

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U003414

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 12-08-2025

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Марчук Юрій Миколайович

2. Iurii M. Marchuk

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: 08-10-2025

Спеціальність за освітою: прикладна фізика та наноматеріали

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 07

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. Моделювання електронів-утікачів, парних зіткнень та процесів в нижньому гібридному резонансі у плазмі з магнітним полем
2. Modeling of Runaway Electrons, Binary Collisions, and Processes in Lower Hybrid Resonance in Magnetized Plasma

Реферат:

1. У дисертаційній роботі розроблено та досліджено числово-аналітичні методи моделювання фізичних процесів у слабоіонізованій плазмі та плазмі магнітного утримання, характерних для термоядерних установок типу токамак. Основну увагу приділено ефективному розрахунку швидкісних коефіцієнтів парних зіткнень, аналізу поглинання електромагнітних хвиль поблизу резонансних точок та моделюванню генерації електронів-утікачів під час динамічних змін електричного поля. У першому розділі запропоновано метод обчислення швидкісного коефіцієнта іонізації електронним ударом при зіткненнях з атомами водню. Метод базується на спрощенні інтегральних виразів при ізотропному максвеловому розподілі швидкостей, апроксимації функцій перерізу кусково-постійними функціями, а також використанні високоточної

ермітової інтерполяції (Traub, 1964). п'ятого порядку. Реалізація комбінованого підходу, що включає попередній розрахунок у вузлових точках із подальшою інтерполяцією, дала можливість суттєво скоротити обчислювальні витрати без втрати точності. Другий розділ присвячено дослідженню поширення повільної хвилі в області нижнього гібридного резонансу, де спостерігається особлива поведінка електромагнітного поля. Запропоновано два альтернативні підходи до числового розв'язання рівнянь: метод штрафу із введенням невеликої комплексної поправки до діагонального компонента тензора діелектричної проникності та метод аналітичного продовження шляху інтегрування на комплексну площину. Проведено порівняльний аналіз точності обчислень поглиненої потужності, що підтвердив перевагу гладкого шляху обходу завдяки забезпеченню неперервності похідних функції. У третьому розділі побудовано аналітичну модель генерації електронів-утікачів у токамаках під час нестійкості зриву в токамаці. Модель враховує як первинні процеси, так і лавинний механізм наростання густини електронів-утікачів із урахуванням втрат. Введено безрозмірні параметри, здійснено нормування на характерні часові та енергетичні масштаби, що дало можливість отримати компактні аналітичні вирази, придатні для числового аналізу. Проведено моделювання для токамаків середніх розмірів із урахуванням їхніх конструктивних особливостей, що продемонструвало узгодженість з іншими обчисленнями на суперкомп'ютері та підтвердило чутливість процесу до параметрів індукованого поля. Результати дисертації є актуальними для задач числового моделювання, прогнозування та оптимізації плазмових процесів у системах магнітного утримання. Запропоновані методи відзначаються достатньою точністю, аналітичною обґрунтованістю та обчислювальною ефективністю, що робить їх перспективними для подальшого застосування в дослідженнях у галузі термоядерного синтезу та керованої плазодинаміки.

2. The dissertation presents the development and investigation of numerical-analytical methods for modeling physical processes in weakly ionized plasma and magnetically confined plasma, typical for thermonuclear devices such as tokamaks. Particular attention is given to the efficient calculation of velocity-dependent rate coefficients for binary collisions, the analysis of electromagnetic wave absorption near resonant points, and the modeling of runaway electron generation during dynamic changes in the electric field. The first chapter proposes a method for calculating the ionization rate coefficient due to electron impact with hydrogen atoms. This method is based on the simplification of integral expressions under the assumption of an isotropic Maxwellian velocity distribution, the approximation of cross-section functions using piecewise constant functions, and the use of high-accuracy fifth-order Hermite interpolation (Traub, 1964). The implementation of a combined approach —precomputing values at nodal points followed by interpolation — allowed a significant reduction in computational cost without sacrificing accuracy. The second chapter focuses on the propagation of slow waves in the lower hybrid resonance region, where the electromagnetic field exhibits peculiar behavior. Two alternative numerical approaches to solving the equations are proposed: the penalty method, involving the introduction of a small complex correction to the diagonal component of the dielectric permittivity, and the method of analytical continuation of the integration path into the complex plane. A comparative analysis of the accuracy of absorbed power calculations confirmed the advantage of the smooth integration path due to the ensured continuity of the function derivatives. The third chapter presents an analytical model for the generation of runaway electrons in tokamaks during disruption instability. The model takes into account both primary processes and the avalanche multiplication mechanism with consideration of losses. Dimensionless parameters are introduced, and normalization is carried out with respect to characteristic time and energy scales, enabling the derivation of compact analytical expressions suitable for numerical analysis. Simulations are performed for medium-sized tokamaks, taking into account their structural features. The results showed good agreement with supercomputer-based computations and confirmed the process's sensitivity to the parameters of the induced electric field. The results of this dissertation are relevant to the tasks of numerical modeling, forecasting, and optimization of plasma processes in magnetic confinement systems. The proposed methods are distinguished by sufficient accuracy, analytical justification, and computational efficiency, making them promising for further applications in the studies in the field of thermonuclear fusion and controlled plasma dynamics.

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:

- Marchuk Yu.M., Pankratov I.M. Phenomenological modeling of the suprathreshold electron generation during magnetic field line reconnections in experimental advanced superconducting tokamak. Problems of atomic science and technology. 2017, №1. Series: Plasma Physics (23), p.6-9. Квартиль Q3 (2017).
- Marchuk Yu.M., Kulyk Yu.S., Moiseenko V.E. Computer calculation of probability for binary collisions of electrons with ions and molecules. Problems of atomic science and technology. 2021, №4 (134), p.154-156.
- Marchuk Yu.M., Kulyk Yu.S., Moiseenko V.E., Wauters T. Numerical treatment of lower hybrid resonance in plasma. Problems of atomic science and technology. 2025, № 1. Series: Plasma Physics (31), p.29-33.

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

Соціально-економічна спрямованість: економія енергоресурсів

Охоронні документи на ОПВ:

Комп'ютерні програми

ПРОГРАМА РОЗРАХУНКУ ІМОВІРНОСТІ ПАРНИХ ЗІТКНЕНЬ ЕЛЕКТРОНІВ З АТОМАМИ ТА МОЛЕКУЛАМИ В СЕРЕДОВИЩІ FORTRAN

Впровадження результатів дисертації: Впровадження не планується

Зв'язок з науковими темами: 0121U108897 0121U109316 0120U101223 0120U102649

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Моїсеєнко Володимир Євгенович

2. Volodymyr E. Moiseenko

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

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

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:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Гірка Ігор Олександрович

2. Igor O. Girka

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

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

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:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Анісімов Ігор Олексійович

2. Igor O. Anisimov

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-6185-1162

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

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Рудаков Василь Андрійович

2. Vasiliy A. Rudakov

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-0134-5409

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. Павліченко Ростислав Олегович

2. Rostislav O. Pavlichenko

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-5543-5699

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**

Маслов Василь Іванович

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

Маслов Василь Іванович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

ННЦ ХФТІ ОКД

Реєстратор

УкрІНТЕІ

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна