

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U001381

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 28-04-2025

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Сібілева Тетяна Григорівна

2. Tetiana H. Sibilieva

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 132

Назва наукової спеціальності: Матеріалознавство

Галузь / галузі знань: механічна інженерія

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Матеріалознавство

Дата захисту: 30-05-2025

Спеціальність за освітою: хімічні технології органічних речовин

Місце роботи здобувача: Інститут сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 23756522

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 60, Харків, Харківський р-н., 61072, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 8672

Повне найменування юридичної особи: Інститут сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 23756522

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 60, Харків, Харківський р-н., 61072, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

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

Повне найменування юридичної особи: Інститут сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 23756522

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 60, Харків, Харківський р-н., 61072, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 59.43.71, 61.61.09

Тема дисертації:

1. Виготовлення сцинтиляторів на основі полістиролу методом 3D-друку
2. Manufacturing of polystyrene-based scintillators by 3D printing

Реферат:

1. Дисертація присвячена питанням отримання методом 3D-друку пластмасових сцинтиляторів на основі полістиролу із світловідбивачем на поверхні, зокрема, у вигляді дрібносегментованих сцинтиляторів. В останні роки відбувається прогрес у розробці нових тривимірних пластмасових дрібносегментованих детекторів для зображення електромагнітних і адронних потоків, а також взаємодії нейтрино, наприклад у таких експериментах як T2K та DUNE. Такі дрібносегментовані детектори з можливостями відстеження подій складаються із сцинтиляційних елементів, які оптично ізольовані один від одного відбивачем, а збір сцинтиляційного світла у трьох площинах відбувається за допомогою спектрозміщуючих волокон. При цьому, чим менше розмір сцинтиляційного елементу – тим вище просторове розділення при відстеженні подій. Вимоги до продуктивності дрібносегментованого детектору включають: високий світловий вихід, дрібну сегментованість у поєднанні з оптичною ізоляцією, тривалу стабільність і короткий час

випромінювання. Наприклад, новий дрібносегментований детектор, розроблений у проекті «SuperFGD», який використовується в модернізації ближнього детектора у експерименті T2K, розгортає три площини зчитування, щоб забезпечити ізотропну тривимірну реконструкцію взаємодії нейтрино. Наразі проекти модернізації детекторів нейтрино потребують від двох до десяти мільйонів кубиків розміром 10 мм × 10 мм × 10 мм із сцинтиляційного матеріалу на вініл-ароматичній полімерній основі (полістирол або полівінілтолуол) з відбивачем на поверхні, а також з ортогональними отворами під спектрозміщуюче волокно. Складність геометрії такого детектора вимагає кількох етапів виробництва із залученням спеціалізованого обладнання на кожному етапі, включаючи виготовлення кожного окремого кубика пластмасового сцинтилятора, створення оптичної ізоляції за допомогою хімічного травлення поверхні кожного кубика та свердління отворів у трьох площинах для розміщення спектрозміщуючих волокон. Крім того, збірка декількох мільйонів кубиків вимагає значних зусиль і потребує поєднання з міцною опорною конструкцією, яка механічно підтримує структурну цілісність усього детектора. Таким чином, стандартні технології виробництва дуже трудомісткі через багатостадійність виготовлення та складність збирання окремих кубиків в єдиний детектор. В дисертаційній роботі запропоновано використання 3D-друку для виробництва сцинтиляційних детекторів зі складною геометрією, що дозволяє спростити процес виготовлення багатoelementних дрібносегментованих сцинтиляторів за рахунок створення більш великих блоків, так званих «Суперкубів», які складаються із нероз'ємних сцинтиляційних елементів. Завдяки можливості друкувати одразу декількома матеріалами, використання 3D-друку створює перспективу одночасно виготовляти сцинтилятор та відбивач, а отвори під спектрозміщуюче волокно можливо формувати під час друку без необхідності свердлити їх. Тобто 3D-друк може дати можливість створювати сцинтилятори зі складною геометрією, уникаючи багатостадійності виробництва, постобробки, а також уникнути додаткових опірних конструкцій при зборці детектору. Тому актуальним завданням сучасного сцинтиляційного матеріалознавства є розробка сцинтиляційних і світловідбиваючих матеріалів для 3D-друку та розробка технологічних підходів для виготовлення багатoelementних дрібносегментованих детекторів, зокрема методами 3D друку, а також вивчення оптичних і сцинтиляційних властивостей отриманих зразків. В дисертаційній роботі розроблено сцинтиляційні та світловідбиваючі філаменти для виготовлення сцинтиляційних елементів на основі полістиролу з відбивачем на поверхні методами 3D-друку. Отримані філаменти дозволяють виготовляти багатoelementні дрібносегментовані сцинтилятори в одному виробничому циклі без додаткової постобробки. Досліджено вплив введення пластифікаторів у склад матеріалу сцинтиляційного філаменту на оптичні та сцинтиляційні характеристики. Виготовлений філамент має мінімальний радіус вигину 65 мм, що дозволяє здійснювати 3D-друк пластмасових сцинтиляторів без розтріскування філаменту у системі живлення 3D принтеру, який працює за технологією моделювання методом пошарового наплавлення (FDM). Визначено вплив режимів 3D-друку на оптичні та сцинтиляційні характеристики отриманих зразків пластмасових сцинтиляторів на основі полістиролу. Показано, що оптимізований режим друку дозволяє отримувати прозорі зразки пластмасових сцинтиляторів з технічною довжиною ослаблення до 20 см і сцинтиляційними характеристиками, порівняними зі зразками, виготовленими за традиційними технологіями (полімеризація у масі, екструзія та лиття під тиском). Досліджено вплив різних пігментів та полімерних сполучних середовищ у складі світловідбиваючих філаментів на відбиваючу здатність надрукованих зразків відбивачів, також виявлено залежність коефіцієнтів відбиття та пропускання від концентрації пігментів та товщини зразків.

2. The thesis is devoted to 3D-printing obtaining plastic scintillators based on polystyrene with a reflector on the surface, in particular, in the form of fine-granularity scintillators. Recently essential progress was achieved in the development of new three-dimensional plastic fine-granularity detectors (FGD) for imaging electromagnetic and hadron fluxes, as well as neutrino interactions, for example in experiments such as T2K and DUNE. FGD with possible event tracking consist of scintillation elements that are optically isolated from each other by reflector, and the scintillation light is collected in three planes by wavelength shifting (WLS) fibers. The smaller the size of the scintillation element, the higher the spatial resolution during event tracking. The performance requirements of a FGD include: high light output, fine segmentation combined with optical isolation, long-term stability and short

emission time. For example, the new FGD developed in the SuperFGD project, which is used in the modernization of the near-field detector in the T2K experiment, deploys three readout planes to provide isotropic three-dimensional reconstruction of neutrino interactions. Currently, neutrino detector upgrade projects require between two and ten million $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ cubes made of scintillation material on a vinyl aromatic polymer base (polystyrene or polyvinyltoluene) with a reflector on the surface, as well as orthogonal holes for WLS fibers. The complexity of the geometry of such a detector requires several manufacturing steps, with specialized equipment at each step, including the fabrication of each individual plastic scintillator cube, the creation of optical isolation by chemically etching the surface of each cube, and the drilling of holes in three planes to accommodate WLS fibers. In addition, the assembly of several million cubes requires significant effort and requires a robust support structure that mechanically supports the structural integrity of the entire detector. The thesis proposes the use of 3D-printing for the production of scintillation detectors with complex geometry, which allows simplifying the process of manufacturing multi-element finely segmented scintillators by creating larger elementary blocks, the so-called "Supercubes". Due to the possibility of simultaneous printing with several materials, the use of 3D-printing creates the prospect of simultaneously manufacturing a scintillator and a reflector, and holes for the WLS fibers can be formed during printing without the need to drill them. That is, 3D-printing can make it possible to create scintillators with complex geometry, avoiding multi-stage production, post-processing, as well as avoiding difficulties and additional supporting structures during the detector assembly process. Therefore, the current task of modern scintillation materials science is the development of scintillation and reflective materials for 3D-printing and the development of technological approaches to the manufacture of multi-element finely segmented detectors, in particular by 3D-printing methods, as well as the study of the optical and scintillation properties of the obtained samples. In the thesis, scintillation and reflective filaments were developed for the manufacture of scintillation elements based on polystyrene with a reflector on the surface using the 3D-printing methods. The obtained filaments allow the manufacture of multi-element finely segmented scintillators in one production cycle without additional post-processing. The effect of introducing plasticizers into the composition of the scintillation filament material on the optical and scintillation characteristics was studied. The manufactured filament has a minimum bending radius of 65 mm, which allows 3D-printing of plastic scintillators without cracking the filament in the extrusion system of a 3D-printer operating using the fused deposition modeling (FDM) technology. The effect of 3D-printing modes on the optical and scintillation characteristics of the obtained samples of plastic scintillators based on polystyrene was determined. It is shown that the optimized printing mode allows for the production of transparent plastic scintillator samples with a technical attenuation length of up to 20 cm and scintillation characteristics comparable to samples manufactured using traditional technologies (cast polymerization, extrusion, and injection molding). The influence of various pigments and polymer binders in the composition of reflective filaments on the reflectivity of printed reflector samples was investigated, and the dependence of the reflection and transmission coefficients on the concentration of pigments and the thickness of the samples was also revealed.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Нові речовини і матеріали

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

Підсумки дослідження: Новий напрямок у науці і техніці

Публікації:

- 1. S. Berns, A. Boyarintsev, S. Hugon, U. Kose, D. Sgalaberna, A. De Roeck, A. Lebedynskiy, T. Sibilieva, P. Zhmurin. A novel polystyrene-based scintillator production process involving additive manufacturing // 2020 JINST 15 P10019, DOI:10.1088/1748-0221/15/10/P10019

- 2. A. Boyarintsev, A. De Roeck, S. Dolan, A. Gendotti, B. Grynyov, U. Kose, S. Kovalchuk, T. Nepokupnaya, A. Rubbia, D. Sgalaberna, T. Sibilieva, X. Y. Zhao. Demonstrating a single-block 3D-segmented plastic-scintillator detector for neutrino experiments // 2021 JINST 16 P12010, DOI:10.1088/1748-0221/16/12/P12010
- 3. S. Berns, E. Boillat, A. Boyarintsev, A. Roeck, S. Dolan, A. Gendotti, B. Grynyov, S. Hugon, U. Kose, S. Kovalchuk, B. Li, A. Rubbia, T. Sibilieva, D. Sgalaberna, T. Weber, J. Wuthrich, X. Y. Zhao. Additive manufacturing of fine-granularity optically-isolated plastic scintillator elements // 2022 JINST 17 P10045, DOI:10.1088/1748-0221/17/10/P10045
- 4. A. Krech, M. Ayzatsky, S. Barsuk, O. Bezshyyko, A. Boyarintsev, Ya Boyarintseva, L. Burmistrov, A. Carbone, V. Chaumat, S. Cholak, Maarten van Dijk, T. Driuk, L. Golinka-Bezshyyko, G. Hull, V. Kushnir, S. Minenko, V. Mytrochenko, T. Nepokupnaya, S. Perezhogin, Veronique Puill, T. Sibilieva, Radiation resistant optical components for high energy physics detectors, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 1059, 2024, 168997, ISSN 0168-9002, DOI:10.1016/j.nima.2023.168997
- 5. T. Weber, A. Boyarintsev, U. Kose, B. Li, D. Sgalaberna, T. Sibilieva, J. Wüthrich, S. Berns, E. Boillat, A. De Roeck, T. Dieminger, M. Franks, B. Grynyov, S. Hugon, C. Jaeschke, A. Rubbia, Additive manufacturing of a 3D-segmented plastic scintillator detector for tracking and calorimetry of elementary particles. Nature Commun Eng 4, 41 (2025). DOI:10.1038/s44172-025-00371-z
- 6. T. Sibilieva, A. Boyarintsev, A. Krech, M. Sibilyev, S. Minenko, N. Karavaeva, L. Zosimova and 3DET collaboration, Development of Reflective Filaments from Polycarbonate with PTFE and TiO₂ Additives for 3D Printing of Finely Segmented Plastic Scintillators. Functional Materials, 31, No.4 (2024), DOI:10.15407/fm31.04.646

Наукова (науково-технічна) продукція: технології

Соціально-економічна спрямованість: створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту

Охоронні документи на ОПВ:

Винаходи, корисні моделі, промислові зразки

Т.Г. Сібілева, А.Ю. Бояринцев, Б.В. Гриньов, Т.А. Непокупна, М.Л. Сібілев, С.С. Міненко. Сцинтиляційна матриця для реєстрації іонізуючого випромінювання. Патент України на корисну модель №151781, G01T 1/20 (2006.01). Власник Інститут Сцинтиляційних Матеріалів НАН України. – Заявка № у 2021 07262, заявл. 15.12.2021, опубл. 14.09.2022, бюл. № 37.

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0117U000988 244/1573

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Бояринцев Андрій Юрійович

2. Andrii Y. Boiaryntsev

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.02.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-9252-0430

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 23756522

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 60, Харків, Харківський р-н., 61072, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Юрженко Максим Володимирович

2. Maksym V. Yurzhenko

Кваліфікація: д. т. н., професор, член-кор. НАН України, 05.03.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-5535-731X

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії науки України

Код за ЄДРПОУ: 05416923

Місцезнаходження: вул. Казимира Малевича, буд. 11, Київ, 03150, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Авраменко Вячеслав Леонідович

2. Viacheslav L. Avramenko

Кваліфікація: к. т. н., професор, 05.17.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-6968-1321

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02071180

Місцезнаходження: вул. Кирпичова, буд. 2, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Тупіцина Ірина Аркадіївна
2. Turitsyna Iryna A.

Кваліфікація: к. т. н., с.д., 05.02.01

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 23756522

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 60, Харків, Харківський р-н., 61072, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Чергинець Віктор Леонідович
2. Cherhynets Viktor L.

Кваліфікація: д. х. н., професор, 02.00.04

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 23756522

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 60, Харків, Харківський р-н., 61072, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

VIII. Заключні відомості

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

Тарасенко Олег Анатолійович

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

Тарасенко Олег Анатолійович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Сорокін Олександр Васильович

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна