Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U003003

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 17-07-2025

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Труш Олександр Вікторович
2. Oleksandr Trush

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-5105-2335

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 105

Назва наукової спеціальності: Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Прикладна фізика та наноматеріали

Дата захисту: 26-08-2025

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 9861

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:

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

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:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 29.27.17, 29.27.35, 29.27.01

Тема дисертації:

1. Теоретичне дослідження поширення швидкої магнітозвукової хвилі за останньою замкненою поверхнею токамака
2. Theoretical study of the propagation of a fast magnetosonic waves in a tokamak scrape-off layer

Реферат:

1. Дисертаційну роботу присвячено теоретичному дослідженню поширення швидкої магнітозвукової хвилі за останньою поверхнею токамака у наближенні холодної плазми без зіткнень, яка знаходиться у зовнішньому сталому магнітному полі. У роботі знайдено положення точок повороту для компонент електромагнітного поля хвилі; досліджено залежності розташування цих точок від параметрів плазми та від градієнтів цих параметрів; вивчено дисперсійні властивості власних електромагнітних сигналів, які можуть поширюватися в іонному циклотронному діапазоні частот в області локального Альфвенового резонансу за останньою замкненою магнітною поверхнею токамака. На першому етапі роботи було отримано явний вигляд диференціальних рівнянь для знаходження просторового розподілу компонент електромагнітного поля в іонному циклотронному діапазоні частот з урахуванням радіальної неоднорідності параметрів плазми. Точкою повороту в цій роботі називають точку, по різні боки від якої компоненти електромагнітного поля мають різний характер. Якщо по один бік компонент поля осцилює з координатою, то по інший бік –

просторово загасає. У цій роботі здобуті рівняння, які визначають положення точок повороту на основі аналізу змінних за координатою коефіцієнтів отриманих рівнянь, а не на основі спрощених, що дає можливість знайти координати точок повороту точно. Цей факт свідчить про новизну дослідження, адже традиційно точки повороту для задач електродинаміки плазми знаходять на основі рівнянь, які описують однорідну плазму. У результаті першого етапу роботи було виведено умови для визначення точок повороту компонент електромагнітного поля хвиль в іонному циклотронному діапазоні частот для випадку неоднорідної плазми. На другому етапі роботи було проведено числове дослідження отриманих рівнянь для знаходження координат точок повороту компонент електромагнітного поля хвиль в іонному циклотронному діапазоні частот. Для числового моделювання було застосовано наступні параметри плазми та хвилі: циклічна частота □ = 3.34 □сі, зовнішнє стале магнітне поле B0 = 2.0 Тл, малий радіус плазми a = 0.5 м і великий радіус плазми R = 2.12 м, довжина експоненціального зменшення густини частинок плазми □ = 0.01801 м. Ці параметри є близькими до параметрів реальної установки – токамака середніх розмірів ASDEX Upgrade. Числові дослідження підтвердили, що у неоднорідній плазмі точки повороту мають різне положення для трьох наборів компонент електромагнітного поля швидкої магнітозвукової хвилі: Ex і Hy, Ey і Hx, Hz. Умова, яка є загально відомою у літературі, як умова для визначення частоти відсічки швидкої магнітозвукової хвилі для заданих параметрів однорідної плазми, зовсім не підходить для застосування знаходження точок повороту в неоднорідній плазмі за останньою замкненою магнітною поверхнею токамаків. Результати другого етапу дослідження підтверджують, що неоднорідність плазми викликає різний вплив на розташування положення точки повороту для хвиль з різними хвильовими числами. На третьому етапі роботи було досліджено просторовий розподіл полів електромагнітної хвилі з тороїдним показником заломлення, меншим одиниці, і ненульовим полоїдним хвильовим числом, яка локалізована в околі Альфвенового резонансу за останньою замкненою магнітною поверхнею токамака. Оскільки за останньою замкненою магнітною поверхнею токамака густина плазми змінюється дуже швидко, то застосувати у цій частині простору метод ВКБ неможливо. Для отримання просторового розподілу поля хвилі в околі Альфвенового резонансу застосовано так званий метод вузького шару. Останнім етапом роботи був аналіз дисперсійних властивостей електромагнітного сигналу в іонному циклотронному діапазоні частот. Параметри плазми та хвилі для цього етапу обирались такі самі, як і для другого етапу. Результати числового моделювання показали, що власні частоти є приблизно пропорційними тороїдному номеру моди, □□|l|. Така залежність також відома для альфвенових хвиль. Механізми збудження цих електромагнітних сигналів у даній роботі не розглядають. Натомість у роботі розглянуто проблему власних значень і власних функцій. У той же час запропонований локалізований високочастотний сигнал все ще можна розглядати як один із механізмів, відповідальних за небажане поглинання потужності сигналу відповідної частоти в розрідженій плазмі за останньою замкненою магнітною поверхнею токамака. Передбачається, що сигнал є локалізованим поблизу локального Альфвенового резонансу. Вивчення точок відсічки та поведінки електромагнітних сигналів у розрідженій плазмі за останньою замкненою магнітною поверхнею токамака є предметом активних досліджень, оскільки покращення розуміння процесів у цьому просторі, знаходження положення точок відсічки та розуміння їх залежностей від параметрів плазми та їх градієнтів може допомогти підвищити ефективність та довговічність роботи термоядерних установок.

2. The dissertation work is devoted to the theoretical study of the propagation of a fast magnetoacoustic wave in a tokamak scrape-off layer in the approximation of a cold magnetoactive collisionless plasma. The work is devoted to finding the positions of the turning points for the components of the electromagnetic field of the wave; studying the dependence of the location of these points on the plasma parameters and on the gradients of these parameters; studying the dispersion properties of electromagnetic signals located within Alfvén resonances in a tokamak scrape-off layer in ion cyclotron frequency range. At the first stage of the work, an explicit form of differential equations is derived for the components of the electromagnetic field in ion cyclotron frequency range. These are ordinary second-order linear uniform differential equations with the presence of terms with the first derivatives of the wave field amplitudes in them. In this work, equations for finding the turning points were obtained based on the derived equations rather than on the basis of simplified ones, which allows correct finding

the coordinates of the cut-off points. This fact indicates the novelty of the research, because turning points for electrodynamics problems are practically not found in this way. As a result of the first stage of work, conditions for determining the cut-off points of the electromagnetic wave field components in the ion cyclotron frequency range are derived with account for plasma strong inhomogeneity. At the second stage of work, a numerical study of the obtained equations is carried out to find the coordinates of the cut-off points of the electromagnetic wave field components in ion cyclotron frequency range. The following plasma and wave parameters are used for numerical modeling: generator angular frequency □ = 3.34 □ci, external static magnetic field B0 = 2.0 T, minor plasma radius a = 0.5 m and major plasma radius R = 2.12 m, the decay length of the plasma particle density □ = 0.01801 m. These parameters are consistent with the parameters of the real installation – the medium-sized tokamak ASDEX Upgrade. Numerical studies have confirmed that in inhomogeneous plasma the cut-off points have different positions for three sets of components of the electromagnetic field of a fast magnetosonic wave: Ex and Hy, Ey and Hx, Hz. The condition, which is generally known in the literature as a condition for determining the cut-off frequency of a fast magnetosonic wave for given homogeneous plasma parameters, is not at all suitable for the application for finding cut-off points in inhomogeneous plasma, which is present in all fusion facilities. The results of the second stage of the study indicate that the non-uniformity of the plasma causes a different effect on the location of the cut-off points for waves with different wave numbers. At the third stage of the work, the spatial distribution of the eigen wave field with the toroidal refractive index smaller than a unit and the frequency higher than ion cyclotron frequency localized in the region of Alfven resonance in a tokamak scrape-off layer is considered. Since in the region of a tokamak scrape-off layer, the plasma density varies very quickly, it is impossible to apply the WKB method in this region. Therefore, the so-called narrow layer method is used to obtain the spatial distribution of the wave field in the close vicinity of Alfven resonance. To solve the differential equations, the space around the Alfven resonance is separated into four characteristic zones. The analysis of the dispersion properties of electromagnetic signal in ion cyclotron frequency range in a tokamak scrape-off layer is the last stage of the work. The plasma and wave parameters for this stage are chosen the same as for the second stage. The results of numerical modeling show that the eigen frequencies are approximately proportional to the toroidal wave index, □□|n|. This feature is also known for Alfvén waves. The mechanisms of excitation of radio frequency signals are not considered in this work. Instead, the paper addresses the problem of eigen values and eigen functions. At the same time, the proposed localized radio frequency signal can still be considered as one of the mechanisms responsible for the unwanted absorption of signal power of the corresponding frequency in a tokamak scrape-off layer. It is assumed that the signal is localized in a local Alfvén resonance. The study of cut-off points and the dispersion properties of electromagnetic signals localized in the vicinity of Alfven resonance in a tokamak scrape-off layer are the subject of active research, since improving the understanding of processes in the scrape-off layer, determining the position of cut-off points and understanding their dependences on plasma parameters and their gradients can help increase the efficiency and durability of fusion plants.

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: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- Girka I.O., Trush O.V., Tierens W. Three different spatial positions of fast magnetosonic wave component turning points. Problems of Atomic Science and Technology. Series “Plasma Physics”. 2024. No. 6. Pp. 86–91. DOI: https://doi.org/10.46813/2024-154-014 (Scopus, Web of Science, Q3).

- Girka I.O., Trush O.V., Tierens W. Eigen radio frequency signals localized at Alfven resonances in a tokamak scrape-off layer. East European Journal of Physics. 2025. No. 1. Pp. 79–90. DOI: https://doi.org/10.26565/2312-4334-2025-1-07 (Scopus, Web of Science, Q3).
- 3. Труш О. В., Гнатюк С. В., Павленко І. В., Гірка І. О. Аналітичне та числове моделювання передвісників Зоммерфельда в ізотропній плазмі. Українська конференція з фізики плазми та керованого термоядерного синтезу – 2021. 15–16 грудня 2021 р. Збірник анотацій: тези. Київ, Україна, 2021. С. 50.
- Trush O. V., Girka I. O. Dynamic evolution of Sommerfeld precursors in an isotropic homogeneous plasma. Academic and scientific challenges of diverse fields of knowledge in the 21st century. CLIL in action. 18 March 2022. Conference materials: article. Kharkiv, Ukraine, 2022. Pp. 365–371.
- Труш О. В., Гірка І. О., Тіренс В. Просторові положення точок повороту компонент швидкої магнітозвукової хвилі в магнітоактивній плазмі. 3rd International Scientific and Practical Conference «Global Trends in the Development of Information Technology and Science». Секція: Фізико-математичні науки. 2–4 квітня 2025. Collection of Scientific Papers: тези. Стокгольм, Швеція, 2025. Pp. 295–297. DOI: 10.70286/isu-02.04.2025.
- Труш О. В., Гірка І. О., Тіренс В. Власні високочастотні сигнали, локалізовані в околі Альфвенових резонансів за останньою магнітною поверхнею токамака. 3rd International Scientific and Practical Conference «Modern Trends in the Development of Economy, Technology and Industry». Секція: Фізико-математичні науки. 9–11 квітня 2025. Collection of Scientific Papers: стаття. Торонто, Канада, 2025. Pp. 272–277. DOI: 10.70286/isu-09.04.2025.
- Trush O. V., Girka I. O., Tierens W. The cutoff positions for the fast magnetosonic wave field components in a nonuniform magnetized plasma. II International Scientific and Technical Conference Named After V. Voyevodin «Problems of Modern Nuclear Power». 16–18 April. Book of abstracts: abstract. Kharkiv, Ukraine, 2025. P. 90.
- Труш О. В., Гірка І. О., Тіренс В. Власні високочастотні сигнали, локалізовані в околі Альфвенових резонансів за останньою магнітною поверхнею токамака. XVIII Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Фізика та тенденції сучасного світу». 1–3 травня. Збірка тез: тези. Харків, Україна, 2025. С. 3.
- Труш О. В., Гірка І. О., Тіренс В. Комп'ютерне моделювання фізичних процесів за останньою замкненою магнітною поверхнею токамака. XI Всеукраїнська конференція з міжнародною участю «Сучасні проблеми експериментальної та теоретичної фізики та методики навчання фізики». 6–7 травня. Матеріали конференції: тези. Суми, Україна, 2025. С. 102–103.
- Pavlenko I., Girka I., Trush O., Melnyk D., Velizhanina Ye. Plasma transient processes and plane wave formation in simulations by FDTD method. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2019. Vol. 67. No. 11. Pp. 6957–6964. DOI: https://doi.org/10.1109/TAP.2019.2925156 (Scopus, Web of Science, Q1).
- Pavlenko I., Melnyk D., Velizhanina Ye., Trush O., Girka I. Electromagnetic surface wave excitation and energy transport along a plane plasma boundary. Problems of Atomic Science and Technology. 2018. Vol. 118. Pp. 105–108. (Scopus, Web of Science, Q3).
- Pavlenko I., Girka I., Trush O., Melnyk D. Exact analytical calculation and numerical modelling by finite-difference time-domain method of the transient transmission of electromagnetic waves through cold plasmas. Journal of Plasma Physics. 2020. Vol. 86. DOI: https://doi.org/10.1017/S0022377820000367 (Scopus, Web of Science, Q1).
- Pavlenko I.V., Girka I.O., Trush O.V., Hnatiuk S.V. Time-domain calculation of forerunners in Drude dispersive media without collisions. Physical Review A. 2021. Vol. 104. No. 1. DOI: https://doi.org/10.1103/PhysRevA.104.013518 (Scopus, Web of Science, Q1).

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

Соціально-економічна спрямованість:

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0119U002526, 0122U001575

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Гірка Ігор Олександрович
2. Igor Girka

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-6662-8683

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:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Греков Дмитро Леонідович
2. Dmytro Grekov

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-3354-5245

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. Луценко Вадим Васильович

2. Vadym Lutsenko

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-2143-3433

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 23724640

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Київ, 03028, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Бердник Сергій Леонідович

2. Serhii Berdnyk

Кваліфікація: д. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.03

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-0037-6935

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. Споров Олександр Євгенович

2. Oleksandr Sporov

Кваліфікація: к. ф.-м. н., 01.04.08

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4610-9656

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:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Лісовський Валерій Олександрович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Лісовський Валерій Олександрович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Шевченко Андрій Олександрович
Реєстратор	УкрІНТЕІ
Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності	Юрченко Тетяна Анатоліївна