

Raport stiintific

privind implementarea proiectului

COLLECTIVE DYNAMICS, DISSIPATION AND FRAGMENTATION IN QUANTUM MESOSCOPIC SYSTEMS

(DINAMICA COLECTIVA, DISIPARE SI FRAGMENTARE IN SISTEME MEZOSCOPICE CUANTICE)

in perioada octombrie 2011 -octombrie 2013

In raportul stiintific de sinteza pentru perioada primilor doi ani de implementare, octombrie 2011-octombrie 2013, mai jos sunt descrise principalele rezultate obtinute in cadrul proiectului de cercetare in corelatie cu structura planului de lucru.

Pentru WP1. Obiectivul: *Insight into the features of collective modes and of entrance channel dynamics in dissipative reactions with exotic nuclei*

In anul 2011, intr-o abordare schematica, analitica, de tip model in paturi cu potential de oscilator armonic, s-au putut separa doua miscari dipolare in nucleele bogate in neutroni: una corespunde la miscarea in opozitie de faza a protonilor si respective neutronilor "cor"-ului (simburelui nuclear); cealalta corespunde oscilatiilor neutronilor in exces fata de simburele inert. In adevar intr-un model anterior David Brink, plecind de la Hamiltonianul

$$H_{sm} = \sum_{i=1}^A \frac{\vec{p}_i^2}{2m} + \frac{K^2}{2} \sum_{i=1}^A r_i^2$$

a reusit o separare:

$$H_{sm} = H_{n \text{ int}} + H_{p \text{ int}} + H_{CM} + H_D$$

Unde primii doi termeni sunt asociati cu miscarea intrinseca a fiecarui subsistem,

$$H_D = \frac{A}{2mNZ} \vec{P}^2 + \frac{KNZ}{2A} \vec{X}^2$$

corespunde miscarii dipolare si caracterizeaza Rezonanta Gigant Dipolara , iar

$$H_{CM} = \frac{1}{2Am} \vec{P}_{CM}^2 + \frac{KA}{2} \vec{R}_{CM}^2$$

caracterizeaza miscarea centrului de masa. Pentru completitudine, X indica coordonata colectiva asociata cu miscarea dipolara, reprezentind distanta dintre centrele de masa ale protonilor si neutronilor respectiv (toti protonii oscileaza in opozitie de faza fata de toti neutronii) iar P este impulsul canonic conjugat:

$$\vec{P} = \frac{NZ}{A} \left(\frac{1}{Z} \vec{P}_Z - \frac{1}{N} \vec{P}_N \right)$$

Folosind regula de suma TRK se obtine sectiune eficace totala pentru Rezonanta Gigant Dipolara:

$$\begin{aligned} \sigma_D &= \int_0^\infty \sigma(E) dE = \frac{4\pi^2 e^2}{\hbar c} \sum_i E_i |\langle i|D|0\rangle|^2 = \\ &= \frac{4\pi^2 e^2}{\hbar c} \frac{1}{2} \langle 0|[D, [H_{sm}, D]]|0\rangle = \\ &= \frac{2\pi^2 e^2}{\hbar c} \langle 0|[D, [H_D, D]]|0\rangle = \\ &= \frac{2\pi^2 e^2}{\hbar c} \frac{NZ}{A} = 60 \frac{NZ}{A} mb MeV \end{aligned}$$

Acest rezultat se poate generaliza introducind miscarea dipolara de tip pygmy corespunzand coordonatei Dipolare collective Y pentru miscarea neutronilor in exces in opozitie de faza cu miscarea simbului nuclear. Atunci avem relatiile:

$$\begin{aligned} \vec{X} &= \frac{N_e}{N} \vec{Y} + \frac{N_c A}{N A_c} \vec{X}_c \\ \vec{X}_c &= \vec{R}_{p_c} - \vec{R}_{n_c} \quad \vec{Y} = \frac{N_c}{N_c + Z_c} \vec{R}_{n_c} + \frac{Z_c}{N_c + Z_c} \vec{R}_{p_c} - \vec{R}_{n_e} \\ \vec{X} &= \vec{R}_{p_c} - \vec{R}_{n_e} = \vec{R}_{p_c} - \frac{N_e}{N} \vec{R}_{n_e} - \frac{N_c}{N} \vec{R}_{n_c} \end{aligned}$$

si Hamiltonianul colectiv poate fi descompus intr-o suma de sisteme separabile

$$\begin{aligned} H_{sm} &= H_{n_c \text{ int}} + H_{p_c \text{ int}} + H_{e \text{ int}} + \\ &= \frac{1}{2Am} \vec{P}_{CM}^2 + \frac{KA}{2} \vec{R}_{CM}^2 + \\ &= \frac{A_c}{2Z_c N_c m} \vec{P}_c^2 + \frac{KN_c Z_c}{2A_c} \vec{X}_c^2 + \\ &= \frac{A}{2A_c N_e m} \vec{P}_y^2 + \frac{KN_e A_c}{2A} \vec{Y}_e^2 = \\ &= H_{n_c \text{ int}} + H_{p_c \text{ int}} + H_{e \text{ int}} + H_{CM} + H_c + H_y \end{aligned}$$

unde impulsurile canonice corespunzatoare coordonatelor collective sunt date de:

$$\vec{P}_c = \frac{N_c Z_c}{A_c} \left(\frac{1}{Z_c} \vec{P}_{Z_c} - \frac{1}{N_c} \vec{P}_{N_c} \right)$$

$$\vec{P}_y = \frac{N_e A_c}{A} \left(\frac{1}{A_c} (\vec{P}_{Z_c} + \vec{P}_{N_c}) - \frac{1}{N_e} \vec{P}_{N_e} \right)$$

$$\vec{P}_{CM} = \vec{P}_Z + \vec{P}_{N_c} + \vec{P}_{N_e}$$

Aceasta permite obtinerea unei limite superioare a fractiunii din regula de suma care se poate aloca rezonantei de tip pygmy, conform demonstratiei de mai jos:

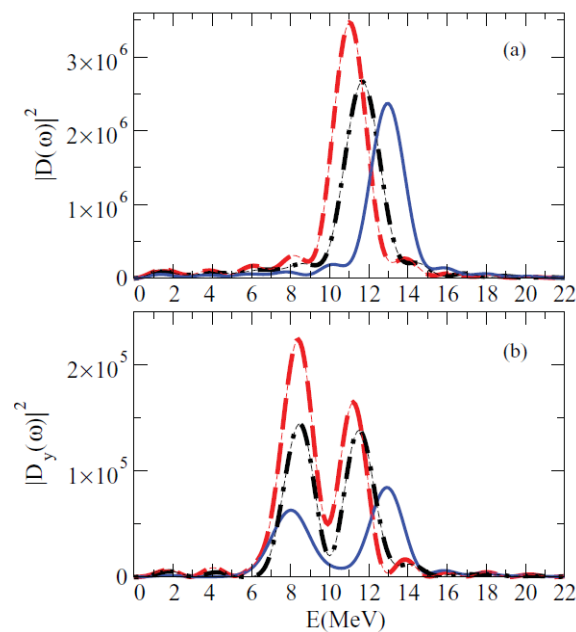
$$\begin{aligned} \sigma_y &= \int_0^\infty \sigma_y(E) dE = \frac{4\pi^2 e^2}{\hbar c} \sum_i E_i |\langle i | D_y | 0 \rangle|^2 = \\ &= \frac{4\pi^2 e^2}{\hbar c} \frac{1}{2} \langle 0 | [D_y, [H_{sm}, D_y]] | 0 \rangle = \\ &= \frac{2\pi^2 e^2}{\hbar c} \langle 0 | [D_y, [H_y, D_y]] | 0 \rangle = \\ &= \frac{N_e Z_c}{N A_c} \frac{2\pi^2 e^2}{\hbar c} \frac{N Z}{A} = \frac{N_e Z_c}{N A_c} \sigma_D \end{aligned}$$

Astfel pentru izotopul de Staniu cu 82 de neutroni aceasta reprezinta 19.5 % din valoarea sectiunii dipolare totale. Pentru izotopul de Ni se gaseste 11%. Astfel de estimari sunt obtinute pentru prima data intr-o maniera analitica fiind foarte utile si din punct de vedere experimental pentru alegerea sistemelor ce urmeaza a fi investigate in legatura cu aceasta miscare colectiva. Predictiile acestui model schematic urmeaza a fi comparate cu rezultatele obtinute pe baza ecuatiei de transport de tip BNV

$$\frac{\partial f_q}{\partial t} + \frac{\mathbf{p}}{m} \frac{\partial f_q}{\partial \mathbf{r}} - \frac{\partial U_q}{\partial \mathbf{r}} \frac{\partial f_q}{\partial \mathbf{p}} = I_{coll}[f]$$

Un cod numeric nou care poate calcula si tranzitiile de densitate (deviatia de la valoarea statica pentru diferite frecvente a densitatii neutronice si protonice) a fost finalizat pentru a putea compara cele doua abordari. In plus, acesta permite studiul dependentei miscarilor dipolare gigant, a miscarilor pygmy si a modurilor monopolare de energia de simetrie. Intr-o investigare paralela inceputa cu un student, membru a echipei, se construieste un formalism de tipul Landau pentru lichidele Fermi cu trei componente, pentru a vedea daca exista un analog microscopic al modelelor de tip hidrodinamic propuse pina acum.

In anul 2012, intr-un studiu teoretic bazat pe modelul numeric astfel construit s-au prezentat mai multe evidente privind existenta in nucleele bogate in neutroni a unui mod colectiv de tip dipolar, Pygmy Dipole Resonance (PDR), a carui energie este clar sub valoarea energiei asociata cu Rezonanta Gigant Dipolara. Astfel pentru nucleul de Sn132 centroidul energiei modului de tip pygmy se situeaza la o energie de 8-8.5 MeV, foarte slab dependent de parametrizarea cu densitatea a energiei de simetrie. Pe de alta parte, regula de suma ponderata cu energia asociata cu PDR este sensibila la dependenta cu densitatea a energiei de simetrie. Valorile obtinute cu ajutorul programului de transport se situeaza intre 2.8 % di 4.6 %, apropiate de datele experimentale raportate in literatura pentru acest sistem. S-a aratat ca nu toti neutronii in exces sunt cuplati la modul de tip pygmy, o parte fiind blocati de catre samburele nuclear, ceea ce explica reducerea regulii de suma fata de valorile maximele prezise de un model schematic construit tot de colectivul nostru. Aceasta se poate observa si din spectrul de putere asociat cu gradul de libertate de tip pygmy, Dy.



In anul 2013 studiul a fost extins avandu-se in vedere evaluarea dependentei de masa a raspunsului colectiv de tip pygmy. De asemenea s-a studiat in detaliu corelatia dintre proprietatile rezonantei dipolare de tip pygmy si dezvoltarea invelisului neutronic a sistemelor cu exces de neutroni. Determinandu-se functia de distributie pentru protoni si neutron se calculeaza densitatile locale:

$$\rho_q(\vec{r}, t) = \int \frac{2d^3\mathbf{p}}{(2\pi\hbar)^3} f_q(\vec{r}, \vec{p}, t)$$

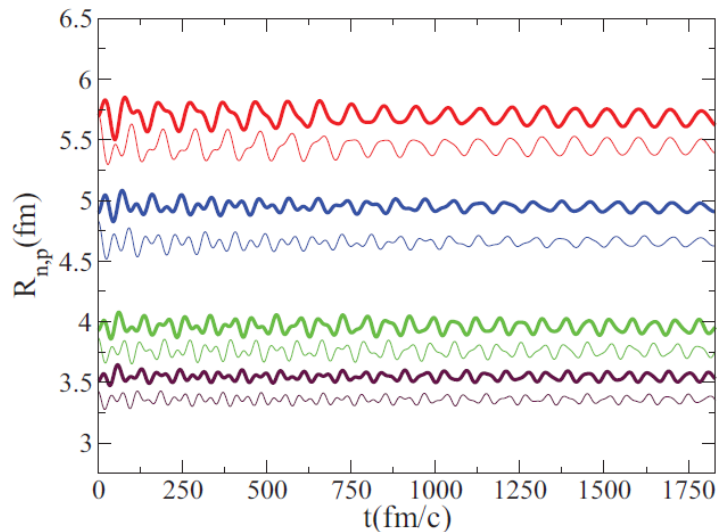
de unde se poate deduce dimensiunea invelisului neutronic definita ca diferenta:

$$\Delta R_{np} = \sqrt{\langle r_n^2 \rangle} - \sqrt{\langle r_p^2 \rangle} = R_n - R_p$$

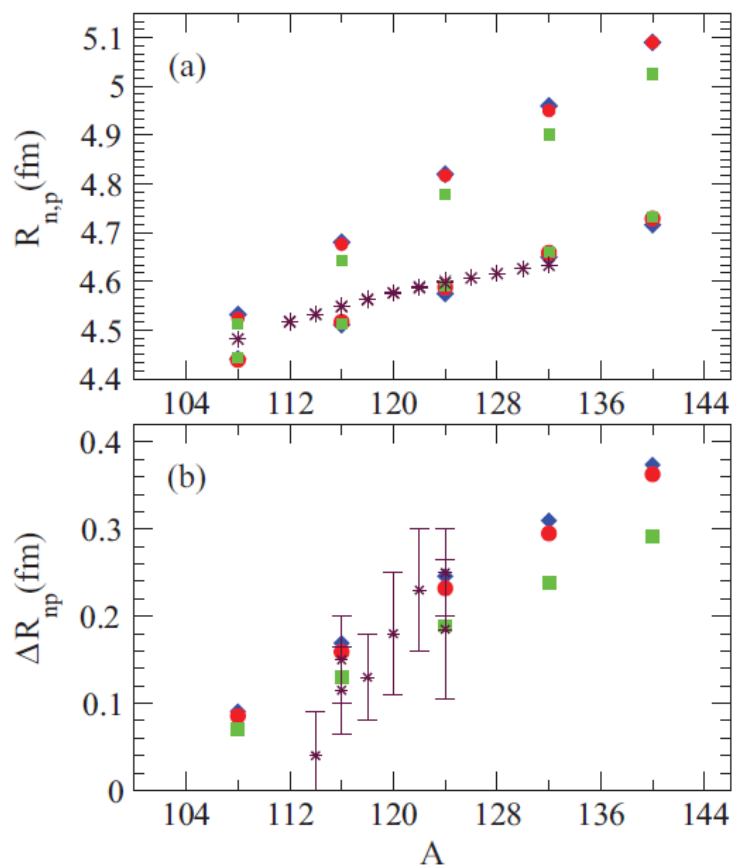
unde:

$$\langle r_q^2 \rangle = \frac{1}{N_q} \int r^2 \rho_q(\vec{r}, t) d^3\mathbf{r}$$

Dependenta de timp pentru sistemele 208Pb, 132Sn, 68Ni si 48Ca a acestor marimi, dupa o perturbatie monopolara, este aratata in figura de mai jos. In toate cazurile micile oscilatii se efectueaza in jurul valorilor de echilibru, ceea ce permite determinarea precisa a acestora.



In urmatoarea figura, pentru izotopii de Sn, se prezinta o comparatie cu datele experimentale (stars) atat a razelor protonice si neutronice, cat si a invelisului neutronic, pentru trei ecuatii de stare diferite in sectorul isovectorial.



Se poate nota un acord destul de bun cu datele experimentale atat pentru razele patratice medii ale distributiei protonice cat si pentru valorile invelisului neutronic.

Raspunsul dipolar pentru sistemele considerate s-a obtinut considerand o excitatie de tip GDR:

$$V_{\text{ext}} = \eta \delta(t - t_0) \hat{D} \text{ at } t = t_0$$

Functia de raspuns (strength function):

$$S(E) = \sum_{n>0} |\langle n | \hat{D} | 0 \rangle|^2 \delta(E - (E_n - E_0))$$

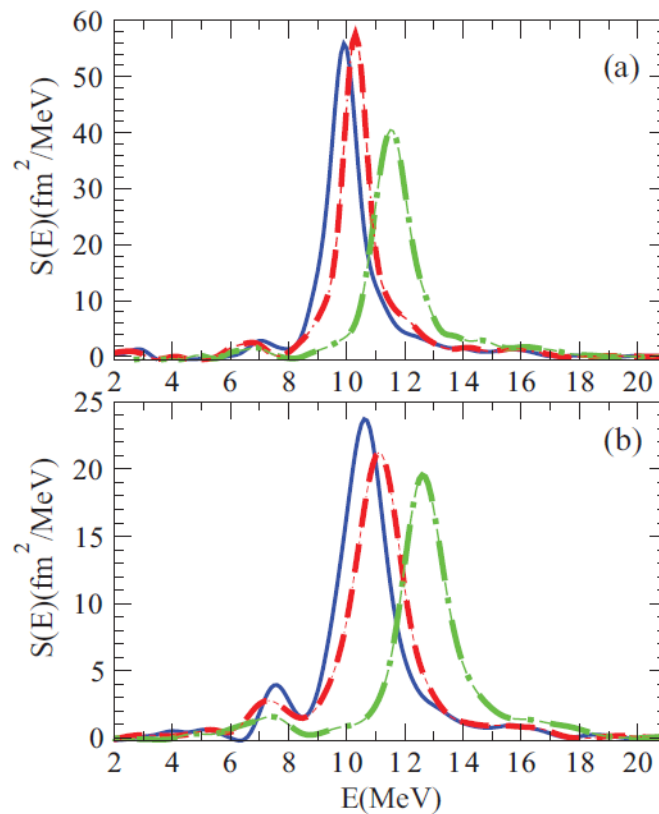
se obtine in abordarea noastra de la transformata Fourier a momentului dipolar:

$$S(E) = \frac{\text{Im}(D(\omega))}{\pi \eta \hbar}$$

unde:

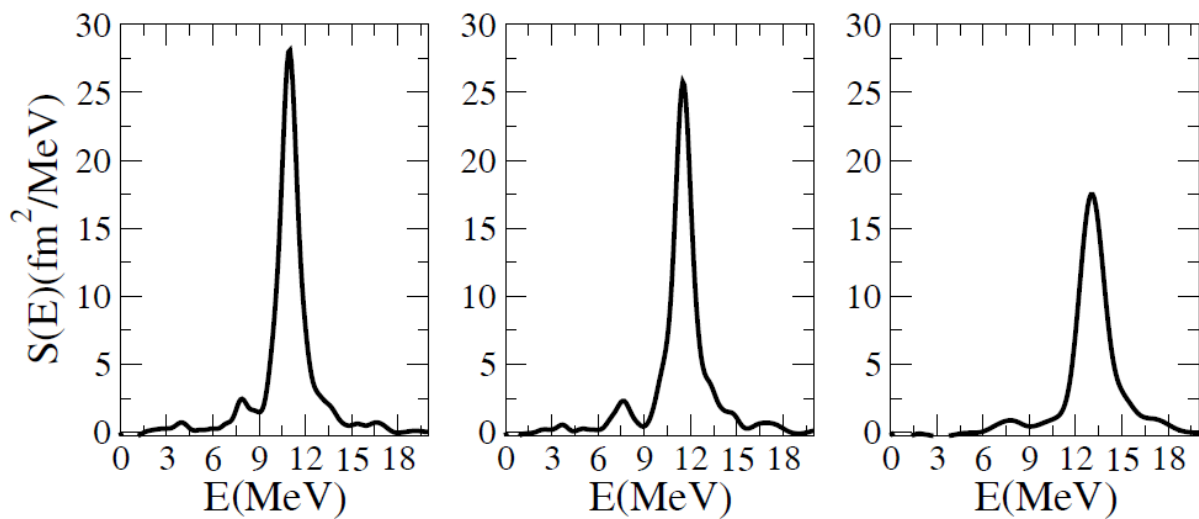
$$D(\omega) = \int_{t_0}^{t_{\text{max}}} D(t) e^{i\omega t} dt$$

Rezultatele in cazul sistemelor de 208Pb si 140Sn sunt prezentate mai jos pentru trei parametrizari cu densitatea a energiei de simetrie:

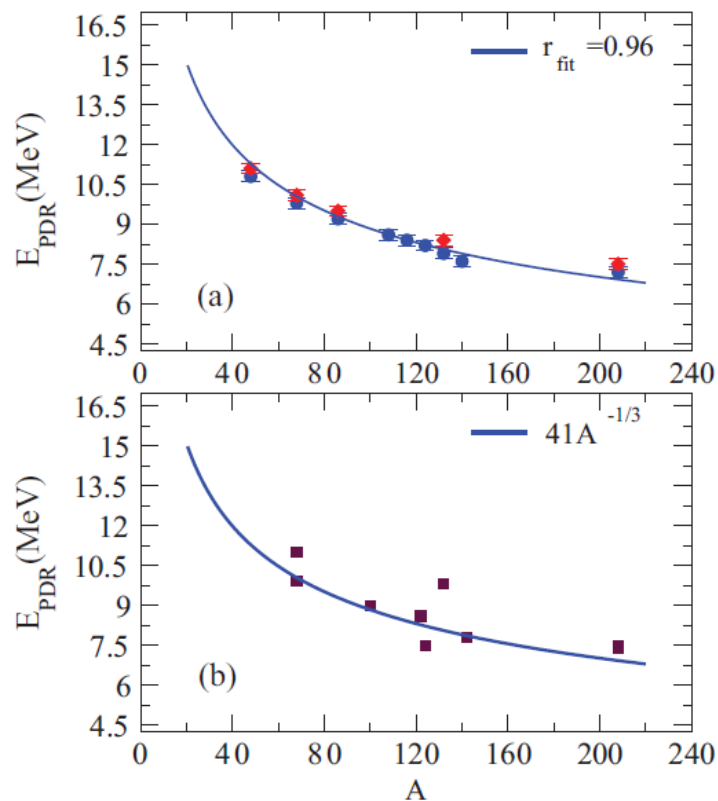


Pentru aceeasi marime si in cazul 132Sn se poate identifica de asemenea foarte clar un raspuns colectiv la energii situate sub raspunsul de tip Giant Dipole Resonance (la 7.5-8

MeV). Acesta este identificat cu Rezonanta Dipolara Pygmy (PDR), care in modelul nostru rezulta a avea un caracter colectiv.



Din reprezentarea pozitiei maximului pentru PDR ca functie de masa, (simbolurile cu rosu si albastru in figura de mai jos) se constata un acord rezonabil cu mai multe date experimentale (patrate maro).



Analiza noastra furnizeaza o parametrizare cu masa a centroidului PDR:

$$E_{\text{PDR}} = 41 A^{-1/3} \text{ MeV}$$

care descrie destul de bine si datele experimentale.

Odata cunoscuta functia de raspuns de poate determina regula de suma asociata cu PDR:

$$m_{1,y} = \int_{\text{PDR}} ES(E)dE$$

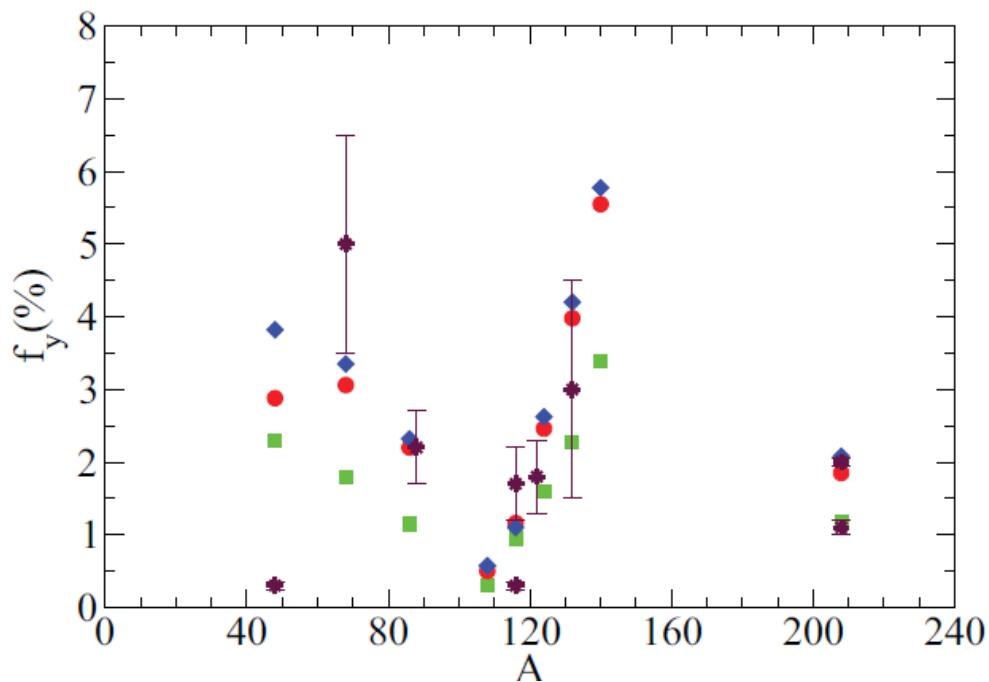
si se poate estima fractia din regula de suma totala asociata cu raspunsul dipolar:

$$f_y = \frac{m_{1,y}}{m_1}$$

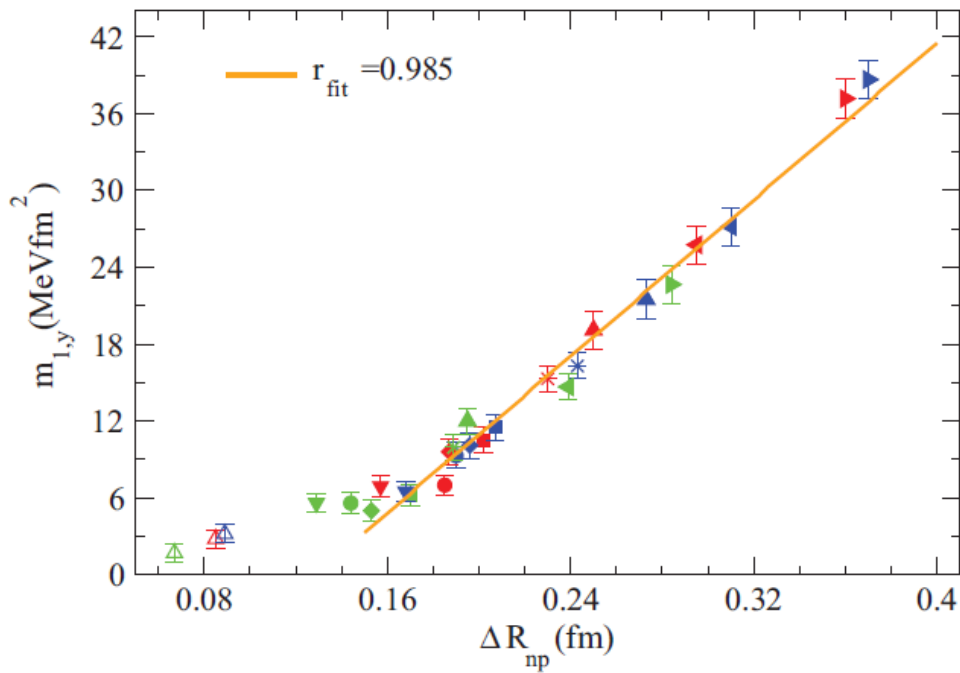
unde

$$m_1 = \int_0^\infty ES(E)dE$$

Si pentru aceasta marime notam un acord rezonabil cu informatia experimentala (stars in figura de mai jos) in toate regiunile de masa explorate.



In fine, din analiza noastra rezulta o corelatie noua, neremarcata pana acum, intre momentul din regula de suma asociat cu PDR si dimensiunea invelisului neutronic, dupa cum se poate observa din figura urmatoare. O dependenta liniara cu panta de 150MeV fm este evident pentru invelisuri neutronic peste 0.15fm (a se vedea figura urmatoare).

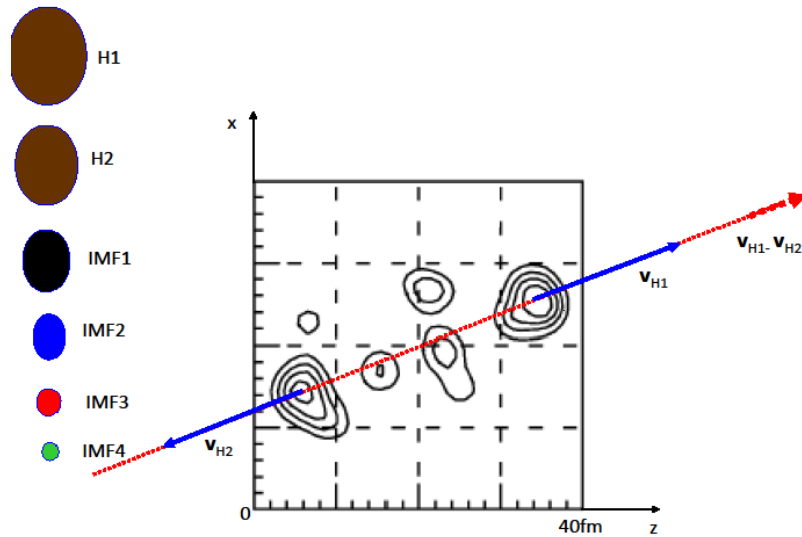


Suntem in curs de elaborare a unui model schematic dar analitic care consideram ca va putea furniza originea fizica a acestei corelatii. Investigatiile se vor constitui intr-o lucrare care va fi trimisa spre publicare in anul urmator.

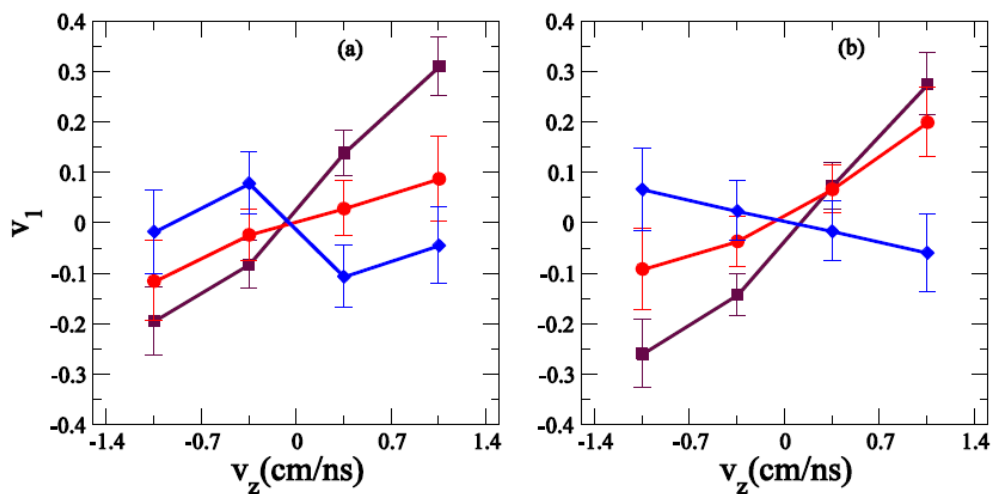
Rezultatele originale legate de aceste subiecte au facut obiectul a doua lucrari publicate in Physical Review C si doua in Romanian Journal of Physics. Rezultatele au fost raportate la mai multe conferinte internationale, inclusiv ca lectii invitate, a se vedea lista de la finalul raportului. Mai mentionam ca acest subiect este de interes si pentru viitoarele experimente care se vor efectua in cadrul proiectului Extreme Light Infrastructure-Nuclear Physics (ELI-NP).

Pentru WP2. Obiectivul: *Advanced investigations on the fragmentation mechanisms at Fermi energies.*

In anii 2011 si 2012 in cadrul unui model microscopic de transport bazat pe ecuatia Boltzmann-Nordheim-Vlasov, Stochastic Mean Field (SMF), s-a studiat procesul de fragmentare a sistemelor Sn124+Sn124 la 50A MeV si parametrul de impact $b=4\text{fm}$, Sn124+Ni64 si Sn112+Ni58 pentru parametrul de impact $b=6\text{fm}$ la energia de 35A MeV. In canalul de izospin s-au considerat doua parametrizari diferite cu densitatea. In figura de mai jos se prezinta un proces tipic de fragmentare, la "freeze-out", impreuna cu axele care definesc cadrul in care se efectueaza analiza proprietatilor cinematice ale fragmentelor.

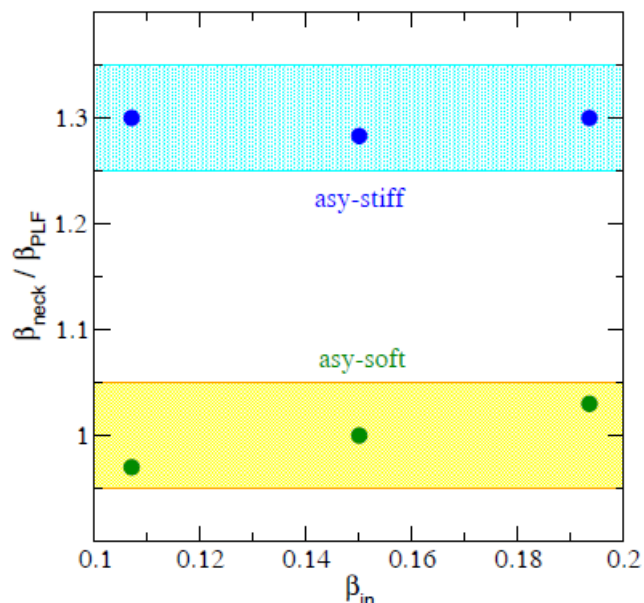


Un rezultat important in ceea ce priveste fragmentarea nucleara la energii Fermi a fost determinarea parametrilor de flux (curgere) colectiv v_1 si v_2 respectiv pentru fragmentele cu masa intermediara ce rezulta la tranzitia de la multifragmentare la fragmentarea de neck, mai precis pentru parametrul de impact $b=4\text{fm}$. S-a concluzionat ca anumite semnături specifice dinamicii de fragmentare se pot extrage din dependenta acestora cu viteza longitudinala (pentru v_1) si cu impulsul transversal (pentru v_2). In perioada care urmeaza ne propunem sa continuam analiza pentru un set mai extins al parametrilor de impact care sa mearga de la 3fm la 5fm, corespunzand tranzitiei de la multifragmentare la fragmentarea de neck, un process insuficient explorat pana acum. Pentru o mai buna statistica, avand in vedere puterea de calcul crescuta, gratie achizitionarii unor masini de calcul foarte performante din acest proiect, vom creste cu un factor zece numarul de evenimente. Aceasta ne va permite o analiza mai rafinata si posibil gasirea unor noi corelatii de interes pentru experimentele viitoare pe plan mondial.

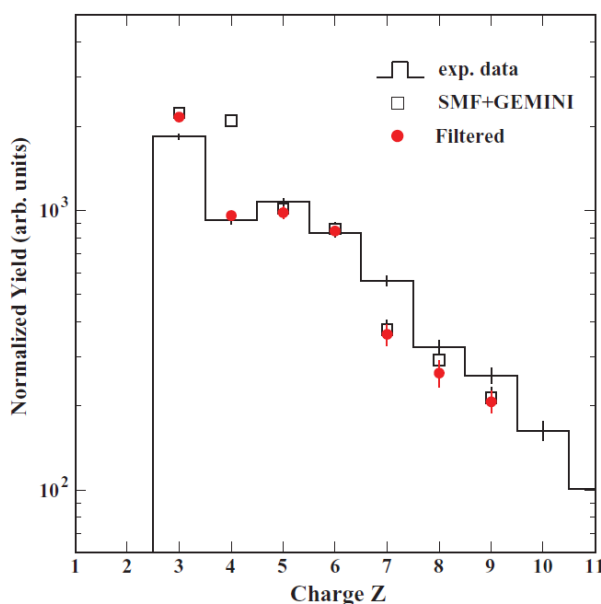


Pentru sistemele Sn+Ni s-a observat un acord bun cu datele experimentale in ceea ce priveste proprietatile cinematice de baza ale fragmentelor produse, cum ar fi spectre in viteza sau distributii de sarcina. O analiza a distributiei valorii medii a raportului N/Z

(numarul de neutroni si respectiv numarul de protoni din compozitia fragmentului, beta in figura de mai jos) ca functie de unghiul dintre axa de separare si cea de fragmentare , sugereaza un accord mai bun cu datele in cazul ecuatiei de stare de tip asy-stiff.



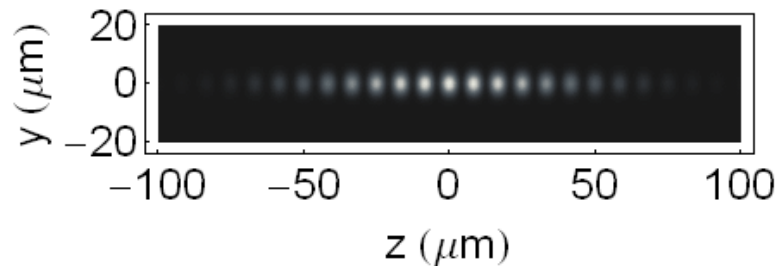
Pentru comparatia cu datele experimentale s-a considerat si efectul dezexcitarii secundare care in general reduce sensibilitatea la energia de simetrie. In ciuda acestui fapt observabilele propuse sunt robuste in ceea ce priveste caracterizarea fragmentarii neck-ului nuclear la energii intermediare si a dinamicii gradului de libertate de izospin, separandu-se net efecte asociate cu stadiile initiale, de neechilibru ale reactiei. O comparatie a predictiilor modelului teoretic bazat pe aceasta procedura cu datele experimentale pentru distributia dupa sarcina a fragmentelor de masa intermediara reveleaza un acord foarte bun, a se vedea figura de mai jos.



Investigatiile mentionate sunt incluse in doua lucrari aparute in anul 2012 in Physical Review C precum si o lucrare acceptata la The European Physical Journal A.

Pentru WP3. Obiectivul: *Collective dynamics and fragmentation in BEC within the Gross-Pitaevskii-Boltzmann formalism*

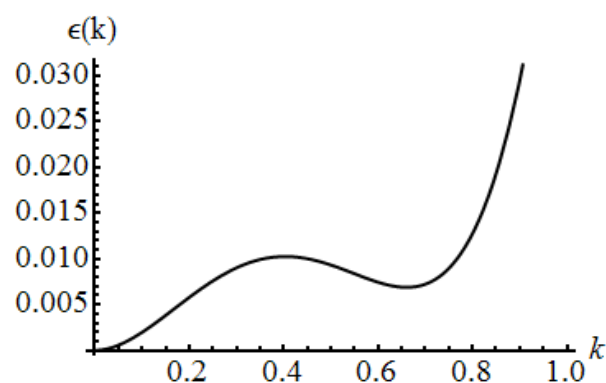
După observarea undelor Faraday în condensate Bose-Einstein supuse la excitații parametrice (P. Engels *et al.*, Phys. Rev. Lett. 98, 095301 (2007)) și determinarea ecuațiilor care descriu fragmentarea condensatelor Bose-Einstein printr-o instabilitate tip Faraday (A.I. Nicolin, Phys. Rev. E 84, 056202 (2011)) ilustrată în figura de mai jos:



se impune ca temă distinctă de cercetare impactul norului termic asupra fragmentării unui condensat de tip Bose-Einstein. Literatura de specialitate indică drept instrument ideal de lucru sistemul format din i.) ecuația Gross-Pitaevskii (care descrie dinamica de 0 K a condensatului) și ii.) ecuația Boltzmann (care descrie norul termic).

Deja s-a început implementarea integralei de ciocnire pentru bozoni și se are în vedere continuarea cu implementarea ecuațiilor de mișcare bazate pe cimpuri medii dependente de densitate și o descompunere a funcției de distribuție în termeni de gaussiene.

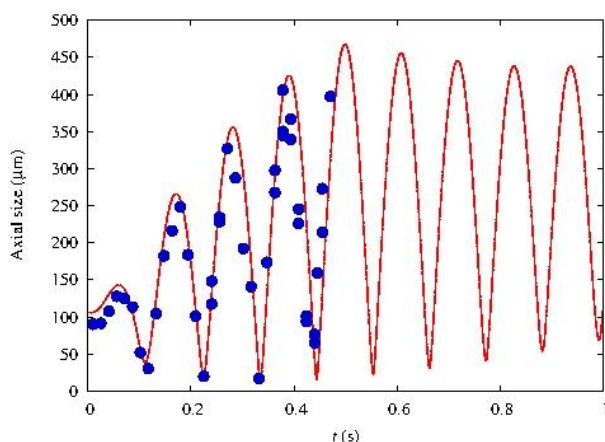
În prima parte a anului 2012 s-a studiat apariția undelor de densitate în condensate Bose-Einstein dipolare obținând în formă analitică, pe cale variațională, structura roton-maxon a relației de dispersie ilustrată în figura de mai jos. Rezultatele sunt cuprinse într-un articol care a apărut în *Proceeding of the Romanian Academy – Series A* **14**, 35 (2013), revistă cotate ISI.



Relația de dispersie a undelor de densitate într-un condensat Bose-Einstein dipolar. A se observa structura de tip maxim-minim specifică sistemelor cu interacții nelocale.

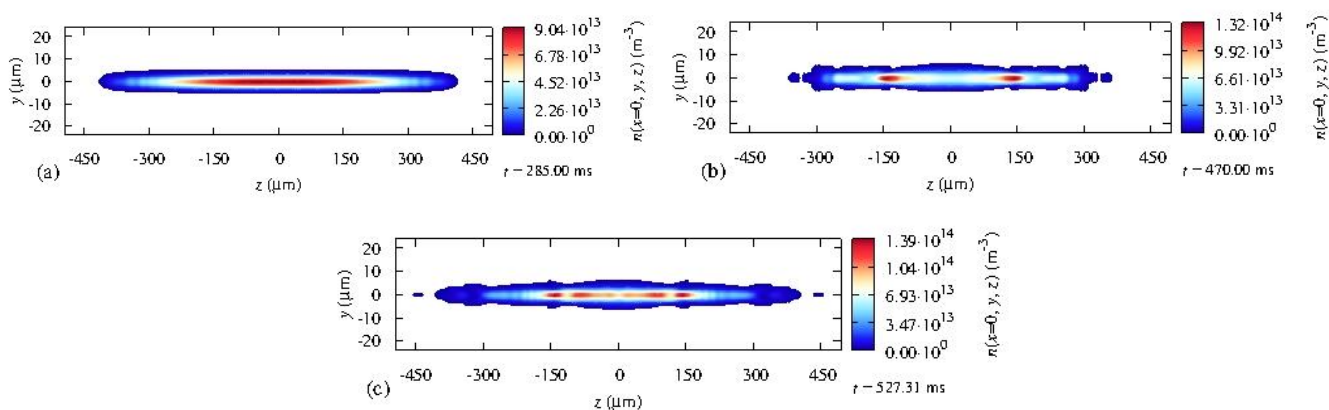
Motivați de experimentele recente asupra fragmentării unui condensat Bose-Einstein supus la excitații parametrice efectuate la RICE University în cadrul grupului condus de Prof. Randall G. Hulet prezentate sumar în Phys. Rev. A **81**, 053627 (2012), am investigat prin mijloace analitice și numerice procesul de fragmentare folosind ecuația Gross-Pitaevskii.

Rezultatele noastre preliminare arată că starea fragmentată reprezintă o stare hibridă formată dintr-un mod cuadrupolar și o undă de densitate rezonantă. În figura următoare prezentăm evoluția în timp a lățimii condensatului pentru a ilustra concordanța rezultatelor numerice cu cele experimentale.



Evoluția în timp a lățimii unui condensat Bose-Einstein supus la excitații parametrice aplicate lungimii de împrăștiere. Datele experimentale provin din Phys. Rev. A **81**, 053627 (2012), linia continuă reprezintă rezultatul simulărilor numerice.

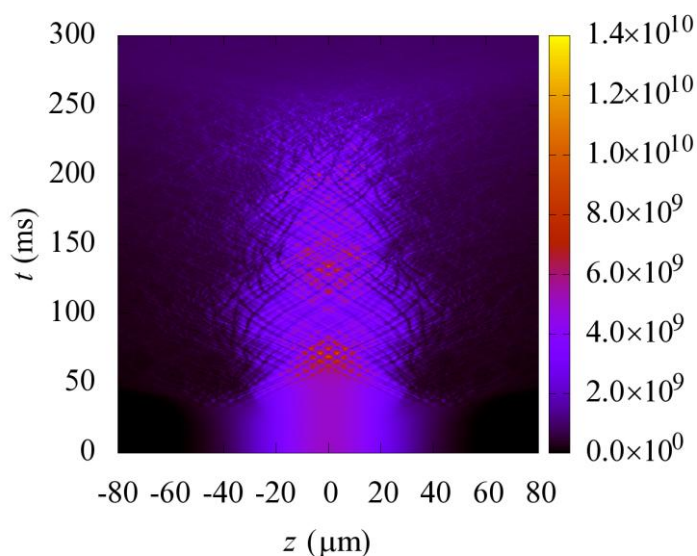
În figura de mai jos se prezintă evoluția în timp a profilului de densitate al condensatului pentru a arată formarea fragmentelor la marginea condensatului.



Evoluția în timp a profilului de densitate al unui condensat Bose-Einstein supus la excitații parametrice aplicate lungimii de împrăștiere. Primul profil de densitate corespunde stării fundamentale a condensatului în timp ce următoarele două surprind profilul de densitate la două momente diferite de timp. Subliniem desprinderea a doua fragmente aproape de marginea condensatului.

Rezultatele investigațiilor noastre folosind ecuația Gross-Pitaevskii vor fi publicate la editura Springer drept capitol al unui volum colectiv dedicat celor mai recente realizări cu privire la dinamica neliniară a condensatelor Bose-Einstein. Analiza detaliată a datelor experimentale arată că numărul de particule din condensat suferă fluctuații semnificative de-a lungul dinamicii colective necesitând un tratament selfconsistent care să cuprindă atât dinamica condensatului cât și interacția acestuia cu norul termic.

In anul 2013 s-au facut primii pasi in vederea modelarii interactiei unui condensat Bose-Einstein cu norul termic inconjurator prin modificarea locala a interactiei de tip two-body ce se datoreaza fluctuatiilor in densitate ale condensatului. Acest regim (cunoscut in literatura de specialitate drept *collisionally inhomogeneous regime*) ofera o prima descriere a efectelor de neechilbru, calitatea modelului teoretic depinzand de modularea spatiala a lungimii de imprastiere. In cadrul articolului publicat in Romanian Reports in Physics **65**, 820 (2013) am aratat ca, pentru condensate quasi-unidimensionale, aparitia undelor de densitate excitate parametric (care pot duce la fragmentarea condensatului pentru timpi lungi) nu este modificata substantial de modularea spatiala a lungimii de imprastiere, robustetea acestor efecte neliniare fiind remarcabila. Exista insa o serie de modificari calitative ce privesc formarea undelor de densitate in condensate supuse la excitatii parametric *rezonante*, situatie in care starea condensata dispare relativ rapid datorita excitarii unui mod colectiv foarte puternic. Aceste rezultate urmeaza sa fie trimise spre publicare catre Physical Review A la începutul lunii noiembrie. In graficul de mai jos



prezentam evolutia in timp a profilului de densitate longitudinal al unui condensat puternic alungit in care se poate observa atat aparitia undelor de densitate longitudinale cat si excitarea modului colectiv care distruge starea condensata.

Evoluția în timp a profilului de densitate longitudinal al unui condensat Bose-Einstein cu interacții de tip two-body neuniforme spațial supus la excitatii parametric. A se observa excitarea undelor de densitate și a modului colectiv care duce la distrugerea stării condensate.

Pentru WP4. Obiectivul: *Transport description of collective features and dissipation in QGP*

In anul 2011 s-au efectuat calcule cu 8000 de evenimente pentru dinamica expansiunii in conditiile de la RHIC pentru $b=6$ fm, in prezenta si in absenta ruperii spontane a simetriei chirale. S-a construit dependenta radial a masei effective a cuarcilor la diferite momente de timp, dependent parametrilor de flux (curgere) colectiv v_2 de timp la mid-rapidity, dar si ca functie de impulsul transversal. Se are in vedere imbunatatirea statisticii pentru a estima parametrul de flux colectiv v_4 . Apoi se va trece la studiul rolului fluctuatiilor in conditiile initiale asupra proprietatilor collective si dissipative ale plasmei de cuarci si gluoni. Aceste rezultate sunt incluse intr-o lucrare din Journal of Physics: Conference series care a aparut in 2012.

In anul 2012 s-a avut in vedere si extinderea modelului numeric de transport prin includerea unui termen de interactie de tip vectorial, pe langa termenul de tip Nambu-Jona Lasinio. Aceasta va face posibila investigarea proprietatilor collective ale plasmei de cuarci si gluoni la densitati barionice nenule si in consecinta la energii asociate cu programele de la CERN, FAIR si RHIC energy scan respectiv.

In anul 2013, in colaborare cu grupul de la Universitatea din Catania, pentru cazul a doua arome s-a trecut la testarea noului program numeric urmarindu-se acordul rezultatelor numerice cu date experimentale la diferite energii precum cu versiunile programelor anterioare in conditii fizice similare. Ca o prima investigatie sistematica am demarat simulari numerice in care se urmareste cum fluctuatiile in densitate din distributia initiala influenteaza evolutia colectiva si valorile parametrilor v_2 , v_3 si v_4 . Simularile numerice se efectueaza atat in absenta cat si in prezenta ruperii spontane a simetriei chirale avand astfel posibilitatea sa intelegem cum acest mechanism afecteaza rezultatele finale.

Pe parcursul celor 24 de luni de activitate s-au actualizat permanent sursele bibliografice si s-a urmarit in literatura daca au aparut rezultate relevante care pot avea legatura cu temele proiectului de cercetare. Cu aceasta ocazie s-a constatat ca lucrarile realizate in cadrul proiectului au deja peste 20 de citari in lucrari ISI. De asemenea subiectele acestui proiect se constituie in teme de cercetare si teze de dizertatie ale studentilor de masterat de la directia de masterat Fizica Teoretica si Computationala a Facultatii de Fizica din Universitatea Bucuresti.

Concluzionand sintetic, rezultatele stiintifice ale investigatiilor in cadrul proiectului de cercetare s-au concretizat in noua lucrari publicate in reviste ISI din strainatate, patru lucrari publicate in reviste ISI din tara si mai multe prezentari la conferinte nationale si internationale, inclusive in calitate de "invited speakers", indicandu-se explicit suportul din proiectul IDEI, dupa cum urmeaza:

Lucrari in reviste din strainatate cotate ISI:

1) *Pygmy dipole resonance: collective features and symmetry energy effects*

Autori: V. Baran, B. Frecus, M. Colonna, M. Di Toro

Physical Review C 85, 051601 (2012) (ISI impact factor 3.715)

2) *From multifragmentation to neck fragmentation: Mass, isospin and velocity correlations*

Autori: V. Baran, M. Colonna, M. Di Toro, R. Zus

Physical Review C 85, 054611 (2012) (ISI impact factor 3.715)

3) *Correlations between emission timescale of fragments and isospin dynamics in $Sn^{124}+Ni^{64}$ and $Sn^{112}+Ni^{58}$ reactions at 35 A MeV*

Autori: E. De Filippo, A. Pagano, ...V. Baran,.....

Physical Review C 86, 014610 (2012) (ISI impact factor 3.715)

4) *Connecting the pygmy dipole resonance to the neutron skin*

Autori: V. Baran, M. Colonna, M. Di Toro, A. Croitoru, D. Dumitru

Physical Review C 88, (2013, in press) (ISI impact factor 3.715)

5) *Theoretical predictions of experimental observables sensitive to the symmetry energy*

Autori: M. Colonna, V. Baran, M. Di Toro

The European Physical Journal A (accepted for publication) (ISI impact factor 2.043)

Lucrari in reviste din tara cotate ISI:

1) *Collective dipole modes in nuclear systems*

Autori: V. Baran, B. Frecus, M. Colonna, M. Di Toro, R. Zus

Romanian Journal of Physics 57, 36-48, (2012) (ISI impact factor 0.526)

2) *Density waves in dipolar Bose-Einstein condensates*

Autori: A. Nicolin

Proceedings of the Romanian Acad. Series A 14, 35-41, (2013) (ISI impact factor 0.537)

3) *From neutron skin to pygmy dipole resonance: the roles of symmetry energy in a transport approach*

Autori: V. Baran, B. Frecus, M. Colonna, M. Di Toro, A. Croitoru, D. Dumitru

Romanian Journal of Physics 58, 1208-1220, (2013) (ISI impact factor 0.526)

4) *Density waves in dipolar Bose-Einstein condensates*

Autori: A. Nicolin

Romanian Reports in Physics 65, 820, (2013) (ISI impact factor 1.123)

Lucrari aparute in Proceedings-ul ISI al unor conferinte internationale:

1) *Kinetic approaches to phase transitions in strongly interacting systems*

Autori: V. Baran, M. Colonna, M. Di Toro, R. Zus

Journal of Physics: Conference Series vol. 338, 012020, (2012)

2) *Exploring the nuclear matter phase diagram with heavy ion reactions*

Autori: M. Colonna, V. Baran, M. Di Toro, C. Rizzo

Journal of Physics: Conference Series vol. 413, 012018, (2013)

3) *Reaction mechanisms in transport theories: a test of the nuclear effective interaction*

Autori: M. Colonna, V. Baran, M. Di Toro, B. Frecus, YX Zhang

Journal of Physics: Conference Series vol. 420, 012104, (2013)

4) *Collective flow properties of intermediate mass fragments and isospin effects in fragmentation at Fermi energies*

Autori: V. Baran, M. Colonna, M. Di Toro, R. Zus

AIP Conference Proceedings, in press, (2013)

5) *Collective features of nuclear dynamics with exotic nuclei within microscopic transport models*

Autori: V. Baran, M. Colonna, M. Di Toro, A. Croitoru, D. Dumitru

EPJ Web of Conferences, in press, (2013)

Capitole de carte:

Fragmentation of a Bose-Einstein Condensate Through Periodic Modulation of the Scattering Length

Autori: A. Balaz, A. Nicolin

In volumul *Localized Excitations in Nonlinear Complex Systems*, editori P. G. Kevrekidis et al., DOI 0.1007/978-3-319-02057-0__5 Editura: Springer, 2013

Participari la conferinte:

1./ The 8th General Conference of Balkan Physical Union (Universitatea Ovidius, Constanta, 5-7 iulie 2012) cu posterul "A novel non-polynomial Schrodinger equation for high-density cigar-shaped condensates" in care apare proiectul apare in acknowledgement, sustinut de drd. Carina Raportaru.

2./ Conferinta Nationala de Fizica (Universitatea Ovidius, Constanta, 8-10 iulie 2012) cu posterul "Formation of Faraday and resonant waves in driven Bose-Einstein condensates" in care apare proiectul apare in acknowledgement, sustinut de drd. Carina Raportaru

3./ International Student Conference of Balkan Physical Union (Universitatea Ovidius, Constanta, 10-13 iulie 2012) cu posterul "Noise-driven transitions in nonlinear lattices" in care apare proiectul apare in acknowledgement, sustinut de drd. Carina Raportaru.

4./ ICT-Innovations 2012 (Ohrid, 12-15 septembrie 2012) cu colocviul "Nonlinear dynamics of Bose-Einstein condensates by means of symbolic computations". Lucrarea aferenta colocviului urmeaza sa fie publicata in proceedings-ul conferintei, ca Web Proceedings, si cuprinde proiectul in acknowledgement, sustinuta de drd. Carina Raportaru.

5./ Conferinta Nationala de Fizica (Universitatea Ovidius, Constanta, 8-10 iulie 2012) cu prelegea invitata (invited talk) "Resonant waves in Bose-Einstein condensates" in care proiectul apare in acknowledgement, sustinuta de Alexandru Nicolin.

6./ 2nd Conference on Localized Excitations in Nonlinear Complex Systems (LENCOS 2012, Sevilla, 9-12 iulie 2012), cu colocviul "Variational treatment of surface waves in Bose-Einstein condensates" in care proiectul apare in acknowledgement, prezentat de dr. Alexandru Nicolin.

7./ TIM 12 (Universitate de Vest din Timisoara, 27-30 noiembrie 2012) cu colocviul "Faraday waves in binary nonmiscible Bose-Einstein condensates" in care proiectul apare in acknowledgement, sustinut de dr. Alexandru Nicolin.

8./ International Nuclear Physics Conference 2013 (INPC2013), Firenze 2-7 iunie, Italy, Invited Talk, "Collective features of nuclear dynamics with exotic nuclei within microscopic transport models" sustinuta de Virgil Baran.

9./ ELI-NP Workshop "Towards TDR of experiments with brilliant gamma-ray beam at ELI-NP", 25-26 June 2013, Bucharest, "Skins, dipole polarizability and pygmy resonances: mass dependence and symmetry energy effects in a microscopic transport approach" Oral Presentation, sustinuta de Virgil Baran.

10./ The 13th International Balkan Workshop on Applied Physics, 4-6 July 2013, Invited Speaker, "Nuclear Dipole Dynamics within microscopic transport models", sustinuta de Virgil Baran.

11./ Mathematical Modeling and Computational Physics, 8-12 July, 2013, Plenary Speaker, "Density waves in Bose-Einstein condensates", sustinuta de Alexandru Nicolin

In cadrul proiectului au fost elaborate si doua teze de doctorat avand tematici legate de directiile de cercetare abordate in cadrul planului de lucru pe anul 2012:

"*Collective nuclear motions within a microscopic transport model*" sustinuta de Bogdan Frecus in septembrie 2012.

"*Studiul comportamentului neliniar si stochastic al condensatelor Bose-Einstein*", sustinuta de Mihaela Carina Raportaru in octombrie 2012.

Director proiect,

Prof.univ.dr. Virgil Baran



