



TEZĂ DE ABILITARE

Structuri complexe de sarcini spațiale în plasmă

REZUMAT

Conf. univ. dr. Dan-Gheorghe DIMITRIU

IAȘI 2020

REZUMAT

Studiul fenomenelor neliniare în plasmă reprezintă o direcție de cercetare extrem de importantă, atât din punct de vedere teoretic, cât și aplicativ. Acesta presupune, printre altele, investigarea formării de structuri autoorganizate de sarcini spațiale, de tip strat dublu, strat dublu multiplu, soliton, sau chiar structuri mai complexe, dar și analiza dinamicii acestor structuri, dinamici ce influențează, de cele mai multe ori, comportarea globală a întregului dispozitiv cu plasmă în care aceste structuri apar.

Stratul dublu electric, constituit din două pături de sarcini spațiale, una electronică și cealaltă ionică, este cea mai simplă structură autoorganizată ce poate apare în plasmă. Autoasamblarea celor două pături de sarcini spațiale are loc datorită forțelor interne de tip *long range* ce apar între grupuri mari de particule. Prin accelerarea electronilor termici din plasmă în căderea de potențial dintre cele două pături de sarcini spațiale până la energii la care au loc ciocniri inelastice de excitare și ionizare cu particulele neutre ale gazului de lucru, stratul dublu își menține structura, compensând pierderile de particule (electroni și ioni pozitivi) prin recombinare și difuzie. Atunci când condițiile experimentale nu mai permit menținerea structurii în stare stabilă (prin îndepărtarea sistemului de starea de echilibru), aceasta trece într-o stare dinamică, ce constă din disrupții și reasamblări periodice ale stratului dublu, fenomen ce conduce la apariția de oscilații ale parametrilor plasmei (curentul de descărcare, potențialul plasmei, densitatea electronilor și ionilor). Atât în stare statică, cât și în stare dinamică, stratul dublu posedă memorie, reușind să-și mențină stare staționară în condiții mai vitrege decât cele necesare pentru dezvoltarea acestor stări, fapt evidențiat în caracteristica statică curent-tensiune a electrodului de excitare de apariția fenomenului de histerezis. De asemenea, apariția stratului dublu și tranziția acestuia în stare dinamică au loc prin salturi de curent, evidențiind fenomenul de rezistență diferențială negativă de tip S, respectiv N (sau Z).

Cel mai simplu mod de obținere a unui strat dublu este de a pozitiva un electrod introdus în plasmă până la o valoare a potențialului aplicat mai mare decât cea critică la care structura se poate dezvolta în condițiile experimentale existente. În acest fel, în fața electrodului apare o structură intens luminoasă, aproximativ sferică, cunoscută sub numele de minge de foc. Analiza spectrală a mingii de foc a evidențiat rolul ciocnirilor inelastice de excitare și ionizare dintre electroni și neutri în formarea și dinamica structurii. Apariția și dinamica structurii pot fi controlate utilizând un electrod suplimentar, în formă de inel, concentric cu electrodul de excitare, și polarizându-l în mod convenabil. Experimental, au fost puse în evidență mai multe scenarii de tranziție spre haos a dinamicii stratului dublu (prin intermitență de tip I, cuasiperiodicitate sau cascadă de bifurcații subarmonice), precum și tranziții succesive ordine-haos-ordine. Prin utilizarea unor elemente de circuit extern (condensator în paralel cu electrodul de excitare, respectiv bobină în serie cu electrodul de excitare), se poate controla dinamica haotică a mingii de foc în plasmă, transformând-o într-o dinamică periodică armonică. Utilizând Teoria Relativității de Scară, se poate modela teoretic stratul dublu ca interfață generată la interacțiunea a două fluide fractale cu proprietăți diferite.

În anumite condiții experimentale (natura și presiunea gazului de lucru, densitatea plasmei, temperatura electronilor), în fața electrodului de excitare poate să apară o structură de sarcini spațiale mai complexă, alcătuită din mai multe straturi duble și numită strat dublu multiplu. În funcție de geometria electrodului, straturile duble multiple pot fi concentrice sau neconcentrice (sub forma unei rețele de mingi de foc uniform distribuite pe suprafața electrodului). Numărul straturilor duble ce compun structura multiplă crește odată cu creșterea presiunii gazului de lucru sau a potențialului aplicat pe electrodul de excitare. Dinamica stratului dublu multiplu este una complexă, putând exista corelări ale dinamicilor individuale ale straturilor duble componente sau necorelări între acestea, cu apariția de zgomot roz sau haos. Astfel, atât în cazul straturilor duble multiple concentrice, cât și în cazul celor neconcentrice, s-a observat o tranziție spre haos prin cascadă de bifurcații subarmonice spațio-temporale. Observațiile experimentale au condus la concluzia că ambele tipuri de straturi duble multiple au la bază același mecanism fizice de apariție și dinamică. S-a evidențiat chiar experimental existența simultană a straturilor duble multiple concentrice și neconcentrice pe același electrod. A fost elaborat un model teoretic fractal, în cadrul Teoriei Relativității de Scară, care explică anumite aspecte observate experimental în legătură cu straturile duble multiple.

Pentru o mai bună înțelegere a formării și dinamicii straturilor duble multiple, a fost investigată experimental interacțiunea dintre două mingi de foc, obținute pe doi electrozi

diferiți. S-a observat că frecvența de oscilație a celor două structuri depinde de distanța dintre cei doi electrozi, de potențialele aplicate pe aceștia și de valoarea curentului de descărcare (proporțional cu densitatea plasmei). Aceste dependențe au fost confirmate și de modelul teoretic fractal dezvoltat în cadrul Teoriei Relativității de Scară. Investigarea spectrală a interacțiunii dintre cele două mingi de foc a evidențiat încă o dată rolul important al ciocnirilor inelastice de excitare și ionizare dintre electroni și neutri în dinamica acestora, dar a urmărit și influența adăugării unei cantități mici de heliu asupra liniilor spectrale ale argonului, folosit drept gaz de lucru.

A fost analizată interacțiunea dintre două structuri complexe de sarcini spațiale ce apar în interiorul și în exteriorul unui catod grilă de formă sferică, prevăzut cu un mic orificiu. Diagnoza electrică și spectrală a evidențiat prezența unor straturi duble în regiunea din vecinătatea orificiului, aflate în stare dinamică. Analiza oscilațiilor curentului de descărcare a evidențiat existența unui fenomen de automodulare a acestora, determinată de interacțiunea dintre structurile de sarcini spațiale existente în plasmă. Fenomenul a fost modelat teoretic, ajungându-se la soluțiile unei ecuații fractale de tip Riccati. În pasul următor a fost analizată o descărcare electrică în argon utilizând doi catodi grilă sferici concentrici, prevăzuți cu orificii aliniate axial. Și în acest caz diagnoza electrică și spectrală a evidențiat formarea a mai multor structuri de sarcini spațiale, aflate în interacțiune reciprocă.

Au fost propuse mai multe teme de cercetare care continuă studiul interacțiunii structurilor complexe de sarcini spațiale în plasmă de temperatură joasă, dar și teme noi de cercetare, care vizează studiul acestor structuri în plasmă magnetizată, sau a structurilor ce apar la interacțiunea plasmă – lichid. De asemenea, se pot deschide direcții noi de cercetare asupra formării de structuri autoorganizate în alte medii decât plasmă (lichide, medii chimice și biologice, circuite electronice), sau de investigare a unor fenomene complexe în sisteme economice sau sociale, interdisciplinare sau transdisciplinare.

A fost demonstrată capacitatea autorului de a coordona echipe de cercetare (director a mai multor granturi de cercetare, membru în comisii de îndrumare a unor doctoranzi, membru în comisii de analiză și susținere de teze de doctorat, coordonare a unor proiecte de cercetare postdoctorală) și de a gestiona activități didactice (introducere de cursuri, laboratoare și seminarii noi, îndrumare de lucrări de licență și disertație).