



Nr. ieșire ..... /...

Nr. intrare ..... /...

## RAPORT STIINTIFIC

Către,

**Unitatea Executivă pentru Finanțarea Învățământului Superior, a Cercetării, Dezvoltării și Inovării  
(UEFISCDI)**

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

**Tip proiect: Proiecte de cercetare exploratorie**

**Proiect: Posibila emisie alfa din rezonante gigantice cuadrupolare induse de neutroni rapizi (Acronim:  
GQRpad), <https://www.nipne.ro/proiecte/pn3/59-proiecte.html>**

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

**Perioada de raportare:** 01.01.2023 – 31.12.2023

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

**Director de proiect:** Dr. Vlad Avrigeanu

**Etapa 2:** Analiza consistenta a reactiilor induse de nucleoni incidenti pe izotopii stabili ai Mo, incluzand in particular emisia de particule alfa, la energii incidente inferioare si in jurul barierei Coulomb.

### Obiectivele si activitățile etapei:

**2.1** Analiza corespunzătoare a (i) parametrilor densitatilor de nivele nucleare NLD, potentialele de model optic OMP pentru nucleoni, (iii) functiilor de forta radiative RSF, (iv) factorilor spectroscopici pentru reactii directe DR, si (v) sectiunilor eficiente calculate de emisie alfa, si a sensibilitatii acestora fata de ipoteze si parametri de model nuclear.

## 1. Descrierea stiintifica

### 1.1. Introducere

In continuare se impune precizarea importantei majore a cunoasterii potentialului de model optic (OMP) pentru particule alpha atat din punctul de vedere al cercetarilor fundamentale, care inca nu au ajuns la o intelegere deplina a diferitelor intrebari ridicate de modelele existente, cat si pentru evaluarea producerii de gaze (bule de He – ‘He bubbles’) si defecte de iradiere in instalatii de fuziune nucleara. Validarea OMP dezvoltat anterior<sup>1</sup> in IFIN-HH si adoptat ca optiune standard a codului de calcul TALYS<sup>2</sup>, de larg uz international, a fost obtinuta mai recent<sup>3,4,5</sup> prin analiza datelor de emisie

<sup>1</sup>V. Avrigeanu, M. Avrigeanu, and C. Manailescu, Phys. Rev. C **90**, 044612 (2014)

<sup>2</sup>A.J. Koning, S. Hilaire, and S. Goriely, TALYS-1.96 - A nuclear reaction program; <http://www.talys.eu/>

<sup>3</sup>V Avrigeanu and M. Avrigeanu, Validation of an optical potential for incident and emitted low-energy alpha-particles in the A~60 mass range (Invited Part of a collection: [Light Clusters in Nuclei and](#)

alfa indusa de neutroni rapizi pe izotopii stabili ai Fe, Co, Ni, Cu, Zn, si Nb (ultimul element fiind analizat in cadrul primei etape a acestui proiect). Aspectul particular al acestei analize il reprezinta calculele consistente de modele nucleare ale sectiunilor eficace de reactie, utilizand (i) 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 (ii) toate datele disponibile pentru diferitele canale de reactie si izotopi ai unui element.

Acordul satisfacator obtinut intre sectiunile eficace masurate ale reactiilor  $(n,\alpha)$  induse pe izotopii elementelor mentionate mai sus, incluzand si toate canalele de reactie concurente, cu calcule consistente de modele nucleare folosind potentialul mentionat mai sus<sup>1</sup> s-a obtinut insa si prin luarea in considerare suplimentara a (i) reactiilor directe (DR) de tip 'pick-up' pentru popularea stariilor excitate joase ale nucleelor reziduale prin, si (ii) un proces similar '*Giant Quadrupole Resonance*' (GQR) care poate contribui la descrierea marimii sectiunilor eficace ale unor reactii  $(n,\alpha)$  la energiile GQR ale nucleelor excitate respective. Ca urmare a concluziilor opuse rezultate anterior<sup>6</sup> in urma studiului emisiei de particule alfa in reactii induse de nucleoni in zonele de masa  $A\sim 60$  si  $A\sim 90$ , a devenit de interes realizarea aceluasi tip de analiza in cazul izotopilor stabili ai elementului Mo - constituind nucleee de referinta pentru studiile de reactii nucleare.

## 1.2 Rezultatele etapei anuale

**1.2.1** 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 izotopii <sup>92,94-98,100</sup>Mo, a fost realizata in mod unitar pentru toti izotopii stabili ai Zr, Nb, si Mo, incluzand aspectele specifice evidentiate in cadrul analizei similare pentru izotopii stabili ai Ni<sup>7</sup>. In particular s-a realizat si o analiza a modului de propagare a incertitudinilor acestor parametri asupra incertitudinii sectiunilor eficace de reactie calculate in cazul reactiiei  $(n,\alpha)$  pe izotopii <sup>92,95,98,100</sup>Mo (pentru care exista date experimentale de inclus in analiza comparativa cu rezultatele teoretice), rezultatele respective formand obiectul sectiunilor I, II.A, III.C, III.D.1, si III.D.4 (dedicate metodologiei calculelor consistente respective de modele nucleare) ale lucrarii<sup>8</sup> publicate in contextul unei analize

---

[Nuclear Matter: Nuclear Structure and Decay, Heavy Ion Collisions, and Astrophysics](#)), Eur. Phys. J. A **57**, 54 (2021)

<sup>4</sup>V Avrigeanu and M. Avrigeanu, *Validation of an optical potential for incident and emitted low-energy alpha-particles in the  $A\sim 60$  mass range. II. Neutron-induced reactions on Ni isotopes* (Part of a collection: [Light Clusters in Nuclei and Nuclear Matter: Nuclear Structure and Decay, Heavy Ion Collisions, and Astrophysics](#)), Eur. Phys. J. A **58**, 189 (2022)

<sup>5</sup>V. Avrigeanu and M. Avrigeanu, *Consistent assessment of neutron-induced activation of <sup>93</sup>Nb*, Front. Phys. **11**, 1142436 (2023), <https://doi.org/10.3389/fphy.2023.1142436>

<sup>6</sup>V. Avrigeanu and M. Avrigeanu, Phys.Rev.C **91**, 064611 (2015); . *ibid.* **96**, 044610 (2017)

<sup>7</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), <https://doi.org/10.1051/epjconf/202328407001>

<sup>8</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>

extinse vizand interactiunile neutronilor rezultati din procesul de rupere (“*breakup*”) cu izotopii stabili ai Zr, Nb, si Mo, cu urmatorul ‘*Abstract*’:

“**Background:** The reliability of a previous  $\alpha$ -particle optical-model potential (OMP) on nuclei with mass number  $45 < A < 209$  was proved for emitted  $\alpha$  particles as well, for proton-induced reactions on Zn isotopes [Phys. Rev. C **91**, 064611 (2015), Paper I]. However, the same was not the case of neutrons on Zr stable isotopes [Phys. Rev. C **96**, 044610 (2017), Paper II]. **Purpose:** A recent assessment of this potential also for nucleon-induced  $\alpha$ -emission on  $A \sim 60$  nuclei, including pickup direct reaction and eventual Giant Quadrupole Resonance (GQR)  $\gamma$ -emission, is completed for neutrons incident on Zr, Nb, and Mo stable isotopes. **Methods:** Consistent sets of input parameters, determined through analysis of independent data, is involved while no further empirical rescaling factors of the gamma and nucleon widths have been involved. **Results:** A suitable account of all competitive reaction channels is confirmed by careful uncertainty analysis, to avoid parameter ambiguities and/or error compensation. Additional validation of this potential is also supported by recently measured  $(\alpha, \gamma)$  and  $(\alpha, n)$  cross-sections of Zr and Mo nuclei. **Conclusions:** An increase of the  $\alpha$ -emission beyond the statistical predictions, through consideration of additional reaction channels of the pickup direct interaction and *like*-GQR decay, makes possible the description of both absorption and emission of  $\alpha$  particles by the same optical potential.”

**1.2.2** Suplimentar programului initial al proiectului de fata, de validare a potentialului<sup>1</sup> si pentru descrierea emisiei de particule alfa, a intervenit publicarea intretimp a doua lucrari<sup>9,10</sup> de referinta pentru reactiile induse de particule alfa si potentialul optic corespunzator. Includerea potentialului<sup>1</sup> in analizele acestor lucrari, consemnand existenta a inca unor semne de intrebare fata de supraestimarea in continuare a datelor cele mai recente<sup>11</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>1</sup> de model optic pentru particule alfa.

Astfel, 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, discrepanta atribuita initial acestuia fiind in fapt datorata unui efect suplimentar al imprastierii inelastice colective a particulelor alfa la energii inferioare apreciabil barierei Coulomb. Rezultatele acestei analize de ipoteze si parametri de model in cadrul acestui proiect, au fost prezentate odata cu sectiunile eficace ale reactiei respective obtinute in vederea actualizarii

---

<sup>9</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), <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevC.106.015802>

<sup>10</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), <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevC.107.025803>

<sup>11</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  $\gamma$  process*, Phys. Rev. C **102**, 045811 (2020), <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevC.102.045811>

imbunatatite a evaluarilor de uz international extins TENDL-2021<sup>12</sup> in sectiunile 1, 2, si 3.1-2 (dedicate metodologiei calculelor consistente respective de modele nucleare) ale lucrarii<sup>13</sup> publicate 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."

In fapt, aceasta lucrare a fost transmisa si publicata ca urmare a invitatiei in acest sens a editorilor "Research Topic collection" cu titlul "Cross Section Data of Interest for Nuclear Astrophysics: Experimental and Theoretical Status, and Perspectives"<sup>14</sup> al revistei 'Frontiers in Astronomy and Space Sciences'<sup>15</sup>, datorita interesului major prezentat de cunoasterea acestui potential de model optic pentru particulele alfa atat pentru domeniul astrofizicii nucleare cat si cel al tehnologiei fuziunii nucleare. Pe de alta parte se impune mentiunea in acest context ca unul din referentii lucrarii<sup>13</sup> a fost chiar autorul corespondent al lucrarii<sup>10</sup> ale carei concluzii au impus realizarea imediata a lucrarii<sup>13</sup>.

**2.2.3** Rezultatele acestor analize de ipoteze si parametri de modele nucleare, in proiectului de fata, au contribuit la obtinerea sectiunilor eficace ale reactiilor respective obtinute in vederea actualizarii imbunatatite a evaluarilor<sup>12</sup> de uz international extins TENDL-2021 in cadrul sectiunilor 2-3 (dedicate metodologiei calculelor consistente respective de modele nucleare) ale prezentarile<sup>16,17</sup> orale cu urmatorul 'Abstract':

---

<sup>12</sup>A. J. Koning and D. Rochman, TENDL-2021: TALYS-based evaluated nuclear data library, [https://tendl.web.psi.ch/tendl\\_2021/tendl2021.html](https://tendl.web.psi.ch/tendl_2021/tendl2021.html)

<sup>13</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>

<sup>14</sup>D. Lattuada, D. Piatti, and Y. Xu (Eds.), <https://www.frontiersin.org/research-topics/51270/cross-section-data-of-interest-for-nuclear-astrophysics-experimental-and-theoretical-status-and-perspectives#overview>

<sup>15</sup><https://www.frontiersin.org/journals/astronomy-and-space-sciences>

<sup>16</sup>V. Avrigeanu and M. Avrigeanu, *Progress report on analysis fast-neutron induced alpha emission*, Report EFFDOC-1503, OECD/NEA JEFF Meeting, April 24, 2023; [https://www.oecd-nea.org/dbdata/nds\\_effdoc/effdoc-1503.pdf](https://www.oecd-nea.org/dbdata/nds_effdoc/effdoc-1503.pdf)

“Concurrent assessment of all measured excitation functions for various reactions induced by neutrons on Nb and Mo, in addition to the results of TENDL-2021 and default parameters in TALYS-1.96, planned for 2023, was completed as shown in April 2023. Consistent parameter sets that are formerly obtained or validated by analysis of other independent data, with no further empirical rescaling factors of the gamma and/or neutron widths, have additionally been used also the account of the  $(\alpha,\gamma)$  and  $(\alpha,n)$  reaction cross sections newly available within last couple of years for the  $^{144}\text{Sm}$  target nucleus. This supplementary analysis become imperative for a further support of the alpha-particle optical potential developed within F4E/EUROfusion deliverables for a sound description of the alpha-emission in neutron-induced reactions. 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 shown to correspond either to the direct collective alpha-particle inelastic scattering below the Coulomb barrier, for  $(\alpha,\gamma)$  reaction on  $^{144}\text{Sm}$ , or to a Giant Quadrupole Resonance like-process for most recently measured  $(n,\alpha)$  reaction data for  $^{91}\text{Zr}$ . The availability of these results for further evaluations of actual interest has been stressed.”

### 1.3 Gradul de realizare a obiectivelor

Realizarea lucrarilor<sup>13,16,17</sup>, care au constituit obiectivele etapei de fata a acestui proiect, este integrala. 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.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\\_gqrpavrigeanu/OpenPosition\\_MSc-PhD\\_ASC\\_PCE-2021-1260.pdf](https://www.nipne.ro/proiecte/pn3/20220510_gqrpavrigeanu/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.

## 2. Sumar al progresului

**2.1 Livrabilele realizate** sunt reprezentate de lucrarile<sup>13,16,17</sup>, directorul proiectului de fata fiind autorul corespondent al acestora, in timp ce lucrarile<sup>5,7</sup> corespund livrabilelor realizate in cursul etapei 1 a proiectului de fata dar transmise si aflate in curs de publicare la data raportarii pentru etapa respectiva.

---

<sup>17</sup>V. Avrigeanu and M. Avrigeanu, *Progress report on neutron-induced activation evaluation and alpha-emission analysis*, Report EFFDOC-1518, OECD/NEA JEFF Meeting, Nov. 27, 2023; [https://www.oecd-neo.org/dbdata/nds\\_effdoc/effdoc-1518.pdf](https://www.oecd-neo.org/dbdata/nds_effdoc/effdoc-1518.pdf)

**2.2 Indicatori de rezultat**, ca articole publicate, sau acceptate spre publicare în reviste indexate ISI: 1 (lucrarea<sup>13</sup>, publicata într-o revista din zona 'galbena' a ISI/WoS).

**2.3 Diseminarea rezultatelor: Participări la conferințe, 'workshopuri' si seminarii internaționale**<sup>16,17</sup>.

O mentiune in acest sens o reprezinta lucrarea<sup>13</sup>, invitata de catre editorii "Research Topic collection" cu titlul "Cross Section Data of Interest for Nuclear Astrophysics: Experimental and Theoretical Status, and Perspectives"<sup>14</sup> al revistei 'Frontiers in Astronomy and Space Sciences'<sup>15</sup>, certificand o pozitie asumata si validata la nivel international.

**2.4 Justificarea diferentelor** dintre rezultatele preconizate pentru al doilea an al acestui proiect, conform propunerii finantate, si realizările prezentate in cuprinsul acestui raport, respectiv:

- activitatea preconizata initial pentru al doilea an al proiectului, vizand izotopii stabili ai elementului Mo, a fost in fapt realizata inca din primul an ca parte a unei lucrari<sup>8</sup> extinse, transmisa spre publicare in cursul Etapei 1 a proiectului de fata cu atingerea tuturor obiectivelor preconizate pentru Etapa 2;
- activitatea realizata efectiv in cadrul etapei 2 a proiectului de fata, in contextul lucrarilor<sup>13,16,17</sup>, implicand aceeasi metodica si obiective dar in cazul nucleului <sup>144</sup>Sm, a fost impusa de publicarea pe plan international, dupa depunerea si aprobarea finantarii acestui proiect, a doua referinte majore<sup>9,10</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>13</sup> a fost chiar autorul corespondent al lucrarii<sup>10</sup> ale carei concluzii au impus realizarea imediata a lucrarilor<sup>13,16,17</sup>.

### 3. Rezumat executiv al activitatilor realizate în perioada de implementare

Cunoasterea potentialului de model optic (OMP) pentru particule alfa este de maxima importanta atat din punctul de vedere al cercetarilor fundamentale, care inca nu au ajuns la o intelegere deplina a diferitelor intrebari ridicate de modelele existente, cat si pentru evaluarea datelor de producere de gaze (bule de He – 'He bubbles') si defecte de iradiere in instalatii de fuziune nucleara. Validarea OMP dezvoltat anterior in IFIN-HH, adoptat ca optiune standard a codului de calcul TALYS, de larg uz international, si obtinuta anterior si pentru emisia de particule alfa din nuclee excitate - prin analiza datelor de emisie alfa indusa de neutroni rapizi pe izotopii stabili ai Fe, Co, Ni, Cu, Zn si Nb – s-a realizat conform obiectivului si conditiilor acestei etape a proiectului de fata in cazul elementului Mo, de referinta pentru analizele de modele nucleare.

In aceeasi perioada s-au impus analize suplimentare, datorita publicarii intretimp a doua lucrari [Phys Rev C **106**, 015802 (2022), Phys. Rev. C **107**, 025803 (2023)] de referinta pentru reactiile induse de particule alfa si potentialul optic corespunzator. Includerea potentialului dezvoltat anterior in IFIN-HH in analizele acestor lucrari, consemnand existenta a inca unor semne de intrebare fata de supraestimarea in continuare a datelor cele mai recente in cazul reactiei ( $\alpha,\gamma$ ) pe nucleul <sup>144</sup>Sm, a impus o analiza proprie a posibilei cauze a supraestimarii respective si pentru a sustine potentialul propriu<sup>1</sup> de model optic pentru particule alfa. Astfel, au devenit necesare in prealabil (i) o analiza a modului de propagare a incertitudinilor acestor parametri asupra incertitudinii sectiunilor eficace de reactie calculate, si (ii) o analiza proprie a reactiilor <sup>144</sup>Sm( $\alpha,\gamma$ )<sup>148</sup>Gd si <sup>144</sup>Sm( $\alpha,n$ )<sup>147</sup>Gd. Incertitudinile parametrilor respectivi au fost in final corelate cu incertitudinea datelor primare implicate in determinarea acestora si/sau sistematica disponibila pentru acesti parametri. Astfel, analiza supraestimarii sustinute recent de noi masuratori pentru reactia <sup>144</sup>Sm( $\alpha,\gamma$ )<sup>148</sup>Gd a demonstrat

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 apreciabil barierei Coulomb. In fapt, lucrarea respectiva a fost transmisa si publicata ca urmare a invitatiei in 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*', datorita interesului major prezentat de cunoasterea acestui potential de model optic pentru particulele alfa atat pentru domeniul astrofizicii nucleare cat si cel al tehnologiei fuziunii nucleare. Suplimentar, unul din referentii acestei lucrari a fost chiar autorul corespondent al lucrarii ale carei concluzii au impus realizarea imediata a lucrarii din cadrul acestui proiect.

Realizarea analizelor care au constituit obiectivele etapei de fata a acestui proiect a fost integrala, aceste rezultate formand si obiectul a 2 prezentari orale la '*workshop*'-uri internationale. Pagina proiectului (<https://www.nipne.ro/proiecte/pn3/60-proiecte.html>), functionala inca din 26.05.2022 in vederea anuntului public cat mai rapid al disponibilitatii unei pozitii vacante, include deliverabilele mentionate.

Ne asumăm răspunderea pentru corectitudinea datelor prezentate.

Director de proiect,

Vlad Avrigeanu