

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U003422

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 13-08-2025

Статус: Запланована

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. МАРЦЕНЮК Юрій Павлович

2. Yurii P. MARTSENIUK

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

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 та астрономія

Дата захисту: 10-10-2025

Спеціальність за освітою: Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

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

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** PhD 08

**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:**

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

**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:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 29.27

**Тема дисертації:**

1. Характеристики газорозрядної плазми та розрядів різних типів у термоядерних дослідженнях
2. Characteristics of gas discharge plasma and discharges of various types in thermonuclear research

**Реферат:**

1. У дослідженнях високотемпературної плазми, спрямованих на вирішення завдань керованого термоядерного синтезу, однією з ключових проблем залишається потрапляння легких і важких домішок у плазму. Це зумовлено забрудненням внутрішніх поверхонь вакуумних камер, що призводить до погіршення плазмових параметрів, зростання енергетичних втрат, виникнення радіаційного колапсу та зривів у пристроях типу токамак. Тому ефективна підготовка й чистки вакуумних поверхонь є обов'язковою складовою функціонального циклу термоядерних установок. Найпоширенішим методом чистки є використання плазми жевріючого розряду, хоча і залишається необхідність детальніших досліджень її параметрів. Однак цей підхід має суттєвий недолік – розпилення матеріалів поверхонь, зумовлене високою енергією іонів, яка перевищує поріг розпилення і залежить від напруги розряду. Зменшення анодної напруги до безпечного рівня є вкрай складним у практичному втіленні. Натомість застосування комбінованого

жевріючого-мікрохвильового розряду дає змогу суттєво знизити анодну напругу, що робить його перспективним для чистки тороїдальних камер. Проте досліджень у цьому напрямі замало, а фізичні механізми розряду залишаються недостатньо вивченими. Разом з тим, важливе значення має вдосконалення методів діагностики плазми, що відіграють ключову роль у розумінні фізичних процесів у газорозрядних системах. Зокрема, використання мікрохвильової рефракції дає змогу виявляти локальні неоднорідності електронної густини, визначати азимутальні зсуви структур плазми та оцінювати частоту її обертання. Подальший прогрес у фізиці плазми значною мірою залежить від рівня розвитку діагностичних засобів, що зумовлює необхідність їхнього удосконалення. Тому дана робота була спрямована на розширення фізичної картини в газорозрядній плазмі жевріючого розряду та комбінованого жевріючого – мікрохвильового розряду які реалізуються у тороїдальних камерах термоядерних пристроях шляхом комплексного дослідження її параметрів, та впровадженні результатів на термоядерних пристроях. Для цього, було проведено дослідження параметрів плазми жевріючого розряду в різних газових атмосферах, визначення вольт-амперних характеристик та складу плазми, розраховано параметри плазми жевріючого розряду за допомогою числового моделювання, досліджено комбінований жевріючий – мікрохвильовий розряд, та удосконалено метод визначення локальних неоднорідностей плазми з використанням мікрохвильової рефракції. У ході експериментальних досліджень виміряно залежності пробивної напруги від тиску для газів Ar, He і H<sub>2</sub> у випадку використання анодів форми сферичної калоти. Встановлено, що пробивна напруга значною мірою залежить як від типу газу, так і від форми анодів, а отримані експериментальні залежності пробивної напруги відповідають закону Пашена. Найвищі значення пробивної напруги спостерігались у гелієвій атмосфері, тоді як найнижчі – в аргонівій. Аналогічна картина спостерігалась і для анодів форми вигнутого циліндра. Порівняльний аналіз двох типів анодів (вигнутого циліндра та сферичної калоти) за однакових умов показав суттєву різницю в пробивних напругах. Така відмінність у пробивній напрузі може зумовлюватися відмінностями в геометрії анодів, що, у свою чергу, впливає на характер розподілу електричного поля у вакуумному об'ємі, а розрахунки електричного поля за допомогою FEMM-коду підтверджують його складну неоднорідну структуру. Проведено вимірювання вольт-амперних характеристик для різних газів (Ar, He, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) із використанням анодів двох типів. Отримані залежності є типовими для розрядів із порожнистим катодом і демонструють зростання струму зі збільшенням напруги незалежно від тиску чи типу газу. Інтенсивність оптичного випромінювання також зростає зі струмом, що вказує на підвищення густини й температури електронів. Різниця напруг на електродах, що спостерігалась, ймовірно, пов'язана з неоднорідністю параметрів плазми у великому об'ємі розряду. Аноди сферичної форми калоти забезпечують вищу розрядну напругу, ніж для анодів форми вигнутого циліндра. Найвища напруга спостерігалась у водневій плазмі, найнижча – в гелієвій. Усі залежності є нелінійними: струм різко зростає при незначному підвищенні напруги. За допомогою рухомого потрійного зонду були досліджені параметри плазми жевріючого розряду. Вимірювання також проводилися для різних газів (аргону, гелію, водню) та двох анодних систем. У всіх випадках було зафіксовано типові параметри плазми для жевріючого розряду, а радіальний профіль показав, що максимальні значення густини плазми, температури електронів та плаваючого потенціалу спостерігалися в центрі плазмового стовпа, тоді як у напрямку до стінки камери ці параметри поступово зменшувалися. При практично однакових умовах найбільша густина плазми спостерігається у аргоні до  $\approx 8,3 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-3}$ , ніж у гелії до  $\approx 4 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-3}$  та водні до  $\approx 1,5 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-3}$ .

2. In high-temperature plasma research aimed at solving the problems of controlled thermonuclear fusion, one of the key problems remains the ingress of light and heavy impurities into the plasma. This is due to contamination of the inner surfaces of vacuum chambers, which leads to a deterioration in plasma parameters, increased energy losses, radiation collapse and disruptions in tokamak-type devices. Therefore, effective preparation and cleaning of vacuum surfaces is an essential part of the functional cycle of thermonuclear installations. The most common cleaning method is the use of glow discharge plasma, although there is still a need for more detailed research of its parameters. However, this approach has a significant drawback – the sputtering of surface materials due to the high energy of ions, which exceeds the sputtering threshold and depends on the discharge voltage. Reducing the anode voltage to a safe level is extremely difficult to implement in practice. Instead, the use of a combined glow-

microwave discharge allows significantly reduce the anode voltage, which makes it promising for cleaning toroidal chambers. However, the research in this area is insufficient and the physical mechanisms of the discharge remain poorly understood. At the same time, it is important to improve plasma diagnostic methods, which play a key role in understanding the physical processes in gas discharge systems. In particular, the use of microwave refraction makes it possible to detect local inhomogeneities in electron density, determine azimuthal shifts in plasma structures, and estimate its rotation frequency. Further progress in plasma physics largely depends on the level of development of diagnostic tools, which necessitates their improvement. Therefore, this work was aimed at expanding the physical picture in gas discharge plasma of glow discharge and combined glow-microwave discharge, which are implemented in toroidal chambers of thermonuclear devices through a complex study of its parameters and the implementation of the results on thermonuclear devices. For this purpose, the parameters of glow discharge plasma in various gas atmospheres were studied, the current-voltage characteristics and plasma composition were determined, the parameters of glow discharge plasma were calculated using computational modelling, combined glow - microwave glow discharge, was investigated, and the method for determining local plasma inhomogeneities using microwave refraction was improved. During the experimental studies, the dependence of the breakdown voltage on pressure was measured for Ar, He and H<sub>2</sub> gases when using spherical calotte anodes. It was found that the breakdown voltage depends to a large extent on both the type of gas and the shape of the anodes, and the obtained experimental dependencies of the breakdown voltage correspond to Paschen's law. The highest breakdown voltage values were observed in a helium atmosphere, while the lowest were in an argon atmosphere. A similar pattern was observed for anodes of curved cylinder shape. A comparative analysis of the two types of anodes (curved cylinder and spherical calotte) under the same conditions showed a significant difference in breakdown voltages. This difference in breakdown voltage may be due to differences in the geometry of the anodes, which, in turn, affects the nature of the electric field distribution in the vacuum volume, and calculations of the electric field using the FEMM code confirm its complex inhomogeneity structure. Current-voltage characteristics were measured for different gases (Ar, He, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) using two types of anodes. The obtained dependencies are typical for hollow cathode discharges and demonstrate an increase in current with increasing voltage regardless of pressure or gas type. The intensity of optical emission also increases with current, indicating an increase in electron density and temperature. A voltage difference observed at the electrodes is probably due to the inhomogeneity of plasma parameters in a large discharge volume. Spherical calotte anodes provide higher discharge voltage than curved cylindrical anodes. The highest voltage was observed in hydrogen plasma, the lowest in helium plasma. All dependencies are non-linear: the current increases sharply with a slight increase in voltage. The parameters of the glow discharge plasma were investigated using a movable triple probe. Measurements were also performed for different gases (argon, helium, hydrogen) and two anode systems. In all cases, typical plasma parameters for glow discharge were recorded, and the radial profile showed that the maximum values of plasma density, electron temperature and floating potential were observed in the centre of the plasma column, while these parameters gradually decreased towards the chamber wall. Under practically identical conditions, the highest plasma density is observed in argon, up to  $\approx 8,3 \cdot 10^{14} \text{ m}^{-3}$ , than in helium, up to  $\approx 4 \cdot 10^{14} \text{ m}^{-3}$ .

**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 транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

## Публікації:

- Yu. P. Martseniuk, Yu. V. Kovtun, A. V. Lozin, A. N. Shapoval, M. N. Makhov, V. E. Moiseenko, O. V. Yevsiukov, V. B. Korovin, E. D. Kramskoy, M. M. Kozulya, D. I. Baron, S. M. Maznichenko, A. Yu. Krasiuk, V. M. Listopad. Glow discharge in helium and nitrogen atmospheres at stellarator Uragan-2M. Problems of atomic science and technology. 2024. Vol. 154. Iss. 6. PP. 3-8.
- Yu. P. Martseniuk, Yu. V. Kovtun. Calculating glow discharge plasma parameters in an argon atmosphere for the Uragan-2M stellarator. Problems of atomic science and technology. 2025. Vol. 155. Iss. 1. PP. 19-24.
- Yu. P. Martseniuk, Y5. V. Siusko, Yu. V. Kovtun. Using microwave refraction to determine local inhomogeneities of a rotating plasma. Nukleonika. 2023. Vol. 68. Iss. 1. PP. 19-24.
- Yu. P. Martseniuk, Yu. V. Kovtun, V. E. Moiseenko, A. V. Lozin, Y. V. Siusko, A. N. Shapoval, O. V. Yevsiukov, V. B. Korovin, E. D. Kramskoy, M. M. Kozulya, D. I. Baron. Glow discharge cleaning on the Uragan-2M stellarator. Fusion Science and Technology. 2025. PP. 1-12.

**Наукова (науково-технічна) продукція:** технології

**Соціально-економічна спрямованість:** економія енергоресурсів

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Планується до впровадження

**Зв'язок з науковими темами:** 0121U111963 0224U033189 0121U109316

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

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Ковтун Юрій Вікторович
2. Yurii V. Kovtun

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., с.д., 01.04.08

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:** ;<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603703901>

**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:**

## VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Недибалюк Олег Анатолійович

2. Oleg A. Nedibaluk

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., с.д., 01.04.08

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-3791-0676

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**Код за ЄДРПОУ:** 02070944

**Місцезнаходження:** вул. Володимирська, буд. 60, Київ, 01033, Україна

**Форма власності:**

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

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Денисенко Ігор Борисович

2. Igor B. Denysenko

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор, член-кор. НАН України, 01.04.08

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-7343-086X

**Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 02071205

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

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Маслов Василь Іванович

2. Vasil I. Maslov

**Кваліфікація:** д.ф.-м.н., професор, 01.04.08

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-4370-7685

**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:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Махлай Вадим Олександрович

2. Vadim O. Mahlay

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.08

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-5258-7793

**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:**

## VIII. Заключні відомості

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

Греков Дмитро Леонідович

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

Греков Дмитро Леонідович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

ННЦ ХФТІ ОҚД

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна