

## Відгук офіційного опонента

на дисертаційну роботу Лелека Якова Феліксовича

«Фізичні явища в перехідному шарі на межі слабо іонізованої плазми»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук

за спеціальністю 01.04.08 - фізика плазми

Дослідження перехідних шарів, що виникають на границі плазми з твердою стінкою, являється однією з фундаментальних задач фізики плазми. Актуальність цієї проблеми пов'язана з широким застосуванням плазми в різноманітних технологіях обробки поверхні, в медицині, а також в пристроях для термоядерного синтезу. В цих технологіях важливим є забезпечення контролю за потоками та енергією частинок, що потрапляють з плазми на поверхню та з поверхні в плазму. Визначальну роль в формуванні цих потоків відіграють перехідні шари. Існує також науковий інтерес до дослідження перехідних шарів, пов'язаний з рядом проблем, які виникають при теоретичному розв'язку задачі. Зокрема, це наявність сингулярності в вихідних рівняннях та необхідність зшивати розв'язки на краю перехідної області. Тому тема дисертаційного дослідження Лелека Я. Ф. безумовно є актуальною.

Матеріали дисертації є частиною фундаментальної науково-дослідної роботи, яка виконана в рамках цілого ряду державних тем в теоретичному відділі Інституту фізики плазми Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України і на кафедрі прикладної фізики і фізики плазми Навчально-наукового інституту «Фізико-технічного факультету» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна МОН України. Здобувач розв'язав низку важливих задач щодо вивчення впливу перехідних шарів на розповсюдження хвиль у плазмі, а також провів дослідження впливу в'язкості іонів на їх структуру. Результати роботи є цікавими у науковому відношенні і корисними для практичного застосування.

Дисертація оформлена згідно з вимогами МОН України і складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку літератури та одного додатку.

У вступі обґрунтовано вибір теми дисертації, розкритий її зв'язок із

науковими програмами, планами та темами, сформульована мета та перелічені завдання дослідження, визначені об'єкт та предмет дослідження, коротко описані методи дослідження, представлені його наукова новизна та практичне значення, особистий внесок здобувача, апробація результатів.

Перший розділ дисертації складається з двох підрозділів і присвячений дослідженню розподілів параметрів плазми в стаціонарних газових розрядах з урахуванням в'язкості іонів та впливу перехідного шару на іонно-звукові коливання в сильно неізотермічній неоднорідній водневій плазмі. В першому підрозділі в рамках гідродинамічної моделі проведені розрахунки впливу в'язкості іонів на розподіли параметрів плазми в квазінейтральному наближенні, а в другому підрозділі досліджено вплив перехідного шару на комплексну частоту іонно-звукових коливань. При цьому в моделі враховувались ефекти іонізації, перезарядки, в'язкості та самоузгодженого електричного поля, а також залежність частоти та декременту загасання іонно-звукових коливань, пов'язаного із зіткненнями частинок в плазмі, від хвильового вектора у локальному наближенні.

Другий розділ присвячений дослідженню впливу високочастотних хвиль на потенціал ленгмюрівського зонду в торсатроні «Ураган-3М». Проведено розрахунки та оцінки випрямлення зондом потенціалу високочастотних хвиль, які збуджуються рамковою антеною, випрямленого потенціалу антени, який виникає при подачі на неї високочастотної напруги і пондеромоторної сили Міллера на показання ленгмюрівського зонду.

Третій розділ дисертації складається з двох підрозділів. У першому підрозділі досліджено вплив перехідного шару на поглинання електромагнітних хвиль при їх косому падінні з діелектрика на поверхню, що межує з плазмою, з частотою, меншою за ленгмюрівську частоту в середині плазми. Проведено розрахунки розподілу електричного поля в перехідному шарі і коефіцієнту поглинання електронами плазми електромагнітних хвиль в цьому шарі. Другий підрозділ присвячений дослідженню впливу перехідного шару на поглинання поверхневих електромагнітних хвиль. Проведено розрахунки розподілу електричного поля в перехідному шарі і коефіцієнту поглинання електронами



плазми поверхневих електромагнітних хвиль в цьому шарі.

У додатку перелічені публікації за темою дисертації.

Слід підкреслити, що результати дисертаційної роботи отримані в рамках чітко поставлених задач із застосуванням адекватних засобів досліджень. Усі розділи є взаємопов'язані і спрямовані на вирішення поставленого наукового завдання та задач дисертації.

Наведений вище аналіз матеріалу дисертації дозволяє виділити низку нових наукових результатів, до яких в першу чергу треба віднести:

1. Вперше визначено загасання електромагнітної хвилі при її косому падінні з діелектрика на поверхню, яка межує з плазмою. Показано, що загасання відбувається внаслідок поглинання енергії хвилі електронами плазми, які взаємодіють з нормальною до поверхні розділу складовою електричного поля цієї хвилі в перехідному шарі.
2. Вперше визначено загасання поверхневої електромагнітної хвилі внаслідок поглинання її енергії електронами плазми, що взаємодіють з нормальною до поверхні розділу складовою електричного поля поверхневої хвилі в перехідному шарі.
3. Вперше знайдено залежності реальної та уявної частин частоти об'ємних іонно звукових коливань як функції хвильового вектора в локальному наближенні для неоднорідних рівноважних параметрів плазми.
4. Вперше проведено оцінки впливу випрямленого зондом потенціалу високочастотних хвиль, які збуджуються рамковою антеною, випрямленого потенціалу антени, який виникає при подачі на неї високочастотної напруги і пондеромоторної сили Міллера на показання ленгмюрівського зонду.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що вони не лише вирішують конкретні важливі фундаментальні завдання фізики плазми, але і можуть бути безпосередньо застосовані в роботах прикладного характеру у сучасних плазмових технологіях. Вони можуть бути використані для аналізу та підвищення ефективності застосування розрядів, параметри яких близькі до тих,

що використані в дисертації, наприклад, жевріючого розряду. Також отримані в дисертації результати вперше пояснили причину виникнення різниці вимірів плаваючого потенціалу між ленгмюрівськими зондами в торсатроні «Ураган-3М», один з яких розташований далеко від рамкової антени, а інший біля неї.

Наукові положення дисертаційної роботи та її основні висновки виглядають достатньою мірою обґрунтованими та достовірними. Це обумовлено коректним використанням у дисертації добре апробованих теоретичних та числових методів, а також тим, що здобуті в дисертації результати відповідають загальним положенням сучасної фізики плазми, узгоджуються з сучасною теорією перехідного шару та результатами інших авторів.

Всі етапи досліджень і отримані результати дисертаційної роботи у повному обсязі представлені в 11 публікаціях, з них 6 є статтями у фахових журналах в Україні та закордоном, які включено в міжнародні наукометричні бази Scopus і Web of Science. Основні результати дисертації є апробованими, вони доповідались на міжнародних наукових конференціях як в Україні так і закордоном.

Автореферат повною мірою відбиває зміст дисертаційної роботи.

До дисертації можна висловити окремі зауваження та побажання.

1. При моделюванні перехідного шару на межі слабо іонізованої плазми зі стінкою автором використовується для електронів, а в третьому розділі також для іонів, розподіл Больцмана. В той же час оцінок чи доказів щодо доцільності застосування цього наближення в дисертації не наведено. Проте, як відомо, при достатньо великій концентрації атомів більш прийнятним є дрейфово-дифузійне наближення для заряджених частинок.
2. В роботі не приведене порівняння розрахованих автором просторових розподілів параметрів плазми в перехідному шарі з результатами, одержаними в інших роботах. Таке порівняння, на мою думку, дало б більш точну відповідь щодо місця одержаних результатів в розвитку теорії перехідного шару.
3. В рівнянні для визначення функції розподілу іонів (1.44) не



враховується доданок, який визначає вплив електричного поля на цю функцію внаслідок прискорення частинок. На мою думку, в тексті дисертації слід було б привести аргументацію такого наближення.

4. На жаль, в тексті дисертації трапляються терміни, які є не зовсім вдалим перекладом з російської мови (наприклад, замість “рівняння неперервності” вживається “рівняння безперервності”, с.32, 34 ).

Проте, наведені зауваження не можуть вплинути на загальну високу оцінку дисертаційної роботи та не змінюють позитивної думки про наукову обґрунтованість і правомірність положень та висновків дисертації.

Дисертація Лелека Я. Ф. є завершеною науковою працею, в якій наводяться результати нових важливих теоретичних досліджень та проведено аналіз цих результатів. Робота виконана на високому науковому рівні, а стиль викладення в цілому відповідає прийнятому в науковій літературі.

Підсумовуючи викладене вище, вважаю, що дисертація Лелека Я. Ф. «Фізичні явища в перехідному шарі на межі слабо іонізованої плазми» є завершеною науково-дослідною роботою. За обсягом і рівнем отриманих наукових результатів, кількістю та якістю публікацій робота відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а її автор цілком заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.08 - фізика плазми.

Кандидат фізико-математичних наук,  
доцент кафедри фізичної електроніки  
факультету радіофізики, електроніки  
та комп'ютерних систем  
Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка



Кравченко О.Ю.