

## Rezumatul proiectului

Scopul principal al proiectului “Fizica interacțiilor nucleare și a fazelor materiei nucleare, noi rezultate, activități de cercetare-dezvoltare, aplicații-acronim NIHAM” a fost abordarea coerentă a unui întreg lanț de activități: activități R&D pentru o nouă generație de detectori și electronică asociată, studii de fizică pe bază de analiză de date și calcule de model până la studii de transfer potențial către cercetarea aplicativă și evaluarea de date nucleare. În acest raport final prezentăm cele mai importante realizări.

Aspectele de fizică abordate în prezentul proiect fac parte din strategia noastră generală urmărită de-a lungul anilor, anume studiul de noi configurații, excitații și stări ale materiei nucleare produse în ciocnirile ionilor grei la diferite energii incidente, cu scopul de a răspunde la unele întrebări fundamentale relativ la stările materiei care sunt presupuse a fi fost caracteristice primelor microsecunde după Big-Bang sau miezului stelelor neutronice și înțelegerea mecanismului de sinteză a nucleelor.

Evidențierea tranziției de fază sau a existenței punctului critic din diagrama de fază a materiei caracterizată de o densitate barionică înaltă și temperaturi modeste impune studierea unor tipuri de particule care sunt produse cu o probabilitate foarte mică în ciocniri ale ionilor grei la energii în domeniul 10 GeV/u - 50 GeV/u. De aceea o nouă generație de acceleratori, capabilă să producă fascicule cu intensitate de aproximativ trei ori mai mare decât la acceleratoarele actuale, este în construcție. Următoarea generație de aranjamente experimentale prevăzută să fie folosită în astfel de experimente trebuie să permită funcționarea la rate de numărare extrem de mari, în unele regiuni ale spațiului fazic mai mari de un sfert de milion de particule pe secundă și pe  $\text{cm}^2$ , menținând cel puțin performanțele de granularitate și identificare ale celor prezente. Aceste cerințe au condus la activități intense de R&D pentru o nouă generație detectori în toată lumea. Pe baza experienței noastre anterioare în acest domeniu, am proiectat o arhitectură complet nouă de detector de radiație de tranziție (TRD) cu un factor de rejecție electron-pion ca cel al TRD construite pentru experimentul ALICE de la LHC dar care se menține de această dată până la rate de numărare de 200.000 - 250.000 de *particule/cm<sup>2</sup>·sec* [1, 2].

Evident, aceste noi tipuri de detectori necesită un tip nou de electronică front-end care să conserve performanța amintită mai sus. Pe baza infrastructurii existente în grup a început proiectarea unui nou ASIC folosind pachetul de programe CADENCE. Această versiune în afară de semnal de ieșire rapid are de asemenea semnal de amplitudine, timp mort redus, restaurarea nivelului de bază, posibilitatea selectării amplificării, a formei semnalului și a polarității acestuia precum și un generator intern pentru calibrare, etc., caracteristice pentru un chip analog multifuncțional. Simulările chipului nou proiectat au arătat că el îndeplinește toate cerințele pentru a fi recomandat ca o soluție pentru electronica noii generații de TRD menționate mai sus [3].

Configurațiile experimentale realizate în cadrul colaborărilor internaționale mari, și anume ALICE la LHC, pe cale de a fi finalizată, sau CBM la FAIR, prevăzută a fi finalizată până în 2015, la care grupul nostru are o contribuție importantă [4, 5] vor livra o cantitate de informație fără precedent, de ordinul a 10 PByte/an. Pentru procesarea, analiza și interpretarea acestei cantități uriașe de informație este necesară o rețea internațională de putere de calcul și capacitate de stocare, cunoscută sub numele de GRID. Grupul nostru a avut prima aplicație GRID din România în 2002 și de atunci a dezvoltat continuu o putere de calcul distribuit locală de înaltă eficiență. O monitorare middleware versatilă e necesară pentru o structură de o asemenea complexitate. În prezentul proiect s-a implementat MonALISA, care este utilizată în mod curent de către comunitatea ALICE GRID - AliEn, pe structura noastră de calcul local- NIHAM [6, 7, 8].

După cum am menționat anterior, am dedicat un segment al activităților noastre pentru

a studia fezabilitatea folosirii detectorilor rezistivi cu plăci sensibili la poziție - MGMSRPC, dezvoltăți de noi ca detectori de timp de zbor cu înaltă rezoluție [9], pentru reconstruirea de imagini ca o soluție pentru tomografia cu emisie de pozitroni. Dezvoltând coduri de simulare Monte Carlo pentru emisie, detecție și reconstrucție, care iau în considerare rezoluția în poziție și timp a MGMSRPC, s-a arătat că imaginile pot fi reconstruite cu o rezoluție în poziție mai mică decât 3 mm. Din măsurătorile detaliate folosind coincidențele între un plastic scintilator și prototipul MGMSRPC s-a obținut o eficiență de 0,0128%. Pe baza experienței noastre putem aprecia că această cifră s-ar îmbunătăți cu un factor de 4 dacă toate stripurile MGMSRPC ar fi operate, dacă s-ar folosi un prag mai jos în amplificatorii rapizi și s-ar implementa o linie de control on-line a amestecului de gaz.

După cum s-a evidențiat în studiile detaliate ale ciocnirilor disipative ale ionilor grei, cele mai multe fenomene au fost înțelese luând în considerare un cuplaj între gradele de libertate colective și cele intrinseci. Luând în considerare un astfel de cuplaj în procesul de fisiune nucleară, s-a arătat că el produce disiparea și modificarea potențialului de penetrare și astfel s-au reprodus calitativ și cantitativ yieldurile normalizate ca funcție de masa fragmentului ușor și substructurile observate în secțiunea eficace de fisiune [10].

Au fost aplicate modele de fisiune și structură nucleară pentru evaluarea de date pentru ciclul Th-U de mare interes pentru viitoarele sisteme de producere de energie și transmutații bazate pe acceleratori. Secțiunile eficace de fisiune indusă de neutroni a  $^{233}\text{U}$  pe un larg domeniu energetic, multiplicitățile de neutroni și spectrele de energie au fost reproduse cu un nivel de precizie mai înalt decât al evaluărilor anterioare [11].

O atenție deosebită a fost acordată efectelor de izospin în structura nucleară și în ciocnirile ionilor grei. Considerând posibilitatea de a obține informație privind conservarea curentului vectorial și unitaritatea matricii CKM prin studiul dezintegrării beta Fermi suprapermise, s-au realizat studii detaliate a astfel de tranziții în doi tripleți isovector în nuclee bogate în protoni ( $A=70 - {}_{34}\text{Se}_{36}, {}_{35}\text{Br}_{35}, {}_{36}\text{Kr}_{34}$  și  $A=74 - {}_{36}\text{Kr}_{38}, {}_{37}\text{Rb}_{37}, {}_{38}\text{Sr}_{36}$ ) și doi izovectori ai  $A=82$  ( ${}_{40}\text{Zr}_{42}, {}_{41}\text{Nb}_{41}$ ) și  $A=86$  ( ${}_{42}\text{Mo}_{44}, {}_{43}\text{Tc}_{43}$ ) folosind calcule microscopice de mare anvergură din familia VAMPIRE [12, 13]. Trebuie subliniat că astfel de calcule sunt unice, fiind singurele care tratează în mod consistent coexistența de formă și amestecul de forme caracteristic pentru această regiune de masă. Aceasta explică gradul înalt de acuratețe cu care aceste calcule reproduc toate observabilele microscopice și prezicerea de încredere a amestecului de izospin care se obține cu astfel de calcule. Comparațiile între experiment și teorie privind comportarea lărgimii distribuțiilor isobarice în ciocnirea ionilor grei ușori ca funcție de timpul de interacție au arătat că tendințele experimentale sunt reproduse dacă se considerată o mișcare dampată a punctului de zero în oscilatorul armonic asociată cu variabila colectivă - asimetria de sarcină. În ciocnirile  ${}^{124}\text{Sn} + {}^{64}\text{Ni}$  and  ${}^{112}\text{Sn} + {}^{58}\text{Ni}$  la 35 A·MeV, pentru fragmentele intermediare care își au originea în zona participantă produsă în ciocniri ultracentrale s-a evidențiat așa-numita comportare de isoscaling a raportului fragmentelor ușoare oglindă ca funcție de diferența între energiile lor de legatură. S-a arătat că aceasta poate fi explicată de așa numitele fenomene de distilare de izospin care ar fi caracteristice pentru o tranziție de fază lichid-gaz [14]. Mergând la energii mai înalte, i.e. 0,4 A·GeV and 1,5 A·GeV, folosind izospinul ca trasă și datele rezultate din ciocnirea a 4 combinații de doi izobari ( ${}^{96}\text{Ru}, {}^{96}\text{Zr}$ ) s-a evidențiat descreșterea dramatică a echilibrării de izospin, la rapidități diferite de cea centrală, cu creșterea energiei incidente.

S-a elaborat o trecere în revistă cuprinzătoare a dinamicii ionilor grei de la energii joase până la energii ultra-relativiste, cu accent deosebit asupra fenomenelor de curgere. S-a arătat că echilibrarea de sarcină în ciocnirile disipative ale ionilor grei se poate considera ca un prim exemplu de fenomen de curgere. S-au prezentat argumente calitative și cantitative și rezultate experimentale în legătură cu diferite comportări ale distribuțiilor azimutale ca funcție

de energia incidentă, in-plane, tip rotațional, intensificare către out-of-plane, comportare tip squeeze-out și din nou in-plane, curgere eliptică. Pe baza datelor experimentale s-a demonstrat sensibilitatea unui studiu integral a acestor fenomene analizând distribuția azimutală a energiei cinetice medii pentru diferite specii și a expansiunii colective. Materia nucleară produsă în ciocnirea ionilor grei la densități de aproximativ  $2\rho_0$  și temperatură de 70 MeV - 80 MeV e caracterizată de o ecuație de stare moale (soft). Pe baza experienței acumulate în studiul fenomenelor de curgere (flow) la energii mai joase, am analizat comportarea impulsului transversal mediu ca funcție de masă utilizând informația existentă obținută de colaborarea STAR pentru ciocnirile p+p și Au+Au la 200 A·GeV. Potrivind această dependență experimentală cu o expresie obținută în ipoteza unui echilibru termic local (T) suprapus peste o mișcare colectivă cu viteza  $\beta$ , s-au obținut cei doi parametri. În timp ce pentru ciocnirea p + p datele sunt bine reproduse fără nici o expansiune sau una foarte slabă și o temperatură de respectiv 151 MeV și 108 MeV, în cazul Au + Au, folosind toți hadronii, s-a obținut  $\beta=0,53$  și  $T=112$  MeV. Dacă fitul se realizează separând hadronii în două clase, i. e. cei cu secțiune eficace de interacție înaltă și ceilalți cu secțiune eficace de interacție foarte joasă precum barionii cu stranietate multiplă și  $J/\Psi$ , pentru prima clasă s-a obținut  $\beta=0,56$  și  $T=104$  MeV, iar cea de a doua este caracterizată de  $\beta=0,36$  și  $T=172$  MeV. Aceasta ne spune cu destulă siguranță că barionii cu stranietate multiplă și  $J/\Psi$ , având secțiune de interacție mai mică după hadronizare, păstrează caracteristicile expansiunii colective construite la nivel partonic în timp ce restul hadronilor continuă să interacționeze după hadronizare acumulând mai multă expansiune care evident răcește sistemul și ca urmare are o temperatură mai joasă [15]. Având intenția de a continua studii similare de îndată ce va fi disponibilă informație experimentală de la LHC folosind experimentul ALICE [4], am început să dezvoltăm pachetele software folosind mediul ALICE pentru a analiza dependența impulsului mediu ca funcție de masa diferitelor specii pentru ciocnirile ultra-centrale și distribuțiile azimutale ale impulsului mediu pentru diferite specii pentru ciocniri semi-centrale. Au fost dezvoltate criteriile corespunzătoare de selecție [16, 17]. Pentru înțelegerea influenței geometriei de ciocnire inițiale asupra fenomenelor așteptate la LHC, am dezvoltat un program Monte-Carlo Glauber folosit deja pentru a estima numărul de ciocniri pe care îl suferă nucleonii, distribuția topologică a nucleonilor în area de suprapunere la energiile RHIC și LHC. Influența distribuțiilor azimutale inițiale a nucleonilor cu număr diferit de ciocniri asupra dinamicii ulterioare a zonei de interacție este în prezent în studiu [16, 17, 18].

O confirmare a impactului rezultatelor noastre la nivel internațional este organizarea workshopului internațional ALICE Workshop, Sibiu, Romania, August 20-24, 2008 [19].

În concluzie, scopul prezentului proiect a fost complet îndeplinit, complexitatea și caracterul de excelență al acestuia fiind suportat de tipul de activități și rezultate obținute incluse în 13 lucrări publicate și 32 lecții invitate și contribuții la workshopuri sau conferințe internaționale.

## References

- [1] High counting rate transition detector, M. Petris, M. Petrovici, V. Simion, I. Berceanu, D. Moisa, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. **A 581**, 406 - 409, 2007
- [2] A High Efficiency Transition Radiation Detector for High Counting Rate Environment, M. Petrovici, M. Petris, I. Berceanu, V. Simion, D. Moisa, A. Radu, D. Bartos, V. Catanescu, A. Herghelegiu, C. Magureanu, M. Klein-Bosing, J. P. Wessel, A. Wilk, A. Andronic, G. Garabatos, R. Simon, F. Uhling, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. **A 579**, 961 - 969, 2007

- [3] Specific requirements for analog electronics of High Counting Rate TRD, 10<sup>th</sup> CBM Collaboration Meeting, September 25-28, 2007, Dresden, Germany
- [4] ALICE: Physics Performance Report, Volume II, ALICE Collaboration et al, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys., **32**, 1295 - 2040, 2006
- [5] CBM Progress Report 2006, ISBN 978-3-9811298-1-6, p. 37-43  
CBM Progress Report 2007, ISBN 978-3-9811298-5-4, p. 41
- [6] Ciprian M. Dobre, Ramiro Voicu, Adrian Muraru, Iosif C. Legrand, An agent based framework to monitor and control high performance data transfers, EUROCON2007, Int Conf on Computer as a tool, 9-12 sept 2007, Poland
- [7] V. Cristea, SOA and Grid Technologies, A Distributed Agent Based System to Control and Coordinate Large Scale Data Transfers, Workshop on Global Computing 19-22 April 2007, Romania
- [8] <http://pcalimonitor.cern.ch:8889>
- [9] M.Petrovici, N.Herrmann, K.D.Hildenbrand, G.Augustinski, M.Ciobanu, I.Cruceru, M.Duma, O.Hartmann, P.Koczon, T.Kress, M.Marquardt, D.Moisa, M.Petris, C.Schroeder, V.Simion, G.Stoicea, J.Weinert Nucl.Instr. and Meth. in Phys.Res. 487A(2002)337
- [10] Generalization of TDHFB equations by including the Landau-Zener effect, M. Mirea, Rom. J. Phys., vol. 52, No.1-2, p. 29 -39, 2007
- [11] Anabella Tudora, Multi-parametric prompt fission neutron and fission fragment experimental data described by "point by point" model, Annals of Nuclear Energy 35(1),2008, p. 1-10
- [12] Variational approach to magnetic bands in <sup>82</sup>Rb, A. Petrovici, K.W. Schmid, O. Radu, A. Faessler, Eur. Phys. J. **A 28**, 19, 2006
- [13] Variational calculation of the effect of isospin mixing on superallowed Fermi beta decay, A. Petrovici, K. W. Schmidt, O. Radu, A. Faessler, Nucl. Phys. **A 747**, 44 -52, 2005
- [14] Isoscaling in Neck Fragmentation CHIMERA collab., I. Berceanu, M. Petrovici, A. Pop, Acta Physica Polonica, **B 37**, p. 199 -206, 2006
- [15] M. Petrovici and A.Pop, AIP 972 " Exotic Nuclei and Nuclear/Particle Astrophysics (II), p.98
- [16] C. Andrei, I. Berceanu, A. Herghelegiu, M. Petrovici, A. Pop, C. Schiaua, " *ALICE Workshop* August 20-25, Sibiu-Romania (2008)
- [17] A. Herghelegiu, C. Andrei, I. Berceanu, M. Petrovici, A. Pop, C. Schiaua, " *ALICE Workshop* August 20-25, Sibiu-Romania (2008)
- [18] M. Petrovici, C. Andrei, I. Berceanu, A. Herghelegiu, A. Pop, C. Schiaua, "3<sup>rd</sup> *International Conferece on Light Heavy Ion Collisions*" Protvino, Russian Federation June (2008)
- [19] <https://niham.nipne.ro/aliceworkshop08>