

### 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 за спеціальністю 01.04.08 – фізика плазми

Основна частина дисертації І.П.Левчук присвячена різним сторонам задачі про збудження кільватерних хвиль у плазмі послідовностями електронних згустків та використанню вказаних хвиль для прискорення електронів. В принципі використання плазмових хвиль замість полів у вакуумних хвилеводних структурах здатне на 3-4 порядки збільшити напруженість прискорювальних полів і на стільки ж зменшити розміри прискорювачів, які вже сягають десятків кілометрів (для рекордних енергій). Таким чином, дисертація спрямована на розв'язання важливої науково-технічної проблеми, і її актуальність не викликає сумнівів.

Останній розділ дисертації присвячений переважно вивченню вихрової нестійкості заряджених частинок в аксіально симетричній системі із схрещеними електричним та магнітним полями. Розв'язання цієї задачі дозволяє поліпшити якість роботи мас-сепараторів, тому ця частина роботи також є актуальною.

Дисертація І.П.Левчук підготовлена в рамках цілого ряду тем, які виконувалися в ХІУ ім. В.Н.Каразіна та в Інституті плазмової електроніки та нових методів прискорення ННЦ ХФТІ.

Дисертація включає вступ, п'ять розділів, висновки та список літератури.

Перший розділ являє собою огляд літератури, присвяченої збудженню несинусоїдальних хвильових збурень у нерівноважній плазмі. Розглянуто роль колективних методів прискорення в фізиці плазми. Описано програму I.CODE, за допомогою якої дисертанткою проводилося числове моделювання.

У другому розділі досліджено так звану кільватерну плазмову лінзу, яка забезпечує однорідне фокусування послідовності згустків заряджених частинок. Дослідження частково апалітичне, широко використані результати числового моделювання. Відзначу, що термін "кільватерна плазмова лінза" є, на мою думку, не зовсім вдалим. Адже звичайна лінза (оптична, магнітна, плазмова) є чимось зовнішнім щодо пучка (променів, заряджених частинок), який вона фокусує. В даному ж разі фокусування послідовності електронних згустків забезпечується полями самих цих згустків. У даному розділі, зокрема, порівнюється ефективність кільватерного та плазмового фокусування в залежності від форми згустку. Окремо розглянуто фокусування згустків нерезонансним кільватерним полем.

Третій розділ присвячено розрахункам коефіцієнта трансформації при збудженні кільватерного поля довгою послідовністю електронних згустків у плазмі. Цей коефіцієнт визначає, по суті, максимальну енергію, до якої можна прискорити електронний згусток у кільватерному полі. В пайпростішій одновимірній моделі ця величина не може перевищувати двійку. Дисертантці ж вдалося знайти й дослідити умови, коли ця величина стає значно більшою за одиницю.

Четвертий розділ роботи містить аналіз збудження кільватерного поля в плазмі довгою нерезонансною послідовністю коротких згустків релятивістських електронів. Досліджено механізми дефокусування електронних згустків при збудженні ними кільватерного поля в плазмі, ефект виникнення резонансу за рахунок нестационарності густини плазми. Обговорюється вплив форми фронтів довгого згустку на збудження ним кільватерних полів з урахуванням розвитку плазмово-пучкової нестійкості.

П'ятий розділ роботи хоч і відповідає темі дисертації, але стоїть дещо осторонь від попередніх розділів. У ньому обговорюється збудження солітона в плазмі, утворений при падінні лазерного імпульсу на шар фольги. Солітон виникає по іншій бік фольги і відділяється від неї зі швидкістю порядку теплової швидкості електронів утвореної в цій області плазми. Більшу частину розділу присвячено задачі про збудження вихрової

нестійкості в схрещених радіальному електричному й поздовжньому магнітному полях та знаходженню умов придушення такої нестійкості.

У висновках сформульовано основні результати роботи.

Новизна результатів дисертаційної роботи визначається тим, що в ній за допомогою числового моделювання та аналітично вперше:

визначені умови, що забезпечують однакове й однорідне фокусування послідовності довгих релятивістських електронних згустків у плазмі за допомогою збуджених цією самою послідовністю кільватерних полів;

показано, що всі короткі згустки послідовності можуть фокусуватися однаково і однорідно та запропоновані два типи послідовностей, що забезпечують таке фокусування;

досліджено співвідношення між кільватерним та плазмовим фокусуванням у залежності від форми згустку і показано, що однорідне фокусування довгого згустку з передвісником визначається тільки плазмовим фокусуванням;

показано, що в нерезонансному випадку для послідовності скінченного числа згустків існують такі довжини згустків, коли всі електрони опиняються у фокусувальних полях (за винятком тих, які знаходяться на фронтах биття);

показано, що при збудженні кільватерного поля довгою послідовністю коротких гауссівських згустків релятивістських електронів коефіцієнт трансформації (відношення прискорювального поля до гальмівного поля) за певних умов зростає зі зростанням числа згустків послідовності;

вперше описано збудження солітона, який рухається з тепловою швидкістю електронів плазми від фольги при падінні на неї з протилежного боку лазерного імпульсу;

вперше отримано дисперсійне рівняння, що описує розвиток вихрової нестійкості в циліндричній плазмі сепаратора в схрещених радіальному електричному та поздовжньому магнітному полях з урахуванням реальних параметрів системи.

Практична цінність результатів дисертації пов'язана з тим, що вони є помітним внеском до теоретичного опису процесів у кільватерному прискорювачі електронів. Створення такого прискорювача дозволить значно зменшити не тільки розміри, але й вартість установок порівняно з вакуумними лінійними прискорювачами.

Запропоновані в роботі підходи до фокусування згустків за рахунок використання поперечних кільватерних полів можуть бути використані при фокусуванні пучків у колайдерах.

Результати дисертації дозволяють краще зрозуміти дані експериментів зі збудження кільватерного поля послідовністю коротких релятивістських згустків електронів і прискорення цим полем інших електронних згустків, нещодавно виконані в ІІЦ ХФТІ.

Отримані результати можуть бути використані в таких наукових установах як ІІЦ ХФТІ, Лабораторія лінійних прискорювачів Університету Орсе (Париж, Франція), Національна лабораторія Фраскати (Рим, Італія), де проводяться експерименти з кільватерного прискорення.

Результати дисертації дозволяють також з'ясувати умови придушення чи мінімізації вихрової нестійкості, яка може збуджуватися в схрещених радіальному електричному і поздовжньому магнітному полях мас-сепаратора і глибоко впливає на його роботу.

Наукові положення дисертації, її основні висновки та рекомендації виглядають достатньою мірою обґрунтованими та достовірними. Цей висновок зумовлений використанням у дисертаційній роботі добре апробованих методів теоретичної фізики, а також комп'ютерного моделювання плазмових процесів із використанням перевіреного програмного пакета. Запорукою обґрунтованості основних положень дисертації є також широка апробація її результатів на національних та міжнародних наукових конференціях протягом 2011-2016 рр.

Вважаю, що дисертаційна робота І.П.Левчук засвідчує високу кваліфікацію її авторки в галузі фізики плазми, володіння нею як методами аналітичних розрахунків, так і методами комп'ютерного моделювання.

Результати дисертаційної роботи з достатньою повнотою викладені в 13 статтях (дві з яких надруковані в одному випуску журналу) в наукових фахових видавництвах (East European Journal of Physics, Problems of Atomic Science and Technology), що входять до наукометричної бази Scopus.

Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації.

До дисертації можна висловити окремі зауваження та побажання.

1. У міркуваннях про «кільватерні лінзи» (розділ 2), наскільки я зрозумів, враховується просто збудження кільватерних хвиль фронтами згустків. Для релятивістських згустків просторовий інкремент плазмово-пучкової нестійкості буде, мабуть, малим і не суттєвим на проміжку тривалістю в просторовий період повторення згустків. Тим не менше його варто було б оцінити. В усякім разі, умова його малозначності накладає певне обмеження на застосовність запропонованого ефекту. Форма згустків на віддалі від інжектора, судячи з рисунків, інколи дуже порізнана. Варто було б обговорити, як це впливає на збудження кільватерних полів.

2. На цілому ряді рисунків (наприклад, рис. 2.36) фігурує радіус електронного згустку. Але для реального згустку з розмитими межами це умовна величина. Більш інформативним був би просторовий розподіл густини згустків.

3. У п.3.1 автор йдеться про нелінійні хвилі та нелінійний режим. На жаль, матеріал викладений надмірно стисло – відсутнє навіть пояснення того, яка саме нелінійність досліджується. Сказане стосується й механізму нелінійного зсуву частоти (очевидно, плазмової), який згадується в розділі 4.

4. Є цілий ряд претензій до оформлення роботи. Інколи, як уже говорилося, матеріал викладений надмірно стисло (прикладом може бути також порівняння різних типів довгих згустків у п.4.3; у п.5.2 не обговорюється застосовність використаної там моделі однорідної плазми до умов реального експерименту). Не завжди зрозуміла логіка викладення матеріалу (наприклад, отримане в п.5.2 нелінійне рівняння, що описує вихрову нестійкість у схрещених полях, надалі не використовується). Трапляються помилки у формулах (наприклад, формули (2.55), (5.19)). Інколи в підписах до рисунків та супровідному тексті відсутня інформація про параметри моделювання (рис. 2.27, 2.32) або шкала кольорів (рис. 2.53). Текст недостатньо відредагований і містить чимало граматичних помилок.

Втім, указані недоліки не впливають на загальну високу оцінку роботи.

Підсумовуючи викладене вище, вважаю, що за обсягом і рівнем наукових результатів, кількістю та якістю публікацій робота І.П.Левчук "Збудження несинусоїдальних хвильових збурень у нерівноважній плазмі" відповідає вимогам чинних нормативних документів до кандидатських дисертацій, а її авторка цілком заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.08 – фізика плазми.

Доктор фізико-математичних наук, професор,  
декан факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка

І.О.Анісімов

ПІСЬМО ЗА  
ВЧЕРНІЙ СЕР  
НЕРАСУЛЬНА  
18.09

