

BS-1: Interpretarea si controlul perturbatiilor elicoidale in instalatii tokamak

Director de Proiect: Calin Atanasiu

Task Force-Integrated Tokamak Modelling (ITM-09-IMP2-T4)

Obiectivul specific: Stabilizarea modurilor resistive de perete (RWMs)

Tema: M1.a Optimizarea calculului raspunsului peretelui (pentru o geometrie reala 3D, prevazuta cu ferestre de acces) la perturbatii de tip kink extern

Scopul cercetarilor noastre a fost investigarea in continuare, impreuna cu Departamentul de Fizica Tokamak (Teorie si modelare a plasmei) a Institutului de Fizica Plasmei "Max-Planck" din Garching, Germania, a instabilitatilor resistive de perete (resistive wall modes - RWM) din instalatiile tokamak. Se stie ca aceste instabilitati limiteaza atingerea parametrilor plasmei necesari obtinerii reactiilor de fuziune autointretinute, iar problema stabilizarii lor ramane inca deschisa in lume.

In aceasta faza, s-a dedus ecuatia cu derivate pariale ce descrie raspunsul peretelui rezistiv la o perturbatie de tip kink extern al plasmei, intr-un sistem de coordonate curbilinii adaptat descrierii peretelui tokamak si s-a elaborat o metoda noua de rezolvare a acestei ecuatiei. Au rezultat timpi de calcul cu un ordin si jumătate mai reduși decât cei necesari metodelor clasice de rezolvare. După cunoștința noastră, această metodă nu a fost raportată în literatura de specialitate. Această metodă de rezolvare va permite investigarea mult mai rapidă a unor cazuri de dimensiuni mari și geometrii complicate. Metoda a fost testată pe cazuri simplificate, ce admit o soluție analitică, precizia de calcul fiind deosebit de bună.

In continuare, ne propunem aplicarea acestei metode de calcul al RWM la instalatiile tokamak ASDEX Upgrade din Germania și JET din Anglia.

BS-2: Miscari la echilibru si conditii de prag pentru accesarea regimurilor de confinare inalta; intelegerea dinamicii neliniare a curgerilor simetrice de frecventa joasa

Director Proiect: F. Spineanu

Task Agreement TGS-02: WP08-TGS-02-02 (V-1-2) Physics of rotation in plasmas.

Obiectivul specific: Calculul profilului radial al vitezei in directia poloidala pentru stari stationare

Proiectul are ca scop determinarea conditiilor necesare obtinerii regimurilor de confinare inalta in plasma tokamak. Propunem o abordare noua bazata pe ideia ca vorticitatea reprezinta un camp cu tendinte de auto-organizare. Am aratat, dezvoltand o formulare de teorie de camp, ca starile asimptotice ale vorticitatii sunt solutii ale unei ecuatiei neliniare pe care am dedus-o din conditia de autodualitate.

Obiectivul pentru 2009 este investigarea dinamicii comune (corelate) a densitatii si a vorticitatii si studiul posibilitatii formarii unui maxim local de densitate la marginea plasmei in modul H (confinare inalta). S-a studiat dinamica vorticitatii supusa constrangerilor legate de densitate si s-au determinat profilele naturale ale acesteia ca solutii ale ecuatiei neliniare dedusa de noi in etape precedente. S-au obtinut solutii numerice pentru profilul radial al vitezei poloidale in diferite conditii fizice. S-a aratat ca instabilitatea tearing in regim puternic neliniar conduce la distrugerea stratului de curent si genereaza filamente. Aceasta este compatibil cu datele experimentale de la instalatia MAST. Stratul de curent coincide cu un strat de vorticitate (legat de modul H) si, prin teorema Ertel, cu un strat de densitate crescuta. Instabilitatea care conduce la distrugerea stratului de densitate este « drop on ceil » si sustine filamentarea tearing. Ceea ce ramane de investigat este rolul evenimentelor Kelvin-Helmholtz. Rezultatele obtinute reprezinta un pas important pentru intelegerea dinamicii plasmei in modul H si pentru validarea modelului propus de noi pentru procesului de generare a modurilor localizate la marginea plasmei (ELM's).

BS-3: Transport anomal in plasma

Director Proiect: N. Pometescu

Caracterizarea evenimentelor intermitente si transport de particule in plasma marginala din tokamak.

Folosind rezultatele din studiile efectuate anterior s-a elaborat un model stochastic redus la efectelor de intermitenta din plasma marginala. Noutatea esentiala al modelului fata de versiunile anterioare consta in posibilitatea modelarii efectelor induse nu numai de zgomote pur stochastice dar si al efectelor induse de sisteme dinamice cu haos determinist, unde zgomotul indus nu este neaparat Gaussian. Noul model are un spatiu al fazelor largit, in comparatie cu modelele de intermitenta studiate anterior, ceea ce permite modelarea oscilatiilor de relaxare cu statistica intermitenta. S-a aratat ca si in acest cadru extins este posibila calcularea analitica a exponentului adimensional care caracterizeaza fenomenul de intermitenta in turbulenta plasmei marginale. Rezultatele obtinute sunt robuste fata de incertitudinile in alegerea parametrilor modelului.

Gasirea unei expresii analitice pentru profilul densitatii de putere absorbite ICRH.

Incalzirea prin unde de rezonanta ciclotronica ionica (ICRH) este una din schemele uzuale de incalzire a plasmei in instalatiile de fuziune tokamak. In aceasta etapa a proiectului a fost analizat profilul absorbtiei de putere de catre tritium intr-o plasma deuterium-tritium incalzita prin unde de radiofrecventa din domeniul rezonantei ciclotronice, in particular armonica a doua a frecventei de rezonanta pentru tritium, asa cum se prevede a fi in cazul instalatiei ITER. Acest profil (adica variatia densitatii de putere absorbita in raport cu variabila radiala toroidala) este important atat pentru eficientizarea incalzirii cat si pentru optimizarea confinarii. Expresia analitica propusa este formata prin suma a doua Gaussiene si alte doua functii periodice in functie de parametrii geometrici ai tokamakului si caracteristicile undei folosite. Expresia urmeaza a fi verificata si pe alte date numerice.

Simulari numerice ale transportului particulei test si comparatia cu modele teoretice

- *Simulari ale driftului ionilor in campuri magnetice stochastice*

A fost studiat influenta campului magnetic stochastic asupra difuziei ionilor utilizand simulari numerice iar rezultatele au fost comparate cu cele obtinute prin metoda decorelarii traiectoriilor. Au fost obtinuti coeficientii de difuzie pentru un numar Kubo magnetic fixat ($=1$)

si diferite valori subunitare ale numarului Kubo de drift. In concluzie am aratat ca procesul de difuzie este atenuat atat cu cresterea perturbatiei magnetice cat si cu cresterea masei ionilor. Rezultatele numerice sunt in concordanta cu cele obtinute prin metoda decorelarii traiectoriilor.

- *Transportul particulei test in plasma turbulenta bidimensionala*

A fost studiat numeric transportul particulei test in plasma turbulenta bidimensionala in aproximatia magnetohidrodinamica. Nivelul turbulentei a fost mentinut cu o forta externa. In absenta ciocnirilor campul electric mediu accelereaza particulele generand un proces superdifuziv in spatial vitezelor si unul balistic in spatial real. Prezenta ciocnirilor ar trebui sa micsoreze nivelul de castig de energie. Lucrarea este in progres.

Studiul oscilatiilor de tip sawtooth folosind modele discrete

Scopul cercetarii este de a evidentia mecanisme importante in explicarea aparitiei oscilatiilor de tip sawtooth in instalatii de tip tokamak. Pentru a reconstitui schimbarile produse in configuratia campului magnetic in timpul oscilatiilor de tip sawtooth in tokamak au fost studiate doua modele matematice discrete, corespunzatoare configuratiilor magnetice din Tore Supra si din ASDEX-Upgrade. A fost evidentiat rolul factorului de siguranta si al perturbatiilor complexe in timpul oscilatiilor si a fost reconstituit (folosind modelul matematic) factorul de siguranta real. A fost continuat studiul direct al variatiei temperaturii centrale in ASDEX-Upgrade folosind un model matematic obtinut de K. Lackner si H. Zohm, o atentie deosebita fiind acordata schimbarilor calitative (bifurcatiilor) ce apar in dinamica sistemului pentru anumite valori ale parametrilor. Rezultatele principale vor fi prezentate la EFTC 13 (13th European Fusion Theory Conference October 12-15, Riga, Latvia).

BS-4A: Portal ITM

Director Proiect: Vasile Pais

WP09-ITM-ISIP-T1, WP09-ITM-ISIP-T10

In cadrul taskului WP09-ITM-ISIP-T1 a fost pusa la punct strategia pentru oferirea de suport utilizatorilor aplicatiilor integrate in cadrul portalului ITM. Astfel, in cazul problemelor cu managementul continutului online, a fost creat un Wiki in care au fost introduse solutiile la problemele curente cu care s-au confruntat utilizatorii.

In vederea identificarii problemelor aparute in utilizarea codurilor, s-a decis utilizarea sistemului de bug-tracking oferit de GForge, prin inregistrarea automata a membrilor ISIP-T1 ca "monitori" in cadrul sectiunilor de postare bug-uri si in forum-uri de suport pentru utilizatori.

Task-ul WP09-ITM-ISIP-T10 a oferit cadrul pentru integrarea sistemului de management al proiectelor software, GForge, in cadrul portalului ITM, impreuna cu sistemul de versionare software "Subversion". In plus, a fost stabilita o schema de drepturi de acces ale utilizatorilor, care a fost aplicata pe toate proiectele deja existente. Noile proiecte vor pleca cu aceste setari, iar ele vor fi aplicate automat de catre sistem, indiferent de eventualele modificari realizate de administratorii de proiecte software.

BS-4B: Date atomice pentru ioni cu paturi d incomplete

Director Proiect: Viorica Stancalie

EFDA Task Agreement TFL: ITM-09-TFL2-AMNS-T2, ITM-09-TFL2-AMNS-T3

Scopul proiectului este de a furniza date atomice pentru ioni cu paturi d incomplete si de a contribui la definirea unei strategii pentru implementarea unei capacitati de calcul pentru date AMNS (**ITM-09-TFL2-AMNS-T2, ITM-09-TFL2-AMNS-T3**).

In vederea atingerii acestor obiective majore propuse pentru anul 2009, in perioada ianuarie – iunie 2009 au fost desfasurate urmatoarele activitati specifice:

- i) au fost obtinute date atomice pentru Co^{3+} configuratie electronica $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6$ (5D); aceste date calculate in cuplaj LS vor fi introduse pana la sfarsitul anului in baze de date specifice AMNS.
- ii) a fost propusa o interfata (soft) pentru AMNS. Ea utilizeaza facilitatile existente : ITM Gateway facilities for data storage, Relational databases, MDSplus, HDF5, ADAS, si ITM UAL. Softul este prezentat in detaliu in Raportul Stiintific si Tehnic.
- iii) Au fost sustinute seminarii in cadrul AMNS atat de grupul de lucru cat si de alte grupuri implicate in aceste Task Agrreements –videoconferinte- pentru stabilirea strategiei de lucru si a modalitatii de stacare a datelor AMNS.

BS-5.1: Metoda bazata pe detectorii cu fluid supraincalzit (DFSI) pentru diagnostica de neutroni a plasmei Tokamak

Director de Proiect: Vasile Zoita

EFDA JET Task Agreement: JW8-TA-EXP-04

Obiectiv specific: Determinarea caracteristicilor campului neutronic pentru decarcari de inalta performanta in campania JET C26 (Experiment D-1.5.2)

Activitatea I, iunie 2009: Masuratori de neutroni cu detectori cu fluid supraincalzit (DFSI) in campania JET C26

Un set extins de masuratori ale caracteristicilor campului neutronic pentru descarcari de inalta performanta la JET a avut loc in timpul campaniei C26 utilizand detectori cu fluid supraincalzit (“detectori cu bule”).

Principalul obiectiv al masuratorilor care au avut loc pe un numar de 47 de pulsuri JET, a fost determinarea distributiei energetice a neutronilor intr-un fascicul de neutroni ce se propaga de-a lungul unei directii verticale de vizare a plasmei toroidale.

Obiectivul secundar al experimentului (experimentul D-1.3.2 din Programul de lucru al instalatiei JET pentru 2008-2009) a fost determinarea altor caracteristici ale campului

neutronic: distributia spatiala (radiala si toroidala) a fluentei neutronilor si evolutia temporala a fluentei de neutroni.

Masuratorile cu detectori cu fluid supraincalzit (DFSI) au fost facute la capatul liniei de vizare a lantului de diagnostici de neutroni KM11, la o distanta de aproximativ 20m de planul mediu al torului si la aproximativ 3.5m de primul edetector al spectrometrului de neutroni cu timp de zbor, TOFOR. Pentru masuratorile din campania JET C26 s-au folosit doua tipuri de detectori cu fluid supraincalzit, BDS* si BD-PND*, pe durata a opt sesiuni experimentale. Spectrometrele cu detectori cu bule (tip BDS) sunt constituite din 36 de detectori de neutroni care acopera un domeniu larg de energie (0.01 – 20 MeV). Detectorii au 6 energii de prag diferite in acest domeniu: 0.01, 0.1, 0.6, 1.0, 2.5, 10.0 MeV (cate 6 detectori pentru fiecare energie de prag).

S-a obtinut un volum consistent si considerabil de date experimentale. Acestea sunt in curs de prelucrare si vor fi analizate si interpretate in cea de-a doua jumatate a anului 2009.

BS-6 : Proprietățile păturilor de sarcină spațială și fenomene asociate interacțiunii perete-plasmă magnetizată. Aplicații la ITER

Director Proiect : Claudiu Costin

Măsurători de diagnoză electrică a plasmei folosind sonda Katsumata și analizorul multi-canal au fost realizate pe instalația Pilot-PSI. Măsurătorile cu sonda Katsumata au avut ca scop estimarea coeficientului de difuzie a plasmei după o direcție perpendiculară pe cea a câmpului magnetic. Valorile obținute pentru coeficientul transversal de difuzie a plasmei au fost în domeniul $0.23 \div 0.74 \text{ m}^2/\text{s}$, pentru o valoare a câmpului magnetic de 0,4 T. Măsurătorile cu analizorul multi-canal au avut ca scop determinarea distribuției radiale a fluxului de ioni de hidrogen și argon la suprafața țintei în instalația Pilot-PSI. Pentru aceste măsurători s-au folosit cinci colectori ai analizorului având poziții radiale diferite. Din partea ionică a caracteristicilor volt-amperice trasate pentru fiecare colector s-a calculat fluxul de ioni corespunzător poziției fiecărui colector. S-a obținut un profil radial al fluxului de ioni de formă parabolică având maximum pe centrul țintei. Între valorile maxime ale fluxului de ioni (în centrul țintei) și cele minime (la marginea țintei) s-a obținut un raport de aproximativ 4 pentru descărcarea în hidrogen. Pentru densități ale plasmei de ordinul 10^{20} m^{-3} s-au obținut fluxuri de ioni de ordinul $10^{22} - 10^{23} \text{ ions/m}^2\text{s}$. În Laboratorul de Fizica Plasmei din cadrul Universității “Al. I. Cuza” Iași s-au continuat lucrările de testare și punere în funcțiune a circuitelor electronice necesare pentru achiziția automată de date. Analizorul multi-canal a fost montat pe o instalație de plasmă magnetizată prezentă în laborator și s-au efectuat măsurători folosind simultan cinci, nouă sau douăzeci și cinci de colectori. Prin aceste măsurători s-a obținut profilul radial al curenților electronici de colector pentru diferite tensiuni de descărcare. În configurația actuală potențialul de polarizare care poate fi aplicat pe colectori analizorului este în domeniul $\pm 10 \text{ V}$. Pentru a crește acest domeniu până la $\pm 100 \text{ V}$ (necesar pentru măsurătorile pe instalația Pilot-PSI) în perioada următoare va fi realizat un circuit electronic pentru izolarea opto-galvanică a fiecărui canal de intrare analogică a sistemului de achiziții de date.

Pentru codul numeric 2D PIC-MCC, creat pentru simularea de plasmă magnetizate, s-a realizat modulul pentru ciocnirile de particule prin metoda Monte Carlo. În acest scop s-au continuat

* Toti detectori folositi pentru realizarea acestui proiect au fost fabricati si calibrati de catre Bubble Technology Industries, Chalk River, Canada.

studiile bibliografice cu privire la secțiunile eficace de ciocnire ținând cont de procesele elementare din plasmă precum ionizări, excitări, împrăștierea elastică a electronilor și schimbul rezonant de sarcină. S-au continuat și lucrările pentru paralelizarea codului ce va fi rulat pe un calculator de înaltă performanță, un cluster cu 520 de procesoare (aprox. 4 TFlops).

BS-7: Dezvoltarea diagnosticii optice de radiatie gamma pentru instalatia JET

Director de proiect BS-7A: Vasile Zoita

Director de proiect BS-7B: Marian Curuia

EFDA JET Task Agreement: JW6-TA-EP2-GRC-02

Obiectiv specific: Extinderea sistemului optic de radiatie gamma - atenuatori de neutroni (cod KN3-NA)

Activitatea I, iunie 2009: Documentatie de executie pentru KN3-NA Test Stand versiunea non-nucleara

Proiectul “Dezvoltarea diagnosticii optice de radiatie gamma pentru instalatia JET” face parte din Programul EP2 de extinderi (Enhancements) al instalatiei JET. Obiectivul principal al proiectului este proiectarea, constructia si testarea atenuatorilor de neutroni pentru doua subsisteme ale diagnosticii de radiatii gamma (KN3 gamma-ray cameras), camera orizontala si cea verticala. Cu aceasta dezvoltare (upgrade) a sistemului de diagnostica vor fi posibile masuratori de radiatii gamma pe descarcari de mare putere de deuteriu si deuteriu-tritiu ale reactorului de fuziune JET.

Obiectivul principal al acestei faze a proiectului este acela de a elabora documentatia de executie pentru standul de testare a atenuatoarelor de neutroni (versiunea ne-nucleara a standului de testare). Standul de testare va fi o replica la scara 1/1 a configuratiei sistemului de diagnostica de la JET. Standul de testare versiunea ne-nucleara va fi utilizat pentru urmatoarele teste: mecanic, electric, hidraulic si pneumatic. Componentele principale ale standului sunt urmatoarele: cadrul pentru atenuatorul de neutroni al camerei orizontale, suportul pentru atenuatoarele de neutroni ale camerei verticale, sistemul de conducere si control. Aceste componente sunt dispuse pe o structura metalica care simuleaza aceleasi dimensiuni ca si instalatia de la JET.

Activitatile desfasurate pe parcursul acestei faze a proiectului au fost urmatoarele:

- proiect de concept pentru standul de testare al KN3-NA versiunea ne-nucleara
- analiza si evaluarea proiectului de concept in cadrul unui Technical Meeting la JET in mai 2009
- elaborarea documentatiei de executie pentru standul de testare, versiunea ne-nucleara
- elaborarea procedurii de testare pentru sistemul atenuatorilor de neutroni pentru dezvoltarea (upgrade) camerelor de radiatii gamma.
- elaborarea si analiza datelor preliminare de proiectare pentru versiunea nucleara a standului de testare.

BS-8 si F8-O: Spectroscopie de raze gama GRS

Director Proiect: Silviu Olariu

Task Agreement: JW7-NEP-MEC-11

Pentru a produce fluxurile intense de raze gama si de neutroni necesare pentru calibrarea detectorilor GeHP si de scintilatie, am folosit fascicule de protoni si particule α incidente pe tinte groase de aluminiu si beriliu montate pe extensia MA0 a acceleratorului Tandem. Am folosit un fascicul de protoni de 10 MeV incident asupra unei tinte de aluminiu, si am masurat spectrul gama pentru un fascicule avand intensitati de 1000 si de 900 nA. Am determinat ariile liniilor de 511, 843.74, 1014.42, 1368.63 si 1720.3 keV, dupa cum se arata in Tabelul urmator. Timpul de masura pentru fasciculul de protoni de 1000 nA a fost 376 secunde.

Energia, keV	Aria	Eficienta detectorului x factorul geometric	Numarul de fotoni gama / secunda	fractiunea de generare	Reactia
511	20978	3.830×10^{-7}	1.457×10^8	2.334×10^{-5}	$^{27}\text{Al}(p,n)^{27}\text{Si}(\beta^+)$
843.74	8731	2.823×10^{-7}	8.227×10^7	1.318×10^{-5}	$^{27}\text{Al}(p,p')$
1014.42	16308	2.523×10^{-7}	1.719×10^8	2.754×10^{-5}	$^{27}\text{Al}(p,p')$
1368.63	12836	2.103×10^{-7}	1.623×10^8	2.601×10^{-5}	$^{27}\text{Al}(p,p'), ^{27}\text{Al}(p,\alpha)^{24}\text{Mg}$
1720.3	3546	1.830×10^{-7}	5.154×10^7	8.257×10^{-6}	$^{27}\text{Al}(p,p')$

Fractiunea de generare de neutroni prin reactia $^{27}\text{Al}(p,n)$ a fost 1.167×10^{-5} pentru fasciculul de protoni de 1000 nA. Intr-o alta serie de masuratori, o foaie de beriliu a fost montata pe o flansa de aluminiu. Foaia de beriliu a fost iradiata cu particule α pe extensia MA0, iar ratele dozelor de radiatie gama si de neutroni au fost masurate in functie de distanta.

Prin plasarea tintelor pe extensia MA0, unde curentii incidenti pot avea valori si de 1 μA , au fost obtinute fluxuri de fotoni gama mai mari de 6×10^8 fotoni gama / secunda. Pentru un detector cu un diametru de 3 inch (7.5 cm) situat in vecinatatea tinteii, ne putem astepta ca numarul de fotoni detectati sa depaseasca 2×10^7 fotoni gama / secunda.

BS-9.1: Tehnici de reconstructie pentru camera de monitoare a profilelor de neutroni si gama de la JET

Director de proiect : T. Craciunescu

EFDA JET Task Agreement: JW8-TA-EXP-04/JW8-O-MEC-12

Determinarea emisiilor de neutroni din reactiile de fuziune d-d si respective d-t reprezinta unul din obiectivele majore ale experimentelor de la JET. Intre instrumentele de diagnostica, un rol aparte e ocupat de cele doua camere echipate cu detectori de neutroni si gama ce vizeaza plasma la 90 de grade intr-o geometrie de tip *fan-beam*, determinata de sistemul de colimare, cu 19 linii de vizare. Geometria de masura permite realizarea de reconstructii tomografice, dar problema tomografica este una cu date limitate. De aceea este nevoie de metode de reconstructie specifice geometriei JET, capabile sa utilizeze si alte informatii fizice disponibile *a priori* (de ex. configuratia campului magnetic). In continuarea lucrarilor de cercetare din 2008, in cadrul carora a fost elaborata o metoda de reconstructie bazata pe principiului statistic al verosimilitatii maxime, au fost adaptate si implementate alte trei metode de reconstructie: o metoda bazata pe principiul maximizarii entropiei, o metoda de regularizare de tip Tikhonov si un algoritm de retroproiectie de tip Monte Carlo. A fost elaborat un studiu comparativ care a

vizat calitatea reconstrucțiilor, influența zgomotului. Un alt parametru important luat în considerare a fost timpul de calcul, având în vedere că un obiectiv al proiectului este dezvoltarea de metode de reconstrucție care să poată furniza informații utile între două pulsuri succesive. Au fost definite distribuțiile de emisivitate neutronică/gama complexe pentru a realiza o evaluare completă a metodelor. Distribuțiile definite modelează forme specifice experimentelor JET, incluzând și experimente cu tritium. Pe lângă evaluarea calitativă a reconstrucțiilor (forme, rezoluție spațială) a fost realizată și o evaluare cantitativă, prin definirea unor factori de calitate. Studiul comparativ a putut face o ierarhizare a metodelor.

În baza rezultatelor obținute, în etapa următoare a proiectului se va trece la realizarea pachetului soft care să implementeze aceste metode, validarea lui urmând să se realizeze pe seturi de date experimentale.

Rezultatele obținute în cadrul proiectului au fost publicate în revista *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*.

BS-12: Eroziunea tungstenului în divertorul JET

Director de proiect : C. Ruset

Obiectivul general al proiectului

Obiectivul proiectului este de a măsura eroziunea netă a wolframului pe placile divertorului de la JET. Pentru această investigație au fost alese un număr de 16 plăci din CFC și 6 lamele din W masiv distribuite în anumite zone din divertor. Metoda folosită este aceea a markerilor. Un strat marker constă dintr-un strat de W de 4-5 μm sub care există un strat de Mo de 5-6 μm. Aceste straturi se analizează înainte de a fi instalate în JET și după câteva campanii (1-2 ani). Depunerea markerilor se face la MEdC prin tehnologia CMSII (Combined Magnetron Sputtering and Ion Implantation) iar analiza lor se face prin reacții nucleare cu ioni la IPP Garching.

Obiectivul specific

Aplicarea markerilor este direct legată de acoperirea cu W a placilor divertor care se realizează în cadrul proiectului "Perete de tip ITER". Inițial aceste plăci urmau să fie acoperite cu straturi de W de 200 μm de către o companie europeană prin tehnologia Vacuum Plasma Spray. Datorită unor probleme tehnice serioase contractul cu această firmă a fost sistat iar producția de acoperire cu W a placilor divertor a fost preluată de MEdC. Această decizie a fost luată în luna martie 2009. În aceste condiții, markerii se vor aplica după depunerea stratului de baza, în același ciclu.

Stadiul actual al proiectului (Tema BS-12) poate fi rezumat astfel:

- Placile G6, G7, G8 și LBSRP pe care se vor aplica markerii au sosit la MEdC.
- S-au stabilit placile pe care se vor aplica markerii.
- S-au făcut probe preliminare de depunere de markeri și de măsurare a lor.
- S-au făcut teste de încălzire termică ciclică la fluxuri intense (16 MW/m²) până la temperaturi de 1,600 °C. Straturi cu o configurație apropiată de cea a stratului de baza + markeri a rezistat foarte bine.
- S-au proiectat și executat dispozitivele de sârjare pentru aplicarea markerilor pe placile G6, G7, G8 și LBSRP.
- Lamelele din W masiv nu au sosit încă.

Evoluția în continuare a proiectului (Tema BS-12)

- În prezent s-a început acoperirea placilor G6 și G7 cu straturile standard de 20 – 25 μm .

- Aplicarea markerilor se va face în funcție de prioritățile stabilite de JET.

În concluzie, Proiectul AS-1 se derulează în condiții normale existând posibilitatea de finalizare până în septembrie 2009.

BS-13: Modelarea teoretică a stabilității modurilor rezistive de perete, luând în considerare influența viscozității toroidale neoclasice și penetrarea câmpurilor magnetice-eroare

Director Proiect: Dr. I.G.Miron

Obiectiv specific: Investigarea stabilității modurilor rezistive de perete sub influența cuplului de torsiune aferent viscozității neoclasice și a penetrării și amplificării câmpurilor magnetice-eroare

Experimental s-a constatat o masivă destabilizare a plasmei tokamak și franare a rotației toroidale a coloanei de plasmă, în condițiile în care instabilitățile de la suprafața plasmei (instabilități externe tip *kink* care se transformă în moduri rezistive de perete – RWM - la interacția cu peretele rezistiv ce îmbracă coloana de plasmă) își ating stabilitatea marginală (rata de creștere temporală devine nulă). Fenomenul e pus pe seama rezonanței armonicilor constitutive ale RWM cu armonicile corespondente ale câmpurilor magnetice-eroare datorate calibrării imperfecte a bobinelor masive ale instalației tokamak. Locul geometric al rezonanței îl reprezintă suprafețele magnetice ale plasmei dispuse în întreg volumul plasmei, în consecință plasmă fiind destabilizată în totalitate.

În cadrul fazei acestui proiect a fost construit un model teoretic care descrie următoarele constatări experimentale: (i) destabilizarea preponderentă a armonicilor principale (RWM) sub influența câmpurilor magnetice-eroare, la stabilitate marginală, (ii) efectul destabilizator al cuplajului dintre armonici, având drept rezultat destabilizarea întregului spectru al armonicilor vecine ale RWM sub influența câmpurilor magnetice-eroare și (iii) influența nefastă a viscozității neoclasice toroidale asupra stabilității plasmei, datorată efectului cumulat a cuplurilor de torsiune asociate viscozității și cuplajului dintre armonicile constitutive ale instabilității.

În plus, modelul teoretic a propus noi soluții privind alegerea potrivită a spectrului câmpurilor magnetice-eroare, astfel încât cuplajul dintre armonicile instabilităților să fie optim, în sensul unei destabilizări de ansamblu cât mai reduse a plasmei.

Proiect BS-14 : Înțelegerea efectelor neliniare ale driftului $E \times B$ asupra transportului și a generării de structuri în plasmă tokamak turbulente

Director Proiect: Dr. Madalina Vlad

EFDA Task Agreement: ITM-05-IMP4-T3

Obiectivul specific: Viteza medie și difuzia turbulentă a impurităților în plasmă tokamak

Obiectivul specific pentru anul 2009 consta in dezvoltarea modelului de transport al impuritatilor prin includerea efectelor masei si ale sarcinii si in analiza conditiilor pentru acumularea impuritatilor in plasma.

De asemenea, se prevede compararea rezultatele noastre semi-analitice cu simulari numerice dezvoltate la Universite de Provence, bazate pe modelul Hasegawa-Wakatani al turbulentei.

Principalele rezultate

Viteza de tip "ratchet" indusa de gradientul campului magnetic in plasma turbulenta a fost dezvoltata de la stadiul de ideie fundamentala la un model complex si realist care poate fi folosit in studii specifice ale plasmei tokamak. Pornind de la rezultatele noastre recente asupra evolutiei neliniare a turbulentei de drift si asupra efectelor capturii trajectoriilor asupra modurilor test in plasmе turbulente, am identificat principalele caracteristici ale turbulentei ce trebuie incluse in modelul de advecție a particulelor test si a densitatii lor.

A fost analizata dependenta vitezei "ratchet" si a coeficientului de difuzie de masa si sarcina impuritatilor. A fost dezvoltat un cod care determina acesti coeficienti de transport pentru impuritati de tip dat intr-o turbulenta cu caracteristici realiste. S-a aratat ca viteza medie produce efecte importante doar pentru o turbulenta in stadiul neliniar, in prezenta capturii trajectoriilor. Dependenta vitezei medii de numarul de masa A este netriviala in acest caz : viteza creste cu cresterea lui A , atinge un maxim pentru o valoare a lui A care este functie de parametrii turbulentei, apoi scade lent.

A fost identificat un nou mecanism care coduce la eliminarea/acumularea impuritatilor in plasma. Acesta este un efect neliniar care apare datorita miscarii poloidale a ionilor de impuritati. Miscarea poloidala are doua componente : miscarea particulelor in lungul liniilor de camp magnetic in geometrie toroidala si miscarile poloidale induse de turbulenta de drift. In functie de raportul acestor doua componente, impuritatile sunt acumulate sau eliminate din plasma. Rata de acumulare depinde de masa impuritatii prin viteza paralela. Aceasta descreste cu cresterea lui A .

Aceste rezultate sunt prezentate in doua contributii la conferinte acceptate ca lucrari invitate si intr-un articol in preparare.

1. M. Vlad, F. Spineanu, "*Drift turbulence and structure generation*", International Symposium on Cutting Edge Plasma Physics, 24-28 August 2009, invited talk.
2. M. Vlad, „*Nonlinear effects of particle stochastic trapping on the drift turbulence evolution*”, International Workshop on "Physical and mathematical challenges in light of ITER", Marseille-Luminy, France, 26-30 October 2009, invited talk.
3. M. Vlad, F. Spineanu, S. Benkadda, "*Mass-charge dependence of impurity profiles in tokamak plasmas*", in preparation.

BS-15: Dezvoltarea diagnosticii optice de radiatie gamma pentru instalatia JET

Director de proiect: Sorin Soare

Obiectiv specific: Sistem de colimatori in tandem pentru spectrometrul tangential de radiatie gamma (cod KM7T-TC)

Activitatea I, iunie 2009: Pregatirea fazei de proiect preliminar

Obiectivul principal al proiectului "Sistem de colimatori in tandem pentru spectrometrul tangential de radiatie gamma" (proiectul KM6T Tandem Collimators) este proiectarea, constructia si testarea unui sistem complex de colimatori plasati intre detectorul de radiatie

gamma (un detector de tipul BGO, germanat de bismut) si sursa de radiatie gamma, plasma reactorului tokamak JET.

Scopul principal al proiectului este definirea corespunzatoare a unui cimp de vizare in plasma tokamak pentru spectrometrul KM6T. In acelasi timp se urmareste imbunatatirea raportului semnal/zgomot la nivelul detectorului BGO. Detectorul de gamma a beneficiat de protectia partiala oferita de o camera de raze X (KJ5) pana in 2004, cand camera de raze X a fost inlaturata. Protectia detectorului de gamma a fost redusa dramatic, iar cimpul de vizare a devenit neutilizabil.

De aceea un sistem de colimare este absolut necesar pentru:

- a recupera operabilitatea sistemului de diagnostica spectroscopica gamma (de interes in special pentru investigarea particulelor rapide in plasma tokamak)
- a oferi conditiile necesare (dar nu suficiente) de operare a diagnosticii in regim de putere inalta (descarcare JET in DD si DT).

Pe parcursul acestei etape s-au realizat urmatoarele:

- proiect preliminar pentru colimatorul primar (Front Collimator)
- proiect preliminar pentru colimatorul secundar (Rear Collimator)
- clarificat problemele legate de interfete
- s-au stabilit materialele si configuratia de lucru a sistemului de colimare

BS-16: Termografie activa de infrarosu prin metoda fototermala pulsata

Director Proiect: George Dinescu

Obiectiv specific: Proiectarea si demonstrarea functionalitatii unei tehnici capabile sa produca straturi groase de carbon +metale + hidrogen pe substraturi de grafit sau tungsten sau CFC

In cadrul etapei a fost configurata o instalatie experimentală pentru depunerea de straturi compozite aluminiu/carbon + hidrogen sau tungsten/carbon + hidrogen. Tehnica utilizata a fost pulverizarea magnetron reactiva a unei tinte metalice in prezenta acetilenei. In aceasta metoda elementul metalic se obtine din tinta (specific pulverizarii magnetron), iar carbonul si hidrogenul din gazul precursor (specific depunerii chimice din faza de vapori). Dintre configuratiile de depunere posibile, cu o sursa (sursa magnetron) sau doua surse separate spatiale (sursa magnetron si sursa PACVD) a fost examinata configuratia care foloseste o singura sursa si sunt prezentate rezultatele corespunzatoare acestei configuratii. Au fost realizate experimente preliminare de de depunere, utilizand ca substrat grafit polisat (dimensiuni 30x30x5 mm) si aluminiu ca tinta metalica. Au fost identificate conditiile in care se obtin straturi composite si s-au realizat straturi Al/C + hidrogen care ar putea fi utilizate pentru masuratori prin Termografie de Infrarosu Activa. Compozitia filmelor a fost obtinuta prin GDOES si s-a pus in evidenta prezenta aluminiului. Ratele de depunere variaza intre 10 si 100 nm / min. Limitarile observate sunt legate de controlul insuficient al compozitiei si de ratele de depunere mici. Aceste limitari vor fi depasite prin utilizarea unei configuratii cu doua surse, cu automatizare a procesului, configuratie in curs de experimentare.

BS-17 : Profilometrie de adancime cu AMS pentru determinarea concentratiilor de tritiu din scuturile de carbon ale instalatiei de fuziune JET

Director Proiect : Stansion

In faza actuala au fost efectuate urmatoarele:

- 1) Prepararea probelor etalon.
- 2) Experimente pentru testarea si calibrarea noii instalatii experimentale dedicata profilometriei in adancime a concentratiei de tritium din probele de carbon.

Au fost preparate etaloane cu concentratii precise de T/C pentru realizarea experimentelor AMS de profilometrie in adancime. Aceste etaloane vor fi folosite pentru calibrarea masuratorilor AMS pentru profilometria in adancime din probele de grafit colectate de pe peretii tokamak-ului in urma experimentelor de fuziune de la JET. Etaloanele obtinute au urmatoarele concentratii: 1×10^{-10} , 1.2×10^{-9} si 8.9×10^{-9} cu o eroare de 6% fiecare. Erorile calculate contin: eroarea statistica de numarare (1%) si eficacitatea de detectie (3%), eroarea etalonului AIEA (3%), eroarea de cantarire a solutiei standard (1%) si a liantului (2%) si eroarea cantitatii de carbon din compozitia sa (2%). Activitatea β^- a etalonului cu concentratia de 8.9×10^{-9} este mai mica de 4 Bq/cm^2 .

Cu etalonul T/C = 8.9×10^{-8} au fost realizate masuratori de RSF (relative sensitivity factor) pentru productia ionilor negativi de tritium din grafit. Au fost realizate opt determinari independente ale raportului N_T / N_{C12} din care s-a obtinut valoarea $\text{RSF}_{T/C} = 4(1) \times 10^{23}$ (atoms/cm³).

Cea de a doua activitate a actualei etape a fost calibrarea si optimizarea noului sistem de profilometrie in adancime AMS folosind etaloanele realizate pentru masuratorile probelor de la JET. Pentru o profilometrie in adancime a concentratiilor de tritium, eficienta si de incredere, au fost optimizati experimental parametrii instalatiei.

Conditiiile finale optime obtinute pentru experimentele de profilometrie in adancime AMS la tandemul FN-8MV de la IFIN-HH Bucuresti au fost urmatoarele: $U_{\text{sputter}} = 6.0 \text{ kV}$, $U_{\text{extr}} = 11.0 \text{ kV}$, $U_{\text{einzel}} = 2,1 \text{ kV}$, $U_{\text{pacc}} = 47.4 \text{ kV}$ pentru sursa de ioni, energia de accelerare 18.6 MeV , $U = 4.807 \text{ MV}$, $\text{Offset} = 0.157 \text{ MeV}$ pentru fascicolul pilot $^{12}\text{C}^{3+}$ si, energia de accelerare: 8.264 MeV , $U = 4,132 \text{ MV}$ pentru fascicolul microscopic de tritium $^3\text{H}^{1+}$.

AS-1: Depunerea de material si compozitia peretilor

Director de proiect : C. Ruset

Task Agreement WP08-TGS-01-04

Obiectivul general al proiectului este studiul si constructia unui echipament LIBS (Laser Induced Breakdown System) pentru analiza *in situ* a compozitiei peretilor tokamak in diverse regiuni. Se are in vedere identificarea atat a materialului depus cat si a celui erodat la distante de ordinul metrilor. De asemenea se urmareste posibilitatea obtinerii unor profile in adancime a concentratiilor elementelor constituinte ale straturilor de la suprafata peretilor. In proiect sunt implicate in prezent 4 asociatii care detin astfel de echipamente si anume: ENEA – Italia, CEA – Franta, TARTU – Estonia and IPPMF – Polonia.

Obiectivul specific al Asociatiei MEdC (Tema AS-1) este acela de a produce probe calibrate, sub forma unor straturi subtiri, care sa contina elementele ce se estimeaza a exista la suprafata peretilor (W, C, etc.). Aceste probe urmeaza a fi la randul lor folosite pentru calibrarea echipamentelor LIBS.

Stadiul actual al proiectului (Tema AS-1) poate fi rezumat astfel:

S-au produs un numar de 35 de probe de Ti acoperite cu straturi de W de 10 μm avand un strat intermediar de Mo de 2-3 μm . Aceste probe au fost analizate prin Spectrometrie Optica in Descarcare Luminiscenta (GDOS) dupa care au fost trimise impreuna cu specificatia tehnica la cei 4 parteneri din proiect. Ele sunt folosite pentru identificarea prezentei W, Mo si Ti si pentru a se investiga variatia intensitatii liniilor spectrale respective cu numarul pulsurilor laser. Spectrul LIBS este inregistrat la fiecare puls. Identificarea lungimilor de unda optime coarespunzatoare elementelor de interes este de asemenea un obiectiv important al proiectului. **Evolutia in continuare** a proiectului (Tema AS-1) implica producerea unor probe care sa contina straturi complexe W-C in diferite concentratii. Aceste probe vor fi folosite pentru calibrarea efectiva a dispozitivelor LIBS.

AS-2: Acoperiri cu Be pe grafit la 100; 300 si 500°. Acoperiri cu W pe probele realizate anterior.

Director de proiect : C. Lungu
Task Agreement WP09-PWI-07-01

Faza de realizare prezenta face parte din proiectul cu tematica mai larga "Determinarea aliajelor si compozitelor si influenta acestora la procesele de interactie dintre plasma de fuziune si peretele instalatiei tokamak", desfasurata de grupul de lucru SEWG format din Asociatii Euratom in legatura cu mixarea materialelor de interes pentru ITER.

Scopul proiectului consta in imbunatatirea cunostintelor in legatura cu mixarea materialelor de interes pentru ITER in conditii asemanatoare celor din rectorul de fuziune.

In cadrul prezentei faze de executie au fost realizate acoperiri cu beriliu de 200 nm pe substraturi din grafit si plachete de siliciu mentinute in timpul depunerilor la temperaturi de 100; 300 si 500 °C, urmate de acoperiri cu filme de wolfram pe probele realizate anterior.

Probele realizate au fost analizate in Romania prin scanning probe microscopy (SPM) microscopie electronica de baleiaj (SEM), spectroscopie dupa energia de imprastiere (EDS), spectroscopie de fotoelectroni (XPS) si Rutherford Backscattering Spectroscopy (RBS)

In cadrul cooperarii cu Institutul de Fizica Plasmei din Garching, Germania probele realizate la INFLPR au fost analizate prin metoda imprastierii Rutherford, NRA si XPS in timpul unui stagiu de lucru al unui membru al colectivului de cercetare.

1. Anghel, I. Mustata, C. Porosnicu, C. P. Lungu, Influence of the bias voltage on the formation of beryllium films by a thermionic vacuum arc method, *Journal of Nuclear Materials*, Volume 385, Issue 2, 31 March 2009, Pages 242-245
2. Anghel, C. Porosnicu, C. P. Lungu, I. Mustata, K. Krieger, Influence of thermal treatment of Beryllium thin films deposited on graphite on the Be – C mixture formation, PFMC 12 International Conference, Julich May 2009
3. Anghel, C. Porosnicu, M. Badulescu, I. Mustata, C.P. Lungu, K. Sugiyama, S. Lindig, K. Krieger, J. Roth, A. Nastuta, G. Rusu, G. Popa, Surface morphology influence on deuterium retention in beryllium films prepared by thermionic vacuum arc method, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, Volume 267, Issue 2, January 2009, Pages 426-429.

AS-3: Acoperiri cu Be-C-W pe substraturi de grafit si Si la temperatura camerei si 500°C

Director de proiect : C. Lungu
Task Agreement WP09-PWI-07-02

In cadrul proiectului EURATOM cu tematica larga: “Determinarea aliajelor si compozitelor si influenta acestora la procesele de interactie dintre plasma de fuziune si peretele instalatiei tokamak” se studiaza materialele compozite care se pot forma in urma functionarii reactoarelor de fuziune de tip ITER in scopul imbunatatirii cunostintelor privind formarea acestora si rolul lor in retentia combustibilului de fuziune.

In cadrul prezentei faze de executie au fost realizate acoperiri cu amestecuri binare si respectiv ternare cu cele trei elemente de baza care constituie peretele instalatiei tokamak. Acoperirile s-au efectuat folosind metoda originala “arc termoionic in vid” pe substraturi din grafit si plachete de siliciu mentinute in timpul depunerilor la temperatura camerei (RT) si respectiv 500 °C.

Probele realizate au fost analizate in Romania prin microscopie electronica de baleiaj (SEM), spectroscopie dupa energia de imprastiere (EDS), spectroscopie de fotoelectroni (XPS), microscopie de forta atomica..

In cadrul cooperarii cu Institutul de Fizica Plasmei din Garching, Germania probele realizate la INFLPR au fost analizate prin metoda imprastierii Rutherford in timpul stagiului de lucru al unui membru al colectivului de cercetare.

1. Cristian P. LUNGU, Ion MUSTATA, Alexandu ANGHEL Corneliu POROSNICU, Ionut JEPU, Catalin TICOS Ana M. LUNGU, Mihai GANCIU, Arcadie SOBETKII Gheorghe HONCIUC and Patrick CHAPON, Preparation and Characterization of Multifunctional, Nanostructured Coatings Using Thermionic Vacuum Arc Method, Symposium Kobe, March 2-4 2009, *Frontier of Applied Plasma Technology*, Vol.2 July 2009, pp1-6.
2. C. Porosnicu, C. P. Lungu, A. Anghel, K. Sugiyama, K. Krieger, J. Roth, and V. Andrei, Substrate Temperature Influence in Formation of Stable Be-W Composite Films Prepared by Thermionic Vacuum Arc Method, PFMC, Julich May 2009
3. C. Porosnicu, A. Anghel, C. P. Lungu, I. Mustata, V. Zaroschi, Morphological and Compositional Study on Be-C/Be-W Composite Films Prepared By Thermionic Vacuum Arc Method, E-MRS, Strasbourg, France, 7-9 June 2009.

AS-4: Influenta geometriei de castelare si a materialului depus in interiorul canelurilor asupra curatarii cu torta de plasma

Director de proiect : George Dinescu
Task Agreement WP09-PWI-02-05

Obiectivul specific: Obtinerea unor structuri compozite bazate pe carbon amorf hidrogenat cu incluziuni metalice

In cadrul etapei au fost realizate straturi compozite carbon/hidrogen (peste 2 μ m grosime) pe suprafetele unor cuburi metalice manufacturate din aluminiu, special proiectate ca prin asamblare sa defineasca spatii inguste de largime variabila intre 0,5 si 2 mm. Adancimea acestor spatii este de peste 20 mm. In timpul depunerii straturilor o parte din suprafata prevazuta a delimita spatiul ingust a fost mascata pe o zona care se intinde de la partea superioara catre baza. In acest fel a fost creat pe adancime un profil al tranzitiei zona depusa-nedepusa. Pe acest profil s-au putut aplica masuratori de profilometrie care au permis determinarea distributiei grosimii stratului cu adancimea in diferite etape ale procesului de curatare.

Experimentele de curatare in adancime au fost realizate pozitionand sursa de plasma deasupra spatiului ingust si scanand in lungul acestuia. Au fost examinate modificarile profilului de tranzitie zona depusa-nedepusa in adancime, in urma scanarii repetitive cu jetul de plasma, in

doua situatii: torta de plasma plasata deasupra mijlocului spatiului ingust (plasma orientata in spatiu) si torta de plasma plasata la marginea spatiului (plasma orientata catre muchea cubului). In urma experimentelor a rezultat ca se produce curatarea in adancime. Efectul de curatare este mai puternic la fata de sus a cubului si la baza cubului. Explicatia consta in aceea ca la partea de sus plasma este mai densa, iar la partea de jos se produce o reflexie inapoi si o raspandire spatiala a jetului de plasma. De asemenea, efectul de curatare este mai puternic cand jetul este pozitionat pe muchie, in comparatie cu cazul in care jetul este pozitionat pe mijlocul spatiului ingust.

E.R. Ionita, C. Stancu, G. Dinescu, C. Grisolia

„Radiofrequency plasma jet cleaning inside TOKAMAK deep gaps at atmospheric pressure”, presented at International Colloquium on Plasma Processes (CIP 2009), June 22-26, 2009, Marseille, France

AS-5: Model pentru turbulenta plasmei marginale din tokamak

Director Proiect : G. Steinbrecher

Task Agreement WP08-TGS-01b/06/MedC/PS

Obiective generale: Caracterizarea corelatiilor de raza lunga si a efecelor fizice de scala multipla in plasma aflata in modul L in regimuri de confinare avansata pe margine.

Obiectiv present: Corelatii de raza lunga, efectul asupra transportului de impuritati.

S-a elaborat un model de transport al impuritatilor in plasma marginala din tokamak. Modelul permite calcularea unor margini inferioare pentru fractiunea de impuritati captate in tokamak. Ipotezele modelului sunt: camp magnetic constant, turbulenta electrostatica “inghetata”, omogena, Gaussiana, dar nu neaparat izotropa. Efectele interesante se obtin exact in cazurile in care corelatiile campului electri turbulent sunt de raza lunga si asymptotic self similare: s-au obtinut conditii, asupra functiei de corelatie, pentru a avea loc efectul de captare a impuritatilor.

In conditiile de mai sus se obtine o margine inferioara pentru fractiunea de impuritati captate. Expresia matematica obtinuta a permis elaborarea unui program C++, folosind rezultate din ref.[1], pentru calculul acestor margini cu un efort computational relativ redus. Aceste rezultate sunt utile deoarece inlatura necesitatea unor calcule directe consumatoare de resurse hardware, in optimizarea unor instalatii tokamak de tip ITER, DEMO. *In concluzie* obiectivele propuse au fost atinse. Acest obiectiv va fi studiat si in continuare.

AS-6: Microtomografie de raze X pentru caracterizarea porozitatii probelor de grafit si CFC

Director Proiect : Ion Tiseanu

Task Agreement WP09-PWI-01

Proiectul actual al ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) prevede realizarea unor componente ale primului perete (in special sectiuni ale divertorului) din materiale compozite pe baza de CFC (carbon-carbon fibre composite) datorita combinatiei unice de proprietati fizico-mecanice (conductivitate termica foarte ridicata, Z efectiv redus, rezistenta deosebita la socuri mecanice si termice).

O problema importanta ridicata de utilizarea materialelor compozite CFC la instalatiile tokamak actuale (Tore Supra, ASDEX Upgrade, TEXTOR, JET) consta in evaluarea retentiei izotopilor de hidrogen deoarece inventarul de tritii este un element esential de risc radiologic. Retentia izotopilor de hidrogen este descrisa prin doua mecanisme principale: retentia prin co-depunere a carbonului erodat din perete si implantarea ionilor de hidrogen in volumul materialului "bulk retention".

In prezent se desfasoara activitati de cercetare pentru elucidarea si cuantificarea acestor mecanisme. In conexiune cu aceste cercetari, in prezentul proiect, se are in vedere dezvoltarea unei metodici de examinare nedistructiva pentru descrierea tridimensionala de inalta rezolutie spatiala a retelei de porozitate a esantioanelor CFC de interes pentru tehnologia de fuziune. Obtinerea modelului 3D al materialelor CFC este un parametru esential pentru cuantificarea retentiei de volum.

Experimentele se realizeaza in cadrul laboratorului de microtomografie de raze X din cadrul INFLPR (<http://tomography.inflpr.ro/>) la instalatia "NanoCT" echipata cu o sursa de raze X nanofocus de ultima generatie si un sistem de detectie de raze X de mare rezolutie spatiala.

Structura puternic neuniforma/neizotropa a materialelor CFC a facut necesara dezvoltarea unei tehnici avansate de scanare tomografica care sa asigure o rezolutie spatiala ridicata pe esantioane de volume relativ mari. Aceasta consta in plasarea detectorului asimetric fata de fascicolul de raze X si adaptarea corespunzatoare a algoritmilor de reconstructie tomografica. Astfel s-a reusit dublarea ratei de esantionare spatiala si implicit a rezolutiei volumului reconstruit.

S-au obtinut reconstructii tomografice cu o rezolutie spatiala de cca 2.5 micrometri/voxel la probe cu sectiunea de 5x5 mm². ceea ce a presupus masurarea unor seturi de date (sinograme) formate din 1440 radiografii digitale cu dimensiunea 2400x1220 pixeli.

Prin aceasta metoda s-au analizat esantioane de materiale CFC reprezentative pentru tehnologia de fuziune: CFC NB31 si CFC DMS780.

In urma prezentarii acestor rezultate la reuniunea anuala a expertilor in probleme de retentie de izotopi de hidrogen (SEWG on Fuel retention, Cadarache, Franta) s-a apreciat performanta deosebita in rezolutie spatiala si s-a stabilit utilizarea metodei dezvoltate in acest proiect la analiza post-mortem a unor probe de CFC de la instalatiile tokamak Tore Supra, TEXTOR si ASDEX Upgrade precum si caracterizarea porozitatii materialului NB41, recent propus ca material de referinta ITER.

AS-7: Analiza eroziunii straturilor nanocompozite prin absorbtie/fluorescenta de raze X de inalta rezolutie spatiala

Director Proiect : Ion Tiseanu
Task Agreement WP09-PWI-04

In prezent proiectul ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) prevede realizarea peretelui tokamak-ului dintr-o combinatie de beriliu si tungsten pe suport CFC. Cum o astfel de combinatie nu a fost testata niciodata intr-un tokamak, un proiect de testare pentru aproximativ 1000 de componente CFC cu depunere de 10 μ m de tungsten este in desfasurare la JET. In conexiune cu aceste activitati de cercetare, in prezentul proiect, se are in vedere dezvoltarea unor metode de examinare nedistructiva pentru evaluarea uniformitatii depunerii de tungsten ca si determinarea grosimii si maparea de compozitie (importanta mai ales in analizele de eroziune/depunere *post-mortem*). Pentru atingerea acestui obiectiv a fost

dezvoltata o metodica bazata pe doua tehnici de examinare nedistructiva: o metoda de absorbtie a raze X de inalta rezolutie spatiaala si o metoda de mapare prin micro-fluorescenta de raze X obtinuta prin focalizarea razelor X cu ajutorul unei lentile policapilare. Metodica a fost validata pe probe test cu depuneri calibrate prin magnetron sputtering at Max-Planck-Institut fuer Plasmaphysik, Garching si erosiuni realizate in mod controlat prin metoda CMSII (*Combined Magnetron Sputtering and Ion Implantation*) dezvoltata in INFLPR. Experimentele au arata ca rezolutia laterala a metodei este de $\sim 30 \mu\text{m}$. Grosimea depunerilor a putut fi determinata cu o precizie suficienta (aproximativ 3%). S-a demonstrat deasemena ca metoda dezvoltata este extrem de utila pentru analiza distributiei spatiale a materialelor cu Z mare inglobate in structuri de densitate mica (markeri, intruziuni, praf). Lucrarile la acest proiect vor continua prin analiza unor probe CFC cu depuneri de W sau contaminari de Cu provenite de la Tore-Supra si ASDEX, de interes pentru JET/ITER.

TT12: Producerea si testarea placilor din CFC acoperite cu W pentru instalare in JET pentru proiectul "Perete de tip ITER"

Director de proiect : C. Ruset

Obiectivul general al proiectului "Perete de tip ITER" este inlocuirea actualului perete din CFC (Carbon Fiber Composite) al tokamak-ului JET cu un nou perete care contine Be in camera principala si W pe unele placi din camera principala si divertor. Aceasta configuratie urmeaza sa fie instalata pe ITER dar ea nu a fost niciodata testata pe un tokamak.

Obiectivul specific al sub-proiectului in care este implicata Asociatia MEdC (Tema TT12) este acela de a acoperi cu W cu straturi de $10\text{-}15 \mu\text{m}$ si $20\text{-}25 \mu\text{m}$ un numar de cca. 1.800 de placi din CFC de diverse forme si dimensiuni ce urmeaza a fi instalate in noul perete JET. In acest scop MEdC a construit o instalatie industriala si a dezvoltat o tehnologie corespunzatoare capabila sa satisfaca cerintele impuse de JET privind calitatea straturilor de W. In principal acestea trebuie sa reziste la fluxuri termice intense ciclice ($10 - 16 \text{ MW/m}^2$) in timpul carora temperatura straturilor de W ajunge si chiar depaseste $1.600 \text{ }^\circ\text{C}$. La primele teste straturile au rezistat pana la $2.000 \text{ }^\circ\text{C}$ fara sa se exfolieze.

Stadiul actual al sub-proiectului TT12 poate fi rezumat astfel:

- A fost construita si pusa in functiune o instalatie industriala de acoperire cu straturi subtiri prin pulverizare magnetron combinata cu implatarea ionica (CMSII – Combined Magnetron Sputtering and Ion Implantation).
- S-au elaborat tehnologiile necesare pentru depunerea pe placi din CFC a unor straturi de W de $10\text{-}15 \mu\text{m}$ si $20\text{-}25 \mu\text{m}$. Aceste tehnologii au fost calificate pentru unele repere in urma testelor care s-au efectuat la IPP Garhing in Germania pe placile respective acoperite la Bucuresti. Se pare ca in prezent tehnologia CMSII este nu numai cea mai buna, dar si singura din Europa capabila sa produca straturi de W pe material pe baza de carbon care sa corespunda cerintelor de utilizare la temperaturi inalte fara sa se exfolieze.
- S-au acoperit pana in prezent cu straturi de W de $10\text{-}15 \mu\text{m}$ peste 25 % din numarul total de placi ce trebuie acoperite. Aceasta cantitate corespunde cu cerintele din Task Agreement.

Evolutia in continuare a sub-proiectului TT12 implica urmatoarele activitati si termene:

- Acoperirea cu straturi de W a 50 % din placile divertorului pana la 31.12.2009
- Acoperirea cu straturi de W a intregii cantitati de placi din CFC pentru peretele JET pana la 30.09.2010.

In concluzie, sub-proiectul TT12 se deruleaza in conditii normale. **Monitorizarea** activitatii este facuta **saptamanal** prin teleconferinte intre JET, MEdC si IPP Garching.