

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Приступи Валерія Івановича «Збудження когерентних кільватерних полів у діелектричних, плазмових та плазмово-діелектричних мультибанчевих кільватерних прискорювачах», подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.20 - «фізика пучків заряджених частинок»

Для різноманітних задач створення пучків високоенергетичних заряджених частинок планується використовувати методи прискорення в плазмових хвилеводах, де проблеми пробою не такі актуальні. З другого боку поля в плазмі також можна створити досить значної амплітуди. Серед різних методів прискорення значну увагу в останній час стали приділяти прискоренню в полях пучково-плазмової нестійкості. Причому використовують досить короткі електронні пучки, повздовжній розмір яких від однієї довжини плазмової хвилі, яка збуджується в системі, до декількох таких довжин. Спочатку використовували дуже короткі пучки-згустки електронів, розраховуючи на генерацію кільватерного поля позаду пучка, потім для підвищення амплітуди поля повздовжню довжину пучка-згустку почали збільшувати. В цьому разі можна було також розраховувати на більшу стійкість тонкої структури пучка і більш стабільне значення амплітуди поля прискорення. Також для більш прогнозованої роботи таких приладів все частіше стали пристосовувати гібридні системи, де крім плазмового наповнення хвилеводу використовували діелектричні структури.

Якщо в цих хвилеводах відбиття збуджених хвиль від торців незначне, то поля в них дійсно формувалися тільки кільватерним випромінюванням згустків, а якщо таке відбиття хвиль було істотне, то процес генерації доповнюється іншим механізмом, коли згустки взаємодіють з полем резонатору.

Як видно, фізика таких систем досить складна і створення реальних приладів для прискорення потребує зусиль як експериментаторів, так і теоретиків. В дисертації автором розглянуто декілька пов'язаних між собою

експериментальних задач генерації поля при інжекції в плазмовий, діелектричний та гібридний хвилеводи короткого релятивістського електронного пучку, що представляє собою низку згустків. Вивчається ступінь когерентності поля, що генерується, та стійкості таких згустків, повздовжній розмір яких менше довжини плазмового чи хвилеводного поля, що збуджується. Такі системи дозволяють зменшити габарити та струм пучка, що впливає на вартість та складність системи в цілому. Тому *актуальність теми дисертації* очевидна.

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів основного тексту, висновків та переліку використаних літературних джерел, 4 сторінки займає додаток.

В першому розділі дисертації найбільш цікавим є огляд робіт, що проведено у ННЦ ХФТІ по збудженню кільватерних полів у гібридних плазмово-діелектричних структурах послідовністю згустків.

В другому розділі розглядаються матеріали та техніка, що дозволяє проводити експерименти по дослідженню збудження кільватерних полів в діелектричних, плазмових та гібридних плазмово-діелектричних структурах, що розміщувалися на виході лінійного резонансного прискорювача електронів «Алмаз-2М» в ННЦ ХФТІ, що продукував послідовність релятивістських електронних згустків.

Третій розділ присвячено дослідженню проходження 6 тисяч згустків через досить коротку систему - діелектричний хвилевод, в якому одночасно може знаходитися один, два і ... декілька згустків. При цьому в хвилеводі амплітуда поля лінійно зростала з ростом його довжини (тобто кількості згустків, які там одночасно знаходились), при відсутності відбиття від торців. Наявність відбиття (тобто існування резонатора), піднімала амплітуду поля і спотворювала цей лінійний закон (згідно з рис.3.7 порівняно з рис.3.11). Використання резонаторних якостей системи при більшій добротності дозволяло збільшити амплітуду поля в системі, яка насичувалася вже після проходження малої частини всіх згустків. Розлад частот розділяв згустки на

дві групи, перша в інтегралі віддавала частину своєї кінетичної енергії полю, а друга також інтегрально навпаки відбирала цю енергію. Аналіз енергетичного спектру часток дозволяв виявити ефективність прискорення.

Четвертий розділ аналізує результати експериментів зі збудження кільватерних полів послідовністю релятивістських електронних згустків у плазмі. Розглянуто умови іонізації нейтрального газу за допомогою головної частини пучка - системи електронних згустків. Показано, що плазма з плазмовою частотою, яка близька до частоти слідування згустків виникає тільки при малому тиску (область яких для нерелятивістського випадку 10^{-10} ... 10^{-11} Торр зсувається до 0.1-1.0 Торр) и дуже великого - практично атмосферного. Експериментально підтверджено поперечне фокусування полем згустків. Вибрано резонаторний режим, коли амплітуда поля в 5 разів більша, ніж в випадку хвилеводу, який, мабуть вважається, не має відбиття хвиль від торців. Фокусування и дефокусування пов'язується з різницею частот - плазмової та слідування згустків. Крім того, показано, що частина пучку може також прискорюватися в збуджених головою пучка полях.

П'ятий розділ включає результати дослідження збудження кільватерних полів послідовністю релятивістських електронних згустків у гібридних плазмово-діелектричних структурах. Показано, що проблемою є невідповідність частоти слідування згустків та частот двох хвиль- об'ємної плазмової та поверхневої хвилеводної при щільності плазми, меншій резонансної $p_r = 10^{-10}$ см³, що призводить до зниження ефективності взаємодії пучка з хвилями. При меншій щільності плазми ефективно збуджується хвилеводне кільватерне поле. Експериментально автор використав хвилевод, довжина якого дорівнювала довжині хвилі, при цьому кожний з великої кількості згустків пучку генерує своє поле, а поле попередніх зникає. В режимах резонатору та хвилеводу (це означає відсутність відбиття від торців) амплітуда поля плазмової об'ємної хвилі суттєво відрізняється. В резонаторі при виконанні резонансних умов вона більше приблизно так само як і раніше в 4-5 разів. Щільна плазма порушує резонансні умови, частоти не

співпадають и ефективність генерації поля стає малою. Фокусування в умовах існування двох хвиль стає дуже складною задачею і потребує підбору параметрів та умов.

Можна зробити деякі зауваження по тексту дисертації та автореферату:

1. Використання в експериментах, що представлено в 4 розділі, резонатору, який мабуть має свою резонансну частоту, яка повинна якось співвідноситись с частотою плазмовою і частотою слідування згустків. Мова ж іде про співвідношення тільки двох останніх. Це треба було б пояснити.
2. В розділі 4 була б більш інформативною залежність (Рис. 4.10) амплітуди збудженого в плазмі кільватерного поля та струму пучка не від тиску нейтрального газу, а від густини плазми, що утворюється при його іонізації електронами згустків.
3. На графіках експериментальних залежностей не наведено похибок вимірювань.
4. Текст дисертації не позбавлений орфографічних помилок (стор. 80 «...роладу замість розладу»), зустрічаються російськомовні позначення одиниць фізичних величин (стор.84 Рис 3.23 і 3.24 МзВ замість MeV).
5. Деякі осцилограми мають дуже дрібні надписи (Рис. 3.13, 3.14), що ускладнює їх прочитання.
6. Деякі спроби пояснити деталі механізмів, які лежать в основі режимів збудження потребують корекції, однак робота експериментальна і її сенс знайти нові підходи до можливостей прискорення часток, що і було представлено.

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

Основними новими результатами, отриманими в дисертації є:

1. Вперше експериментально підтверджена пропорційне зростання амплітуди кільватерного поля зі зростанням кількості згустків, які проходять крізь систему, яка позбавлена відбиття поля від торців. В умовах відбиття від

торців, в так званому режимі резонатору, амплітуда поля була значно вище. В цьому режимі вже незначна частина згустків виводила амплітуду на насичення. Максимум поля підростав з ростом добротності резонатору. Розлад частот розділяв згустки на дві групи, перша в інтегралі віддавала частину своєї кінетичної енергії полю, а друга також інтегрально навпаки відбирала цю енергію.

2. Показано, що для генерації плазми в нейтральному середовищі хвилеводу досить впливу самого пучку, що не потребує спеціальних пристроїв для створення плазми. Продемонстровано можливість зміною густини плазми, поперечним розміром пучку, та за рахунок його діафрагмування впливати на процес фокусування. Розроблена ефективна експериментальна діагностика фокусування згустків.

3. Показано, що в гібридному хвилеводі збуджуються дві хвилі поля. Досліджено фокусування згустків в умовах існування двох хвиль, що являє собою дуже складною задачею і потребує підбору параметрів та умов, зокрема густини плазми, меншої критичної.

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

За темою дисертаційної роботи опубліковано 13 статей в спеціалізованих фахових наукових виданнях України, що включені до міжнародних наукометричних баз. Результати досліджень достатньо апробовані в доповідях на значній кількості конференцій та семінарів, які відомі спеціалістам.

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 в цілому продемонстрував високий рівень кваліфікації. Результати роботи будуть корисні не тільки для розвитку фізичних та технічних методів прискорення частинок, а також для формування системного підходу до розробки низки пов'язаних фізичних процесів, які є основою для компактних прискорювальних комплексів.

Структура дисертації в повній мірі відповідає вимогам, які пред'являються до кандидатських дисертаційних робіт. Дисертація є цілісною завершеною роботою. Зміст дисертації послідовно відображає постановку теоретичних задач і експериментів, методи їх вирішення та інтерпретацію отриманих результатів.

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

Вважаю, що дисертація Приступи Валерія Івановича «Збудження когерентних кільватерних полів у діелектричних, плазмових, та плазмово-діелектричних мультибанчевих кільватерних прискорювачах» задовольняє вимогам ДАК МОН України до кандидатських дисертацій, зокрема п.п. 9,11,12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико - математичних наук за спеціальністю 01.04.20 - фізика пучків заряджених частинок.

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.

