

Відгук
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Якова Феліксовича Лелека
*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

В лабораторних умовах плазма завжди обмежена стінкою. Плазмові процеси поблизу межі складають окремий широкий клас, що залишається предметом постійної уваги науковці і інженерів ще від початку досліджень газових розрядів. Від часів перших експериментів різноманіття плазмових пристроїв збільшилось, і, відповідно, зростала потреба побудови досконаліших моделей. Складність теоретичних досліджень плазми поблизу межі обумовлена сильною неоднорідністю густин частинок і полів в цій області. Якщо в об'ємі відносно невелика варіація плазмових параметрів відбувається на великих просторових масштабах, що принаймні на декілька порядків перевищують дебаєвий радіус, то біля межі плазми розмір неоднорідності становить декілька радіусів Дебая. Узгодження розв'язків в двох різних за властивостями областях становить принципову трудність при описі явищ в обмеженій плазмі. Поглиблення розуміння того як поширюються електромагнітні хвилі в області неоднорідності поблизу межі, а також які процеси відбуваються в околі антен, що використовуються в пристроях КТС для нагрівання плазми є важливим не тільки для розвитку загальної теорії колективних збуджень у плазмі, але й для практичних застосувань. Тому вибір тематики дисертації можна визнати *актуальним*.

Дисертація присвячена аналітичному дослідженню та числовому моделюванню перехідного шару біля межі слабоіонізованої плазми з діелектриком. Автор вивчав розподіл частинок і полів у плазмі стаціонарних газових розрядів з урахуванням в'язкості іонів, вплив перехідного шару на іонно-звукові коливання в сильно неізотермічній неоднорідній плазмі, поглинання електромагнітних хвиль електронами на межі діелектрик - плазма. Крім того була запропонована модель, яка пояснює дані вимірювань, отримані на конкретному пристрої керованого термоядерного синтезу – торсатроні *Ураган-3М*.

Оригінальна частина роботи починається з пошуку стаціонарного розподілу густин частинок і полів в плазмі стаціонарних газових розрядів з урахуванням іонізації, перезарядки та в'язкості іонів, і, головним чином, перехідного шару, який завжди утворюється на межі з діелектриком. Автор запропонував гідродинамічну модель, що описує профілі розподілу полів і густин частинок в об'ємі плазми і поблизу межі, і розвинув оригінальний метод знаходження спільного аналітичного розв'язку в цих областях. На тлі знайденого неоднорідного профілю сильно неізотермічній слабоіонізованій водневої плазми вивчалось збудження іонно-звукових коливань. Розв'язки модельних рівнянь в області неоднорідності було отримано в локальному наближенні. Вони показали суттєву залежність частоти та декременту хвилі, що поширюється вздовж межі, від відстані до неї.

У другому розділі дисертації досліджено особливість поведінки спрямованої компоненти потенціалу плазми, вимірювану за допомогою ленгмюрівських зондів в різних

областях торсатрона *Ураган-3М*. Електромагнітні хвилі вводились в плазму за допомогою неекранованої рамкової антени. Автор виконав розрахунки того, як змінюється спрямлений потенціал при віддаленні від антени на основі припущення про вплив на плазму пондеромоторної сили Міллера. Його результати добре узгоджуються з вимірюваннями. Варто зазначати, що подібний ефект зміни спрямленого потенціалу спостерігали на токамаці TEXTOR при нагріванні плазми екранованою антеною. Тут було помічено протікання постійного струму між патрубками активної і пасивної антен: [R. Van Nieuwenhove, G. Van Oost. Experimental study of sheath currents in the scrape-off layer during ICRH on TEXTOR. Plasma Phys. Contr. Fusion (1992) **34**, p. 525]. Якщо зміна спрямленої компоненти потенціалу в тороїдальному напрямку є загальним явищем, то результати автора знайдуть ширше застосування.

Далі в третьому розділі продовжується вивчення поведінки електромагнітних хвиль поблизу межі плазми з діелектриком почате в першому розділі дисертації. Основну увагу приділено поглинанню енергії хвиль електронами в перехідному шарі діелектрик - плазма. Опис плазми здійснюється тут детальніше – за допомогою функції розподілу. Електрони поділяються на дві групи: повільні повертаються не досягнувши межі під дією поля в шарі некомпенсованого заряду, а швидкі відбиваються від межі дзеркально. З метою отримати аналітичні розв'язки модель примежевого шару автору довелося дещо спростити: він вважав, що незбурені іони, так само як і електрони, мають больцманівський розподіл. Розглянуто дві задачі, перша з яких стосується впливу перехідного шару на поглинання електромагнітних хвиль при їх косому падінні з діелектрика на межу з плазмою з частотою меншою за ленгмюрівську частоту; друга – поглинанню поверхневих електромагнітних хвиль. Цей розділ, на мій погляд, є найбільш цікавим в дисертації. Було показано, що врахування перехідного шару значно збільшує втрати енергії хвилі що падає ззовні на межу з плазмою в порівнянні зі значенням, отриманим в моделі різкої межі.

Таким чином, автор дисертації виконав різносторонні дослідження приповерхневих ефектів і отримав *нові, вагомі* результати стосовно втрат енергії поверхневих і об'ємних хвиль, спричинених неоднорідністю плазми біля межі. Відповідні висновки стосуються фундаментальних властивостей хвильових процесів у плазмі. Пояснення результатів вимірювань потенціалу в пристрої КТС має також практичне значення, оскільки сприяє кращому розумінню їхньої роботи.

Водночас до дисертації є такі зауваження:

1. При дослідженні іонно-звукових хвиль в неоднорідній плазмі поблизу межі бажано було би детальніше обговорити умови застосовності локального наближення.
2. Так само при з'ясуванні причин залежності спрямленого потенціалів від відстані до антени в торсатроні бажано було би приділити увагу умовам застосовності підходу на основі пондеромоторного потенціалу.
3. Доцільно було би показати як змінюється декремент поверхневих хвиль при переході від відомої моделі з різкою межею та дзеркальним відбиттям частинок до досконалішої моделі з перехідним шаром, запропонованої автором.

4. Останній пункт у формулюванні новизни результатів на стор. 2 автореферату є надто громіздким.

Зроблені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. Дисертація є закінченою роботою, виконаною самостійно на належному науковому рівні. Представлені результати є достовірними, вони отримані за допомогою апробованих методів, висновки та наукові положення чітко сформульовані та достатньо обґрунтовані. Зазначимо, що здобуті результати мають не тільки фундаментальну складову, але також можуть бути корисними для удосконалення функціонування пристроїв, в яких застосовуються поверхневі хвилі.

Результати дисертації повністю опубліковані в 6 статтях у фахових наукових виданнях, а крім того в матеріалах конференцій. Автореферат дисертації достатньо повно відображає її зміст, основні результати та висновки, ступінь їх наукової новизни.

Вважаю, що дисертація *Фізичні явища в перехідному шарі на межі слабо іонізованої плазми* задовольняє всі вимоги МОН України щодо кандидатських дисертацій, а її автор Яків Феліксович Лелеко заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.08 – фізика плазми.

Офіційний опонент



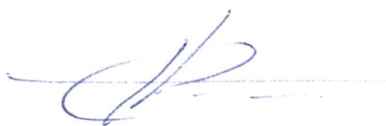
Засенко Володимир Іванович
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
заступник директора з наукової роботи
Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України

29 квітня 2021 р.

Підпис Засенка В.І. засвідчую



Вчений секретар
Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України



С.М. Перепелиця