

Відгук
офіційного опонента на дисертаційну роботу Князева Романа Романовича
«ПРИСКОРЕННЯ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК КІЛЬВАТЕРНИМИ ПОЛЯМИ В
ПЛАЗМОВО-ДІЕЛЕКТРИЧНИХ СТРУКТУРАХ», яку подано на здобуття наукового
ступеня кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.08 - фізика плазми

Актуальність теми. Дисертаційна робота Князева Р.Р. виконана в Інститут плазмової електроніки Національного Наукового Центру "Харківський Фізико-технічний Інститут" НАН України. В роботі досліджена актуальна тема прискорення заряджених частинок (електронів) кільватерними полями. Вивчення даної проблеми є досить важливим для подальшого розвитку науки і знаходить відгук серед світового фізичного співтовариства. В роботі Князева Р.Р. вперше запропоновано використовувати комбіновану плазмово-діелектричну кільватерну структуру. Це є унікальною складовою даної роботи, що вирізняє її серед інших робіт в цій галузі. Така структура дозволяє отримувати високі темпи прискорення згустків заряджених частинок, характерні для суто діелектричних кільватерних систем. В той же час, присутністю плазми в прольотному каналі діелектричної структури зумовлює радіальне фокусування згустків. Змінюючи матеріал та густину плазми, лінійні розміри діелектричної структури можливо підбирати оптимальні співвідношення для сил, що діють на релятивістські частинки в плазмово-діелектричному кільватерному прискорювачі (ПДКП). Подальші дослідження прискоренням заряджених частинок кільватерними полями, а також розвиток ідей, що пропонує дисертант можуть привнести нові прориви в фізиці плазми та фізиці елементарних частинок, тож можна сказати, що тема дисертації є важливою і актуальною.

Публікації. Основні результати, що складають зміст дисертації, опубліковано в 28 наукових працях, у тому числі в 12 статтях надрукованих в фахових рецензованих наукових журналах, а також у 16 публікаціях у збірниках матеріалів національних та міжнародних наукових конференцій з фізики плазми та КТС.

Структура дисертації. Повний обсяг дисертації становить 142 сторінки. Текст дисертації складається із вступу, шості розділів основного тексту з 64 рисунками, висновків, списку використаних літературних джерел з 144 найменувань.

У вступі висвітлено мету, актуальність, наукову новизну отриманих результатів, а також об'єкт та предмет досліджень. Було надано чималий список конференцій, на яких були представлені матеріали даної дисертації. Особистий внесок дисертанта у роботи, що були опубліковані в співавторстві, зазначений чітко та ясно.

Перший розділ дисертації складається з огляду літератури про проблеми прискорення заряджених частинок. В ньому можна знайти інформацію про перспективи розвитку та теперішній стан класичних прискорювачів, також ті ж самі питання розкриваються щодо альтернативних методів прискорення, зокрема для кільватерного методу. В розділі проводиться аналіз сучасного стану експериментальних та теоретичних досліджень пов'язаних з кільватерними методами. Розглядались чисто плазмові моделі кільватерних прискорювачів, для яких характерні більш високі темпи прискорення, та чисто діелектричні, які є більш практичними. Що доцільно призвело до ідеї дослідити комбіновану структуру. На підставі проведеного аналізу літератури сформульовано задачі, які були вирішені у дисертації.

Другий розділ присвячений методиці отримання аналітичних виразів для кільватерних полів, які збуджуються в плазмово-діелектричних структурах згустками релятивістських електронів. Викладено результати числових розрахунків сил, що діють на тестові частинки, висвітлено ефект одночасного прискорення і радіального фокусування прискорюваного згустку, наведено оптимальні параметри для демонстрації цього ефекту.

У *третьому розділі* показано, як за допомогою включення власних квазістатичних полів згустку можна вдосконалити аналітичну модель. Наведені аналітичні вирази, що описують кільватерні поля, що збуджуються в плазмово-діелектричній структурі згустком заряджених частинок, з урахуванням власного кулонівського поля згустку. Вплив власного квазістатичного поля згустку на радіальну динаміку частинок згустку залежно від енергії згустку також було проаналізовано.

Четвертий розділ роботи – це розділ про числове моделювання процесу збудження кільватерних полів у плазмово-діелектричному хвилеводі. У цьому розділі є аналіз відповідності результатів, отриманих за допомогою аналітичних досліджень та за допомогою моделювання методом частинка-в-комірці. Також розглянуті лінійний та сильно нелінійний (blowout) режими збудження структури, показано, що для фокусування в blowout-режимі важливу роль відіграє не тільки співвідношення густин згустку та плазми, а й вихідна кількість електронів плазми.

У *п'ятому розділі* розглянуто питання збудження кільватерних полів в плазмово-діелектричній структурі за допомогою серії згустків. Виявлена та проаналізована залежність амплітуди кільватерного поля від густини плазми, що заповнює пролітний канал діелектричної структури. Представлені можливі варіанти тонких налаштувань системи з допомогою зміни ширини діелектричної вставки. Проаналізовані різні способи зміни цієї ширини. Показано найбільш оптимальний варіант параметрів ПДКП.

У *шостому розділі* представлені результати числового моделювання динаміки прискорюваного згустку в плазмово-діелектричних структурах. Детально розглянуто вплив власного початкового емітансу згустку на його динаміку. Модель принципово нового методу транспортування згустків заряджених частинок у діелектричних хвилевідних структурах за допомогою масиву плазмових комірок, які розділяються вакуумними проміжками, була представлена в роботі і були наведені результати числового моделювання для такої структури.

У *висновках* коротко викладено підсумок і результати дисертаційного дослідження за темою «Прискорення заряджених частинок кільватерними полями в плазмово-діелектричних структурах».

Основні результати, здобуті в дисертаційній роботі, полягають у наступному:

1. Вперше проаналізовано електромагнітні властивості ПДКП-структур з дрейфовим каналом, заповненим ізотропною плазмою, збуджуваних електронними згустками. Показано, що у лінійному режимі кільватерне електромагнітне поле складається з трьох складових – поля діелектричних хвиль, поля ленгмюрівської хвилі і квазістатичного поля згустків.

2. У дисертаційній роботі детально досліджено поздовжню і поперечну структури електромагнітного поля в ПДКП. Вперше показано, що поперечна сила, що діє на електрони ведучого згустку, завжди є фокуруючою (в режимі одиночного ведучого згустку), поперечна сила, що діє на частинки прискорюваного згустку, може бути фокуруючою.

3. Доведено, що фокуруюча сила виникає в наслідок збудження ленгмюрівської хвилі, що робить переважний внесок до поперечної сили. У той самий час внесок ленгмюрівської хвилі до поздовжньої сили, що прискорює тестові частинки, є незначним. Поздовжня сила, здебільшого, визначається хвилями, які відповідають власним модам діелектричного хвилеводу.

4. Доведено, що власне квазістатичне поле згустків локалізовано поблизу згустків. Зі збільшенням щільності плазми і збільшенням енергії згустку вплив власного квазістатичного поля згустку зменшується.

5. Вперше показано залежність амплітуди кільватерного поля у багатобанчевому ПДКП від густини плазми, яка знаходиться в певному інтервалі навколо оптимальної. Оптимальна густина плазми визначається з умови $\omega_p a / v_0 \sim 2$, де ω_p – плазмова частота, v_0 – швидкість згустку. a – радіус дрейфового каналу. Найкращий варіант підстроювання власних частот – зміна зовнішнього діаметра діелектричної вставки, при яком інтерва

щільності плазми ширше і діелектричні хвилі роблять помітний внесок до сумарного кільватерного поля, що дозволяє підбирати найкращий матеріал для діелектричної вставки в залежності від конкретних розмірів структури.

6. Числове моделювання методом частинка-в-комірці (ХООРІС) підтвердило аналітичні результати, отримані в лінійному режимі ("underdense plasma") за умови $n_p/n_b > 3$, де n_p і n_b - щільність частинок плазми і електронів згустку, відповідно. Числове моделювання нелінійного режиму ("blowout") показало, що фокусуюча сила залежить не тільки від відношення n_p/n_b , але і від початкової кількості електронів плазми.

7. Запропоновано новий спосіб уникнення перефокусування згустків в ПДКП без зовнішнього магнітного поля. Суть цього способу полягає у розбитті суцільної ПДКП-структури вакуумними проміжками. Числові розрахунки, виконані для електронів прискорюваного згустку, показали, що реалізація запропонованого способу дозволяє уникнути надмірного стискання прискорюваного згустку в плазмі.

Зауваження. Дисертаційна робота має, окрім великої кількості цікавих наукових результатів, також і деякі зауваження, в основному, редакторського толку:

1. Перше зауваження пов'язано з назвою дисертації. Воно занадто узагальнює з претензією на "Метод прискорення заряджених частинок різного сорту в ПДКП", зокрема іони. Але про прискорення іонів в дисертації практично нічого не говориться. Хоча за структурою електромагнітного поля в фарватері драйверного згустку електронів повинна виникати потенційна яма для іонів, що дозволяє їх прискорювати. Відповідні експерименти щодо прискорення іонів електронним пучком в плазмовому діоді проводилися успішно в СФТІ (Сухумський фізико-технічний інститут, Плютто А.А) в 60-ті роки.

2. Друге зауваження пов'язано з пропозицією прискорювати позитрони кільватерним полем одиночного електронного згустку або серії згустків. Безумовно, це дуже цікава і корисна пропозиція. Але варто було б докладніше роз'яснити, як можна технічно вводити в компактний і дуже вузький хвилеводний канал ПДКП послідовність релятивістських електронних і позитронного згустків.

3. Третє зауваження стосується форми електронних згустків: і драйверних, і що прискорюється. У дисертації детально розглянуті три форми згустків: нескінченно-тонкий згусток кінцевого радіусу, суцільний циліндр кінцевих розмірів, порожнистий циліндр кінцевої довжини і товщини. Але не розглянуті такі форми згустків, як сферична, куля або кільце кінцевих розмірів. У зв'язку з цим, було б цікава думка дисертанта про те, які ж форми згустків є найкращими для прискорення кільватерними полями.

4. Четверте зауваження пов'язано з кількістю публікацій здобувача, що увійшли в дисертацію. В авторефераті зазначено 26 публікацій, в дисертації - 27 публікацій, а за моїми підрахунками їх 28 (схоже не врахована стаття [132]).

5. П'яте зауваження знову про посилання на роботи дисертанта. Наприклад, в преамбулі до шостого розділу відзначається, що матеріали глави опубліковані в роботах [23-25, 33, 40]. При цьому по тексту розділу ми бачимо посилання на свою ж роботу [17], а посилання на роботи [23-25, 33, 40] по тексту глави відсутні.

6. На стор.52 рівнянням (3.2) описується розподіл щільності частинок в згустку. При цьому не роз'яснено яким чином в (3.2) входить кількість частинок або повний заряд частинок в згустку.

7. На стор.93 відсутні коментарі до двох шкалах вимірювання поздовжньої сили на Рис.5.11.

8. На стор.104 і стор.105 важливі але громіздкі формули (6.5), (6.6.) (6.7) дублюють вираження (3.4), (3.5.) (3.6) з третього розділу (а не з другого розділу).

9. У анотаціях до автореферату не сказано ні слова про прискорення саме релятивістських електронів за допомогою драйверних згустків саме релятивістських електронів.

Однак, наведені зауваження не стосуються основних положень, що виносяться на захист, не впливають на достовірність отриманих результатів і не знижують високої оцінки дисертаційної роботи Князева Р.Р.

Відповідність дисертації встановленим вимогам та оцінка в цілому
Дисертаційна робота ґрунтується на роботах, які опубліковані у провідних фахових виданнях і відповідають чинним вимогам ДАК МОН України щодо публікації результатів дисертаційних досліджень. Особистий внесок дисертанта в роботи, що виконані зі співавторами, точно відображений у дисертації та авторефераті. Матеріали дисертації доповідалися на багатьох міжнародних профільних наукових конференціях, де були добре апробовані. Робота Князева Р.Р. являє собою закінчену науково-дослідну працю. Дисертаційна робота і автореферат написані грамотною науковою мовою та містять чітке формулювання поставлених задач та висновків. Тема дисертації «Прискорення заряджених частинок кильватерними полями в плазмово-діелектричних структурах» відповідає спеціальності 01.04.08 – фізика плазми. Здобуті результати в дисертації можуть бути використані в наукових центрах та лабораторіях, що досліджують методи прискорення заряджених частинок кильватерними полями в Україні та в інших країнах світу.

Вважаю, що дисертаційна робота «Прискорення заряджених частинок кильватерними полями в плазмово-діелектричних структурах» та її автореферат повністю відповідають вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» та вимогам нормативних документів ДАК МОН України щодо кандидатських дисертацій, а її автор, Князев Роман Романович заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.08 – фізика плазми.

Доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
професор кафедри фізики Українського
державного університету залізничного транспорту



М.І. Гришанов



Особистий підпис

свідчую _____ 20__ р.
завідуючий канцелярією
УкрДУЗТ

Gryshanov M.I.

