

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U001670

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 13-05-2025

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Лебединська Юлія Станіславівна

2. Yuliia S. Lebedynska

Кваліфікація: 104

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0003-3068-7544

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 104

Назва наукової спеціальності: Фізика та астрономія

Галузь / галузі знань: природничі науки

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Фізика

Дата захисту: 25-06-2025

Спеціальність за освітою: СЕРЕДНЯ ОСВІТА

Місце роботи здобувача: Інститут прикладної фізики Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05399225

Місцезнаходження: вул. Петропавлівська, буд. 58, Суми, Сумський р-н., 40000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** PhD 9053

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

**Код за ЄДРПОУ:** 05399225

**Місцезнаходження:** вул. Петропавлівська, буд. 58, Суми, Сумський р-н., 40000, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

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

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

**Код за ЄДРПОУ:** 05399225

**Місцезнаходження:** вул. Петропавлівська, буд. 58, Суми, Сумський р-н., 40000, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 47.31.29, 29.35.37

**Тема дисертації:**

1. Вплив на польову емісію дефектів у приповерхневому шарі конструкційних матеріалів прискорювачів
2. Influence of Surface-Layer Defects on Field Emission in Structural Materials of Accelerators

**Реферат:**

1. Дисертаційна робота присвячена дослідженню фізичних процесів, що визначають виникнення та розвиток польової електронної емісії і пробоїв у вакуумних прискорювальних структурах. Основна увага зосереджена на впливі дефектів у приповерхневому шарі металу – зокрема, пор, діелектричних вкраплень, діелектричних покриттів і нерівностей поверхні – на характеристики польової емісії та ймовірність виникнення високовольтного пробою. У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, сформульовано його мету та задачі, описано методологію, а також окреслено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Перший розділ містить огляд сучасного стану проблеми. Проаналізовано механізми виникнення високовольтного високовакуумного пробою та встановлено ключову роль польової електронної емісії у цьому процесі. Визначено, що інтенсивність емісії значною мірою залежить від матеріальних і морфологічних властивостей електродів, включаючи стан їх поверхні, наявність мікродефектів та

мікровиступів. Особливу увагу приділено формуванню пор у приповерхневому шарі металу під впливом випромінювання та їхньому впливу на характеристики емісії та пробою. У другому розділі здійснено теоретичне моделювання впливу субмікронних пор та діелектричних включень на емісійні властивості електродів. Показано, що поблизу нанопор у приповерхневому шарі густина емісійного струму може демонструвати резонансну залежність від параметрів просторового розміщення дефекту. Зокрема, при певних умовах густина струму зростає у 3,5 раза порівняно з ідеальною поверхнею. Це свідчить про критичну роль навіть незначних порушень у структурі електродів. Також з'ясовано, що ефект підсилення або зменшення емісійного струму залежить від розміру та глибини пори. Малі пори підвищують густину струму, збільшуючи ризик пробою, тоді як великі – зменшують його, що може слугувати засобом підвищення стійкості прискорювальних структур. Додатково розглянуто вплив діелектричних включень, які здатні змінювати розподіл електричного поля, розширюючи діапазон пор, що сприяють зростанню емісії. Третій розділ присвячений аналізу впливу діелектричних покриттів на польову емісію. Запропоновано нову аналітичну модель, що враховує двошаровий потенціальний бар'єр на межі метал–діелектрик–вакуум. Модель базується на квантовій теорії тунелювання і дозволяє точніше оцінити емісійний струм у присутності тонких ізоляційних шарів. Установлено, що для тонких покриттів (менших за характерну товщину) емісійний струм зменшується, але зі збільшенням товщини він зростає та стабілізується. Водночас комбінація низької діелектричної проникності та високої електронної спорідненості покриття сприяє зростанню емісійної активності поверхні. У четвертому розділі представлено результати експериментального дослідження польової емісії з металевих поверхонь із модифікованою морфологією та покриттями. Отримані дані узгоджуються з теоретичними передбаченнями, підтверджуючи суттєвий вплив дефектів і покриттів на інтенсивність емісії та ймовірність пробою. Встановлено, що регулювання морфології поверхні й параметрів покриття дозволяє ефективно впливати на емісійні характеристики та підвищити стійкість до пробоїв. У підсумку, дисертаційна робота робить вагомий внесок у розуміння фізичних механізмів пробою у вакуумних прискорювальних структурах. Отримані результати мають важливе значення для розробки електродних матеріалів і технологій виготовлення прискорювальних систем з покращеними експлуатаційними характеристиками.

2. The dissertation is devoted to the investigation of physical processes that determine the emergence and development of field electron emission and vacuum breakdowns in accelerating structures. The primary focus is on the influence of defects in the near-surface layer of metals—specifically pores, dielectric inclusions, dielectric coatings, and surface roughness—on the characteristics of field emission and the probability of high-voltage breakdown. The introduction substantiates the relevance of the research, defines the purpose and objectives, describes the methodology, and outlines the scientific novelty and practical significance of the obtained results. The first chapter presents a review of the current state of the problem. The mechanisms of high-voltage vacuum breakdown are analyzed, establishing the key role of field electron emission in this process. It is shown that emission intensity significantly depends on the material and morphological properties of the electrodes, including surface condition, presence of microdefects, and protrusions. Special attention is paid to the formation of pores in the near-surface metal layer under irradiation and their effect on emission and breakdown processes. The second chapter provides theoretical modeling of the influence of submicron pores and dielectric inclusions on the emission properties of electrodes. It is shown that near nanopores in the near-surface metal layer, the field emission current density can exhibit a resonant dependence on the spatial parameters of the defect. In particular, under certain resonance conditions, the current density may increase by more than 3.5 times compared to an ideal surface. This highlights the critical role of even minor structural irregularities in electrodes. It is also established that the enhancement or suppression of emission current depends on the size and depth of the pore. Small pores increase the current, raising the risk of breakdown, while larger ones reduce it, which can enhance the breakdown resistance of accelerating structures. Additionally, the effect of dielectric inclusions is considered, as they alter the local electric field distribution and expand the range of pore sizes that contribute to emission enhancement. The third chapter focuses on the influence of dielectric coatings on field emission from metallic surfaces. A novel analytical model is proposed, which considers a two-layer potential barrier at the metal–dielectric–vacuum

interface. This model, based on quantum tunneling theory, provides a more accurate estimation of emission current in the presence of thin insulating layers. It is found that for coatings thinner than a critical value, the emission current decreases, whereas for thicker layers, it increases and tends to an asymptotic value. Moreover, a combination of low dielectric permittivity and high electron affinity in the coating enhances emission current compared to an uncoated surface under the same electric field conditions. The fourth chapter presents experimental studies of field emission from metallic surfaces with modified morphology and coatings. The results align with theoretical predictions and confirm the significant impact of defects and coatings on emission intensity and breakdown probability. It is shown that controlling surface morphology and coating parameters allows for effective tuning of emission properties and improving breakdown resistance. In conclusion, the dissertation provides important insights into the physical mechanisms of breakdown in vacuum accelerating structures. The obtained results are of great value for the development of electrode materials and technologies for the fabrication of advanced accelerator systems with enhanced operational reliability.

### **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:** Не застосовується

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

### **Публікації:**

- S. Lebedynskiy, I. Musiienko, Yu. Lebedynska, M. Diachenko, R. Kholodov Modeling of field electron emission current with hemispherical protrusions consideration // The European Physical Journal D, 2023, volume 77, issue 11, 192 ISSN 14346060 DOI: <https://doi.org/10.1140/epjd/s10053-023-00775-6>
- Yu.S. Lebedynska, S.O. Lebedynskiy, O.P. Novak, R.I. Kholodov Probability of electron tunneling through dielectric pores in surface metal layer // Problems of Atomic Science and Technology, №5 (153), 2024, p. 111-116. ISSN 1562-6016. ISSN 16829344 DOI: <https://doi.org/10.46813/2024-153-111>
- Lebedynskiy S. O. Field electron emission in an external magnetic field parallel to the surface / S. O. Lebedynskiy, R. I. Kholodov, Yu. S. Lebedynska // 8th International Workshop on Mechanisms of Vacuum Arcs, MeVArc'2019. – Padova, Italy. September 16, Field Emission – Modeling and Simulations / 74, p.26
- Kholodov R. An influence of the cathode surface morphology on the dark current and high-gradient high-vacuum breakdown of the accelerating structures / R. Kholodov, S. Lebedynskiy, Yu. Lebedynska // 10th International Workshop on the Mechanisms of Vacuum Arcs (Hybrid MeVArc 2022), p. 9
- Musiienko I. The field emission current density from a metal in the presence of field emitting nanotips on the surface in accelerating structures / I. Musiienko, Yu. Lebedynska // 10th International Workshop on the Mechanisms of Vacuum Arcs (Hybrid MeVArc 2022), p. 22
- Лебединська Ю.С. Польова електронна емісія з «реальної» поверхні металу / Лебединська Ю.С., Лебединський С.О., Холодов Р.І. // Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Суми, 24-26 жовтня 2022 р. –с. 43-44.
- Лебединська Ю. С. Польова електронна емісія при наявності діелектричних вкраплень в металі / Лебединська Ю.С., Лебединський С.О., Холодов Р. І., Сторіжко В.Ю. // Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали IX Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Суми, 10-12 квітня 2023 року – с. 51-53.
- Лебединський С. О. Теоретичні дослідження впливу пор у при поверхневому шарі металу на густину струму польової емісії / Лебединський С. О., Лебединська Ю. С., Холодов Р. І. // Сучасні проблеми

експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Суми, 10-12 квітня 2023 року – с. 53-55

- Лебединська Ю. С. Вплив на польову емісію діелектричних утворень у приповерхневому шарі конструкційних матеріалів прискорювачів / Ю. С. Лебединська, С. О. Лебединський, Р. І. Холодов // XXII конференція з фізики високих енергій та ядерної фізики (Харків, 26- 29 березня 2024 року), с.59
- Lebedynskyi S. Theoretical Analysis of the Nanovoids Influence on the Field Emission / S. Lebedynskyi, Yu. Lebedynska, R. Kholodov // 37th International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC 2024), 15-19 July 2024, Brno, Czech Republic, 202301, pp. 1-2
- Лебединська Ю. С. Роль діелектричних вкраплень у польовий емісійний струм з конструкційних матеріалів прискорювачів / Лебединська Ю. С., Лебединський С. О., Холодов Р. І. // Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали Х Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Суми, 15-17 квітня 2024 року – 95 с.- с.55-56
- Лебединський С.О. Дослідження ширини резонансного піку коефіцієнта прозорості потенціального бар'єру у випадку модифікованої поверхні металу / Лебединський С.О., Лебединська Ю. С., Холодов Р. І // Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали Х Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Суми, 15-17 квітня 2024 року – 95 с.- с.57-58

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

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПІВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впровадження не планується

**Зв'язок з науковими темами:** 0121U110548; 0122U000416

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

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Новак Олександр Петрович
2. Oleksandr Novak

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-9316-4885

**Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 05399225

**Місцезнаходження:** вул. Петропавлівська, буд. 58, Суми, Сумський р-н., 40000, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

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

## Офіційні опоненти

### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Сеті Юлія Олександрівна
2. Julia O. Seti

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор, 01.04.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-5576-8031

### Додаткова інформація:

**Повне найменування юридичної особи:** Національний університет "Львівська політехніка"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071010

**Місцезнаходження:** вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Однодворець Лариса Валентинівна
2. Larisa Odnodvoretz

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор, 01.04.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-8112-1933

### Додаткова інформація:

**Повне найменування юридичної особи:** Сумський державний університет

**Код за ЄДРПОУ:** 05408289

**Місцезнаходження:** вул. Харківська, буд. 116, Суми, Сумський р-н., 40007, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

## Рецензенти

### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Батурін Володимир Андрійович
2. Volodymyr A. Baturin

**Кваліфікація:** к.ф.-м.н., с.н.с., 01.04.20

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-6171-8575

### Додаткова інформація:

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

**Код за ЄДРПОУ:** 05399225

**Місцезнаходження:** вул. Петропавлівська, буд. 58, Суми, Сумський р-н., 40000, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Лисенко Олег Борисович

2. Oleg B. Lysenko

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., 01.04.04

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-0459-4964

**Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 05399225

**Місцезнаходження:** вул. Петропавлівська, буд. 58, Суми, Сумський р-н., 40000, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

## VIII. Заключні відомості

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

Пономарьов Олександр Георгійович

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

Пономарьов Олександр Георгійович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Ворошило Олексій Іванович

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна