

## RAPORT ȘTIINȚIFIC FINAL

**Program 4 - Cercetare fundamentală și de frontieră**

**Tip proiect: Proiecte de cercetare exploratorie**

**Proiect:** Posibila emisie alfa din rezonante gigantice cuadripolare induse de neutroni rapizi

**Acronim:** GQRpad

**Contract nr:** PCE 7 /2022 (PN-III-P4-PCE-2021-1260)

**Perioada de raportare:** 01.06.2022 – 31.12.2024

**Coordonator:** Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica si Inginerie Nucleara „Horia Hulubei” (IFIN-HH)

**Pagina web:** <https://www.nipne.ro/proiecte/pn3/59-proiecte.html>

**Director de proiect:** Dr. Vlad Avrigeanu ([https://www.nipne.ro/5055-staff\\_info.html](https://www.nipne.ro/5055-staff_info.html) )

### 1. Obiectivele prevăzute/realizate

Realizarea integrala a obiectivelor prevazute ale acestui proiect este prezentata in articolele publicate<sup>1,2,3,4,5,6</sup> (autor corespondent fiind directorul proiectului de fata), dintre care acela corespunzand corespunde ultimului an de raportare<sup>4</sup> sintetizeaza indeplinirea obiectivului major reprezentat si de titlul proiectului. Astfel, pe baza unui potential de model optic pentru particule  $\alpha$ , dezvoltat anterior<sup>7</sup> in IFIN-HH si devenit optiune standard a codului de calcul TALYS<sup>8</sup> de larg uz international, si a unei analize consistente a datelor de emisie alfa indusa de neutroni rapizi pe izotopii stabili ai Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb si Mo, s-a realizat identificarea unui proces similar ‘Giant

---

<sup>1</sup> V. Avrigeanu and M. Avrigeanu, *Charged-particle optical potentials tested by first direct measurement of the  $^{59}\text{Cu}(p,\alpha)^{56}\text{Ni}$  reaction*, Phys. Rev. C **106**, 024615 (2022), doi:10.1103/PhysRevC.106.024615; <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.106.024615> [AIS Q2]

<sup>2</sup> V. Avrigeanu and M. Avrigeanu, *Consistent assessment of neutron-induced activation of  $^{93}\text{Nb}$* , Front. Phys. **11**, 1142436 (2023), <https://doi.org/10.3389/fphy.2023.1142436> (part of the *Research Topic on Nuclear Data for Fusion Technology from Basic Research to Full-Scale Applications*, <https://www.frontiersin.org/research-topics/39045/nuclear-data-for-fusion-technology-from-basic-research-to-full-scale-application> ) [AIS Q2]

<sup>3</sup> V. Avrigeanu and M. Avrigeanu, *Constrained model assumptions using recent data of  $\alpha$ -particle reactions on  $^{144}\text{Sm}$* , Front. Phys. **12**, 1247311 (2023), <https://doi.org/10.3389/fphy.2023.1247311> (part of the *Research Topic on Cross Section Data of Interest for Nuclear Astrophysics: Experimental and Theoretical Status, and Perspectives*. <https://www.frontiersin.org/research-topics/51270/cross-section-data-of-interest-for-nuclear-astrophysics-experimental-and-theoretical-status-and-perspectives#overview>) [AIS Q2]

<sup>4</sup> M. Avrigeanu and V. Avrigeanu, *Giant Quadrupole Resonances within neutron-induced alpha-particle emission?*, Phys. Lett. B **858**, 139078 (2024), doi: [10.1016/j.physletb.2024.139078](https://doi.org/10.1016/j.physletb.2024.139078) [AIS Q1]

<sup>5</sup> V. Avrigeanu and M. Avrigeanu, *Additional reaction mechanisms to statistical alpha-emission and the related optical-potential validation*, EPJ Web of Conf. **284**, 07001 (2023) [oral talk at 15<sup>th</sup> International Conference on Nuclear Data for Science and Technology (ND2022), July 25-29, 2022, Sacramento, California, US], <https://doi.org/10.1051/epjconf/202328407001>

<sup>6</sup> V. Avrigeanu and M. Avrigeanu, *Possible evidences for Giant Quadrupole Resonances within neutron-induced alpha-particle emission*, [https://conferences.iaea.org/event/368/papers/31753/files/12859-VA\\_CNR.tex](https://conferences.iaea.org/event/368/papers/31753/files/12859-VA_CNR.tex) [7th Int. workshop on Compound-Nuclear Reactions and Related Topics (CNR\*24), 8-12 July 2024, Vienna, Austria] EPJ Web of Conf. (submitted, Oct. 25, 2024)

<sup>7</sup> V. Avrigeanu, M. Avrigeanu, and C. Manaiescu, Phys. Rev. C **90**, 044612 (2014)

<sup>8</sup> A.J. Koning, S. Hilaire, and S. Goriely, *TALYS & Related Software - Nuclear reaction model code*, <https://nds.iaea.org/talys/>

*Quadrupole Resonance'* (GQR) care poate contribui la descrierea marimii sectiunilor eficace ale unor reactii ( $n,\alpha$ ) la energiile GQR ale nucleelor excitate respective<sup>4</sup>. Aspectul particular al acestei analize il reprezinta calculele consistente de modele nucleare ale sectiunilor eficace de reactie, utilizand (a) valori ale parametrilor de model stabiliti prin analiza unor date diferite independente, si astfel fara implicarea unor factori empirici de renormare pentru emisia de particule alfa si/sau nucleoni, pentru energii incidente de pana la  $\sim 21$  MeV, precum si (b) toate datele disponibile pentru diferitele canale de reactie si izotopi ai unui element. Astfel toate calculele de sectiuni eficace de reactii nucleare au avut ca punct de plecare, conform propunerii initiale de proiect, analiza (i) parametrilor densitatilor de nivele nucleare (*nuclear level density'*, NLD), (ii) potentialelor de model optic (*optical model potential'*, OMP) pentru nucleoni, (iii) functiilor de forta radiative (*radiative strength functions'*, RSF), (iv) factorilor spectroscopici pentru reactii directe (*direct reactions'*, DR), si a sensibilitatii acestora fata de ipotezele si parametrii de modele nucleare.

## 2. Prezentarea rezultatelor obținute

**2.1** O prima etapa a proiectului a reprezentat-o analiza consistenta a reactiilor induse de nucleoni incidenti pe nucleul  $^{93}\text{Nb}$ , incluzand in particular emisia de particule alfa, la energii incidente inferioare si in jurul barierei Coulomb. Ca urmare a absentei unor date independente necesare pentru stabilirea parametrilor de modele nucleare anterior realizarii calculelor de sectiuni eficace ale reactiilor induse de neutroni incidenti pe nucleul  $^{93}\text{Nb}$  – ca, de exemplu, date medii de rezonante neutronice pe izotopii stabili (neexistand in natura un izotop  $^{92}\text{Nb}$  necesar in acest scop) – a fost necesara in prealabil o analiza a modului de propagare a incertitudinilor acestor parametri asupra incertitudinii sectiunilor eficace de reactie calculate. Incertitudinile acestor parametri urmand a fi corelate cu incertitudinea datelor primare implicate in determinarea lor si/sau sistematica disponibila pentru acesti parametri, s-a impus ca analiza respectiva sa fie realizata in cazul unui lant de izotopi stabili caracterizati cat mai mult posibil de existenta datelor primare necesare. Acest ansamblu de conditii a fost identificat in cazul izotopilor stabili <sup>58,60-62,64</sup>Ni, rezultatele analizei respective fiind publicate<sup>5</sup> cu urmatorul *'Abstract'*:

“The major role of consistent parameter sets within analysis of neutron-induced alpha-particle emission, for the assessment of a possible difference between the optical model potentials (OMPs) which describe either alpha-particle elastic scattering and induced reactions or alpha-emission from excited compound nuclei, is shown. They are involved at variance with use of either empirical rescaling factors of the gamma and/or neutron widths or even combinations of all options of a computer code for main input parameters. Suitable description of all competitive reaction channels, confirmed by a careful uncertainty analysis in order to avoid parameter ambiguities and/or error compensation, support further consideration of additional direct processes.”

**2.2** Un alt element suplimentar programului initial, privind validarea potentialului<sup>7</sup> nu numai pentru particulele alfa incidente dar si pentru emisia de particule alfa din nuclee excitate, l-a reprezentat o supraestimare asumata recent cu un factor de 2 a primei masuratori directe<sup>9</sup> a sectiunii eficace a reactiei  $^{59}\text{Cu}(p,\alpha)^{56}\text{Ni}$  la energia incidenta de 6 MeV. Aceasta a impus o analiza proprie pentru a

---

<sup>9</sup> J. S. Randhawa, R. Kanungo, J. Refsgaard, P. Mohr, T. Ahn, M. Alcorta, C. Andreoiu, S. S. Bhattacharjee, B. Davids, G. Christian *et al.*, Phys. Rev. C **104**, L042801 (2021)

sustine acest OMP pentru particule alpha. Rezultatele acestei analize de ipoteze si parametri de model in cadrul acestui proiect au fost prezentate<sup>10</sup> inclusiv in lucrarea<sup>1</sup> publicata cu urmatorul 'Abstract':

"Due consideration of proton optical-model potential (OMP) anomalies at sub-Coulomb energies for medium-weight nuclei is shown to be critical for the analysis of the unprecedented measurement of  $^{59}\text{Cu}(p,\alpha)^{56}\text{Ni}$  reaction cross section at an energy of  $\sim 6$  MeV [Phys. Rev. C **104**, L042801 (2021)]. The variation in predicted cross sections from standard statistical-model calculations and the cross-section range corresponding to the anomalous proton imaginary-potential depth, for target nuclei off the line of stability, are distinct and well separated. Consequently, the new measurement provides, under unique conditions, tests of proton isoscalar and isovector real-potential components, the anomalous imaginary potential, as well as previous alpha-particle OMP, for nuclei off the line of stability."

**2.3** In sfarsit, obiectivul principal al etapei respective a fost realizat in conditiile asumate anterior prin analiza datelor de emisie alfa indusa de neutroni rapizi pe nucleul tinta  $^{93}\text{Nb}$ , fiind realizate calcule consistente de modele nucleare ale sectiunilor eficace de reactie. Un acord satisfacator a fost astfel obtinut intre sectiunile eficace masurate ale reactiilor  $(n,\alpha)$  induse pe  $^{93}\text{Nb}$ , incluzand si toate canalele de reactie concurente, cu aceeasi validare in final a luarii in considerare suplimentara a (i) popularii starilor excitate joase ale nucleelor reziduale prin DR de tip 'pick-up', si (ii) procesului similar GQR care poate contribui la descrierea marimii sectiunilor eficace ale unor reactii  $(n,\alpha)$  la energiile GQR ale nucleelor excitate respective. Rezultatele acestei analize de ipoteze si parametri de model, in proiectului de fata, au fost prezentate<sup>11</sup> intr-o lucrare<sup>2</sup> cu urmatorul 'Abstract':

"A concurrent assessment of all measured excitation functions for various reactions induced by neutrons on  $^{93}\text{Nb}$ , in addition to the results of TENDL-2021 and default parameters in TALYS-1.96, is given in this work. We use consistent parameter sets that are formerly obtained or validated by analysis of other independent data, while no empirical rescaling factors of the gamma and/or neutron widths have been used. The correlation between the measured error bars of the primary data providing the consistent input parameters, and the final uncertainty bands of the calculated results has been pointed out. At the same time, a proper account in this work of all available data for competitive reaction channels prevented compensation effects of less accurate model parameters. Remaining questions are emphasized as well as the need for additional measurements."

**2.4** Analiza unor date independente pentru stabilirea parametrilor de model ai NLD, OMP, RSF si DR, anterior realizarii calculelor de sectiuni eficace ale reactiilor induse de neutroni incidenti pe toti izotopii stabili ai Zr, Nb, si Mo, incluzand aspectele specifice evidentiate in cadrul analizei similare<sup>5</sup> pentru izotopii stabili ai Ni a fost realizata<sup>12</sup> conform planificarii initiale a propunerii de proiect dar in avans fata de perioada finala a finantarii respective si in contextual unui studiu mai amplu asupra

---

<sup>10</sup> V. Avrigeanu and M. Avrigeanu, *Evaluation of fast-neutron induced alpha emission*, EFFDOC-1488, OECD/NEA Data Bank, Nov. 24, 2022, Paris, [https://www.oecd-nea.org/dbdata/nds\\_effdoc/effdoc-1488.pdf](https://www.oecd-nea.org/dbdata/nds_effdoc/effdoc-1488.pdf)

<sup>11</sup> V. Avrigeanu and M. Avrigeanu, *Evaluation of fast-neutron induced alpha emission*, EFFDOC-1503, OECD/NEA Data Bank, April 24, 2023, Paris, [https://www.oecd-nea.org/dbdata/nds\\_effdoc/effdoc-1503.pdf](https://www.oecd-nea.org/dbdata/nds_effdoc/effdoc-1503.pdf)

<sup>12</sup> V. Avrigeanu and M. Avrigeanu, *Evaluation of fast-neutron induced alpha emission for  $A\sim 90$  nuclei*, EFFDOC-1472, OECD/NEA Data Bank, April 26, 2022, [https://www.oecd-nea.org/dbdata/nds\\_effdoc/effdoc-1472.pdf](https://www.oecd-nea.org/dbdata/nds_effdoc/effdoc-1472.pdf)

interacțiunilor neutronilor rezultati din procesul de rupere (“*breakup*”) al deuteronilor<sup>13</sup>. Suplimentar insa programului initial al proiectului de fata, de validare a potentialului<sup>7</sup> si pentru descrierea emisiei de particule alfa, a intervenit publicarea intretimp a doua lucrari<sup>14,15</sup> de referinta pentru reactiile induse de particule alfa si potentialul optic corespunzator. Includerea potentialului<sup>7</sup> in analizele acestor lucrari, consemnand existenta a inca unor semne de intrebare fata de supraestimarea in continuare a datelor cele mai recente<sup>16</sup> in cazul reactiei ( $\alpha,\gamma$ ) pe nucleul  $^{144}\text{Sm}$ , a impus o analiza proprie a posibilei cauze a supraestimarii respective si pentru a sustine potentialul propriu<sup>7</sup> de model optic pentru particule alfa. A fost astfel demonstrata<sup>17</sup> corectitudinea potentialului de model optic pentru particule alfa, discrepanta atribuita initial acestuia fiind in fapt datorata unui efect suplimentar al imprastierii inelastice colective a particulelor alfa la energii inferioare barierei Coulomb, intr-o lucrare<sup>3</sup> publicata cu urmatorul ‘*Abstract*’:

“Analysis of the latest high-precision cross sections of ( $\alpha,\gamma$ ) and ( $\alpha,n$ ) reactions on  $^{144}\text{Sm}$  below the Coulomb barrier is carried out using a consistent parameter set of the statistical model. This prevents the need of using empirical rescaling factors of either gamma or neutron widths. Particular attention is paid to uncertainties of the calculated cross sections which are related to the accuracy of the primary data that were used to set up the consistent input parameters. The calculated cross sections are found in good agreement with the new experimental data for the  $^{144}\text{Sm}(\alpha,n)^{147}\text{Gd}$  reaction; however, the same is not true for the excitation function of  $^{144}\text{Sm}(\alpha,\gamma)^{148}\text{Gd}$  which decreases faster at incident energies below  $\sim 12$  MeV. Increase of the  $\alpha$ -particle direct collective inelastic scattering at lower energies is found responsible for this decrease of the ( $\alpha,\gamma$ ) reaction cross sections. The consequent lower nuclear effects may correspond to the Coulomb excitation effect assumed, although in a different manner, within the so-called ‘ $\alpha$ -potential mystery’ for the same optical-potential account of  $\alpha$ -particle absorption and emission as well.”

**2.5** O noua foarte recenta masurare și analiza<sup>18</sup> ale secțiunilor eficace ale reactiei ( $n,\alpha$ ) pe nucleul țintă  $^{91}\text{Zr}$ , cu date masurate mai mari cu  $\sim 100\%$  decat evaluarile recente (TENDL-2021/2023<sup>19</sup>), au condus in primul rand la modificări propuse pentru OMP-ul menționat mai sus<sup>7</sup>. Astfel a devenit necesara din partea noastra o analiza suplimentara a acestor date, precum si eventualul rol al

<sup>13</sup> M. Avrigeanu and V. Avrigeanu, *Optical potential for incident and emitted low-energy  $\alpha$  particles. III. Non-statistical processes induced by neutrons on Zr, Nb, and Mo nuclei*, Phys. Rev. C **107**, 034613 (2023), <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevC.107.034613>

<sup>14</sup> G.G. Kiss, P. Mohr, G. Gyürky, T. Szücs, L. Csedreki, Z. Halász et al., *High-precision  $^{144}\text{Sm}(\alpha,\alpha)^{144}\text{Sm}$  scattering at low energies and the rate of the  $^{144}\text{Sm}(\alpha,\gamma)^{148}\text{Gd}$  reaction*, Phys Rev C **106**, 015802 (2022)

<sup>15</sup> G. Gyürky, P. Mohr, A. Angyal, Z. Halász, G.G. Kiss, Z. Mátyus et al., *Cross section measurement of the  $^{144}\text{Sm}(\alpha,n)^{147}\text{Gd}$  reaction for studying the  $\alpha$ -nucleus optical potential at astrophysical energies*. Phys Rev C **107**, 025803 (2023)

<sup>16</sup> P. Scholz, H. Wilsenach, H. W. Becker, A. Blazhev, F. Heim, V. Foteinou, U. Giesen et al., *New measurement of the  $^{144}\text{Sm}(\alpha,\gamma)^{148}\text{Gd}$  reaction rate for the  $\square$  process*, Phys. Rev. C **102**, 045811 (2020)

<sup>17</sup> V. Avrigeanu and M. Avrigeanu, *Evaluation of fast-neutron induced alpha emission*, EFFDOC-1518, OECD/NEA Data Bank, Nov. 24, 2023, Paris, [https://www.oecd-nea.org/dbdata/nds\\_effdoc/effdoc-1518.pdf](https://www.oecd-nea.org/dbdata/nds_effdoc/effdoc-1518.pdf)

<sup>18</sup> G. Zhang et al., *Cross sections of the  $^{91}\text{Zr}(n,\alpha)^{88}\text{Sr}$  reaction in the 3.9–5.3 MeV neutron energy region*, Phys. Rev. C **106**, 064602 (2022)

<sup>19</sup> A. J. Koning and D. Rochman, TENDL-2023: TALYS-based evaluated nuclear data library, [https://tendl.web.psi.ch/tendl\\_2023/tendl2023.html](https://tendl.web.psi.ch/tendl_2023/tendl2023.html)

deziexcitării prin emisia de particule alfa a nucleelor excitate la energiile ISGQR în reacții  $(n,\alpha)$  sub și în jurul energiei incidente de 14 MeV. Analizele noastre similare anterioare<sup>11,20</sup> au fost completate în acest sens și prin compararea datelor aferente regulii privind suma ponderată energetic ('Energy Weighted Sum Rule' - EWSR) pentru cazurile disponibile. S-a demonstrat un „efect izotopic” suplimentar pentru fracțiunile EWSR ale rezonanțelor ISGQR care corespund reacțiilor  $(\gamma,\alpha)$  și  $(n,\alpha)$ , spre deosebire de sistematica rezultatelor anterioare pentru imprastierea inelastică  $(\alpha,\alpha')$ , în cadrul unor prezentări internaționale<sup>6,21</sup> precum și, în final, în lucrarea<sup>4</sup> cu următorul 'Abstract':

“The particular conditions for the recent measurement of  $^{91}\text{Zr}(n,\alpha)^{88}\text{Sr}$  reaction cross sections at incident energies below 5.3 MeV [Phys. Rev. C **106**, 064602 (2022)] as well as a previous detailed analysis of other reaction channels involving neutrons incident on  $^{91}\text{Zr}$ , using a consistent set of model parameters, have two main advantages. First, the close agreement between the calculated and experimentally obtained data for the incident energy associated mainly with the ground-state activation provides strong support for the  $\alpha$ -particle optical potential involved in this analysis. Second, a further underestimation of the cross section is observed around the energy corresponding to the isoscalar giant quadrupole resonance (ISGQR), beyond any model parameter uncertainty. This underestimation is consistent with previous observations of ISGQR-like  $\alpha$ -particle decay of excited nuclei for neutron-induced reactions in the mass range  $54 < A < 98$ . To phenomenologically identify the ISGQR-like behavior, a comparison is made between their strengths and the ISGQR strengths measured through the  $(\alpha,\gamma)$  reaction and inelastic scattering of  $^3\text{He}$  and  $\alpha$ -particles. Additionally, an isotope effect, possibly related to the decrease in  $Q$ -value with the target-nuclei asymmetry parameter, supports the observation of a low energy-weighted sum rule (EWSR) fraction for the ISGQR-like strength function in the excited nucleus  $^{92}\text{Zr}$ .”

### 3. Prezentarea indicatorilor de rezultat realizați

Corespunzător celor 3 articole în reviste cotate ISI și 6 contribuții la conferințe/manifestări internaționale indicate ca „Rezultate estimative verificabile ale activității” în „Plan de realizare a proiectului” (Anexa II la Contractul de finanțare nr. PCE 7 / 2022), au fost realizate:

- 4 articole publicate în reviste având AIS Q1 (Ref.<sup>4</sup>) și Q2 (Refs.<sup>1-3</sup>),
- 2 contribuții la conferințe internaționale și publicate în reviste indexate ISI (Refs.<sup>5-6</sup>), și
- 4 contribuții la manifestări internaționale „Nuclear Data Week”, OECD/NEA Data Bank, Paris, și disponibile pe pagina [https://www.oecd-nea.org/dbdata/nds\\_effdoc/](https://www.oecd-nea.org/dbdata/nds_effdoc/) (Refs.<sup>10,11,17,21</sup>).

**O justificare a diferențelor** dintre rezultatele preconizate pentru al doilea an al acestui proiect, conform propunerii finanțate, și realizările prezentate în cuprinsul acestui raport, se impune după cum urmează.

Astfel, activitatea preconizată inițial pentru al doilea an al proiectului, vizând izotopii stabili ai elementului Mo, a fost în fapt realizată încă din primul an ca parte a unei lucrări extinse<sup>13</sup>, transmisă spre publicare în cursul Etapei 1 a proiectului de față cu atingerea tuturor obiectivelor preconizate pentru Etapa 2. Pe de altă parte, activitatea realizată efectiv în cadrul etapei 2 a proiectului de față, în contextul lucrărilor<sup>3,17</sup>, implicând aceeași metodica și obiective dar în cazul nucleului  $^{144}\text{Sm}$ , a fost

---

<sup>20</sup> V. Avrigeanu and M. Avrigeanu, Eur. Phys. J. A **57**, 54 (2021); *ibid.* **58**, 189 (2022)

<sup>21</sup> V. Avrigeanu and M. Avrigeanu, *Neutron-induced alpha emission analysis*, EFFDOC-1538, April 22, 2024, OECD/NEA Data Bank, Paris, [https://www.oecd-nea.org/dbdata/nds\\_effdoc/effdoc-1538.pdf](https://www.oecd-nea.org/dbdata/nds_effdoc/effdoc-1538.pdf)

impusa de publicarea pe plan international, dupa depunerea si aprobarea finantarii acestui proiect, a doua referinte majore<sup>14-16</sup> ale caror concluzii nu ar mai fi permis continuarea proiectului fara demonstrarea la acelasi nivel editorial a corectitudinii elementelor de baza ale proiectului. Poate fi subliniata in acest context ca unul din referentii lucrarii<sup>3</sup> a fost chiar autorul corespondent al lucrarii<sup>15</sup> ale carei concluzii au impus realizarea imediata a lucrarilor<sup>3,17</sup>.

#### 4. Prezentarea nerealizărilor înregistrate față de rezultatele estimate prin cererea de finanțare

Un obiectiv major nerealizat il reprezinta angajarea unui masterand/doctorand/post-doc desi disponibilitatea pozitiei vacante a fost anuntata public la adresele din interior/exterior IFIN-HH, inclusiv pe pagina proiectului (<https://www.nipne.ro/proiecte/pn3/59-proiecte.html>, din 26.05.2022):

- <https://www.euraxess.gov.ro/jobs/814405>
- <https://jobs.research.gov.ro/anunt.php?id=5138>
- [https://www.nipne.ro/jobs/01082022/asistent\\_cercetare\\_PCE-2021-1260.doc](https://www.nipne.ro/jobs/01082022/asistent_cercetare_PCE-2021-1260.doc)
- [https://www.nipne.ro/proiecte/pn3/20220510\\_gqrpav\\_avrigeanu/OpenPosition\\_MSc-PhD\\_ASC\\_PCE-2021-1260.pdf](https://www.nipne.ro/proiecte/pn3/20220510_gqrpav_avrigeanu/OpenPosition_MSc-PhD_ASC_PCE-2021-1260.pdf)
- oferta tematica in cadrul Scolii Doctorale de Fizica (UB, 2023), disponibila pe pagina <https://www.fizica.unibuc.ro/Doctorat/Prezentare/Conducatori/>, cu includerea 'link'-urilor publicatiilor din ultimii 3 ani, din zona 'rosie/galbena' ISI/WoS, avand directorul proiectului de fata ca autor corespondent si reprezentand exemple de lucrari realizabile in cursul unui stagiu doctoral/post-doctoral.

#### 5. Impactul estimat al rezultatelor obținute, cu sublinierea celui mai semnificativ rezultat obținut.

Cel mai semnificativ rezultat al proiectului de fata il reprezinta publicarea articolului *letter*<sup>4</sup>, avand practic titlul proiectului, intr-o revista de marca a intregului domeniu al fizicii nucleare (AIS Q1). In acest mod s-a obtinut o atestare la cel mai inalt nivel a originalitatii si consistentei studiului respectiv. In acelasi timp, prezentarea unei versiuni preliminare<sup>6</sup> si intr-o conferinta de prestigiu - [7th Int. workshop on Compound-Nuclear Reactions and Related Topics \(CNR\\*24\)](#), 8-12 July 2024, Vienna, Austria – a condus la stimularea interesului a doua altor grupuri de elita, in vederea realizarii unor calcule teoretice microscopice<sup>22,23</sup> pentru descrierea noului proces ISGQR identificat. De asemenea, publicarea lucrarii mentionate a fost urmata de primirea din partea autorului corespondent al lucrarii initiale<sup>18</sup> a unor date noi masurate intretimp<sup>24</sup> la Peking University, Beijing, cu intrebarea daca si acestea pot fi interpretate intr-un mod similar.

Pe de alta parte, analiza supraestimarii sustinute recent de noi masuratori pentru reactia  $^{144}\text{Sm}(\alpha,\gamma)^{148}\text{Gd}$  a demonstrat corectitudinea potentialului de model optic pentru particule alfa,

---

<sup>22</sup> H. Sasaki I. Stetcu, and T. Kawano, *Microscopic calculations with noniterative finite amplitude methods and the application to neutron radiative captures and inelastic scatterings*, [7th Int. workshop on Compound-Nuclear Reactions and Related Topics \(CNR\\*24\)](#), 8-12 July 2024, Vienna, Austria, <https://conferences.iaea.org/event/368/contributions/31760/>

<sup>23</sup> P. Stevenson, *A Microscopic Compound Nucleus in the Time-dependent Mean-field Theory*, [7th Int. workshop on Compound-Nuclear Reactions and Related Topics \(CNR\\*24\)](#), 8-12 July 2024, Vienna, Austria, <https://conferences.iaea.org/event/368/contributions/31769/>

<sup>24</sup> Jie Liu *et al.*,  $^{63}\text{Cu}(n, \alpha)^{60}\text{Co}$  cross sections in the MeV region, *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* **50** 045106 (2023)

discrepanța atribuită inițial acestuia fiind în fapt datorată unui efect suplimentar al împrăstierii inelastice colective a particulelor alfa la energii inferioare apreciabil barierei Coulomb. În fapt, lucrarea respectivă a fost transmisă și publicată ca urmare a invitației în acest sens a editorilor "Research Topic collection" cu titlul "Cross Section Data of Interest for Nuclear Astrophysics: Experimental and Theoretical Status, and Perspectives" al revistei 'Frontiers in Astronomy and Space Sciences', datorită interesului major prezentat de cunoașterea acestui potențial de model optic pentru particulele alfa atât pentru domeniul astrofizicii nucleare cât și cel al tehnologiei fuziunii nucleare. Suplimentar, unul din referenții acestei lucrări a fost chiar autorul corespondent al lucrării ale cărei concluzii au impus realizarea imediată a lucrării din cadrul acestui proiect.

În același timp, cunoașterea potențialului de model optic pentru particule alfa este de maximă importanță atât din punctul de vedere al cercetărilor fundamentale, care încă nu au ajuns la o înțelegere deplină a diferitelor întrebări ridicate de modelele existente, cât și pentru evaluarea datelor de producere de gaze (bule de He – 'He bubbles') și defecte de iradiere în instalații de fuziune nucleară. Validarea OMP<sup>7</sup> dezvoltat anterior în IFIN-HH, adoptat ca opțiune standard a codului de calcul TALYS<sup>8</sup>, de larg uz internațional, și obținută anterior și pentru emisia de particule alfa din nuclee excitate - prin analiza datelor de emisie alfa indusă de neutroni rapizi pe izotopii stabili ai Fe, Co, Ni, Cu, și Zn – s-a realizat ca obiectiv al acestui proiect în cazul emisiei de particule alfa de tip ISGQR, de referință pentru analizele de modele nucleare. În fapt, importanța analizei optime a defectelor de iradiere în instalații de fuziune nucleară a condus și conduce în continuare la susținerea<sup>25</sup> studiului emisiei alfa și a potențialului de model optic asociat și în cadrul programului **EUROfusion Consortium** (*European Consortium for the Development of Fusion Energy*, <https://www.euro-fusion.org/eurofusion/>). Astfel, toate lucrările menționate și în acest raport au un dublu obiectiv: unul orientat într-o primă parte a lucrării asupra aspectelor de cercetare fundamentală (ipoteze și parametri de modele nucleare, raportate în principal la obiectivele acestui proiect), și altul realizat în a doua parte a lucrării prin rezultatele calculelor de secțiuni eficace de reacție ce urmează a fi preluate de *EUROfusion*.

Director Proiect,

(Nume, Prenume, Semnatura)

Avrigeanu Vlad

---

<sup>25</sup> <https://www.nipne.ro/proiecte/pn3/57-proiecte.html>