

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Моїсеєнка 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.

Тема дисертації стосується проблеми керованого термоядерного синтезу (КТС). Практичне здійснення КТС надасть людству нове джерело енергії, яке поєднуватиме практичну невичерпність з істотними екологічними перевагами. Сировинна база для КТС – це дейтерій і літій, яких багато у земній корі. КТС не генерує парникові гази і ядерні відходи. Центральну роль у термоядерній програмі відіграють дослідження з фізики плазми. 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 внесок у розв'язання проблеми КТС. Розглянуті у дисертації високочастотне нагрівання плазми та очистка вакуумних поверхонь високочастотними розрядами є елементами робочого циклу реакторів КТС. Нейтронні джерела на основі відкритих пасток потрібні для досліджень матеріалів для реакторів КТС і для підкритичних ядерних систем.

Інша проблема, проблема поводження з відпрацьованим ядерним паливом, теж є темою дисертації. 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. Запропонований здобувачем ядерно-термоядерний гібрид спроможний виконувати функцію спалення малих актинідів, які є найбільш радіоактивною частиною відпрацьованого ядерного палива.

У сучасних дослідженнях велику роль відіграють числові методи. Фактично, без них були б неможливими ані моделювання процесів у плазмі сучасних термоядерних пристроїв, ані прогностні дослідження стосовно пристроїв наступних поколінь, зокрема міжнародного реактора-токамака ITER та оптимізованого стеларатора Wendelstein 7-X (Німеччина). В.Є. Моїсеєнко

створив цілу низку числових методів та числових моделей для розрахунку високочастотних полів у плазмі. На їх основі проведені розрахунки високочастотного нагріву плазми в пробкотронах, порівняні результати експериментів і теоретичних розрахунків щодо очищення внутрішніх вакуумних поверхонь установок Ураган-3М, Ураган-2М і Wendelstein 7-X та виконано розрахунки, які обґрунтовують нову стелараторно-пробкотронну схему гібридного термоядерно-ядерного реактору.

Отже, тема дисертації В.Є. Моїсеєнка є актуальною.

Загальна характеристика роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та одного 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: запропоновано новий метод зважених нев'язок і модель у циліндричній геометрії, обґрунтовано варіант методу шахової сітки для осесиметричних відкритих пасток, винайдено новітній метод скінченних різниць для двовимірної неоднорідної плазми. У дисертації представлені моделі на базі цих методів. Запропонована нова форма рівнянь Максвелла для числового моделювання, в якій нема виродження. Наведена методика застосування методу штрафних функцій щодо шарів нижнього гібридного резонансу в холодній плазмі. Розроблений оригінальний і ефективний метод для розрахунків із сильно осцилюючими розв'язками.

У другому розділі описані сценарії нагрівання плазми у відкритих пастках. Наданий детальний аналіз винайденого методу швидкого нагрівання плазми в пробкотроні під час її створення. Розраховані ефективні сценарії високочастотного нагрівання іонів, що плещуться, у відкритій пастці. Зроблене теоретичне дослідження проникнення електростатичного поля через Фарадеїв екран.

Описані у третьому розділі експерименти на Урагані-3М продемонстрували успішність сценарію Альфвеніа 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 проведено детальне дослідження імпульсної високочастотної чистки в малому магнітному полі на Урагані-3М. Запропоновано нові сценарії високочастотної чистки внутрішніх вакуумних поверхонь у атмосфері водню на Урагані-2М та на Wendelstein7-X.

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.

Робота вмотивована та істотно зв'язана з сучасними експериментальними дослідженнями на стелараторах. Вона виконана на найвищому світовому рівні. Дисертація ґрунтується на 34-х публікаціях автора у найбільш рейтингових журналах, зокрема, у Nuclear Fusion, Fusion Technology, Physics of Plasmas, Plasma, Physics Reports, Plasma Physics and Controlled Fusion та ін. В ній велика увага приділяється числовим методам та числовим моделям, порівнянню результатів теорії з експериментальними даними, інтерпретації експериментів, прогнозним дослідженням. Багато робіт у цьому напрямку виконано у співпраці з фахівцями провідних світових дослідницьких центрів з фізики плазми.

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, порівнянням отриманих результатів із експериментальними даними та результатами інших авторів.

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.

Наукові положення, висновки і рекомендації, що сформульовані в дисертації, достатньо повно викладені в 34 журнальних статтях, опублікованих в провідних фахових українських та іноземних журналах. Результати дисертаційної роботи доповідались на багатьох українських та міжнародних наукових конференціях.

Оцінка новизни та достовірності результатів.

Усі результати, наведені у дисертації та у концентрованому вигляді подані у Висновках є новими та оригінальними. Усі вони мають практичну цінність і заслуговують на увагу.

У дисертаційній роботі отримано низку нових, цікавих та практично важливих результатів, частина з яких отримана вперше у світі. Треба особливо відмітити новітні числові методи, нові та суттєво вдосконалені сценарії високочастотного нагріву в пробко тронах і стелараторах, очищуючі високочастотні розряди та концепцію стелараторно-пробкотронного гібриду.

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 17 працях у провідних міжнародних спеціалізованих фахових журналах з фізики плазми та керованого термоядерного синтезу, що належать до кварталів 1 і 2, та у міжнародних і вітчизняних загальнофізичних фахових журналах. Результати дисертації пройшли апробацію на 7 міжнародних конференціях.

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 досліджень, описаних у роботі, достатньо велика. З цієї причини матеріал наведений стисло, що затрудняє його сприйняття. У дисертації описаний розроблений код PLFEM, але не наведені дослідження, виконані з його залученням. Є невелика кількість граматичних описок, що є немінучим, враховуючи великий об'єм дисертації. На мій погляд дисертація виглядала ще б краще, якби автор спочатку розмістив розділи, де розглядаються фізичні проблеми, а потім розділи, де розглядаються удосконалені числові інструментарії для їх дослідження та обґрунтовуються переваги цих методів.

Однак указані недоліки не знижують загальної високої оцінки дисертаційної роботи в цілому, виконаної на найвищому науковому рівні.

Висновок.

Дисертаційна робота **«Високочастотні плазмові розряди в пробкотронах і стелараторах»** виконана на високому світовому 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 зміст дисертаційної роботи. Автореферат та дисертація оформлені згідно вимог Атестаційної колегії Міністерства освіти та науки України.

В.Є. Моїсеєнко є фахівцем високої кваліфікації, наукові роботи якого отримали визнання як в Україні, так і в світі.

За обсягом проведених досліджень, їх високим рівнем, науковою новизною та практичною цінністю здобутих результатів дисертаційна робота **«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 заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.08 – фізика плазми.

Офіційний опонент
провідний науковий співробітник
Інституту ядерних досліджень НАН України
доктор фізико-математичних наук
старший науковий співробітник

В.В. Луценко

Підпис Луценка В.В. засвідчую:
Учений секретар
Інституту ядерних досліджень НАН України



Н.Л. Дорошко

27.04.2021