

Відгук
Голова спеціалізованої вченої ради
ДФ 64.051.057
15.12.2021 р.
Кушнір В. М.

Голові спеціалізованої вченої ради
ДФ 64.051.057
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
майдан Свободи, 4, м. Харків

ВІДГУК

офіційного опонента, начальника науково-дослідної частини Київського національного університету імені Тараса Шевченка, кандидата фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.08 – Фізика плазми) Недибалука Олега Анатолійовича на дисертаційну роботу Сюська Євгена Васильовича «Застосування рефракції мікрохвиль для діагностики неоднорідної плазми», подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія

Актуальність дисертаційної роботи

Основним завданням фізики плазми на сьогоднішній день, так само як в 50-х, 60-х роках 20-го століття, є вирішення проблеми керованого термоядерного синтезу (КТС). Існують два основних напрямки УТС: с магнітним утриманням та інерційним утриманням. При інерційному утриманні, плазма утримується власними силами інерції. При магнітному утриманні, для утримання плазми використовують магнітне поле, що запобігає потраплянню її на стінки вакуумної камери. Найбільш поширеними прототипами термоядерних установок з магнітним утриманням плазми є стеларатори (Wendelstein 7-X – Німеччина, LHD – Японія, TJ-II – Іспанія, Uragan-2M – Україна) і токамаки (JET – Європейський союз, MAST-U – Великобританія, TCV – Швейцарія, JT - 60 – Японія, EAST – Китай, STOR - M – Канада). Крім УТС, фізику плазми застосовують в різних сферах діяльності людини, наприклад, в енергетиці, хімії та медицині. Ці області застосування включають обробку напівпровідників, обробку поверхні, плазмову полімеризацію, нанесення покриттів, нанотехнології, плазмотрони, лікування раку простати, імплантація іонів з джерела плазми, плазмова різка, плазмове травлення, контроль за забрудненням навколишнього середовища, нейтралізацію рідких

радіоактивних відходів і т. д. У тих чи інших випадках застосовують плазму з різними параметрами. Для контролю параметрів або дослідження плазми застосовують різні методи діагностики у випадку лабораторної плазми, плазми іоносфери та космосу. Таким чином, розвиток методів діагностики плазми є дуже важливим для подальшого розвитку фізики плазми.

Основною метою дисертаційної роботи є розвиток та вдосконалення методів мікрохвильової діагностики плазми, заснованих на рефракції мікрохвиль, і застосування цих методів для діагностики неоднорідної плазми. Данні методи є безконтактними, тобто такими, які не впливають на плазму, яка досліджується, що також підтверджує їх перспективність та актуальність. За допомогою мікрохвильових методів, які використовують рефракцію мікрохвиль в неоднорідній плазмі, можливо визначати розподіл густини плазми, розподіл магнітного поля, частоту зіткнень частинок та профіль електронної температури. Реалізація даних методів зондування плазми здійснюється похилими вузько-направленими мікрохвильовими променями. На відміну від наскрізного зондування мікрохвилі при похилому зондуванні, завдяки рефракції, мають криволінійну траєкторію, тому можуть проходити інші шари плазми. Відповідно це може надати додаткову інформацію про плазму, що досліджується у порівнянні, наприклад, з наскрізною інтерферометрією.

Тому, тема дисертаційної роботи, а саме, розвиток методів діагностики неоднорідної плазми, є актуальною темою з точки зору збільшення області застосування, підвищення інформативності, виявлення усіх можливостей мікрохвильових методів з використанням рефракції, що може зробити вклад у розвиток діагностики плазми і фізики плазми в цілому.

Обґрунтованість наукових положень і висновків

Основна частина дисертаційної роботи Сюська Є. В. складається зі вступу та п'яти розділів, які викладені у логічній послідовності та дають змогу оцінити обґрунтованість використаних методів дослідження та отриманих результатів. У першому розділі стисло описано основні методи діагностики плазми: зондові, корпускулярні, лазерні, оптичні, мікрохвильові. Наведено основні принципи і основи методу геометричної оптики, та надано основні критерії можливості її застосування для опису розповсюдження мікрохвиль в плазмі.

Проведено аналіз наукової літератури, яка присвячена методам мікрохвильової діагностики плазми, що використовують рефракцію мікрохвиль. Показано вплив рефракції на точність визначення параметрів плазми при використанні мікрохвильових методів діагностики плазми.

У другому розділі Сюсько Є. В. виконано опис установки МАКЕТ, де реалізується потужний імпульсний відбивний розряд в схрещених електричному та магнітному полях. Описано основні параметри установки та її основних систем: системи управління, електророзрядної та магнітної систем, вакуумної системи і системи напуску робочого газу. Установка МАКЕТ використовується для дослідження густої (до $\sim 10^{14} \text{ см}^{-3}$) багатокомпонентної газометалевої плазми з високим ступенем іонізації $\leq 100\%$, а також для відпрацювання мікрохвильових методів діагностики плазми. Наявність на установці обладнання для мікрохвильового зондування плазми (рупорні антени, хвилеводи та ін.), а також можливість створення плазми з густиною до $\sim 10^{14} \text{ см}^{-3}$, дозволяє використовувати її для експериментів з відпрацювання методів діагностики плазми на основі рефракції в міліметровому діапазоні довжин хвиль.

У третьому розділі було запропоновано використання периферійної частини випромінювання рупора (мікрохвильових променів, що виходять з розкриву рупора) направлено похило до поверхні плазми. Для реалізації даної пропозиції були проведені розрахунки траєкторій мікрохвильових променів в неоднорідній плазмі. Розрахунки показали, що незалежно від профілю густини з одним максимумом на осі плазмового формування, мікрохвильові промені можуть потрапляти в рупорні антени, що зміщені азимутально (на 60° та 120°) відносно осі випромінюючої антени. Проведені експерименти з використанням рефракції електромагнітних хвиль при дослідженні багатокомпонентної газометалевої неоднорідної плазми в схрещених електричних та магнітних полях продемонстрували, що в залежності від густини плазми, мікрохвильові промені з частотою 37 ГГц, попадають на фіксовані у просторі рупорні антени розміщені під кутом 60° та 120° відносно осі антени, що випромінює.

Таким чином, проведені дослідження (як розрахунки так і експерименти) продемонстрували, можливість використання периферійної частини випромінювання рупора направлено похило до поверхні плазми, у випадку, коли кут нахилу рупорних антен неможливо змінювати.

У четвертому розділі здобувачем запропонована і перевірена можливість використання периферійної частини випромінювання рупора (мікрохвильових променів, що виходять з розкриву рупора похило до поверхні плазми, яка досліджується) направлено похило до поверхні плазми, для визначення середньої густини в периферійних шарах плазми. Проведені дослідження продемонстрували можливість використання методу визначення зсуву фази мікрохвиль при похилому зондуванні для діагностики периферійної плазми. При цьому результати числового моделювання якісно узгоджуються з результатами експерименту.

У п'ятому розділі запропоновано метод визначення азимутальних неоднорідностей плазми, яка обертається. Метод заснований на спектральному і кореляційному аналізі віддзеркалених від плазми сигналів при похилому і нормальному падінні на плазмову поверхню. Виконано експериментальну перевірку та апробацію методу визначення азимутальних неоднорідностей густини плазми, що обертається. Показано принципову можливість використання цього методу для діагностики неоднорідностей плазми, що є одним з основних наукових результатів дисертаційної роботи.

Наукова новизна дисертаційної роботи

В дисертаційній роботі Сюська Є.В. вперше запропоновано, для методів мікрохвильової діагностики плазми на основі рефракції мікрохвиль, використовувати мікрохвилі, які випромінюються з периферійної частини рупорної антени і поширюються похило по відношенню до плазми, що зондується. Це дає змогу розширити можливості даних методів.

Проведений розрахунок фази мікрохвиль, які падають похило на поверхню плазми, підтвердив можливість визначення середньої густини периферійних шарів у випадку, коли наскрізна інтерферометрія неможлива. Перевіривши розрахунки експериментально, виконавши вимірювання зсуву фази хвиль при похилому зондуванні плазми з застосуванням фіксованих в просторі антен, визначено величину середньої густини периферійних шарів плазми, що утримується в схрещених електричному і магнітному полях.

Вперше, за допомогою спектрального та кореляційного аналізу амплітуди мікрохвиль, віддзеркалених від поверхні плазми при нормальному та похилому зондуванні, виявлено азимутальні неоднорідності плазми, яка

обертається, визначено кутову швидкість обертання та кути азимутального зміщення між неоднорідностями.

Всі отримані у дисертаційній роботі результати є новими і важливими для подальшого розвитку методів діагностики плазми.

Публікації здобувача

Результати, що викладені у дисертації, опубліковано в 19 наукових роботах, з цього числа 2 статті у фахових виданнях України, що входять до міжнародної наукометричної бази Scopus, 2 статті у закордонних фахових виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази Scopus, 3 статті у виданнях України, що входять до міжнародної наукометричної бази Scopus, 4 матеріали конференцій та 7 тез доповідей на міжнародних і вітчизняних конференціях, 1 робота додатково відображає наукові результати дисертації. Ці публікації повністю віддзеркалюють зміст дисертації.

Перевірка академічної доброчесності

При аналізі дисертаційної роботи, неправомірних запозичень та ознак порушення академічної доброчесності не виявлено.

Зауваження

1. Висновки до розділу 1, на мою думку, не повністю відображають матеріал викладений у цьому розділі.

2. На рис. 4.2 залежності фази уздовж траєкторії похилого променя краще розташувати одну під одною, оскільки, по осі абсцис на цих рисунках однаковий масштаб. Це дозволило б краще сприймати зображену інформацію.

3. В роботі перевірка запропонованих методів діагностики виконується лише 2-ма методами: мікрохвильова інтерферометрія з фазовим детектуванням (мікрохвильовий інтерферометр типу Маха-Цендера для вимірювання середньої густини електронів вздовж хорди) та метод відсічки мікрохвиль. На мою думку, додаткові експерименти по вимірюванню профілю густини плазми за допомогою зонду Ленгмюра тільки би покращили роботу.

Проте, зазначені зауваження не впливають на якість результатів дисертаційної роботи і обґрунтованість наведених здобувачем висновків і мають розглядатися як пропозиції для подальших досліджень.

Загальні висновки

Тема і зміст дисертаційної роботи Сюська Є. В. «Застосування рефракції мікрохвиль для діагностики неоднорідної плазми» відповідають спеціальності 104 – Фізика та астрономія галузі знань 10 – Природничі науки та відповідають вимогам передбаченими наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. №40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» та «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 р. № 167 зі змінами, внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 21 жовтня 2020 р. № 979).

Враховуючи, актуальність, обґрунтованість наукових положень і висновків, наукову новизну дисертаційної роботи та дотримання академічної доброчесності вважаю, що Сюсько Євген Васильович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальності 104 – Фізика та астрономія.

Кандидат фізико-математичних наук
(спеціальність 01.04.08 – фізика плазми),
начальник науково-дослідної частини
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка



Олег НЕДИБАЛЮК

Відома заст. доц.
Вчена СЕКРЕТАР НДЧ
КАРАУЛЬНА Н.В.
2021р.

