

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0823U101868

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 18-12-2023

**Статус:** Наказ про видачу диплома

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:** Наказ ХНУ імені В. Н. Каразіна № 0302-Зк/203 від 12.02.2024 р.



## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Чеховська Анастасія Вікторівна

2. Anastasiia Chekhovska

**Кваліфікація:**

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-2189-8193

**Вид дисертації:** доктор філософії

**Шифр наукової спеціальності:** 105

**Назва наукової спеціальності:** Прикладна фізика та наноматеріали

**Галузь / галузі знань:**

**Освітньо-наукова програма зі спеціальності:** Прикладна фізика та наноматеріали

**Дата захисту:** 23-01-2024

**Спеціальність за освітою:** Прикладна фізика та наноматеріали

**Місце роботи здобувача:** Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут"  
Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 14312223

**Місцезнаходження:** вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р-н., 61108, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Академічний

### III. Відомості про дисертацію

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ID 3712

**Повне найменування юридичної особи:** Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

**Код за ЄДРПОУ:** 02071205

**Місцезнаходження:** майдан Свободи, буд. 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Університетський

### IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

**Повне найменування юридичної особи:** Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

**Код за ЄДРПОУ:** 02071205

**Місцезнаходження:** майдан Свободи, буд. 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Університетський

### V. Відомості про дисертацію

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 29.15.15, 29.15.17, 29.15.19, 29.15.33

**Тема дисертації:**

1. Перерізи фотоядерних реакцій для моделювання  $p$ -процесу нуклеосинтезу в зірках
2. Cross-sections of photonuclear reactions for modeling of nucleosynthesis  $p$ -process in stars

**Реферат:**

1. Чеховська А. В. Перерізи фотоядерних реакцій для моделювання  $p$ -процесу нуклеосинтезу в зірках. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертаційна робота на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали (Галузь знань 10 – Природничі науки). – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України, Харків, 2023. Мета роботи. Наукове дослідження спрямовано на отримання нових експериментальних результатів по виходах фотоядерних  $(p,n)$ - та  $(p,p)$ - реакцій на магічних ядрах олово-112 ( $^{112}\text{Sn}$ ), олово-114 ( $^{114}\text{Sn}$ ) та індій-113 ( $^{113}\text{In}$ ), які в ядерній астрофізиці належать до групи  $p$ -ядер (протон збагачених ядер), розуміння утворення, шляхи розпаду та розповсюдженість яких на Землі та у Всесвіті викликає великі труднощі. Отримані дані по виходах фотоядерних реакцій можуть бути використані для моделювання  $p$ -процесу утворення стабільних

ізотопів у зірках. Унікальністю роботи є те, що отримані в експерименті дані дадуть внесок, як в розвиток фундаментальних наук (ядерної астрофізики, фундаментальної ядерної фізики та ядерної спектроскопії), так і можуть бути використані для розвитку суміжних прикладних наук (медичної фізики, та матеріалознавства). Об'єкт дослідження.  $\alpha$ -Розпад радіоактивних ядер  $^{111}\text{Sn}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{112}\text{In}$ , котрі утворилися в результаті фотоядерних ( $\alpha, n$ ) та ( $\alpha, p$ ) реакцій. Та детальне дослідження утворених довгоживучих ізомерних станів при радіоактивному розпаді батьківських ядер. Предмет дослідження. Гама-випромінювання, що супроводжує радіоактивний розпад ядер  $^{111m}\text{In}$ ,  $^{111g}\text{In}$ ,  $^{111}\text{Sn}$ ,  $^{112m}\text{In}$ ,  $^{112g}\text{In}$  та  $^{113}\text{Sn}$  для подальшого отримання значень експериментальних виходів реакцій  $^{112}\text{Sn}(\alpha, p)^{111m}\text{In}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\alpha, p)^{111g}\text{In}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\alpha, n)^{111}\text{Sn}$ ,  $^{113}\text{In}(\alpha, n)^{112m}\text{In}$ ,  $^{113}\text{In}(\alpha, n)^{112g}\text{In}$  та  $^{114}\text{Sn}(\alpha, n)^{113}\text{Sn}$  з метою визначення їх швидкостей для дослідження  $\alpha$ -процесу утворення  $p$ -ядер в зірках. Методи дослідження. Експериментальні виходи фотоядерних реакцій  $^{112}\text{Sn}(\alpha, n)^{111}\text{Sn}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\alpha, p)^{111m}\text{In}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\alpha, p)^{111g}\text{In}$ ,  $^{113}\text{In}(\alpha, n)^{112m}\text{In}$ ,  $^{113}\text{In}(\alpha, n)^{112g}\text{In}$  та  $^{114}\text{Sn}(\alpha, n)^{113}\text{Sn}$  визначалися із застосуванням методики наведеної активності, яка передбачає опромінення мішені потоком високоенергетичних фотонів та подальше вимірювання утворених в цих реакціях радіоактивностей кінцевих ядер. Для вимірювання радіоактивностей застосовується техніка  $\alpha$ -спектрометрії з високою енергетичною розподільною здатністю, на базі напівпровідникового германій-літійового Ge(Li) детектора та детектору з надчистого германію HPGe. При теоретичних розрахунках індивідуальних виходів фотоядерних реакцій, що вивчаються, застосовуються традиційне активаційне рівняння та рівняння активації для генетично пов'язаних радіоактивних нуклідів. Наукова новизна. В дисертаційній роботі було вперше виміряно експериментальні значення інтегральних виходів фотоядерних реакцій  $^{112}\text{Sn}(\alpha, n)^{111}\text{Sn}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\alpha, p)^{111m}\text{In}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\alpha, p)^{111g}\text{In}$ ,  $^{114}\text{Sn}(\alpha, n)^{113}\text{Sn}$ ,  $^{113}\text{In}(\alpha, n)^{112m}\text{In}$  та  $^{113}\text{In}(\alpha, n)^{112g}\text{In}$  з використанням гама-активаційного методу. Додатковим результатом стало встановлення факту некоректності представлених в міжнародних базах ядерних даних значень коефіцієнтів розгалуження для  $\alpha$ -переходів між енергетичними рівнями ядер  $^{111}\text{In}$  та  $^{112}\text{Cd}$ , що супроводжують радіоактивний розпад ядер  $^{111}\text{Sn}$  та  $^{112g}\text{In}$  відповідно. Виходячи з наших експериментальних даних, нові значення коефіцієнтів розгалуження для цих  $\alpha$ -переходів були правильно обчислені та опубліковані в наукових статтях. Продемонстровано вплив варіації параметрів статистичної теорії ядерних реакцій на характер поведінки виходів ядерних реакцій при теоретичних розрахунках. При порівнянні експериментальних та теоретичних значень виходів фотоядерних реакцій, котрі досліджуються, обрано найбільш адекватні моделі густини ядерних рівнів та радіаційної силової функції статистичної теорії ядерних реакцій. Ключові слова: фотоядерні реакції, зірковий нуклеосинтез, радіоактивний розпад, активаційна методика,  $\alpha$ -спектри, гальмівне випромінювання,  $p$ -ядра, статистична теорія ядерних реакцій.

2. Chekhovska A. V. Cross-sections of photonuclear reactions for modeling of nucleosynthesis  $\alpha$ -process in stars. Qualification scholarly paper: a manuscript. Thesis submitted for obtaining the Doctor of Philosophy degree in Natural Sciences, Speciality 105 – Applied Physics and Nanomaterials. – V. N. Karazin Kharkiv National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2023. The scientific research is aimed at obtaining new experimental results on the yields of photonuclear ( $\alpha, n$ )- and ( $\alpha, p$ )-reactions on the magic nuclei tin-112 ( $^{112}\text{Sn}$ ), tin-114 ( $^{114}\text{Sn}$ ) and indium-113 ( $^{113}\text{In}$ ), which in nuclear astrophysics refers to a group of so-called  $p$ -nuclei (proton riched nuclei), understanding the formation and distribution of which in the Earth and Universe causes great difficulties. As an additional result, new values of the branching coefficients for  $\alpha$ -transitions of the intranuclear transitions of the daughter nuclei of the  $^{111}\text{Sn} \rightarrow ^{111}\text{In}$  and  $^{112}\text{In} \rightarrow ^{112}\text{Cd}$  radioactive chains were determined. It is important for the correct calculation of the cross-sections of various nuclear reactions leading to the formation of these nuclei through different nuclear reactions or their combinations. It is also important for the development of existing nuclear spectroscopy theories. The obtained data on the yields of photonuclear reactions will be used for modeling and calculating the  $\alpha$ -process of stable isotopes formation in stars, as well as to improvement and parameterization of the statistical theory of nuclear reactions. The uniqueness of this work is that the data obtained in the experiment will contribute both to the development of fundamental sciences (nuclear astrophysics, fundamental nuclear physics and nuclear spectroscopy), and can be used for the development of related applied sciences (medical physics radiation physics and materials science). The object of the research is the  $\alpha$ -decay of radioactive nuclei  $^{111}\text{Sn}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{112}\text{In}$ , which were formed as a result of photonuclear ( $\alpha, n$ ) and ( $\alpha, p$ ) reactions.

Moreover. A detailed the study of long-lived isomeric states formed during the radioactive decay of parent nuclei. The subject of the thesis is gamma-radiation accompanying the decay of  $^{111m}\text{In}$ ,  $^{111g}\text{In}$ ,  $^{111}\text{Sn}$ ,  $^{112m}\text{In}$ ,  $^{112g}\text{In}$  and  $^{113}\text{Sn}$  nuclei for further obtaining values of experimental yields of the  $^{112}\text{Sn}(\pi,p)^{111m}\text{In}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\pi,p)^{111g}\text{In}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\pi,n)^{111}\text{Sn}$ ,  $^{113}\text{In}(\pi,n)^{112m}\text{In}$ ,  $^{113}\text{In}(\pi,n)^{112g}\text{In}$  and  $^{114}\text{Sn}(\pi,n)^{113}\text{Sn}$  reactions in order to determine their reaction rates. Research methods are experimental yields of photonuclear reactions  $^{112}\text{Sn}(\pi,n)^{111}\text{Sn}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\pi,p)^{111m}\text{In}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\pi,p)^{111g}\text{In}$ ,  $^{114}\text{Sn}(\pi,n)^{113}\text{Sn}$ ,  $^{113}\text{In}(\pi,n)^{112m}\text{In}$  and  $^{113}\text{In}(\pi,n)^{112g}\text{In}$  were determined using the method of induced activity, which involves irradiating the target with a high-energy photon flux that is exciting the target's stable nuclei to energies above the threshold binding energies of neutrons and protons in these nuclei, and further measuring the radioactivities of the residual nuclei formed in these reactions. The high-energy resolution gamma-spectrometry technique using the semiconductor germanium-lithium Ge(Li) detector and the high pure germanium HPGe detector were applied to measure residual radioactivities. The traditional activation equation and the activation equation for genetically related radioactive nuclides were used calculating individual yields of isotopes of the radioactive chains. The scientific novelty of this thesis is that the experimental values of integral yields of photonuclear reactions  $^{112}\text{Sn}(\pi,n)^{111}\text{Sn}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\pi,p)^{111m}\text{In}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\pi,p)^{111g}\text{In}$ ,  $^{114}\text{Sn}(\pi,n)^{113}\text{Sn}$ ,  $^{113}\text{In}(\pi,n)^{112m}\text{In}$  and  $^{113}\text{In}(\pi,n)^{112g}\text{In}$  were measured for the first time using the activation technique. An additional result was the fact establishment of incorrectness of data on the branching coefficients for  $\pi$ -transitions between energy levels in  $^{111}\text{In}$  and  $^{112}\text{In}$  nuclei accompanying the radioactive decay of  $^{111}\text{Sn}$  and  $^{112g}\text{In}$  nuclei, respectively, presented in international nuclear databases are incorrect. The new correct values of the branching coefficients for  $\pi$ -transitions were recalculated and presented in this work, as well as published in scientific articles. The influence of the variation of different parameters of the statistical theory of nuclear reactions on the nature of the behavior of the yields of nuclear reactions during theoretical calculations and computer modeling is demonstrated. The most appropriate parameters for the optical potential, the nuclear levels density and the radiation strength function of the statistical theory of nuclear reactions were established for a more accurate description of the data obtained in the experiment. Key words: photonuclear reactions, stellar nucleosynthesis, radioactive decay, activation technique,  $\pi$ -spectra, bremsstrahlung radiation, p-nuclei, statistical theory of nuclear reactions.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

**Підсумки дослідження:** Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

**Публікації:**

- A. Chekhovska, Ye. Skakun, I. Semisalov, V. Kasilov. Intensities of the  $\pi$ -ray emissions following the  $^{111}\text{Sn}$  decay determined via photonuclear reaction yield measurements // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 2022. Vol. 517. P. 1-5. DOI 10.1016/j.nimb.2022.02.004.
- I. Semisalov, A. Chekhovska, Ye. Skakun, S. Karpus, V. Kasilov. Intensities of the strongest  $\pi$ -ray transitions originating from the  $^{112g}\text{In}$  decay determined via photoactivation yield measurements // Applied Radiation and Isotopes, 2021. Vol. 176. Article number 109843. DOI 10.1016/j.apradiso.2021.109843.
- Singh B., Basunia M.S., Martin M., McCutchan E.A., Bala I., Caballero-Folch R., Canavan R., Chakrabarti R., Chekhovska A., Grinder M.M., Kaim S.I., Kanjilal D., Kasperovych D., Kobra M.J., Koura H., Nandi S., Olacel A., Singh A., Tee B.P.E. Nuclear Data Sheets for A=218 // Nuclear Data Sheets, 2019. Vol. 160. P. 405-471. DOI 10.1016/j.nds.2019.100524

**Наукова (науково-технічна) продукція:** технології; матеріали; методи, теорії, гіпотези

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впровадження не планується

**Зв'язок з науковими темами:** 0116U005316; 0119U102329; 0120U102294

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Шульга Микола Федорович

2. Mykola Shul'ga

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор, 01.04.16

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-1679-6819

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національна академія наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 00019270

**Місцезнаходження:** вул. Володимирська, буд. 54, Київ, 01601, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:**

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Маслюк Володимир Трохимович

2. Volodymyr T. Maslyuk

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор, 01.04.10

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-5933-8394

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут електронної фізики Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05540008

**Місцезнаходження:** вул. Університетська, буд. 21, Ужгород, Ужгородський р-н., 88000, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Академічний

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Коваленко Григорій Дмитрович

2. Grigoriy Kovalenko

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор, 01.04.16

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-7891-5628

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут" Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 14312223

**Місцезнаходження:** вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р-н., 61108, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Академічний

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Голубов Олексій Андрійович

2. Oleksiy Golubov

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор, 01.03.03

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-2427-9101

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

**Код за ЄДРПОУ:** 02071205

**Місцезнаходження:** майдан Свободи, буд. 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Університетський

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Онищенко Геннадій Михайлович

2. Genadiy Onyshchenko

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., доц., 01.04.16

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-6945-8413

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

**Код за ЄДРПОУ:** 02071205

**Місцезнаходження:** майдан Свободи, буд. 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Університетський

## VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Баранник Євген Олександрович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Баранник Євген Олександрович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Шевченко Андрій Олександрович

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна