

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Моїсєєнка Володимира Євгеновича
«Високочастотні плазмові розряди в пробкотронах і стелараторах»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.08 – фізика плазми

Актуальність теми дисертації. Дисертаційна робота виконана в Інституті Фізики плазми ННЦ «ХФТІ». Тема дисертації стосується проблеми керованого термоядерного синтезу (КТС) в пастках з магнітним утриманням плазми. Високочастотне нагрівання плазми та очистка вакуумних поверхонь високочастотними розрядами, розглянуті у дисертації, є ключовими елементами робочого циклу термоядерних реакторів на основі токамаків, стелараторів і пробкотронів. Нейтронні джерела на основі відкритих пасток будуть побудовані і використані для досліджень матеріалів для реакторів КТС і для підкритичних ядерних систем.

Привабливість КТС зумовлена величезною сировинною базою (дейтерій і літій), відсутністю парникових газів і малою кількістю ядерних відходів. Перспективність КТС загально визнана, і зараз у світі проводяться масштабні дослідження щодо його практичної реалізації. У рамках міжнародного проекту у Франції зараз завершується будівництво експериментальної установки ITER, на якій планується реалізувати режим термоядерного горіння, який є базовим для майбутніх термоядерних реакторів. Дослідження, викладені в дисертації, роблять суттєвий внесок у розв'язання проблеми КТС.

Проблема поводження з відпрацьованим ядерним паливом теж є темою дисертації. Запропонований здобувачем ядерно-термоядерний гібрид спроможний виконувати функцію спалення малих актинідів, які є найбільш радіоактивною частиною відпрацьованого ядерного палива. Ця проблема актуальна для усього світу і для України зокрема, оскільки в нашій країні інтенсивно використовується ядерна енергетика. Підхід, який розглянутий у дисертації, а саме розділення і спалення, дозволяє вкоротити час зберігання ядерних відходів у сотні і тисячі разів.

Загальна характеристика роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та 1 додатку. Загальний обсяг дисертації складає 320 сторінок. Дисертаційна робота містить 135 рисунків. Список використаних джерел містить 163 найменування на 15 сторінках.

У *ВСТУПІ* викладенні актуальність теми дисертації, новизна здобутих результатів, мета та задачі дослідження, зв'язок роботи з науковими програмами та планами, обґрунтованість та достовірність наукових положень і висновків, висвітлений особистий внесок здобувача та наведено відомості про апробацію результатів дисертації.

ПЕРШИЙ РОЗДІЛ присвячено розробці нових чисельно стійких методів дискретизації для рівнянь Максвелла: представлені моделі на базі цих методів. Розроблений оригінальний і ефективний метод для розрахунків із сильно осцилюючими розв'язками. Наведена методика застосування методу штрафів щодо шарів нижнього гібридного резонансу в холодній плазмі. Запропонована нова не вироджена форма рівнянь Максвелла зручна для числового моделювання.

У *ДРУГОМУ РОЗДІЛІ* описані сценарії нагрівання плазми у відкритих пастках. Проаналізоване проникнення електростатичного поля через Фарадеїв екран. Зроблені розрахунки щодо методу швидкого нагрівання плазми в пробкотроні під час її створення. Наданий аналіз ефективних сценаріїв високочастотного нагрівання іонів, що плещуться, у відкритій пастці.

Описані у *ТРЕТЬОМУ РОЗДІЛІ* експерименти на Урагані-3М продемонстрували ефективність сценарію Альфвенова нагрівання з високими $k_{\parallel}$, який реалізований за допомогою компактної трьох-напіввиткової антени. Вперше впроваджено і досліджено високочастотний нагрівання плазми в Урагані-2М за допомогою колінчастовальної антени.

У *ЧЕТВЕРТОМУ РОЗДІЛІ НА* основі експериментальних досліджень запропоновано нові сценарії високочастотної чистки внутрішніх вакуумних поверхонь у атмосфері водню на Урагані-2М та на Wendelstein7-X. Досліджена імпульсна високочастотна чистка в малому магнітному полі на Урагані-3М.

П'ЯТИЙ РОЗДІЛ присвячений запропонованій здобувачем концепції стелараторно-пробкотронного ядерно-термоядерного гібриду. Проведено моделювання щодо концепції стелараторно-пробкотронного гібриду з інжекцією нейтральних атомів та зроблені оцінки щодо балансу енергії. Виконано дослідження руху швидких іонів, створених високочастотним нагріванням у стелараторно-пробкотронному режимі роботи Урагана-2М.

Дисертаційна робота віддзеркалює суттєві наукові здобутки її автора. Вона виконана на найвищому світовому рівні. Стиль викладення дисертації і її автореферату відповідає такому, що використовується в науковій літературі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, забезпечений правильним використанням загальноприйнятих теоретичних методів математичної фізики та фізики плазми та експериментальних методик.

Дисертаційне дослідження відповідає паспорту наукової спеціальності 01.04.08 – фізика плазми.

Наукові положення та висновки, подані у дисертаційній роботі, є достатньо і належним чином обґрунтованими.

Оцінка новизни та достовірності результатів. Усі результати, наведені у дисертації та у концентрованому вигляді подані у Висновках, є новими. Усі вони мають практичну цінність і становлять внесок до проблеми керованого термоядерного синтезу.

У дисертаційній роботі отримано низку нових, цікавих та практично важливих результатів, частина з яких отримана вперше у світі. Треба особливо відмітити:

- новітні числові методи і чисельні алгоритми-коди розрахунку ВЧ полів у 2D і 3D конфігураціях плазми дзеркальних пасток та стелараторів;
- нові та суттєво вдосконалені сценарії високочастотного нагріву в пробкотронах і стелараторах;
- застосування високочастотних розрядів для очищення металевих та керамічних поверхонь в плазмових пристроях;
- концепцію стелараторно-пробкотронного гібридного реактора.

Результати, наведені в дисертації цілком достовірні. Це додатково підтверджується тим, що статті, на основі яких написана дисертація, пройшли ретельне рецензування із залученням провідних спеціалістів галузі.

Повнота викладу результатів роботи в опублікованих працях. Результати дисертації повністю опубліковано у 34 наукових працях в період від 2001 до 2019 рр., зокрема в 17 статтях у провідних міжнародних спеціалізованих фахових журналах з фізики плазми і КТС та у 10 статтях міжнародних і вітчизняних загальнофізичних фахових журналах. Результати дисертації пройшли апробацію на 7 міжнародних конференціях з фізики плазми і КТС.

Кількість публікацій за темою дисертації є достатньою та відповідає вимогам МОН України щодо публікацій здобувачів наукового ступеня доктора наук.

Зауваження по дисертаційній роботі в цілому. Є декілька невеликих зауважень до дисертаційної роботи. Кількість наукових результатів, описаних у роботі, достатньо велика. З цієї причини матеріал наведений стисло, що затрудняє його сприйняття. Зокрема:

- 1) В першому розділі при запису рівнянь Максвелла [(1.14), (1.15), (1.18), (1.30), (1.31), (1.40), (1.73)] відсутнє пояснення відносно використаного параметра k_0 . Виникає питання про зв'язок між k_0 в (1.61) і k_0 в наведених рівняннях Максвелла;
- 2) В другому розділі недостатньо пояснень до позначень параметрів і величин на Рис. 2.1. Тут було б доцільно навести явний вигляд компонент тензору діелектричної проникності для дисперсійних рівнянь ШАХ і ШМЗХ в (2.1), пояснити про радіальну структуру цих хвиль та просторову структуру утримуючого магнітного поля, прокементувати зв'язок $k_{\parallel}$ і $k_{\perp}$ компонент хвильового вектора з хвильовими числами k_z , k_r і m (азимутальне число);
- 3) В розрахунках стосовно різноманітних сценаріїв ВЧ нагріву плазми в газодинамічній пастці використовується діелектричний тензор дуже схожий на кінетичний тензор однорідної плазми, яка утримується прямим магнітним полем. Тому виникає питання - як враховано внесок хлюпаючих іонів в компоненти ε_{ij} в 2D- або 3D ГДЛ? Треба лі враховувати баунс-резонансну взаємодію запертих іонів із ВЧ полями?;
- 4) У дисертації наведене дослідження сценарію Альфвенова нагрівання плазми стелараторів ВЧ полями з високими повздовжними хвильовими числами $k_{\parallel}$, який реалізований за допомогою компактної трьох-напіввиткової антени. Було би добре порівняти цей сценарій з іншими сценаріями, в якості розвитку майбутніх досліджень здобувача у цьому напрямку.

Однак, наведені зауваження ні в якому разі не впливають на достовірність основних результатів і не знижують загальної високої оцінки дисертаційної роботи.

Висновок. Дисертаційна робота «Високочастотні плазмові розряди в пробкотронах і стелараторах» виконана на високому науковому рівні та є завершеною науковою працею, в якій здобуто нові теоретичні результати та

зроблено чіткі висновки, а її зміст повністю відповідає науковій спеціальності 01.04.08 – фізика плазми. Автореферат повною мірою відбиває змісту дисертаційної роботи. Автореферат та дисертація оформлені згідно вимог Атестаційної колегії Міністерства освіти та науки України.

За обсягом проведених досліджень, їх високим рівнем, науковою новизною та практичною цінністю здобутих результатів дисертаційна робота Моїсеєнка В.Є. «Високочастотні плазмові розряди в пробкотронах і стелараторах» відповідає всім вимогам Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою Кабінету міністрів України №567 від 24 липня 2013 року (зі змінами, внесеними постановами КМ № 656 від 19 серпня 2015 року, № 1159 від 30 грудня 2015 року, № 567 від 27 липня 2016 року, № 943 від 20 листопада 2019 року і № 607 від 15 липня 2020 року), які висуваються до докторських дисертацій, а її автор, Моїсеєнко Володимир Євгенович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.08 – фізика плазми.

Офіційний опонент
професор кафедри «Фізика»
Українського державного університету залізничного
транспорту Міністерства освіти і науки України,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник



М.І. Гришанов



Особистий підпис
засвідчую _____ 20 __ р.
Завідуючий канцелярією
УкрДУЗТ

