

Colaborarea fructuoasă româno-germană a cercetătorilor din IFIN-HH în domeniul fizicii nucleare (Romanian-German fruitful collaboration of researchers from IFIN-HH in Nuclear Physics)

DORIN N. POENARU

Institutul Național de Fizică și Inginerie Nucleară „Horia Hulubei”, Măgurele, Ilfov, România

The long-lived fruitful Romanian-German scientific cooperation in Nuclear Physics and Cosmic Ray Physics is shortly presented. From the German side following cities are involved: Frankfurt am Main; Darmstadt; Giessen; Tuebingen; Koeln; Karlsruhe, and Berlin. All Romanians are from IFIN-HH (Horia Hulubei National Institute for Physics and Nuclear Engineering). More details are given concerning the theory of cold valleys in fusion reactions producing superheavy nuclei, predictions of cluster radioactivities, and the three main decay modes of superheavies: alpha decay; spontaneous fission and cluster radioactivity. A special section is devoted to Walter Greiner (1935-2016) who was the most important personality who mainly influenced this cooperation. Also we found four Romanian scientists mentioned in Encyclopaedia Britannica: N.C. Paulescu for insulin (1921); Henri Coandă (1930) for his effect in fluidics; A. Sandulescu and D.N. Poenaru (1980) for prediction of heavy particle radioactivity.

Keywords: Nuclear Physics, Cosmic rays, Romanian-German scientific cooperation, Alpha decay, Cluster radioactivity, Spontaneous fission, Walter Greiner obituary, Four Romanian scientists in Encyclopaedia Britannica.

1. Introducere

Școlile de vară organizate de către Acad. A. Săndulescu, Prof. Dr. A. Răduță, Acad. N. V. Zamfir, Prof. Dr. M. Petrovici, Prof. Dr. A. Bucurescu, Prof. Dr. G. Cata, ș.a., an de an, la Predeal, Poiana Brașov sau Timiș, au dat posibilitate multor cercetători români să stabilească contacte utile cu omologii străini, atât în domeniul fizicii teoretice, cât și al fizicii experimentale.

Acestea s-au organizat de către români, în cooperare cu străini, și sub formă de institute de studii avansate NATO: de ex. *Topics in Atomic and Nuclear Collisions* (1992) directed by B. Remaud, A. Calboreanu and V. Zoran [1]; *Frontier Topics in Nuclear Physics* (1993) directed by W. Scheid and A. Săndulescu [2] și *Nuclei far from Stability and Astrophysics* (2000) directed by H. Rebel and D. N. Poenaru [3].

Noi am participat și la institute de studii avansate NATO organizate de către alții, cum ar fi: *Structure and Dynamics of Elementary Matter* (2003) Kemer, Turkey [4].

În domeniul fizicii nucleare teoretice, au existat, în principal, patru centre importante: Frankfurt am Main, Giessen, Tuebingen și Berlin. În cazul fizicii nucleare experimentale, în afară de Frankfurt am Main și Tuebingen menționăm, în special, Darmstadt, Karlsruhe și Koeln.

Principalele personalități germane de la Frankfurt am Main sunt: Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Walter Greiner, Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Horst Stoecker, Prof. Dr. Joachim Maruhn și Prof. Dr. Reiner Dreizler. Domniile lor au avut drept colaboratori români pe: A. Săndulescu, D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, L. Ixaru, C. Părvulescu, I. Silișteanu, A. Ludu, A. Florescu, F. Cârstoiu, E. Ștefănescu, S. Misicu și D. S. Delion. Pentru experimente avem, în principal, pe Prof. Dr. Horst Schmidt-Böcking și Prof. Dr. phil. nat. Dr. h.c. Karl-Ontjes Groeneveld cu colaboratori români: V. Zoran, L. Schechter, S. Dobrescu etc.

La Giessen este Prof. Dr. Werner Scheid cu parteneri A. Săndulescu, E. Badrălexe, I. Silișteanu etc.

La Tuebingen, teoreticianul remarcabil este Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Amand Faessler cu colaborări, în special, cu Alexandra Petrovici. Ca experimentator este Prof. Dr. Friedrich Goennenwein, specialist în fisiune, care a avut interacții multiple cu cercetători români, fără a avea colaboratori direcți de la noi.

În Berlin, Prof. W. von Oertzen a colaborat mult timp cu Marilena Avrigeanu.

La Darmstadt se remarcă o contribuție foarte importantă la proiectul CERN ALICE al lui M. Petrovici, șeful DFH (fizică hadronică) din IFIN-HH, care construiește detectori de mare performanță utilizați în acest proiect. Domnia sa contribuie și la proiectele FOPI și FAIR etc.

Prof. Dr. Peter von Brentano din Koeln, expert în structură nucleară, a colaborat mult timp, în principal, cu N. V. Zamfir, L. Trache, A. Bucurescu ș.a.

La Karlsruhe, Prof. Dr. Heinrich Rebel, specialist în raze cosmice, a avut ca partener român grupul de experimentatori condus de către Iliana Brâncuși, pe Dr. V. Corcalciuc, M. Duma și fiica domniei sale etc.

În cele ce urmează, voi prezenta, pe scurt, trei domenii pe care le cunosc: producerea nucleelor supragrele, radioactivitățile exotice (emisia spontană de ioni grei) și trei moduri de dezintegrare ale nucleelor supragrele.

2. Combinația optimă de nuclee țintă-proiectil pentru sinteza nucleelor supragrele

Elemente supragrele sunt acele elemente, cu număr atomic $Z > 103$, care pot supraviețui un anumit timp doar datorită barierei de potențial creată de către efectele de pături și împerechere [5]. Până în prezent, există două moduri principale de producere a elementelor supragrele: fuziunea rece și fuziunea caldă. În prezent, s-a ajuns până la $Z=118$, denumit Fleroviu.

În primul caz, la Darmstadt și la acceleratorul RIKEN din Japonia, alegându-se drept țintă nuclee dublu magice sau apropiate, cum ar fi ^{208}Pb și ^{209}Bi , nucleele compuse produse prin fuziune nu sunt excitate (sunt aproape în starea fundamentală, emițând cel mult un neutron și câteva raze gama), deci sunt „foarte stabile”. Din păcate, pot fi astfel produse doar nuclee protonoexcedentare. Principalul mod de dezintegrare este emisia de particule alfa (^4He), astfel că se poate identifica ușor nucleul

supragreu ajungându-se în lanțul de dezintegrări succesive la un nucleu fiică cunoscut.

În cazul al doilea, la IUCN Dubna, în cooperare cu Lawrence Berkeley National Laboratory din SUA, se utilizează ca proiectil dublul magic neutrono-excedentar ^{28}Ca . Astfel, se produc nuclee supragrele cu număr mai mare de neutroni decât în cazul precedent; dar, excitația este mai mare, astfel că se emit din nucleul compus 3 sau 4 neutroni și mai multe raze gama. De multe ori, în acest caz dezintegrarea supragreului se face prin fisiune spontană, astfel că este mult mai greu de identificat în comparație cu metoda fuziunii reci.

Metoda văii reci de fuziune a fost sugerată de către celebrul experimentator, de la IUCN Dubna, Prof. Dr. Yu. Ts. Oganessian [6]. Teoria a fost fundamentată de către A. Săndulescu și alții [7].

3. Prezicerea și studiul emisiilor spontane de ioni grei („Cluster radioactivities”)

În anul 1980, A. Săndulescu era unul dintre directorii adjuncți ai Laboratorului de reacții nucleare al IUCN Dubna, condus de către Acad. G. N. Flerov. Din acest motiv, i-a fost ușor să publice în limba rusă lucrarea amplă [8] intitulată „Un nou tip de dezintegrare a nucleelor grele intermediară între fisiune și dezintegrarea alfa” în revista *Echaya* editată la IUCN, tradusă în engleză: *Soviet Journal of Particles and Nuclei*. S-au utilizat 4 metode diferite de calcul: teoria fragmentării dezvoltată la Frankfurt; calcule de penetrabilitate ca pentru dezintegrarea alfa efectuate la București și calcule cu două modele originale dezvoltate de către D. N. Poenaru și colab.: NUSAF și ASAF (numerical și respectiv analytical superasymmetric fission models).

Nimeni nu a dat importanță acestui articol până când, în 1984, H. J. Rose și J. A. Jones, de la Universitatea din Oxford, au raportat în *Nature* **307** (1984) 245, rezultate experimentale privind radioactivitatea ^{14}C a ^{223}Ra . În șase luni, au reușit să observe 11 evenimente utile. În același an, cercetători de la IPN Orsay, în frunte cu regretatul Dr. E. Hourani și Dr. S. Gales (actualul director științific la ELI Măgurele) au confirmat experimentul, folosind un spectrometru magnetic solenoidal cu ajutorul căruia cele 11 evenimente s-au obținut doar în 5 ore. Întrucât domniile lor au publicat în *Phys. Rev. Lett.* **53** (1984) 759, am putut publica rapid un comentariu în aceeași revistă [9], în care am menționat că avem

prioritate clară față de experientatori. Incepând de atunci Ref. [8] a devenit cel mai citat articol al domeniului. Domeniului i s-a atribuit și un număr PACS (Physics and Astronomy Classification Scheme): **23.70.+j Heavy-particle decay**.

Intr-o serie de lucrări publicate în Phys. Rev. C, J. Phys. G: Part. Nucl. și mai ales Atomic Data and Nuclear Data Tables, am prezentat ample tabele conținând cele două mărimi determinate experimental: perioada de înjumătățire (calculată cu modelul nostru ASAF) și energia cinetică sau Q-ul. In toate cele 27 experimente distincte, în care s-au identificat 11 tipuri de radioactivități (^{14}C , ^{20}O , ^{23}F , $^{22,24-26}\text{Ne}$, $^{28,30}\text{Mg}$ și $^{32,34}\text{Si}$ din nuclee grele cu numere atomice $Z=87-96$), duratele de viață au fost în acord cu prezicerile noastre în cadrul modelului ASAF. Aceste calcule au fost folosite ca ghid pentru experientatori, precum și inspirație și termen de comparație pentru teoreticieni. Cărțile [10] și capitolele de cărți au fost și sunt, de asemenea, utile în acest scop.

4. Câțiva oameni de știință români în Enciclopedia Britanica

Traducem din articolul referitor la endocrinologie din Enciclopedia Britanica <https://www.britannica.com/science/endocrinology>: „In 1914 Edward Kendall a izolat tiroxina din extrase de tiroidă; în 1921, Frederick Banting și Charles Best au descoperit insulina în extrase din pancreas și au schimbat imediat tratamentul diabetului (în același an omul de știință român **Nicolae C. Paulescu** a raportat independent prezența unei substanțe numită pancrein, care se credea că este insulină, în extrase pancreatice); și, în 1929, Edward Doisy a izolat un hormon *estrus-producing* din urina femeilor însărcinate”.

Următorul român în ordine cronologică este menționat la fluide <https://www.britannica.com/technology/fluidics>. „Deși principiile fluidelor sunt foarte vechi, doar în 1960 cercetătorii au încercat să folosească fluidele comercial. Cererea unui control sigur în cercetarea spațială a stimulat progresul. In anii 1930, **Henri Coandă**, un om de știință român, a descris ceea ce se numește azi efectul Coandă, o contribuție majoră la tehnologia fluidelor. El a observat că, dacă un jet liber iese dintr-o duză cu jet, curentul va tinde să urmeze o suprafață curbată sau înclinată din vecinătate. Jetul se va atașa curgerii în lungul acelei suprafețe, dacă curbura sau unghiul de

înclinare nu este prea ascuțit. Coandă a explicat această tendință ca fiind cauzată de către curentul jetului care antrenează moleculele de fluid apropiate. Când furnizarea acestor molecule este limitată de o suprafață adiacentă, apare un vid parțial între jet și suprafață. Dacă presiunea pe cealaltă parte a jetului rămâne constantă, vidul parțial, care este regiunea de presiune joasă, va forța jetul să se încline și să se atașeze peretelui.”

Au urmat alți doi români, menționați la dezintegrările nucleului atomic http://www.britannica.com/EBchecked/topic/465998/Calculare_privind_radioactivitățile_cu_emisie_de_ioni_grei. In *radioactivitate: radioactivitatea cu emisie de ioni grei*. In 1980, **A. Săndulescu, D. N. Poenaru** și **W. Greiner** au descris calcule care indicau posibilitatea unui nou tip de dezintegrare a nucleelor grele, intermediar între dezintegrarea alfa și fisiunea spontană. Prima observare a radioactivității cu emisie de ioni grei a fost cea a emisiei de carbon-14 de 30-MeV din radium-223 de către H. J. Rose și G. A. Jones, în 1984. Raportul dintre dezintegrarea carbon-14 și alfa este de aproximativ 5×10^{-10} . S-au mai observat carbon-14 din radium-222, radium-224 și radium-226, precum și neon-24 din thorium-230, protactinium-231 și uranium-232. Astfel de radioactivitate, ca și dezintegrarea alfa și fisiunea spontană, implică tunelarea cuantică prin bariera energiei potențiale. Efectele de pături joacă un rol major în acest fenomen și în toate cazurile observate; până acum, partenerul greu al carbon-14 sau neon-24 este apropiat de dublul magic plumb-208 (vezi mai jos modele nucleare).”

5. O grea pierdere: Walter Greiner (1935-2016)

Prof. Dr. Dr.h.c.mult Walter Greiner https://de.wikipedia.org/wiki/Walter_Greiner <https://fias.uni-frankfurt.de/historical/home/greiner/> s-a născut la 19 Oct. 1935 în Neuenbau/Thuringen (fosta RDG), dar a plecat de tânăr în RFG, unde și-a terminat studiile. Ambii săi fii, Martin și Carsten, sunt profesori universitari de fizică. A decedat la 6 octombrie 2016 în locuința sa din Kelkheim, Taunus, după o lungă și grea suferință.

Domnia sa a fost Dr. Honoris Causa al Universității din București și Membru de Onoare al Academiei Române, începând cu anul 1992.

A absolvit Facultatea de Fizică în Frankfurt pe Main în 1958 și, în 1960, masteratul la Universitatea

Tehnică din Darmstadt. Anul următor obține titlul de doctor la Universitatea din Freiburg.

Intre 1962 și 1964, a fost asistent la University of Maryland și Florida State University, iar în mai 1964, cercetător asociat la Universitatea din Freiburg.



Incepând cu anul 1965 (foarte tânăr), devine șeful catedrei de fizică teoretică și directorul Institutului de Fizică Teoretică (până în 1995) al Universității Johann Wolfgang Goethe din Frankfurt am Main. Din 1976, a fost consultant permanent al GSI (Gesellschaft fuer Schwerionenforschung) Darmstadt. Din octombrie 2001 până în iulie 2002, a fost decanul Facultății de Fizică. În 2003 - directorul noului Frankfurt Institute for Advanced Studies, la a cărui înființare și finanțare din fonduri private și nu numai, a avut un rol important.

Walter Greiner a fost unul dintre tinerii fizicieni care a înțeles să restabilească fizica nucleară, fizica atomică și fizica particulelor și a energiilor înalte la cotele dinaintea celui de-al Doilea Război Mondial. A înțeles foarte bine că efortul trebuie accentuat, atât pe teorie, cât și pe experiment. Astfel, s-a implicat foarte mult în dezvoltarea GSI. Și alte centre importante internaționale, cum ar fi SPS și viitorul LHC al CERN, RHIC în Brookhaven, BEVALAC în Berkeley, au beneficiat de ideile sale inovatoare.

Institutele conduse de domnia sa au fost locuri în care oameni de știință din toate țările și continentele se întâlneau pe proiecte comune, într-o vreme când această practică nu era foarte comună. Importante conferințe internaționale, școli de vară, institute avansate NATO etc., erau organizate de către domnia sa, în calitate de director. În același timp, era membru al International Advisory Committee și principal

vorbitor sau cel care trăgea concluziile, la majoritatea întâlnirilor științifice din toată lumea cu subiecte care coincideau cu topica multiplelor sale preocupări.

A fost profesor invitat la: National Bureau of Standards, Washington, D. C.; University of Melbourne; University of Virginia, Charlottesville; University of Saskatchewan, Canada; Indiana University; Florida State University; University of California, Berkeley; Yale University, New Haven; Oak Ridge National Laboratory; Vanderbilt University, Nashville, TN; Joint Institute for Nuclear Research, Dubna; University of Cairo; University of Madras; Institute of Atomic Physics, Bucharest; Los Alamos Scientific Laboratory; University of the Witwatersrand, Johannesburg; Argonne National Laboratory and University of Chicago; Lawrence Berkeley Laboratory; Lawrence Livermore Laboratory; Duke University și University of Arizona, Tucson. Din 1978: Profesor Adjunct, Vanderbilt University și Oak Ridge National Laboratory.

Walter Greiner a fost doctor honoris causa al următoarelor universități: Witwatersrand, Johannesburg, Tel Aviv, Strasbourg, Bucharest, Debrecen, Nantes, Mexico City, St. Petersburg, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Bogoliubov Institute of Theoretical Physics, Kiev.

A obținut onoruri și premii: Max-Born Prize and Medal awarded by Institute of Physics, London and German Physical Society; Otto-Hahn-Prize (Frankfurt am Main); First professor holding the "Frankfurt chair", University of Tel Aviv; Fellow of the Royal Society of Arts (FRSA), London; Honorary Member of Roland Eotvos Society of Hungary; Honorary Professor, University of Beijing; Honorary Membership of the Romanian Academy; Alexander von Humboldt Medal; Officier dans l'Ordre Palmes Academiques; Member of Accademia Gioenia di Catania; Honorary Professor, Jilin University, China.

A deținut poziții editoriale: Journal of Physics G: Nuclear Physics, UK; Reports on Progress of Physics, UK; Il Nuovo Cimento Nuclei, particles and fields; Heavy Ion Physics, Budapest; Foundations of Physics, New York - London. Honorary Editor: Journal of Physics G: Nuclear Physics, UK. Managing Editor for Europe of International Journal of Modern Physics E, Singapore.

A publicat peste 750 articole în reviste cotate ISI; a ținut aproximativ 400 lecții invitate la conferințe sau școli de vară. Are 15 volume de monografii de fizică teoretică în germană, traduse în engleză,

japoneză, chineză și franceză. (Springer Verlag, Berlin, London, New York, Tokyo) și încă 14 cărți publicate de Springer, North Holland, Plenum, World Scientific, Clarendon Press și Walter de Gruyter.

Lista subiectelor în care a avut idei inovatoare este impresionantă:

- nuclear polarization in muonic atoms;
- rotation-vibration model;
- dynamic collective model of giant resonances;
- Eigenchannel theory of the S-matrix nuclear reactions;
- superheavy nuclei, structure;
- stability against fission;
- alpha decay and electron capture;
- electronic structure of superheavies;
- theory of nuclear molecules;
- coupled channel formulation of nuclear molecular reactions;
- the two center shell model which is fundamental for all fission and fusion processes;
- generalized collective model (Gneuss-Greiner model);
- prediction of cold valley for fusion of superheavy elements;
- prediction of cluster radioactivities;
- calculation of PES exhibiting the cold valleys for fusion, cold fission bimodal fission, cluster radioactivities, and alpha decay
- Quantum Electro Dynamics of strong fields;
- spontaneous pair creation;
- superheavy quasimolecules;
- supercritical fields in other areas like gravitation (Hawking radiation) and strong colour fields.
- the prediction of nuclear shock waves as a key mechanism for compressing and heating nuclear matter. This work initiated high energy nuclear physics: search for the nuclear equation of state and possible phase transitions;
- antimatter clusters emitted from a quark gluon plasma;
- Meson field theory for hot and dense nuclear matter, phase transition, chiral restoration;
- Meson field theory applied to nuclei and exotic objects, e.g. multi-Lambda-nuclei;
- relativistic fluid dynamics for high energy heavy ion collisions;
- antimatter production in thermal meson field theory;
- Quantum molecular dynamics applied to nuclear collisions;
- relativistic quantum molecular dynamics;

- antiproton production in heavy ion collisions;
- antiflow of pions and antimatter;
- quark-gluon plasma as a cluster plasma;
- extension of the periodic system into the new directions of strangeness and antimatter;
- structure of the baryonic and mesonic vacuum of high densities and temperature;
- a new mechanism for cold compression of elementary matter by implantation of high energy antiprotons in nuclei.

A reușit să formeze tineri fizicieni care ocupă, în prezent, poziții importante în învățământul universitar și cercetare din Germania și Europa, precum și în SUA. În Frankfurt există peste 187 "Diplomarbeit" și 141 PhD Thesis supervizate de către domnia sa.

Walter Greiner nu a fost doar un educator și cercetător cu totul ieșit din comun, ci și un manager excepțional. Nu am cunoscut pe nimeni care să știe atât de bine să obțină fonduri pentru cercetare dintr-o multitudine de surse, care includ atât contribuțiile obișnuite ale bugetelor de stat, cât și pe cele benevole ale oamenilor înstăriți.

Regretăm mult prematura sa dispariție, dar sunt convins că va rămâne nu doar în inimile noastre, ci și în mințile noastre prin cărțile și toate celelalte scrieri ale domniei sale.

6. Dezintegrarea alfa, fisiunea spontană și emisia de particule grele din nuclee supragrele

O perioadă îndelungată de timp, am făcut calcule privind aceste trei tipuri de dezintegrări nucleare, pe care le notăm, pe scurt, DA, FS și CR. Detalii și lista de referințe se pot lua din cărțile [10].

Interesant de remarcat este faptul că, în anul 2015, un grup de cercetători chinezi (Y. Z. Wang, S. J. Wang, Z. Y. Hou, J. Z. Gu) a publicat o lucrare în Phys. Rev. C **92** (2015) 064301, în care raportau, printre altele, că din cele 18 formule folosite pentru calculul timpilor de viață față de dezintegrarea alfa a nucleelor supragrele, cea mai bună era a noastră, *semFIS* (formula semiempirică bazată pe teoria fisiunii), iar pe locul doi era *UNIV* (curba universală), tot una de-a noastră.

Tot în cadrul colaborării cu regretatul Walter Greiner, în 2011, am arătat [11] că pentru anumii izotopi ai nucleelor supragrele cu $Z > 121$, este posibil ca CR să fie modul predominant de dezintegrare, adică să întrecă atât DA, cât și FS. La sugestia domniei sale, am dovedit teoretic (D. N.

Poenaru, R. A. Gherghescu and W. Greiner, invited talk, in Proc. of the 34th International Workshop on Nuclear Theory, Rila Mountain, Bulgaria, 2015, Eds. M. Gaidarov and N. Minkov (Heron Press, Sofia, Bulgaria, 2015)), că emisia de anticlusteri din antimaterie se face după aceleași legi ca și CR din nuclee grele.

In ultima lucrare despre fisiunea supragrelelor [12] am reușit să arătăm, pentru prima dată, că fragmentul ușor se preformează la suprafața nucleului părinte, în mod analog cu preformarea particulei alfa sau a ionului greu în cazul CR.

Bibliografie

- [1] B. Remaud, A. Calboreanu, V. Zoran, Eds. Proc. NATO Advanced Study Institute: Topics in Atomic and Nuclear Collisions, Series Volume **321** (Plenum Press, New York, 1994).
- [2] W. Scheid, A. Săndulescu, Eds. Proc. NATO Advanced Study Institute: Frontier Topics in Nuclear Physics, Volume **334** (Plenum Press, New York, 1994).
- [3] D. N. Poenaru, H. Rebel, J. Wentz, Eds. Proc. of the NATO Advanced Study Institute, Predeal, 2000, Nuclei Far from Stability and Astrophysics (Kluwer Academic, Dordrecht, 2001).
- [4] W. Greiner, M. G. Itkis, J. Reinhardt, M. C. Guclu, Eds. Structure and Dynamics of Elementary Matter (Proc. of the NATO Advanced Study Institute, Kemer, Turkey, 2003) (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2004).
- [5] W. Greiner, D. N. Poenaru, Neutron rich long-lived superheavies, ch. 5 in Cluster Structure of Atomic Nuclei, Ed. M. Brenner (Research Signpost, Trivandrum, India, 2010).
- [6] Yu. Ts. Oganessian et al., Nucl. Phys. A **239** (1975) 353.
- [7] A. Săndulescu, R. K. Gupta, W. Scheid, W. Greiner, Phys. Lett. 60 B (1976) 225. R.K. Gupta, A. Sandulescu and W. Greiner, Phys. Lett. **67 B** (1977) 257.
- [8] A. Săndulescu, D. N. Poenaru, W. Greiner, Sov. J. Part. Nucl. **11** (1980) 528.
- [9] A. Săndulescu, D. N. Poenaru, W. Greiner, J.H. Hamilton, Phys. Rev. Lett. **54** (1985) 490.
- [10] D. N. Poenaru, M. Ivascu, Eds. Particle Emission from Nuclei, 3 volumes (CRC Press, Boca Raton, Florida, 1989). D. N. Poenaru Ed., Nuclear Decay Modes (Institute of Physics Publishing, Bristol,) D. N. Poenaru, W. Greiner, Eds. Handbook of Nuclear Properties (Clarendon Press, Oxford, 1996). D. N. Poenaru, W. Greiner, Eds. Experimental Techniques in Nuclear Physics (Walter de Gruyter, Berlin, 1997). D. N. Poenaru, W. Greiner, chapter 1 in Clusters in Nuclei Vol. **1**. Lecture Notes in Physics V. 818 (Springer, Berlin, 2010).
- [11] D. N. Poenaru, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Phys. Rev. Lett. **107** (2011) 062503.
- [12] D. N. Poenaru, R.A. Gherghescu, E-print arXiv:1609.04942v1 [nucl-th] 2016.

Autor corespondent: poenaru@nipne.ro