

ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу Івка Сергія Вікторовича
«Вплив магнітного поля та неоднорідності плазми на проходження
 p -поляризованої хвилі крізь шарувату плазмову структуру»,
подану на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.08 — фізика плазми

Шаруваті середовища знайшли широке використання завдяки їх достоїнствам, обумовленим особливими механічними та електродинамічними властивостями. Міцнісні якості визначили їх використання на Землі і в космічному просторі (літальні апарати, спрямовані до комети Галлея). Параметричне рентгенівське випромінювання релятивістських електронів в кристалі та шаруватих діелектричних структурах, затребуване для детектування космічних променів у фізиці високих енергій (Тер-Мікаелян), для створення і діагностики пристроїв наноелектроніки, для розвитку сучасних технологій в галузі медицини, біології, дослідженні матеріалознавчих проблем і т.п. Особливу роль відіграють шаруваті середовища в області хвильових інтерференційних процесів (книга Л.В.Бреховских «Хвилі в шаруватих середовищах»). Поширення електромагнітних хвиль в шаруватих середовищах, особливо в шаруватій плазмі, через свою актуальність призвело до небаченого росту публікацій по дослідженню цього явища, що є основою радіофізики та оптики. Ця тематика також є важливою для фізики плазми, оскільки електромагнітні хвилі використовуються для нагріву та діагностики плазми.

Добре відомо, що в залежності від типу хвиль плазмове середовище може пропускати хвилі лише в певному діапазоні частот. Актуальним завданням є пошук механізмів, за допомогою яких була би можлива передача енергії хвилі крізь області непрозорості. Така задача становить не лише теоретичний, але і практичний інтерес, наприклад, для зв'язку з космічними апаратами, що входять до щільних шарів атмосфери або для лазерного нагріву плазми. Один з методів, що дозволяє збільшити прозорість, пов'язаний з інтерференцією між хвилею, що падає, та власними модами системи. Було встановлено, що даний ефект для p -поляризованої хвилі можна спостерігати в двошарових та тришарових плазмових системах. В цьому випадку в якості власної моди виступає поверхнева хвиля (ПХ), що існує на межі двох плазмових середовищ. Однак основні дослідження по вивченню поширення електромагнітних хвиль в шаруватих середовищах проведені у відсутності зовнішнього магнітного поля, при наявності якого у магнітоактивній плазмі збільшується кількість типів власних хвиль, виникає явище невзаємності тощо.

Дисертаційна робота Івка Сергія Вікторовича присвячена дослідженню впливу зовнішнього магнітного поля та неоднорідності густини в шарах плазми на проходження p -поляризованої хвилі крізь шарувату плазмову структуру. Розгляд впливу цих чинників дозволяє більш реалістично відобразити умови, в яких існує

плазма в природі та в експериментальних пристроях. Це і обумовлює **актуальність** проблеми, що вирішується в дисертаційній роботі. Її результати були отримані в ході виконання досліджень у відповідності з **науково-дослідними темами** кафедри прикладної фізики та фізики плазми фізико-технічного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, в першому з яких наведено огляд літератури за темою дослідження, висновків та переліку використаних літературних джерел.

У Розділі 2 досліджено *дисперсію та енергетичні характеристики поверхневих хвиль* на межі плазма-плазма у зовнішньому магнітному полі в геометрії Фойгта. Отримано та проаналізовано дисперсійне рівняння для ПХ. Знайдено межі діапазону частот, в якому існують поверхневі хвилі з додатним та від'ємним хвильовим числом. Знайдено частоту, вище якої повільні ПХ переходять в швидкі.

У Розділі 3 досліджено *прозорість двошарової плазмової структури у зовнішньому сталому магнітному полі*. Розглянуто випадок, коли електромагнітна хвиля падає на структуру під нахилом, а поля в плазмі скінуються. Хвиля була *p*-поляризованою, а зовнішнє магнітне поле було перпендикулярним до площини падіння. Знайдено умови повної прозорості двошарової структури. Досліджено вплив товщини шарів, величини компоненти хвильового вектора та величини зовнішнього магнітного поля на прозорість структури. З'ясовано, що виникають два піки залежності коефіцієнта проходження *T* від хвильового вектора, різниця між якими стає більшою, якщо магнітне поле зростає. Показано, що структура, яка повністю непрозора за відсутності магнітного поля, може стати абсолютно прозорою за наявності магнітного поля.

У Розділі 4 аналітичними та числовими методами досліджено *прозорість двошарової плазмової структури з просторово неоднорідним розподілом діелектричної проникності* в шарах. Розглядався випадок косоного падіння *p*-поляризованої електромагнітної хвилі на цю структуру. Аналітичними методами було знайдено умови повної прозорості двошарової структури у випадку тонких шарів, а також, якщо неоднорідність плазми слабка. При числовому дослідженні було розглянуто випадки тонких та товстих шарів. Для тонких шарів плазми встановлено, що умови повної прозорості визначаються середньою діелектричною проникністю в шарах та ширинами шарів. Якщо шари плазми товсті ($ka \geq 1$), то неоднорідність плазми істотно впливає на прозорість двошарової структури. Більше того, у цьому випадку мале відхилення величини хвильового вектора від резонансного значення може супроводжуватися значним збільшенням коефіцієнта відбиття.

До нових наукових результатів слід віднести:

1) На основі аналізу отриманих у другому розділі дисертації умов повної прозорості двошарової плазмової структури у зовнішньому магнітному полі, показано можливість ефективно керувати прозорістю структури шляхом зміни напруженості та напрямку магнітного поля.

2) Для структури, що знаходиться в зовнішньому магнітному полі, показано

асиметричний характер залежності коефіцієнта прозорості від хвильового числа та те, що ця залежність має два піки. Повне проходження електромагнітної хвилі крізь двошарову структуру можливо лише для певного додатного/від'ємного значення хвильового числа. Збільшуючи магнітне поле, можна практично повністю позбутися одного з піків.

3) Було показано, що двошарова структура, яка складається з тонких неоднорідних шарів плазми з довільним розподілом густини, за умов правильного підбору товщини шарів стає прозорою для р-поляризованих хвиль у широкому діапазоні хвильових чисел.

Результати, на яких базуються висновки дисертаційної роботи були отримані з використанням надійно апробованих теоретичних методів фізики плазми та математичної фізики. Аналітичні викладки доповнюються числовими розрахунками. Отримані результати співпадають з вже відомими у відповідних асимптотичних наближеннях. Отже, **наукові положення, висновки і рекомендації**, що присутні в дисертації, є достатньо **обґрунтованими**.

Практична цінність результатів, що отримано в дисертації, обумовлена можливістю їх застосування для ефективної передачі електромагнітних сигналів крізь шари густої неоднорідної та магнітоактивної плазми, для НВЧ-діагностики та нагріву плазми. В роботі набула подальшого розвитку теорія проходження р-поляризованих хвиль крізь шаруваті плазмові або плазмоподібні середовища, що може становити інтерес для суміжних областей фізики: радіоелектроніки та оптики. Матеріали дисертаційної роботи також можуть використані в курсі «Плазмової електроніки», що викладається на фізико-технічному факультеті ХНУ імені В. Н. Каразіна.

Основні результати дисертації **достатньо повно** викладено в 11 наукових працях, серед яких 6 статей у фахових вітчизняних і міжнародних журналах та **апробовано** на 5 наукових конференціях.

В авторефераті повністю розкрито основні результати і положення, що виносяться на захист, і правильно відображено зміст дисертаційної роботи.

Зауваження до дисертації:

1) Не враховано вплив теплового руху електронів на дисперсійні властивості хвиль та їх проходження крізь двошарову плазмову структуру.

2) Розглянуто тільки випадок хвиль малої амплітуди. Нелінійні ефекти, які матимуть місце за поширення інтенсивних електромагнітних та поверхневих хвиль у плазмі, бажано оцінити і врахувати.

3) Розглянуто квазістаціонарні задачі. При цьому, важливо б було з'ясувати, як відбувається в часі збудження поверхневих хвиль при падінні з вакууму на шар плазми електромагнітного випромінювання.

4) Мають місце технічні та граматичні огріхи. Так, зустрічається дивне поєднання слів (стор. 26 «...профіль коефіцієнта діелектричної проникності...»); посилення 74 неповне – відсутнє слово «plasma» у назві роботи та ініціали автора); хронологія цитування в тексті дисертації не відповідає порядку переліку використаних літературних джерел.

Разом з цим, слід зазначити, що наведені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

Висновок. Дисертація Івка С.В. є завершеною науковою працею, що містить нові науково обґрунтовані теоретичні результати в області знань про вплив магнітного поля та неоднорідності плазми на поширення р-поляризованої хвилі крізь шарувату структуру. Вважаю, що за актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, кількістю публікацій, новизною та практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота Івка Сергія Вікторовича «Вплив магнітного поля та неоднорідності плазми на проходження р-поляризованої хвилі крізь шарувату плазмову структуру» задовольняє вимогам ДАК МОН України до кандидатських дисертацій, зокрема пп. 9, 11, 12 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013р. №567, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.08 – фізика плазми.

Офіційний опонент:

член-кореспондент НАН України,
доктор фіз.-мат. наук, професор,
керівник теоретичного відділу,
заступник директора з наукової роботи,
Інституту плазмової електроніки та нових методів прискорення
ННЦ “Харківський фізико-технічний інститут” НАН України

Оніщенко І.М.

Підпис Оніщенко І.М. засвідчую.

Вчений секретар ННЦ “ХФТІ” НАН України
кандидат фіз.-мат. наук



Волобуєв О.В.

«09» 02 2016 р.