

# **ВИСНОВОК**

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів  
дисертації Чеховської Анастасії Вікторівни  
на тему “Перерізи фотоядерних реакцій для моделювання  $\gamma$ -процесу  
нуклеосинтезу в зірках”  
на здобуття ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали  
з галузі знань 10 – Природничі науки**

## **1. Обґрунтування вибору теми дослідження та її зв'язок із планами наукових робіт університету.**

На сьогодні однією з актуальних проблем ядерної астрофізики є теорія утворення та розповсюдженості ядер різних хімічних елементів та їх ізотопів у Всесвіті, тобто питання нуклеосинтезу. Яким чином, у якій послідовності, завдяки чому та за який період часу були утворені всі ті хімічні елементи, що нам відомі сьогодні. Експериментальні дані про розповсюдженість хімічних елементів отримують декількома шляхами: аналіз хімічного складу Землі, Місяця та інших планет та метеоритів; аналіз спектрального випромінення Сонця, інших зорях та міжзоряного простору; аналіз ядерного складу космічного випромінювання. Через складнощі в реалізації перерахованих методів, визначення розповсюдженості хімічних елементів та коректності інтерпретації спостережуваних результатів, виникають великі похибки у визначенні розповсюдженості хімічних елементів. Наразі існують міжнародні бази ядерних даних, де зберігаються великі масиви експериментальних та евалюйованих результатів по різноманітним ядерним даним, що дуже необхідні для дослідження та пояснення питань нуклеосинтезу, але навіть сьогодні цей масив не є повним та досконалим, тож пояснення щодо утворення та розповсюдження деяких ядер хімічних елементів або їх ізотопів викликає великі труднощі.

Наступним питанням, і не менш важливим, є те, як відомі на сьогодні хімічні елементи поведуть себе під впливом різних фізичних або хімічних умов, що можуть впливати на них. Дослідження зразків, що виготовляються з певних хімічних елементів при натуральній суміші або збагачені якимось певним ізотопом ядер хімічного елементу, або із суміші декількох хімічних елементів, мають велике значення для розвитку прикладної фізики та можуть бути корисними для багатьох міжнародних програм та експериментального обладнання, що до них входить (напр. Eurofusion, CERN, European Spallation

Source). Нагрів чи охолодження, зміна тиску або різні види деформації, вплив радіаційного опромінення та багато інших фізичних або хімічних процесів, що можуть непередбачувано вплинути на склад або певні характеристики різних хімічних елементів після такої взаємодії. Вивчення наслідків, що виникають після впливу таких процесів та взаємодій на досліджувані зразки, необхідні для розвитку фундаментальної ядерної фізики та великої кількості суміжних та прикладних наук.

**Метою дисертаційної роботи є отримання експериментальних значень по виходах фотоядерних реакцій  $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111\text{m}}\text{In}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111\text{g}}\text{In}$ ,  $^{114}\text{Sn}(\gamma, n)^{113}\text{Sn}$ ,  $^{113}\text{In}(\gamma, n)^{112\text{m}}\text{In}$  та  $^{113}\text{In}(\gamma, n)^{112\text{g}}\text{In}$ , на стабільних ядрах, що мають важливе значення для розвитку декількох фундаментальних та прикладних наук. Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:**

- провести експериментальну частину, для виконання якої необхідно було освоїти все експериментальне обладнання, що використовувалось в ході експерименту (підготовка мішеней до опромінення, робота з прискорювачем, робота з  $\gamma$ -спектрометром та напівпровідниковими детекторами Ge(Li) та HP(Ge), які були відкалібровані особисто, перед вимірюванням опромінених мішеней, автоматизувати збір розпадних спектрів від детектора).
- провести комп'ютерне моделювання та теоретичні розрахунки, для яких були освоєні декілька пакетів комп'ютерного програмного забезпечення: Geant4, TENDL, NON-SMOKER та TALYS. Також для теоретичних розрахунків застосовувався пакет Wolfram Mathematica.
- зіставити отримані в експерименті дані по виходах фотоядерних реакцій з теоретичними розрахунками при варіації різних параметрів статистичної теорії ядерних реакцій. Особлива увага приділялася таким параметрам статистичної теорії ядерних реакцій, як: ядерний потенціал, густина ядерних рівнів та радіаційна силова функція.
- проаналізувати отримані результати та визначити певну комбінацію моделей параметрів (оптичного потенціалу, густини рівнів в ядрі, радіаційної силової функції), що найкраще описує отримані в експерименті дані. Це необхідно для параметризації статистичної теорії ядерних реакцій.
- перевірити деякі спектроскопічні дані, що можливо отримати в ході експерименту, та котрі вже внесені до міжнародних ядерних баз даних для загального користування (періоди напіврозпаду, енергії збуджених

рівнів, енергії  $\gamma$ -переходів, що розряджають збуджені стани ядра та коефіцієнти розгалуження цих  $\gamma$ -переходів). Коректно перерахувати значення коефіцієнтів розгалуження для  $\gamma$ -переходів у ядрах  $^{111}\text{Sn}$  та  $^{112}\text{In}$ .

**Об'єктом дослідження** є схеми  $\beta$ -розпаду радіоактивних ядер  $^{111}\text{Sn}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{112}\text{In}$ , що утворилися в результаті фотоядерних ( $\gamma, n$ ) та ( $\gamma, p$ ) реакцій. Та детальне дослідження утворених довгоживучих ізомерних станів при радіоактивному розпаді батьківських ядер.

**Предметом дослідження** є експериментальне дослідження  $\gamma$ -випромінення, що супроводжує радіоактивний розпад ядер ізотопів, котрі перебувають в ізомерних та основних станах:  $^{111}\text{Sn}$ ,  $^{111m}\text{In}$ ,  $^{111g}\text{In}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{112m}\text{In}$ , та  $^{112g}\text{In}$ , які було отримано в фотоядерних реакціях:  $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111m}\text{In}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111g}\text{In}$ ,  $^{114}\text{Sn}(\gamma, n)^{113}\text{Sn}$ ,  $^{113}\text{In}(\gamma, n)^{112m}\text{In}$  та  $^{113}\text{In}(\gamma, n)^{112g}\text{In}$  для визначення можливості експериментального вимірювання інтегральних перерізів, наведених вище фотоядерних реакцій, із застосуванням активаційної методики.

**Методи дослідження.** Експериментальні виходи фотоядерних реакцій  $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111m}\text{In}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111g}\text{In}$ ,  $^{114}\text{Sn}(\gamma, n)^{113}\text{Sn}$ ,  $^{113}\text{In}(\gamma, n)^{112m}\text{In}$  та  $^{113}\text{In}(\gamma, n)^{112g}\text{In}$  визначалися із застосуванням методики наведеної активності, яка передбачає опромінення мішені потоком високоенергетичних фотонів, що збуджують стабільні ядра мішені до енергій вище порогових енергій зв'язку нейтрона та протона у цих ядрах, та подальше вимірювання утворених в цих реакціях радіоактивностей кінцевих ядер. Для вимірювання радіоактивностей застосовується техніка  $\gamma$ -спектрометрії з високою енергетичною розподільною здатністю, на базі напівпровідникового германій-літійового Ge(Li) детектора та детектору з надчистого германію HP(Ge). При теоретичних розрахунках індивідуальних виходів ізотопів радіоактивних ланцюжків застосовуються традиційне активаційне рівняння та рівняння активації для генетично пов'язаних радіоактивних нуклідів.

Дисертаційна робота має зв'язок з декількома темами науково дослідницьких проектів:

### 1. 2016 - 2020 роки

Науково-дослідна робота відділу Інституту фізики високих енергій та ядерної фізики Національного наукового центру "Харківський фізико-технічний інститут".

“Оптимізація параметрів пучків електронів на каналах виходу комплексу прискорювача ЛПЕ-300 для прикладних досліджень в галузі ядерної енергетики, ядерної медицини та фундаментальних досліджень у галузі ядерної фізики та внутрішньоядерної нуклон-нуклонної взаємодії”.

УДК: 17:621.039.73;

Номер державної реєстрації: 0116U005316;

Учасник проекту: Чеховська Анастасія Вікторівна;

Науковий керівник науково-дослідного проекту: Касілов Валентин Йосифович.

### 2. 2019 - 2020 роки

Науково-дослідний проект молодих вчених Національної Академії Наук України.

“Експериментальне вимірювання поперечних перерізів фотоядерних реакцій для моделювання процесів зоряного нуклеосинтезу”.

УДК: 539.12/.17,539.16,52-1/-8:539.14;524.1:539.14,539.14,539.1.08;

Номер державної реєстрації: 0119U102329;

Номери договорів: № 61-08/03-2019, 61-08/03-2020;

Науковий керівник науково-дослідного проекту: Чеховська Анастасія Вікторівна.

### 3. 2020 - 2022 роки

Науково-дослідна робота на замовлення Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Міністерства Освіти та Науки України.

“Енергетична залежність і рефракційні властивості взаємодії легких ядер з ядрами”.

Номер державної реєстрації: 0120U102294;

Номер договору: 20-13-20;

Учасник проекту: Чеховська Анастасія Вікторівна;

Науковий керівник науково-дослідного проекту: Бережний Юрій Анатолійович.

## **2. Формулювання наукового завдання, нове вирішення якого отримано в дисертації.**

Дисертаційна робота Чеховської Анастасії Вікторівни присвячена вирішенню однієї з важливих проблем сучасної ядерної астрофізики, котра пов'язана із питанням нуклеосинтезу протон збагачених ядер у зорях, міжзоряному просторі та зоряній плазмі. З метою розв'язання цієї задачі були експериментально досліджені виходи фотоядерних реакцій з використанням мішеней, що виготовлені з протон збагачених ядер хімічних елементів  $^{112}\text{Sn}$ ,  $^{114}\text{Sn}$  та  $^{113}\text{In}$ . Вперше ядра-продукти  $(\gamma,n)$ - та  $(\gamma,p)$ -реакції були отримані із

застосуванням активаційної методики. Результати, що отримані а ході таких експериментів можуть бути використані для фундаментальних наук (ядерної астрофізики, ядерної фізики, ядерної спектроскопії) та для прикладних суміжних наук (медичної фізики та матеріалознавства).

### **3. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом, та їх новизна.**

В дисертаційній роботі було вперше виміряно експериментальні значення інтегральних перерізів фотоядерних реакцій  $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111\text{m}}\text{In}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111\text{g}}\text{In}$ ,  $^{114}\text{Sn}(\gamma, n)^{113}\text{Sn}$ ,  $^{113}\text{In}(\gamma, n)^{112\text{m}}\text{In}$ ,  $^{113}\text{In}(\gamma, n)^{112\text{g}}\text{In}$  з використанням методу наведеної активності. Додатковим результатом стало встановлення факту некоректності даних по коефіцієнтах розгалуження для  $\gamma$ -переходів між енергетичними рівнями у ядрах  $^{111}\text{Sn}$  та  $^{112}\text{In}$ , що представляються в міжнародних базах ядерних даних. Нові значення коефіцієнтів розгалуження для  $\gamma$ -переходів були коректно перераховані й представлені в цій роботі та опубліковані в наукових статтях.

Продемонстровано вплив варіації деяких параметрів статистичної теорії ядерних реакцій на характер поведінки виходів ядерних реакцій при теоретичних розрахунках та комп'ютерному моделюванні.

Встановлено найбільш відповідні параметри для оптичного потенціалу, густини ядерних рівнів та радіаційної силової функції статистичної теорії ядерних реакцій, для більш точного опису отриманих в експерименті даних по виходах фотоядерних реакцій, що вивчаються у цій роботі.

### **4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.**

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, результатів і висновків дисертаційної роботи забезпечена коректним застосуванням сучасного експериментального та вимірювального обладнання і методів дослідження, що були обрані (зокрема, застосування  $\gamma$ -активаційної методики, котра найліпше відповідає поставленій меті та задачам і має найменші похибки, в порівнянні з іншими експериментальними методиками; для вимірювання використовувалася  $\gamma$ -спектрометрична техніка з високою розподільною здатністю та заздалегідь відкаліброваними напівпровідниковими Ge(Li) та HP(Ge) детекторами) також із застосуванням методів математичної статистики. При розрахунках остаточних експериментальних значень по виходах фотоядерних ( $\gamma, n$ )- та ( $\gamma, p$ )-реакцій на досліджуваних мішенях були враховані всі вірогідні похибки, що могли

вноситися у результат від початку опромінення до завершення вимірювань та послідуочого математичного та комп'ютерного обчислення, а також співставленням одержаних результатів із широким колом першоджерел наукової літератури.

**5. Рівень теоретичної підготовки здобувача, його особистий внесок у вирішення конкретного наукового завдання. Рівень обізнаності здобувача з результатами наукових досліджень інших учених.**

Дисертанткою самостійно та за участі наукового керівника проведені всі серії експериментів по опроміненню та вимірюванню радіоактивних дослідницьких мішеней. Зроблені теоретичні розрахунки по статистичній теорії ядерних реакцій та комп'ютерне моделювання. Проаналізовані експериментальні та теоретичні результати досліджень і сформульовано висновки. Визначення мети та завдань дослідження, план експериментів, обговорення та інтерпретація отриманих даних здійснювались спільно з науковим керівником та співавторами наукових публікацій.

Здобувач показав високий рівень теоретичних знань, проявила себе як досвідчений та кваліфікований експериментатор та довела обізнаність з результатами наукових досліджень інших учених за темою дисертації.

**6. Наукове та практичне значення роботи.**

Дослідження спрямовані на отримання нових експериментальних результатів щодо значень інтегральних перерізів фотоядерних ( $\gamma, n$ ) та ( $\gamma, p$ ) реакцій на деяких стабільних ядрах ( $^{112}\text{Sn}$ ,  $^{114}\text{Sn}$ ,  $^{113}\text{In}$ ).

Отримані дані можуть бути використані для:

- ✓ розвитку та параметризації статистичної теорії ядерних реакцій;
- ✓ моделювання астрофізичних процесів у зорях та міжзоряному просторі, котрі неможливо відтворити в лабораторних умовах;
- ✓ інтерпретації даних для матеріалів опромінених нейтронами (проект Eurofusion);
- ✓ інтерпретації даних для опромінених сцинтиляторів (CERN);
- ✓ вдосконалення методик виробництва медичних (діагностичних або терапевтичних) радіонуклідів;
- ✓ уточнення деяких даних ядерної спектроскопії та вдосконалення наявних спектроскопічних теорій.
- ✓ збагачення міжнародних баз ядерних даних новими або скорегованими даними.

## 7. Використання результатів роботи.

Результати досліджень можуть бути впроваджені в освітні програми дисциплін “Квантова теорія поля та фізика раннього Всесвіту”, “Сучасна ядерна фізика та фізика високих енергій” кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера та “Радіаційне матеріалознавство” кафедри матеріалів реакторобудування та фізичних технологій Навчально-наукового інституту “Фізико-технічний факультет” Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

## 8. Повнота викладу матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок здобувача в публікації.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 17 наукових працях, з них 3 статті у періодичних наукових виданнях країн, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку, що входять до міжнародної наукометричної бази SCOPUS, 13 тез доповідей на міжнародних і вітчизняних наукових конференціях та 1 стаття, яка додатково відображає наукові результати дисертації. Загальний обсяг опублікованих матеріалів складає 5,05 д.а.

### Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

*Публікації у періодичних наукових виданнях країн, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку, що входять до міжнародної наукометричної бази SCOPUS*

1. **Chekhovska A. V.**, Semisalov I. L., Kasilov V. I., Skakun Y. O. Stellar Nucleosynthesis: Experimental yields of the  $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$  and  $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111\text{m},g}\text{In}$  reactions for  $p$ -nuclei production simulation // Springer Proceedings in Physics, 2019. Vol. 219. P. 301–305.

DOI: 10.1007/978-3-030-13876-9\_52.

URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85071948864&origin=resultslist&sort=plf-f>

*(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, аналіз даних наукової літератури, проведення вимірювань, інтерпретація результатів, підготовка графічних матеріалів та участь у написанні статті).*

2. Semisalov, I., **Chekhovska, A.**, Skakun, Y., Karpus, S., Kasilov, V. Intensities of the strongest  $\gamma$ -ray transitions originating from the  $^{112}\text{gIn}$  decay determined via photoactivation yield measurements // Applied Radiation and Isotopes, 2021. Vol. 176. Article number 109843.  
DOI: 10.1016/j.apradiso.2021.109843  
URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85109200603&origin=resultslist&sort=plf-f>  
(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, аналіз попередніх даних у науковій літературі, підготовка мішеней та експерименту, аналіз отриманих результатів, написання та редакції статті).
3. **Chekhovska A.**, Skakun Y., Semisalov I., Kasilov V. Intensities of the strongest  $\gamma$ -ray transitions originating from the  $^{111}\text{Sn}$  decay determined via photoactivation 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  
URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85125269286&origin=resultslist&sort=plf-f>  
(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, аналіз попередніх експериментів, що опубліковані в наукових виданнях іншими дослідницькими групами, підготовка та проведення експерименту, аналіз та інтерпретація експериментальних результатів, теоретичні розрахунки, написання та редакції статті).

#### ***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації***

4. **Чеховська А. В.**, Скакун Є. О. Вивчення схеми  $\beta$ -розпаду радіоактивного ядра  $^{111}\text{Sn}$  // Студентська наукова конференція з прикладної фізики “Актуальні проблеми сучасної фізики” до 105-річчя О. І. Ахієзера. Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна. 8 листопада 2016 р. : тези доп., Харків, 2016. С. 61-62.  
(Особистий внесок здобувача: участь у постановці задач дослідження, підготовка мішеней, калібрування детектору, збір спектрів, аналіз результатів, написання тез).
5. **Чеховська А. В.**, Скакун Є. О. Експериментальні перерізи фотоядерних реакції  $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$  та  $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111}\text{In}$  для моделювання  $\gamma$ -сценарію



зіркового нуклеосинтезу // Студентська наукова конференція з прикладної фізики “Актуальні проблеми сучасної фізики” до 55-річчя Фізико-технічного факультету. Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна. 24 листопада 2017 р. : тези доп., Харків, 2017. С. 75-76.

*(Особистий внесок здобувача: участь у постановці задач дослідження, підготовка плану експерименту та мішеней, збір розпадних спектрів, аналіз результатів, написання тез).*

6. **Чеховська А. В.**, Скакун Є. О. Експериментальні перерізи фотоядерних реакції  $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$  та  $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111}\text{In}$  для моделювання  $\gamma$ -сценарію зіркового нуклеосинтезу // XV конференція з фізики високих енергій, ядерної фізики та прискорювачів”. Національний науковий центр “Харківський фізико -технічний інститут”. 21-24 березня 2017. : тези доп., Харків, 2017. С. 44-45.

*(Особистий внесок здобувача: участь у постановці задач дослідження, підготовка мішеней, калібрування детектору, аналіз спектрів, отримання результатів, написання тез).*

7. Ye. Skakun, I. Semisalov, V. Kasilov, **A. Chekhovska**. Cross sections of the bremsstrahlung ( $\gamma, n$ )-reactions on the magic p-nuclei  $^{112}\text{Sn}$  and  $^{114}\text{Sn}$  // 6<sup>th</sup> P-process Workshop. University of Notre Dame, Notre Dame. June 29<sup>th</sup> - July 1<sup>st</sup>, 2017. : abstract, IN, USA, 2017. P. 17.

*(Особистий внесок здобувача: участь у постановці задач дослідження, підготовка експерименту, калібрування детектору, збір спектрів, аналіз результатів, написання тез).*

8. **А. В. Чеховська**, І. Л. Семісалов, В. І. Касілов, Є. О. Скакун. Інтегральні виходи фотоядерної реакції  $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$  для дослідження  $\gamma$ -процесу нуклеосинтезу в зірках // International Conference of young scientists and post-graduates. Institute of Electronic Physics. Uzhgorod, 23-26 May 2017. : тези доп., Uzhgorod, 2017. P. 39-40.

*(Особистий внесок здобувача: участь у постановці задач дослідження, підготовка плану експерименту, збір розпадних спектрів та аналіз отриманих результатів, написання тез).*

9. **Чеховська А. В.**, Семісалов І. Л., Касілов В. І., Скакун Є. О. Експериментальні виходи фотоядерних реакцій  $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$  та  $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111\text{m.g}}\text{In}$  для дослідження  $\gamma$ -процесу нуклеосинтезу в зірках// XVI конференція з фізики високих енергій, ядерної фізики та прискорювачів”. Національний науковий центр “Харківський фізико -

технічний інститут”. 20-23 березня 2018. : тези доп., Харків, 2018. С. 51-52.

*(Особистий внесок здобувача: участь у постановці задач дослідження, підготовка мішеней, калібрування детектору, збір спектрів, аналіз результатів, написання тез).*

10. Семісалов І. Л., **Чеховська А. В.**, Касілов В. І., Скакун Є. О. Функции возбуждения реакций  $^{113}\text{In}(\gamma, n)^{112\text{m}}\text{In}$ ,  $^{113}\text{In}(\gamma, n)^{112\text{g}}\text{In}$  в области энергий  $\gamma$ -квантов от порога до 14 МэВ // XVI конференція з фізики високих енергій, ядерної фізики та прискорювачів”. Національний науковий центр “Харківський фізико -технічний інститут”. 20-23 березня 2018. : тези доп., Харків, 2018. С. 52.

*(Особистий внесок здобувача: участь у постановці задач дослідження, підготовка дослідницьких мішеней, калібрування детектору, збір розпадних спектрів, аналіз результатів, теоретичні розрахунки, написання та редакція тез).*

11. **A. V. Chekhovska**, I. L. Semisalov, V. I. Kasilov and Ye. O. Skakun. Stellar Nucleosynthesis: Experimental Yields of the  $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$  and  $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111\text{m,g}}\text{In}$  Reactions for  $p$ -Nuclei Production Simulation // The 15<sup>th</sup> International Symposium on Nuclei in the Cosmos. Laboratori Nazionali del Gran Sasso, Italy. 24-29 June, 2018. : proceedings, Italy, 2018. P. 301-305.

*(Особистий внесок здобувача: участь у постановці задач дослідження, підготовка мішеней, проведення експерименту, збір розпадних спектрів, теоретичні розрахунки, комп'ютерне моделювання, аналіз результатів, написання тез).*

12. A. Chekhovska, L. Semisalov, V. Kasilov, Ye. Skakun. Activation bremsstrahlung yields of the  $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$  and  $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111\text{m,g}}\text{In}$  reactions and the following  $^{111}\text{Sn}$  decay  $\gamma$ -ray branching coefficients // The Joint ICTP-IAEA Workshop on Nuclear Structure and Decay Data: Theory, Experiment and Evaluation. The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy. 15-26 October 2018. : abstract, Italy, 2018. P. 17-18.

*(Особистий внесок здобувача: участь у постановці задач дослідження, підготовка плану експерименту та мішеней, збір розпадних спектрів, теоретичні розрахунки, аналіз результатів, написання тез).*

13. **А. В. Чеховская**, Е. А. Скакун, И. Л. Семисалов, В. И. Касилов. Интегральные сечения фотоядерной реакции  $^{114}\text{Sn}(\gamma, n)^{113}\text{Sn}$  для моделирования  $\gamma$ -процесса звездного нуклеосинтеза // XVII конференція з фізики високих енергій, ядерної фізики та прискорювачів”.

Національний науковий центр “Харківський фізико -технічний інститут”. Харків. 26-29 березня 2019. : тези доп., Харків, 2019. С. 47-48. *(Особистий внесок здобувача: участь у постановці задач дослідження, підготовка експерименту, калібрування детектору, збір розпадних спектрів та аналіз отриманих результатів, комп’ютерне моделювання, написання тез).*

14. **А. В. Чеховська**, Є. О. Скакун, І. Л. Семісалов, В. І. Касілов. Експериментальні виходи фотонуклонних ядерних реакцій на магічних ядрах  $^{112}\text{Sn}$  та  $^{114}\text{Sn}$  для моделювання  $\gamma$ -процесу зіркового нуклеосинтезу // International Conference of young scientists and post-graduates. Institute of Electronic Physics. Uzhgorod, 21-24 травня 2019. : тези доп., Ужгород, 2019. С. 99-100.

*(Особистий внесок здобувача: участь у постановці задач дослідження, підготовка мішеней, проведення експерименту, збір розпадних спектрів, теоретичні розрахунки, аналіз результатів, написання тез).*

15. **А. Chekhovska**, Ye. Skakun, I. Semisalov and V. Kasilov. Experimental yields of the  $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111\text{m.g}}\text{In}$  and  $^{114}\text{Sn}(\gamma, n)^{113}\text{Sn}$  reactions for the p-nuclei production simulation // 9<sup>th</sup> European Commission Conferences on EURATOM Research and Training in Safety of Reactor Systems and Radioactive Waste Management (FISA 2019 & EURADWASTE'19). 4-7 June 2019. : poster, abstract, Pitesti, Romania, 2019. P. 108.

*(Особистий внесок здобувача: участь у постановці задач дослідження, підготовка мішеней та експерименту, калібрування детекторів, збір спектрів та аналіз результатів, написання тез, підготовка постеру).*

16. **А. Chekhovska**, Ye. Skakun, V. Kasilov, I. Semisalov. Experimental yields of photonucleon nuclear reactions of the  $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$ ,  $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111\text{m.g}}\text{In}$  and  $^{114}\text{Sn}(\gamma, n)^{113}\text{Sn}$  reactions for the modeling  $\gamma$ -process for the p-nuclei formation in stars // 7<sup>th</sup> P-process Workshop. Serralunga d'Alba, 23-27 September 2019, abstract, Italy, 2019. P. 18.

*(Особистий внесок здобувача: участь у постановці задач дослідження, підготовка мішеней, калібрування детекторів, проведення експерименту, збір розпадних спектрів, теоретичні розрахунки, комп’ютерне моделювання, аналіз результатів, написання тез).*

#### **Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації**

17. 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.rds.2019.100524

URL:<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85076052606&origin=resultslist&sort=plf-f>

*(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, аналізі даних попередніх досліджень, компіляція, евалюація та аналіз результатів, написання частини статті).*

Результати дисертаційної роботи повністю відображено в публікаціях.

**На підставі вивчення тексту дисертації здобувача, наукових праць здобувача та Протоколу контролю оригінальності (перевірку наявності текстових запозичень виконано в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com) встановлено, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагиату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.**

#### **9. Апробація матеріалів дисертації.**

Основні результати досліджень були представлені, обговорені і опубліковані в тезах доповідей вітчизняних та міжнародних наукових конференцій:

- 2019 – 7<sup>th</sup> P-process Workshop. Serralunga d'Alba, Italy.
- 2019 – 9<sup>th</sup> European Commission Conferences on EURATOM Research and Training in Safety of Reactor Systems and Radioactive Waste Management (FISA 2019 & EURADWASTE'19). Pitesti, Romania.
- 2019 – International Conference of young scientists and post-graduates. Institute of Electronic Physics. Uzhgorod, Ukraine.
- 2019 – French-CERN-Ukrainian School of High Energy and Medical Physics, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine.
- 2019 – “XVIII конференція з фізики високих енергій, ядерної фізики та прискорювачів”. Національний науковий центр “Харківський фізико - технічний інститут”. Харків, Україна.
- 2018 – The Joint ICTP-IAEA Workshop on Nuclear Structure and Decay Data: Theory, Experiment and Evaluation. The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy.

- 2018 – “XVII конференція з фізики високих енергій, ядерної фізики та прискорювачів”. Національний науковий центр “Харківський фізико - технічний інститут”. Харків, Україна.
- 2018 – The 15<sup>th</sup> International Symposium on Nuclei in the Cosmos. Laboratori Nazionali del Gran Sasso, Italy.
- 2017 – International Conference of young scientists and post-graduates. Institute of Electronic Physics. Uzhgorod, Ukraine.
- 2017 – “XVI конференція з фізики високих енергій, ядерної фізики та прискорювачів”. Національний науковий центр “Харківський фізико - технічний інститут”. Харків, Україна.
- 2017 – 6<sup>th</sup> P-process Workshop. University of Notre Dame, Notre Dame, IN, USA.
- 2017 – Студентська наукова конференція з прикладної фізики “Актуальні проблеми сучасної фізики” до 55-річчя Фізико-технічного факультету. Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна. Харків, Україна.
- 2016 – “XV конференція з фізики високих енергій, ядерної фізики та прискорювачів”. Національний науковий центр “Харківський фізико - технічний інститут”. Харків, Україна.
- 2016 – Студентська наукова конференція з прикладної фізики “Актуальні проблеми сучасної фізики” до 105-річчя О. І. Ахієзера. Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна. Харків, Україна.

#### **10. Оцінка мови та стилю дисертації.**

Матеріал дисертації викладено в логічній послідовності та доступно для сприйняття. Дисертація написана науковим стилем мовлення, структура дисертації відповідає алгоритму здійсненого автором дослідження. Зміст, структура, оформлення дисертації та кількість публікацій відповідають вимогам “Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії” (постанова Кабінету Міністрів України від 06.03.2019 р. № 167 зі змінами, внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 21.10.2020 р. № 979), наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 “Про затвердження вимог до оформлення дисертацій” зі змінами, внесеними згідно з наказом Міністерства освіти і науки України від 31.05.2019 р. № 759

#### **11. Відповідність змісту дисертації спеціальності з відповідної галузі знань, з якої вона подається до захисту.**

За своїм фаховим спрямуванням, науковою новизною і практичною

значимістю дисертаційна робота Чеховської А. В. відповідає спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали. Здобувачем повністю виконано освітню та наукову складову освітньо-наукового рівня вищої освіти.

## **12. Рекомендація дисертації до захисту.**

Дисертаційна робота Чеховської Анастасії Вікторівни “Перерізи фотоядерних реакцій для моделювання  $\gamma$ -процесу нуклеосинтезу в зірках” відповідає вимогам, передбаченим пунктом 10 “Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії” (постанова Кабінету Міністрів України від 06.03.2019 р. № 167 зі змінами, внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 21.10.2020 р. № 979).

Враховуючи високий рівень виконаних досліджень, а також актуальність теми роботи, наукову новизну результатів та їх наукове і практичне значення, дисертація Чеховської А. В. “Перерізи фотоядерних реакцій для моделювання  $\gamma$ -процесу нуклеосинтезу в зірках” рекомендується до захисту в спеціалізованій вченій раді для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали з галузі знань 10 – Природничі науки.

В.о. директора  
навчально-наукового інституту  
"Фізико-технічний факультет"  
Харківського національного  
університету імені В. Н. Каразіна,  
к.ф.-м.н., доцент



Пилип КУЗНЕЦОВ