

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Левчук Ірини Павлівни «Збудження несинусоїдальних хвильових збурень у нерівноважній плазмі», подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.08 – «фізика плазми»

Для різноманітних задач прискорення згустків та пучків заряджених частинок високоенергетичними релятивістськими згустками електронів планується використовувати плазмові хвилеводи, де проблеми пробою не такі актуальні. Поля в плазмі можна створити досить значної амплітуди. Використовують досить короткі електронні пучки, повздовжній розмір яких декілька довжин плазмової хвилі, по-перше для підвищення амплітуди кільватерного поля. По-друге можна розраховувати на більшу стійкість тонкої структури пучка і більш стабільне значення амплітуди поля прискорення. Фізика таких систем досить складна, тому задача створення реальних приладів для прискорення потребує зусиль теоретиків. В дисертації автором розглянуто низку пов'язаних між собою задач генерації поля при інжекції в плазмове середовище. Аналізується ефективність прискорення згустків та сумісно їх радіальна стійкість, тому *актуальність теми дисертації* очевидна.

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів основного тексту, висновків та переліку використаних літературних джерел.

В першому розділі дисертації найбільш цікавим є огляд робіт, що проведено попередниками по збудженню кільватерних полів у плазмових структурах послідовністю згустків.

В другому розділі проаналізовано вплив на ефективність кільватерного поля співвідношення довжини згустків до довжини збуджуваної хвилі в плазмі, розглянута проблема вибору заряду першого згустку, виявлено важливість вибору відстані між згустками та повздовжнього розподілу густини згустків - форми згустку. Розглянуто процеси фокусування згустку попередніми згустками і його самофокусування. Показано, що важливо використовувати згустки, повздовжній розмір яких є половиною довжини резонансної хвилі. Виявлено вплив зміни частоти проходження згустків відносно з частотою коливань в системі. В роботі показано, що фокусування згустків посилюється, а гальмування слабшає, що однак відповідає слабкому рівню генерації всій системи згустків, що не завжди корисно.

В розділі 3 автором роботи за допомогою колег було визначено розміри згустків, та щільність електронного току, вплив полів, що

прискорюють та фокусують згустки набагато ретельніше, ніж у попередніх роботах, представлено конкретні рекомендації для побудови таких пучків електронів, що самоузгодженим чином і прискорюють, і фокусують токи пучку. Розглянуто можливість збільшення коефіцієнту трансформації, який позначено як T_E . Рекомендується також профілювати згустки по довжині та заряду, однак не представлено механізм такого профілювання.

Автором показано стаціонарний режим роботи прискорювача, коли підібрані згустки, котрі прискорюються, а між ними розміщені згустки, котрі збуджують кільватерне поле. В такому випадку показано, що згустки, що прискорюють, ефективно фокусуються, а інші, які автор хоче прискорити, ефективно набирають енергію.

В четвертому розділі увага зосереджена на питаннях дефокусування згустків. На це впливає різниця частоти інжекції згустків та частоти власних коливань середовища. Відмічається, що це пов'язано з зсувом згустку як цілого в області, де радіальні виштовхуючі сили більше. Також згустки, довжина яких більша половини довжини хвилі, частково дефокусуються. Впливає також на рівень дефокусування радіус згустку, відхилення траєкторії пучка від центру хвилеводу, що може стати результатом процедури штучного фокусування. Виявлено поперечні коливання часток згустку, подібні бетатронним. Всі ці ефекти не тільки виявлено якісно, але також зроблено кількісні оцінки та показано вплив різних параметрів на процеси дефокусування, що робить цю роботу дуже корисною для наступних дослідників.

Проаналізоване кільватерне поле в плазмі, густина якої зростає з часом, при цьому знайдено умови збільшення амплітуди поля при підсиленні фокусування пучка, що відкриває нові можливості для створення нових, більш реальних приладів.

Розглянутий в розділі 4.3 процес модуляції пучку з утворенням послідовності згустків досить непогано вивчено в роботах попередників, тому на перший погляд його аналіз може бути лише ілюстрацією подібності робіт, де вивчалась фізика взаємодії пучка з плазмою і фізика збудження кільватерних полів. Треба відмітити, що в умовах пучка, довжина якого набагато більше довжини хвилі, та при значній кількості згустків фізика процесів стає дуже подібною, і навіть термін «кільватерне поле» стає не зовсім придатним.

Однак в дисертації представлено випадки профілювання густини такого пучку, що змінює його динаміку, та основна увага приділяється процесам його фокусування в умовах розвиненої пучкової нестійкості, що є новим елементом для плазмової електроніки. Детально вивчено повздовжне

профілювання довгого пучку, хоча поперечне профілювання також треба було детально розглянути.

П'ятий розділ присвячено іншим темам, не пов'язаним з попередніми задачами кільватерного збудження та прискорення. Це свідчить про широке коло інтересів автора дисертації, хоча й не вказано на зв'язок цієї задачі з попередніми.

По-перше розглянуто збудження окремого солітоноподібного імпульсу електричним полем в плазмі поблизу металевої фольги. Залежність ширини імпульсу від його амплітуди подібна знайденої в експериментах.

По-друге, в дисертації приведені дисперсійні рівняння, що показують області збудження та пригнічення вихрових рішень в умовах нестійкостей, що збуджуються як в необмеженому просторі, так і в циліндричній радіально неоднорідній плазмі в схрещених радіальному електричному і поздовжньому магнітному полях. Ці результати досить цікаві і, взагалі кажучи, можуть бути корисні для спеціалістів, що працюють над цими питаннями.

Можна зробити деякі зауваження по тексту дисертації та автореферату:

1. Збудження кільватерних полів в принципі може бути в плазмі, що нестационарна та неоднорідна. Тоді ці поля будуть не власними полями в плазмі, а вимушеними збуреннями, амплітуда яких, як це часто буває, значно менша (бо власні поля резонансні, і тому їх амплітуда завжди більша). Треба було б в'яснити наскільки амплітуда таких нерезонансних збурень менша резонансних, або довести що вони порівнювальні, або навіть більше. Здається цей момент потребує аналізу. Хоча насправді згусток збуджує ленгмюровські коливання, або резонансні коливання хвилеводу в локальній області, тому можна вважати, що це не зовсім вже такі нерезонансні збудження і амплітуда їх може бути значною.
2. Виникає питання про стартовий режим прискорювача, та низка питань подібних. Наприклад, чим відрізняються згустки, що прискорюються від тих, яких прискорюють. Іншими словами, технічна реалізація і загальна ціль такого приладу здається сумнівною і потребує доробки. Хоча, з точки зору теоретичного, академічного дослідження дуже цікаві результати такого підходу можуть наштовхнути на більш раціональну схему прискорення.
3. Треба було б проаналізувати більш коректну самоузгоджену систему пучок-плазма, де сам пучок призводить до росту густини плазми. Цей аналіз мабуть можна рекомендувати зробити автору дослідження.

4. Деякі твердження автора, зокрема в авторефераті, суто суб'єктивні, наприклад перебільшене значення для світової спільноти полів, що прискорюють частки.

Зроблені зауваження не знижують наукової та практичної значимості отриманих в дисертації результатів.

Основними новими результатами, отриманими в дисертації є:

1. Найбільш важливим результатом автора дисертації є зроблені висновки про поперечну стійкість неодномірних пучків в плазмі при розвитку нестійкості на її нелінійній стадії, на основі попереднього аналізу процесів фокусування системи згустків, що вкрай важливо для створення та експлуатації багатьох приладів плазмової електроніки.

2. Вперше аналітично і числовим моделюванням отримані два типи лінз для коротких згустків, що забезпечують однорідне в просторі фокусування.

3. Детально проаналізовано вплив гальмуючого та прискорюючого полів на згустки.

4. Розглянуто формування солітоноподібного імпульсу поблизу металевої поверхні, та характерні параметри збуджених вихорів в плазмі в схрещених радіальному електричному та поздовжньому магнітному полях з урахуванням поздовжньої неоднорідності, скінченного часу виходу з системи електронів та іонів.

За рахунок розв'язання цілої низки досить складних фізичних задач була створена **закінчена наукова робота, яка має значну теоретичну, та практичну значимість.**

За темою дисертаційної роботи опубліковано 12 статей в спеціалізованих фахових наукових виданнях України, що задовольняють вимогам ДАК МОН України до публікацій, на яких ґрунтується дисертаційна робота, 9 з яких входять до всесвітньої бази Scopus та 8 з яких входять до всесвітньої бази Web of Science; 13 робіт в збірниках наукових праць, в матеріалах та тезах доповідей на наукових конференціях, 10 з яких доповідались особисто.

Результати дисертації **актуальні**, положення та висновки **достовірні та обґрунтовані**, оскільки був використаний коректний математичний апарат та серйозні числові методи дослідження. Експериментальні дослідження проведено **серйозно та ґрунтовно**, матеріали досліджень **достатньо ілюстровано**.

Автор продемонструвала високий рівень кваліфікації. Результати роботи будуть корисні для розвитку теоретичних уявлень та методів прискорення частинок, а також для формування системного підходу до розробки низки пов'язаних фізичних процесів, які є основою для прискорювальних комплексів.

Структура дисертації в повній мірі відповідає вимогам, які існують, до кандидатських дисертаційних робіт. Дисертація є завершеною роботою. Зміст дисертації відображає постановку теоретичних задач, методи їх вирішення та інтерпретацію отриманих результатів.

Автореферат дисертації досить повно відображає зміст дисертації, основні результати дисертаційної роботи вчасно опубліковані.

Вважаю, що дисертація Левчук Ірини Павлівни «Збудження несинусоїдальних хвильових збурень у нерівноважній плазмі» задовольняє вимогам ДАК МОН України до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.08 – фізика плазми.

Офіційний опонент

Доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач кафедри Харківського національного

університету імені В. Н. Каразіна

Куклін В.М.

Підпис Кукліна В. М. професора,

доктора фізико-математичних наук,

завідувача кафедри ХНУ імені В. Н. Каразіна підтверджую

Вчений секретар ХНУ імені В. Н. Каразіна

доцент, кандидат політичних наук

Вінникова Н.А.

НАЧАЛЬНИК СЛУЖБИ УПРАВЛІННЯ
ПЕРСОНАЛОМ

