiei neoclasice
- Modelarea dinamica a interactiunii rezonante dintre perturbatiile magnetice si efectul acesteia asupra stabilitatii perturbatiilor NTM.

Parteneri externi:

- IPP Max-Planck, Garching bei Munchen Germania
- EPFL-CRPP Lausanne, Elvetia.

Rezultatele obtinute:

- Au fost rezolvate ecuatiile perturbate liniarizate din plasma, vid si elementele conductoare exterioare plasmei cu scopul de a obtine solutia dependenta de timp a

perturbatiei ce descrie evolutia NTM. A fost luata in considerare influenta peretelui rezistiv si a perturbatiei cuplate tearing-mod rezistiv de perete. Solutia obtinuta descrie analitic dependenta de toti parametrii elementelor conductoare din afara plasmei, precum si de rotatia plasmei si amplitudinea si faza fiecărei componente a campurilor magnetice eroare. Efectele acestora din urma asupra evolutiei modului tip tearing au fost determinate.

- Ecuațiile dinamice ale perturbațiilor din interiorul insulei au fost rezolvate iar solutia dependenta de timp a fost obtinuta in mod explicit, analitic. Avand la indemana expresia dependenta de timp, a perturbatiei magnetice calculate, i.e. a NTM-lui, ca o functie explicita de parametrii plasmei, de spectrul perturbațiilor campurilor magnetice-eroare, obtinerea dinamicii efectelor ce fac obiectul proiectului de fata a fost simpla. A fost aratat in mod clar si explicit efectul destabilizator al campurilor magnetice-eroare rezonante asupra amplitudinii NTM. A fost dedus pragul temporal de la care, pentru o rotatie joasa a plasmei, perturbațiile externe duc la aparitia unei cresteri abrupte a perturbatiei neoclasice, punandu-se in evidenta efectul RFA la timpi foarte mici. A fost pus in evidenta cu claritate impactul destabilizator al cuplajului perturbatiei NTM si cu spectrul non-rezonant al campurilor magnetice-eroare, dand masura efectului destabilizator al cuplajului inter-modal asupra perturbatiei NTM centrale.
- A fost modelat fenomenul de cuplaj magnetic dintre NTM si modurile de perturbatie vecine, cu scopul de a gasi spectrul optim al acestora din urma, astfel incat destabilizarea NTM sa fie minima.
- Modelul matematic si codul numeric aferent au fost modificate astfel incat sistemul preexistent de feedback, constand in spire detector si spire de feedback active, sa fie extras si, in locul acestuia, sa fie inserat sistemul de spire de tip B, caracteristic tokamak-ului ASDEX-Upgrade, generatoare de perturbatii magnetice de tipul campurilor magnetice-eroare.
- Au fost obtinute rezultate analitice si numerice clare astfel incat influenta perturbațiilor externe adiacente asupra NTM a fost pusa in evidenta in chip explicit. A fost obtinut analitic indicele de stabilitate al perturbatiei NTM, ce da masura influentei RMP asupra evolutiei NTM, prin urmare s-a aratat, in mod clar, rolul de declansator al RMP, via indicele de stabilitate, in aparitia si evolutia incipienta a perturbatiei NTM, dincolo de efectul incipient mai putin semnificativ, al termenului de bootstrap. A fost pusa in evidenta si masurata cresterea amplitudinii NTM sub influenta RMP.

Publicatii:

Articole

[1] H. Meyer, T. Eich, M. Beurskens, ..., I. G. Miron et al, Overview of progress in European Medium Sized Tokamaks towards an integrated plasma-edge/wall solution, IAEA Paper (Nucl. Fusion, accepted for publication)

[2] S. Coda, J. Ahn, R. Albanese, .., I. G. Miron et al, Overview of the TCV Tokamak Program: Scientific Progress and Facility Upgrades, IAEA Paper (Nucl. Fusion, accepted for publication)

Conferinte

[1] Sina Fietz, Rui Coelho, Ivo Classen, Valentin Igochine, Heinz Isliker, Avrilios Lazaros, Enzo Lazzaro, Marc Maraschek, Iulian Gabriel Miron, Silvana Nowak, Paolo Piovesan, Wolfgang Suttrop, Qingquan Yu; "NTM dynamics and external magnetic perturbations"; MST TF Meeting, AUG14-1.4-4 experiments, 23 April 2014, Garching bei Munchen, Germany.

[2] Sina Fietz, Rui Coelho, Ivo Classen, Valentin Igochine, Heinz Isliker, Avrilios Lazaros, Enzo Lazzaro, Marc Maraschek, Iulian Gabriel Miron, Silvana Nowak, Paolo Piovesan, Wolfgang Suttrop, Qingquan Yu; "NTM dynamics and external magnetic perturbations"; Kick off Meeting, Task T14-4, Coordination of modelling on MHD stability and its control, 15 May 2014, Garching bei Munchen, Germany.

[3] Sina Fietz, Rui Coelho, Ivo Classen, Valentin Igochine, Heinz Isliker, Avrilios Lazaros, Enzo Lazzaro, Marc Maraschek, Iulian Gabriel Miron, Silvana Nowak, Paolo Piovesan, Wolfgang Suttrop, Qingquan Yu; "(N)TM dynamics and external magnetic perturbations"; 1st MST1 Science Review Meeting, 15-18 September 2014, Garching bei Munchen, Germany.

[4] I.G. Miron "3D Modeling of the NTM evolution and the effect of the external magnetic perturbations"; KOM meeting of AUG15-1.4-3, 16 July 2015, Garching bei Munchen, Germany.

[5] S. Fietz, Y. Liang, R. Coelho, L. Frassinetti, N. Wang, R. Fridström, M. Maraschek, I. Classen, Y. Gao, V. Igochine, E. Nardon, P. Bettini, N. Marconato, D. Terranova, P. Denner, O. Sauter, L. Lazaros, T. Bolzonella, I. G. Miron, H. Isliker, T. Pisokas, L. Li, Interaction between resonant magnetic perturbations and NTM stability, AUG15-1.4-3 Monday Morning Presentation Session 2 2016, 15 Feb 2016, Garching (local conference).

[6] I. G. Miron, Modeling the NTM evolution and the effect of the magnetic perturbations, AUG15-1.4-3 Analysis Meeting, 2 Mar 2016, Garching (video conference).

[7] S. Nowak, E. Lazzaro, O. Sauter, .., I. G. Miron et al, Effect of the EC torque on slow plasma rotation under central ECH/ECCD for NTM onset, 26th IAEA Fusion Energy Conference, Kyoto, Japan, 17–22 October 2016.

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

Modelarea efectului perturbatiilor magnetice asupra evolutiei perturbatiilor de forfecare neclasice

Regimul neliniar de comportament al perturbatiilor neclasice de forfecare (NTM) e descris de catre dinamica grosimii insulei magnetice ce satisface ecuatia neliniara Rutherford. Termenii corespunzatori curentului de bootstrap, termenul stabilizator Glasser si cel corespunzator polarizarii au o dependenta neliniara de grosimea radiala a insulei magnetice. Daca toti acesti termeni au o

reprezentare euristică în ecuația Rutherford, singurul termen deductibil din ecuațiile fizice ale perturbațiilor este cel care măsoară saltul transversal al perturbației prin insulă magnetică.

Pentru obținerea acestui din urmă termen, modelul matematic construit în cadrul proiectului depășește ceea ce s-a propus inițial, în momentul înaintării proiectului de față. Noutatea constă în rezolvarea ecuațiilor dinamice ale perturbației în interiorul insulei magnetice. Metodologia folosită a constat în folosirea transformării Laplace a ecuațiilor perturbate, în găsirea soluțiilor ecuațiilor transformate Laplace și finalmente în aplicarea transformării inverse Laplace asupra soluției obținute în interiorul insulei. În funcție de momentul declansării abrupte a perturbației au fost deduse două soluții dependente de timp ale perturbației NTM: una timpurie, care poate măsoară dinamica perturbației la câteva milisecunde și o a doua soluție, care poate acoperi regimul Furth-Killeen-Rosenbluth sau regimul Rutherford, transient către regimul de saturație al NTM-ului. Soluțiile obținute analitic sunt puternic neliniare în raport cu timpul. A doua soluție, de exemplu, conține o dependență de funcția specială integral exponențială, având ca argument o expresie de timp. În același timp, soluțiile obținute au o expresie analitică de valoarea inițială a spectrului perturbațiilor și de valorile perturbațiilor externe, de tipul câmpurilor magnetice-eroare. Folosind soluțiile obținute, a fost îndeplinită cerința propusă inițial a fi îndeplinită: obținerea unei expresii analitice, dependente de timp, a saltului perturbației NTM de-a curmezisul insulei magnetice (Δ prime). În aceeași măsură dependența este explicată de parametrii plasmei și ai sistemului de feedback pasiv (perete rezistiv) și activ (spire detector și spire de feedback) exterior coloanei de plasma. Introducând saltul perturbației în ecuația de evoluție neliniară Rutherford, au fost obținute numeric soluțiile ecuației Rutherford și au fost trasate dependențele de timp ale grosimii radiale a insulei magnetice.

În concluzie, găsirea soluției analitice, dinamice a ecuațiilor perturbațiilor din interiorul și exteriorul insulei magnetice, pe baza modelului matematic construit a permis îndeplinirea obiectivului proiectului de față: obținerea dinamicii insulei magnetice asociate perturbațiilor de tip NTM.

Totodată, a fost realizată obținerea dinamicii evoluției insulelor magnetice aferente perturbațiilor de forfecare neoclasice (NTM), pe baza unui model matematic tridimensional construit, care calculează spectrul perturbațiilor în interiorul și în afara insulei magnetice. Calculele sunt efectuate spre a fi aplicate tokamak-ului german ASDEX-Upgrade (AUG), pentru care este luat în considerare un perete exterior neomogen rezistiv, precum și un sistem de spire generatoare de perturbații magnetice (MP) externe, sistemul de spire de tip B. Geometria folosită în calcul implică așa-numitele coordonate de flux magnetic, de tip Hamada: coordonată „radială” de flux împreună cu unghiurile poloidal și toroidal. Rotatia toroidală a plasmei este menținută constantă pentru a păstra validitatea modelului perturbat.

Soluția ce satisface ecuațiile perturbate de impuls și ecuația generalizată a lui Ohm în interiorul insulei magnetice a fost obținută folosind condiția la frontieră dintre insulă și plasma ideală, transformată Laplace. Soluția internă, obținută în interiorul insulei magnetice, este construită pe baza

cele externe, obtinute prin rezolvarea ecuatiilor perturbate de impuls din plasma ideala, a ecuatiilor perturbate in vidul exterior si a ecuatiilor de circuit aplicate structurilor externe coloanei de plasma.

Datorita faptului ca modelarea e dinamica, dependenta de timp, insasi evolutia insulei a fost determinata. Tratarea analitica conferita de catre modelul teoretic construit permite abordarea multimod a perturbatiilor. Inserarea in abordare teoretica a sistemului de spire de tip B specific AUG furnizeaza practic optiuni de interactiune non-rezonante si/sau rezonante ale MP-ilor cu NTM-ul.

Influenta primelor asupra evolutiei insulei magnetice a fost calculata si trasata grafic cu acuratete. Un alt obiectivul de cercetare al proiectului de fata il reprezinta compararea efectelor cuplului de torsiune electromagnetic (EM) si a cuplului de torsiune al vascozitatii toroidale neoclasice (NTV) asupra stabilitatii NTM. Primul cuplu mentionat este indus de catre cuplajul rezonant dintre NTM si perturbatiile rezonante magnetice (RMP), generate de catre spirele de tip B ale tokamak-ului ASDEX-Upgrade (AUG), in timp ce al doilea tip de cuplu se datoreaza efectului perturbatiilor non-rezonante, aparute ca urmare a deteriorarii simetriei campului magnetic de echilibru in urma aparitiei perturbatiei NTM insasi.

E necesara clarificarea privind prevalenta unuia dintre cele doua efecte mentionate mai sus asupra stabilitatii si dinamicii NTM, in lumina ultimelor masuratori efectuate la AUG (S. Fietz et al., Nucl.Fusion 55 (2015) 013018) care au aratat ca principalul responsabil pentru franarea rotatiei toroidale a plasmei il reprezinta cuplurile EM aparute la nivelul tuturor suprafetelor magnetice din plasma, ca urmare a fenomenului de cuplaj rezonant. Pe de alta parte, studii teoretice precedente (cum ar fi W. Zhu et al., Phys. Rev Letters 96 (2006) 225002) au demonstrat prevalenta cuplului NTV intre mecanismele responsabile pentru franarea rotatiei plasmei si afectarea conditiilor de confinare a coloanei de plasma. O modalitate potrivita de a discerne contributia specifica a fiecarui cuplu de torsiune este aceea de a le calcula in cadrul aceluiasi model teoretic (spre deosebire de metoda uzuala de folosinta a unor modele diferite) pentru a compara finalmente contributia fiecaruia. Un singur model care acopera atat modelarea fluidului cat si modelarea cinetica a particulelor constituinte si care foloseste aceleasi expresii obtinute pentru amplitudinea si faza NTM, reprezinta o conditie necesara pentru obtinerea de rezultate stiintifice intr-o maniera metodologica potrivita.

Perioada de desfasurare: 2014-2016

Obiective:

- constructia unui model teoretic tridimensional de descriere a perturbatiilor magnetice de tip tearing neoclasice (NTM) pentru o structura bidimensionala a liniilor de camp magnetic de echilibru. Comparativ cu modelari tridimensionale anterioare, noutatea acestui obiectiv o constituie modelarea NTM in cadrul regimului neliniar Rutherford, caz in care saltul perturbatiei peste insula magnetica corespunzatoare NTM, ce da masura stabilitatii perturbatiei, e o marime dependenta de grosimea insulei

- rezolvarea ecuatiilor dinamice ale perturbatiei in interiorul insulei magnetice. Metodologia folosita a constat in folosirea transformarii Laplace a ecuatiilor perturbate, in gasirea solutiilor ecuatiilor transformate Laplace si finalmente in aplicarea transformarii inverse Laplace asupra solutiei obtinute in interiorul insulei. In functie de momentul declansarii abrupte a perturbatiei au fost deduse doua solutii dependente de timp ale perturbatiei NTM: una timpurie, care poate masura dinamica perturbatiei la cateva milisecunde si o a doua solutie, care poate acoperi regimul Furth-Killeen-Rosenbluth sau regimul Rutherford, transient catre regimul de saturatie al NTM-lui.
- Determinarea efectului componentelor rezonante si non-rezonante asupra solutiilor ecuatiei de evolutie Rutherford si, in consecinta, direct asupra evolutiei insulei magnetice aferente perturbatiei de forfecare neoclasice.
- Evaluarea prevalentei efectului cuplului de torsiune electromagnetic (EM) in comparatie cu efectul cuplului de torsiune al vascozitatii toroidale neoclasice (NTV) asupra stabilitatii perturbatiei de forfecare neoclasica (NTM) si, in consecinta, asupra conditiilor de confinare a plasmei.

Etape:

- Modelarea liniara tridimensionala a comportamentului perturbatiilor de tip tearing neoclasice.
- Rezolvarea ecuatiei de evolutie neliniara Rutherford in scopul obtinerii dinamicii insulelor perturbatiilor NTM.
- Efectul perturbatiilor rezonante si non-rezonante asupra evolutiei insulelor magnetice
- Calculul cuplului de torsiune electromagnetic in prezenta perturbatiilor magnetice externe

Rezultate obtinute:

- A fost determinata solutia analitica a unui sistem tridimensional multimodal de ecuatii ce cuprinde ecuatiile din plasma, vid si elementele conductoare din exteriorul plasmei, in termenii componentelor perturbatiilor de flux magnetic, in functie de marimea grosimii insulei magnetice NTM. Solutia obtinuta are o dependenta explicita de timp, depinde explicit de parametrii ce dau masura formei geometrice a structurilor suprafetelor magnetice de echilibru (deci si a suprafetei plasmei), precum si de spectrul componentelor campurilor magnetice eroare.
- Au fost obtinute expresiile analitice, dependente de timp, ale saltului perturbatiei NTM de-a curmezisul insulei magnetice (δp). In aceeaasi masura dependenta este explicita de parametrii plasmei si ai sistemului de feedback pasiv (perete rezistiv) si activ (spire detector si spire de feedback) exterior coloanei de plasma. Introducand saltul perturbatiei in ecuatie de evolutie neliniara Rutherford, au fost gasite numeric solutiile ecuatiei Rutherford si

au fost trasate dependentele de timp ale grosimii radiale a insulei magnetice. Determinarea solutiei analitice, dinamice a ecuatiilor perturbatiilor din interiorul si exteriorul insulei magnetice, pe baza modelului matematic construit, a permis indeplinirea obiectivului proiectului de fata: obtinerea dinamicii insulei magnetice asociate perturbatiilor de tip NTM.

- A fost obtinut indicele de stabilitate al perturbatiilor de forfecare, ce masoara derivata radiala a saltului perturbatiilor prin insula magnetica. Cu ajutorul acestuia din urma, ecuatia de evolutie Rutherford a grosimii radiale a insulei magnetice a fost rezolvata analitic.
- Au fost calculate diferentele de faza dintre cele doua randuri de spire de tip B (inferior si superior) ale tokamak-ului ASDEX-Upgrade, pentru diverse spectre de curent prin spire, care corespund interactiunii rezonante maxime, de evitat. Acest din urma aspect are o importanta deosebita, evidentiata in cadrul ultimei campanii experimentale MST1 la care am participat, legata de influenta perturbatiilor externe rezonante asupra NTM-lui, pentru instalatia AUG de la institutul IPP Max-Planck din Garching bei Munchen.
- Expresia clara, analitica, a perturbatiei de tip neoclassic NTM, a fost folosita in determinarea analitica a cuplului EM pentru a masura cuplajul rezonant. Modelul evolutiv pe care l-am construit e special adaptat parametrilor AUG. Dincolo de influenta spirelor de tip B, avand orice configuratie imaginabila privind amplitudinea semnalului RMP generat si a diferentei de faza dintre cele doua ine (superior si inferior) ale structurii spirelor AUG de tip B, asupra comportamentului NTM si evolutiei insulei magnetice insasi, efectul acestora asupra indicelui de stabilitate a perturbatiei si, in consecinta, asupra amplitudinii si evolutiei cuplului EM e calculat si trasat. Spectrul parametric optim poate fi gasit (privind spirele de tip B) astfel incat efectul cuplului EM asupra perturbatiilor NTM sa fie minim. Etapa stiintifica de acum reprezinta primul pas dintr-un plan extins, cu intentia de a compara efectul intregului spectru al perturbatiilor externe (rezonante si non-rezonante) asupra dinamicii NTM si evolutiei rotatiei plasmei insasi. Contributia stiintifica prezenta e complementara campaniilor experimentale aferente WP Eurofusion-MST1, avand indicativele AUG15-1.4-3 si TCV15-1.4-4, la care am participat.

Publicatii:

Conferinte

[1] I.G. Miron, "Kinetic resonances effect on magnetic braking in tokamaks"; 42nd European Physical Society Conference on Plasma Physics, 22-26 June 2015, Lisbon, Portugal; P1.169.

[2] I.G. Miron, "Modeling of seed magnetic island formation", 43rd European Physical Society Conference on Plasma Physics, 4-8 July 2016, Leuven, Belgium.

Persoane de contact:

Iulian Gabriel Miron (igmiron@infim.ro)

Modelarea efectului regimului de rotatie scazuta asupra aparitiei si evolutiei perturbatiilor NTM

Campaniile experimentale Eurofusion MST1 au rolul de a rezolva probleme-cheie care apar in instalatiile tokamak de marime medie, asa-numitele instalatii Mid-Sized, cu scopul de a fi ulterior implementate in constructia si functionarea ITER. Una dintre problemele de rezolvat o constituie aparitia si stabilizarea perturbatiilor neclasice de forfecare (NTM) care sunt intrinseci instalatiilor tokamak, datorita gradientilor de presiune ce apar, legati fiind de toroidicitatea liniilor de camp magnetic. Studii amanuntite au fost realizate pana acum, privitoare la acest tip de instabilitati. Rotatia toroidala joasa a plasmei (ce va fi caracteristica ITER) reprezinta o problema-cheie care trebuie studiata pentru a se estima efectul asupra tuturor perturbatiilor in ansamblu si asupra aparitiei si evolutiei perturbatiilor de tip NTM, in special. Este stiut faptul ca rotatia plasmei joaca un rol stabilizator asupra instabilitatilor din plasma iar obiectivul acestui studiu este gasirea metodelor prin care efectul stabilizator al unei rotatii inalte poate fi inlocuit, cand aceasta din urma ia valori joase, pentru cazul particular al perturbatiilor NTM. Studiul de fata este important si datorita faptului ca rotatii joase ale plasmei pot fi gasite in foarte putine instalatii tokamak, astfel incat sa efectul acestora sa poate fi testat experimental (tokamak-ul TCV e unul dintre acestea).

Am construit un model tridimensional cvasi-analitic care calculeaza amplitudinea, rata de crestere temporala, frecventa, indicele de stabilitate delta prim si faza NTM de la aparitia si evolutia acestuia. Rotatia plasmei (poloidala si/sau toroidala) reprezinta un parametru explicit al modelului propus. Putem testa modelul nostru pentru orice valoare a rotatiei plasmei si pentru orice spectru parametric ce descrie instalatia tokamak aleasa. Modelul acopera toate ecuatiile perturbatiilor dintr-unul si din afara plasmei pentru a rezolva finalmente sistemul complet al ecuatiilor ce descriu efectul plasmei, vidului si al structurilor externe coloanei de plasma asupra evolutiei perturbatiilor NTM. Rezultatele obtinute au aratat o restrangere a posibilitatilor de inlocuire al efectului stabilizator al unei rotatii mari de catre alti parametri caracteristici ai plasmei, atunci cand rotatia scade semnificativ. De fapt, am constatat ca odata cu scaderea vitezei de rotatie a plasmei, dependentele ce arata evolutia NTM devin cu atat mai indistincte, chiar daca corespund unor alegeri net diferite ale altor parametri ai plasmei.

Perioada de desfasurare: 2017

Obiective:

- obiectivele proiectului nostru legat de campania experimentală la tokamak-ul TCV au misiunea de a înțelege și măsura apariția și evoluția perturbărilor NTM în regimul de rotație toroidală scăzută a plasmei tokamak, informații absolut necesare pentru a descrie acest regim uzual de funcționare a viitorului tokamak ITER.

- scalarea rotatiei in vecinatatea pragului factorului marginal beta al plasmei si explorarea efectelor rotatiei scazute in lipsa vreunui factor declansator al aparitiei insulelor magnetice.

Etape:

- Modelarea liniara tridimensionala a comportamentului perturbatiilor de tip tearing neoclasice.
- Calculul cvasi-analitic al perturbatiei neoclasice, rezolvand ecuatiile perturbate ale plasmei in interiorul insulei magnetice.
- Trasarea evolutiei ratei de crestere, frecventei de rotatie, indicelui de stabilitate si grosimii insulei magnetice asociate perturbatiei neoclasice de forfecare folosind solutia obtinuta in urma constructiei modelului nostru analitic

Rezultate obtinute:

- A fost calculata frecventa modurilor NTM de perturbatie care, s-a dovedit, ca nu are un comportament specific in regimurile de rotatie toroidala joasa a plasmei. Frecventa perturbatiei urmareste rotatia plasmei, in ciuda cuplarii magnetice a perturbatiei cu perturbatii corespondente magnetice-eroare sau perturbatii generate de catre spirele de tip B ale instalatiei AUG.
- A fost calculata rata de crestere calculata a NTM care, intr-un stadiu temporal incipient, depinde de rotatia toroidala a plasmei; la rotatii joase, asa cum era de asteptat, rata de crestere e mai inalta, rotatia avand un effect stabilizator asupra NTM. Acest interval de timp initial e definitoriu pentru calculul pragului la care NTM-ul isi face aparitia. Pragul minim corespunde unui regim de rotatie scazuta a plasmei. Pe de alta parte, odata cu trecerea timpului, rata de crestere se stabilizeaza la o valoare comuna, indiferent de amplitudinea rotatiei plasmei. La timpi mari, rotatia plasmei devine irelevanta in raport cu alte efecte, cel putin in privinta ratei de crestere a perturbatiei.
- A fost dedus indicele de stabilitate al perturbatiei. Ca si in cazul frecventei modului de perturbatie, regimul de rotatie scazuta a plasmei corespunde unui indice de stabilitate crescut. Odata cu trecerea timpului, indicele de stabilitate se stabilizeaza la valori diferite, pentru valori diferite ale rotatiei plasmei. Nu exista vreun comportament specific pentru cazul regimului de rotate joasa.
- Prin rezolvarea ecuatiei Rutherford de evolutiei a insulei magnetice, a fost calculata evolutia grosimii insulei magnetice asociata NTM-ului. Regimul de rotatie joasa corespunde unei grosimi ridicate a insulei magnetice, in acord cu stabilitatea scazuta a NTM, indicata si de catre frecventa de rotatie si rata de crestere a modului de perturbatie. Pe de alta parte, daca pentru modul de perturbatie $3/2$ un factor beta mare al plasmei devine mai stabilizator in

conditiile unui regim de rotatie joasa, pentru modul 2/1 nu exista un astfel de comportament monoton. Pentru perturbatia din urma exista un factor beta optim, pentru care NTM-ul este cel mai stabil, in regimul de rotatie joasa a plasmei. Daca in cazul unei rotatii inalte a plasmei, pentru valori distincte ale curentului in plasma, finalmente grosimea insulei se stabilizeaza la o valoare comuna, in cazul regimului de rotatie joasa, curentii mari ai plasmei devin cu atat mai destabilizatori pentru perturbatia neoclasica.

Publicatii:

[1] S. Coda, J. Ahn, R. Albanese, ..., I. G. Miron et al, Nucl Fusion 57, 102011 (2017)

Conferinte

[1] I. G. Miron, the EUROfusion MST1 Team and the ASDEX Upgrade Team, Modelling the effect of resonant magnetic perturbations on neoclassical tearing modes, 17th European Fusion Theory Conference, P2.9, Athens, Greece, 9-12 October 2017.

Persoane de contact:

Iulian Gabriel Miron (igmiron@infim.ro)

Modelarea efectului vascozitatii neoclasice toroidale asupra stabilitatii perturbatiilor NTM, datorat cuplajului non-rezonant

Faza stiintifica de fata intentioneaza sa stabileasca rolul vascozitatii toroidale neoclasice (NTV) asupra aparitiei si evolutiei perturbatiilor neoclasice de forfecare (NTM). Provoacarea a constat in a stabili care dintre mecanismele destabilizatoare pentru evolutia NTM prevaleaza: cuplul de torsiune non-rezonant NTV sau cuplul electromagnetic dintre NTM si perturbatiile magnetice rezonante. Studii teoretice anterioare au clamat faptul ca, neindoiros, cuplul de torsiune NTV reprezinta principalul cuplu vinovat de destabilizarea NTM, in timp ce masuratori experimentale realizate la tokamak-ul ASDEX-Upgrade au evidentiat cuplul electromagnetic dintre NTM si perturbatii externe ca fiind principalul mecanism de degradare a stabilitatii NTM.

Am modelat, tinand cont de cinetica particulelor constituate ale plasmei, fluxul radial non-ambipolar (prin urmare, cuplul NTV) pornind de la calculul tensorului de presiune perturbat, de urma nula, ce va fi folosit in formula de calcul a magnitudinii cuplului NTV. Pentru aceasta a fost necesara deducerea, in prealabil, a functiei de distributie perturbata a particulelor constituate ale plasmei.

A fost luat in considerare un regim de colizionalitate slaba dintre particule pentru care a fost calculata integrala energiei, tinand cont de fenomenul de rezonanta dintre frecventa de oscilatie tip bounce a particulelor si frecventa de rotatie a plasmei. Acest tip de rezonanta e posibil in regimuri uzuale, de astazi, de rotatie inalta a plasmei. In acest caz, integral energiei de care am pomenit, devine singulara, valoarea ei principala Cauchy fiind calculata. In acest fel va fi calculata finalmente marimea NTV, dependenta de gradul de rupere a simetriei liniilor de camp magnetic, generatoare de flux radial de particule.

Pe de alta parte, cuplul NTV depinde in mod explicit de perturbatiile de flux magnetic (NTM in cazul nostru) care sunt calculate rezolvand ecuatiile perturbatiilor in tot spatiul: ecuatiile perturbate de impuls in plasma ideala, ecuatiile MHD in plasma rezistiva din insula magnetica, ecuatiile perturbatiilor in vid si, finalmente, ecuatiile de circuit ale perturbatiilor in structurile metalice exterioare coloanei de plasma (perete exterior, spire). Solutia obtinuta furnizeaza aceeasi perturbatie NTM folosita si in calculul cuplului resonant electromagnetic. In final, s-a demonstrat ca, cel putin pentru cazul tokamak-ului ASDEX Upgrade, rezultatele noastre se aliniaza partial cu rezultatele experimentale obtinute anterior: cuplul de torsiune NTV are o influenta mai redusa asupra evolutiei NTM in comparative cu cuplul electromagnetic, insa aceasta influenta nu e nesemnificativa.

Perioada de desfasurare: 2017

Obiective:

- • Calculul cuplului de torsiune NTV pornind de modelul nostru cvasi-analitic de descriere a perturbatiilor NTM
- • Compararea principalelor mecanisme de scadere si franare a rotatiei toroidale a plasmei: cuplurile de torsiune electromagnetic si NTV.

Etape:

- Calculul perturbatiei functiei de distributie a particulelor pornind de la ecuatiile cinetice perturbate din plasma.
- Calculul perturbatiei tensorului de presiune pe baza perturbatiei functiei de distributie a particulelor obtinute anterior via componentele paralela si perpendiculara pe campul magnetic de echilibru ale perturbatiei presiunii scalare.
- Calculul cvasi-analitic al cuplului de torsiune NTV
- Demonstrarea prevalentei cuplului electromagnetic comparativ cu cel NTV asupra evolutiei plasmei.

Rezultate obtinute:

- A fost calculata analitic perturbatia functiei de distributie a particulelor din plasma in functie de impulsul canonic al constituentilor, momentul magnetic si energia particulelor, functia de distributie de echilibru a particulelor, temperatura plasmei, geometria torului de plasma, factorul de securitate al plasmei, numerele poloidal, toroidal si armonic corespunzator oscilatiilor pe orbite banana a particulelor, rotatia plasmei, frecventa de particulelor prinse in orbite de oscilatie si frecventa de precesie toroidala a orbitelor tip banana in care sunt prinse particulele constituente ale plasmei.
- A fost calculat cuplul de torsiune NTV pe baza perturbatiei de flux magnetic asociat NTM, continand si informatiile specifice fenomenelor cinetice descrise anterior via integrarea

de suprafata a produsului scalar dintre campul magnetic total si gradientului tensorului perturbat de presiune.

- A fost demonstrata prevalenta usoara a cuplului de torsiune electromagnetic asupra celui NTV pentru cazul AUG, folosind datele experimentale aferente experimentului no. #33959 pentru cazul modului 3/2 NTM de perturbatie. Prin urmare cuplul NTV nu e neglijabil cum experimente anterioare au aratat in mod indirect, dar nici nu e sensibil mai mare decat cel electromagnetic, cum au presupus rezultatele teoretice.
- Cuplul de torsiune NTV e sensibil la curenții injectati in plasma. Nu exista nicio dependenta monotona, ci exista un extremum pentru care cuplul NTV are influenta maxima asupra plamei.
- Odata cu cresterea factorului beta normalizat, cuplul de torsiune NTV scade. Prin urmare presiunea cinetica a plamei previne si descurajeaza amplificarea cuplajul non-rezonant al perturbatiilor. Asa cum ne-am asteptat, contrar cazului cuplului de torsiune electromagnetic, evolutia cuplului NTV e slab influentata de cuplajul rezonant dintre perturbatiile plamei si perturbatiile exterioare, generate de catre sistemul de spire de tip B al AUG care, in mod uzual, au o mai mare influenta asupra torsiunii electromagnetice.

Publicatii:

Articole:

[1] H. Meyer, T. Eich, M. Beurskens, ..., I. G. Miron et al, Nucl. Fusion 57, 102014 (2017)

Conferinte

[1] I. G. Miron, the EUROfusion MST1 Team and the ASDEX Upgrade Team, Modelling the effect of resonant magnetic perturbations on neoclassical tearing modes, 17th European Fusion Theory Conference, P2.9, Athens, Greece, 9-12 October 2017.

Persoane de contact:

Iulian Gabriel Miron (igmiron@infim.ro)

Modelarea dinamicii interactiei dintre plasma si perturbatiile magnetice externe

Am construit un model tridimensional menit a descrie evolutia perturbatiilor din plasma sub influenta perturbatiilor externe rezonante si non-rezonante, generate de catre spirele de tip B ale AUG sau fiind campuri magnetice-eroare generate de catre o calibrare imperfecta, inerenta a bobinelor instalatiei tokamak.

O serie de date experimentale au fost folosite (corespunzatoare mai multor experimente in cadrul AUG: 33956, 33959, etc), precum si rezultatele aferente cu scopul de a compara pe acestea din urma cu rezultatele furnizate de catre modelul nostru teoretic si codul numeric aferent, ce au folosit aceleasi date experimentale. Experimentele au fost realizate in cadrul campaniei WPMST1 2017,

Topic 9 "Assess plasma stability performance and stability control in high-beta and advanced tokamak regimes". Au fost alocate 15 descarcari la AUG pentru aceasta campanie.

Diverse experimente au fost realizate avand scopul de a testa reactia plasmei la influenta perturbatiilor externe generate de catre spirele de tip B ale AUG in doua privinte, cele legate de amplitudinea si/sau de faza perturbatiilor externe. In plus, un alt parametru folosit la testari l-a constituit diferenta de faza dintre cele doua randuri de spire de tip B, fiecare in numar de opt spire, de o parte si de alta a planului median al torului de plasma.

Am refacut aceste experimente folosind modelul teoretic propriu si, finamente, am comparat rezultatele obtinute teoretic cu cele experimentale.

Perioada de desfasurare: 2018

Obiective:

- Descrierea teoretica a evolutiei NTM
- Compararea rezultatelor aferente experimentelor campaniei cu rezultatele obtinute teoretic, folosind modelul propriu propus.

Etape:

- Calculul perturbatiei NTM rezolvand ecuatiile perturbate in plasma ideala, plasma rezistiva din insula magnetica aferenta NTM-ului, in vid, in peretele rezistiv exterior si spirele de feedback si/sau de tip B caracteristice instalatiei AUG. Au fost introduse in model perturbatiile externe generate de catre spirele de tip B.
- Compararea frecventei calculate a modului de perturbatie cu frecventa perturbatiei din spectrogramele aferente rezultatelor experimentale pentru cazul mai multor descarcari pentru a testa si valida modelul teoretic propus.

Rezultate obtinute:

- A fost calculata cvasi-analitic perturbatia de flux magnetic aferenta NTM rezolvand ecuatiile perturbate in plasma ideala, plasma rezistiva din insula magnetica aferenta NTM-ului, in vid, in peretele rezistiv exterior si spirele de feedback si/sau de tip B caracteristice instalatiei AUG. Au fost introduse in model perturbatiile externe generate de catre spirele de tip B.
- A fost testat modelul teoretic in raport cu experimentul AUG 33959, in cadrul caruia s-a cautat amplitudinea statica optima a perturbatiei externe, intr-un regim de amplitudine dinamica constanta a perturbatiei externe, pentru care stabilitatea perturbatiei NTM e cea mai ridicata. Evolutia frecventei modului NTM, calculata folosind modelul nostrum teoretic, s-a suprapus peste frecventa data de spectrograma aferenta experimentului.
- A fost testat modelul nostru in raport cu experimentele 33968 si 33975 referitoare la influenta perturbatiilor externe si, ca efect stabilizator al acestora, al intarzierii stingerii descarcarii in cazul existentei perturbatiilor externe avand effect stabilizator. Din nou,

rezultatele teoretice proprii s-au potrivit cu rezultatele experimentale pentru ambele experimente.

- Folosind experimentele AUG 34361, 34366, 34371, 34372 si 34375 a fost cautata faza optima a perturbatiilor externe pentru care NTM-ul e cel mai stabil posibil, in conditiile unor amplitudini statice si dinamice constante ale perturbatiilor generate de sistemul de spire B al AUG. Am reprodus toate experimentele si am obtinut aceleasi rezultate. Evolutia frecventei calculate teoretic a perturbatiei NTM a urmarit cu acuratete evolutia factorului beta normalizat al plasmei din datele experimentale.

Publicatii:

Conferinte

[1] 1st preparatory meeting - AUG (07.03.2017) - P. Piovesan, V. Igochine, R. Albanese, R. Ambrosino, L. Pigatto, P. Bettini, L. Figini, M. Gobbin, S. Mastrostefano, S. Novak, N. Rispoli, F. Villone, F. Carpanese, M. Kong, A. Merle, D. Hogeweij, I. G. Miron, R. Coelho, C. Tsironis, S. Kasilov, W. Kernbichler, A F. Martitsch, E. Viezzer, L. Marrelli, P. Martin, D. Terranova, J. Hobirk, M. Willensdorfer, L. Giannone, O. Kudlachek, M. Reich, A. Czarnecka, C. Sozzi, M. Fontana, C. Galperti, O. Sauter.

[2] I.G. Miron - Modelling the error fields effects on NTMs – Preparation Meeting AUG (04.05.2018)

Rezolvarea problemei inverse: determinarea campurilor magnetice eroare din comportamentul perturbatiilor neclasice de tip NTM. Validarea modelului teoretic si a codului numeric asociat.

Au fost gasite solutii noi pentru perturbatiile neclasice de forfecare (NTM) in interiorul insulei magnetice. Acestea depind de solutiile perturbatiilor in afara insulei si sunt responsabile de calculul saltului perturbatiei prin insula magnetica, ceea ce duce finalmente la o evolutie diferita a grosimii insulei magnetice. Bazandu-ne pe validarea modelului pe care l-am propus, prin similitudinea dintre spectrograma modurilor de perturbatie si frecventele calculate ale acestor perturbatii, utilizand modelul nostru, am propus urmatorul obiectiv: rezolvarea problemei inverse a gasirii amplitudinii campurilor magnetice-eroare intrinseci instalatiei tokamak, pornind de la masuratorile amplitudinii perturbatiilor NTM. Modelul propus nu e unul predictiv, ci descriptiv. Pentru a-l face predictiv, pe langa rezolvarea ecuatiilor perturbate in tot spatiul, ar trebui rezolvata si ecuatiile de miscare a frecventei unghiulare toroidale de rotatie a plasmei. Aceasta ar transforma modelul intr-unul profund neliniar si dificil de rezolvat. Predictibilitatea ar fi obtinuta insa cu pretul acuratetii rezultatelor. In consecinta, am ales sa folosim valorile frecventei unghiulare de rotatie toroidala din diagnostica plasmei. Modelul e perfect aplicabil problemelor inverse. Acest lucru e realizat preluand valorile campurilor magnetice eroare ca date de intrare pentru ca, in final, sa fie calculate amplitudinea si

frecventa perturbatiilor NTM. Modelul a fost inversat. Acum amplitudinea perturbatiei joaca rolul datei de intrare cu scopul de a calcula valoarea amplitudinii campurilor eroare.

Codul numeric aferent a fost si el modificat in consecinta si acum furnizeaza valori calculate pentru fiecare input de timp. A fost folosit un spectru larg de date diagnostice pentru diferite descarcari in tokamak-ul AUG. Modelul teoretic si codul aferent au fost modificate pentru a ingloba campurile magnetice eroare in calcul. Valorile initiale ale perturbatiilor si ale derivatelor lor temporale si radiale sunt legate de campul magnetic eroare care e, de fapt, campul magnetic initial preexistent.

Modelul a fost testat si validat in raport cu datele experimentale apartinand catorva descarcari in tokamak-ul AUG. A fost gasita o potrivire buna intre rezultatele calculate si cele experimentale.

Perioada de desfasurare: 2019

Obiective:

- Inversarea codului numeric direct, asociat modelului teoretic de determinare a evolutiei NTM, pornind de la o valoare initiala a perturbatiei, asimilabila campului magnetic-eroare.
- Validarea codului numeric inversat.

Etape:

- Determinarea unei noi solutii dinamice ce descrie evolutia perturbatiilor neoclasice de forfecare, NTM.
- Compararea teoretica dintre campul magnetic-eroare folosit pentru a obtine o amplitudine a perturbatiei NTM comparabila cu cea oferita de rezultatele experimentale si campul magnetic-eroare determinat, folosind codul numeric inversat, pornind de la datele experimentale ale perturbatiei.

Rezultate obtinute:

- Am determinat o noua solutie dinamica ce descrie cvasi-analitic evolutia NTM in interiorul insulei magnetice asociata NTM. Noua solutie masoara in mod explicit influenta rezistivitatii insulei si, ca o confirmare, atunci cand rezistivitatea e infinita, deci insula magnetica devine plasma ideala, solutia interna gasita se suprapune peste cea determinata in plasma ideala.
- A fost introdus in modelare campul magnetic-eroare static ca fiind valoarea initiala a perturbatiei NTM. Prin urmare campul magnetic-eroare satisface aceleasi ecuatii pe care le satisface si perturbatia NTM insasi, fiind insa static.
- A fost determinata o noua solutie cvasi-analitica, dependenta de timp, in plasma ideala, care sa ia in considerare si campul magnetic-eroare introdus.
- A fost validat modelul si codul aferent direct ce determina evolutia NTM, avand ca valori initiale ale perturbatiei campul magnetic-eroare static, pentru a putea fi ulterior inversat. S-au luat cazurile descincarilor nr. #36273 si #35350 in tokamak-ul german ASDEX-Upgrade.

Au fost comparate, in ambele cazuri, atat frecventele de oscilatie ale perturbatiei NTM calculate folosind modelul nostru, cu spectrogramele perturbatiilor, precum si amplitudinile perturbatiilor calculate cu cele oferite de catre rezultatele experimentale aferente diagnosticii AUG/MOD ale descarcarii. In ambele cazuri, rezultatele calculate au fost apropiate de cele experimentale, ceea ce valideaza modelul folosit.

- A fost inversat codul numeric direct, obtinand un nou cod numeric invers, ce are ca date de intrare amplitudinea perturbatiilor NTM si ca date de iesire campul magnetic-eroare static.
- A fost determinat campul magnetic-eroare, folosind codul numeric inversat, pornind de la datele AUG/MOD ale amplitudinii perturbatiei NTM. Valoarea obtinuta a campului magnetic-eroare a fost comparata cu cea a aceleiasi marimi folosite in determinarea amplitudinii NTM ce se potriveste cel mai bine datelor AUG/MOD, folosind codul numeric direct, de aceasta data. Valorile amplitudinilor campurilor magnetice-eroare s-au potrivit surprinzator de bine in cazul descarcarii #36273 pentru perturbatiile 2/1 si 3/2, precum si in cazul descarcarii #35350 pentru perturbatia 3/2. In cazul perturbatiei 2/1 din #35350, datele nu s-au potrivit, astfel incat punem aceasta nepotrivire pe seama existentei unui camp magnetic-eroare dinamic, in acest caz. Un camp variabil necesita o abordare diferita, inclusiv a rescrierii a modelului teoretic folosit. Acest demers va avea loc in cadrul viitoarei campanii WPMST1.

Publicatii:

Articole:

[1] Joffrin, E.; Abduallev, S.; Abhangi, M.; Abreu, ...,; Miron, I; et al., Nuclear Fusion, 59, 112021 (2019)

Conferinte

[1] G. Miron - Determination of error fields from modelled mode (NTM) behavior, T09-AUG Videoconference meeting, Garching bei Munchen, 20.12.2019..

Persoane de contact:

Iulian Gabriel Miron (igmiron@infim.ro)

Meniu

- Informatii generale
 - Obiective
 - Pachet de informatii **NOU**
 - Proiecte in derulare
 - Manifestari, Conferinte
-

- Rapoarte Anuale
 - Documente europene
 - Apeluri EUROfusion
 - Posturi Vacante EUROfusion
 - **Noutati**
 - Arhiva
 - Legaturi utile
 - Old Website
 - Contact
-

Adresa

- **Institutul de Fizica Atomica**
- Str. Atomistilor nr. 407, Magurele
- 077125, Ilfov, Romania
- Tel: +40 (21) 457.44.93,
+40 (31) 710.15.54
- Fax: +40 (21) 457.44.56
- E-mail: euratom_fuziune@ifa-mg.ro

