

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
професору Ігорю ГІРЦІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

Рецензія

рецензента, доцентки кафедри прикладної фізики та фізики плазми Навчально-наукового інституту «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, кандидата фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.20 – фізика пучків заряджених частинок) **Афанасьєвої Інни Олексіївни** на дисертаційну роботу **Бондаря Дениса Сергійовича** «Дослідження збудження полів в плазмі та діелектрику потужними лазерними імпульсами та релятивістськими електронними згустками задля прискорення, фокусування та нагріву електронів і позитронів», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

1. Обґрунтування вибору теми дослідження.

У сучасному світі прискорювачі заряджених частинок відіграють дуже велику роль як у розв'язанні практичних проблем, так і у фундаментальних дослідженнях. Вони використовуються в різноманітних областях медицини, техніки, науки. На сьогодні існує велика кількість різних типів прискорювачів, які умовно можна розділити на дві частини – класичні прискорювачі, наприклад, лінійні та циклічні прискорювачі, та плазмові і діелектричні прискорювачі, які використовують для прискорення частинок кільватерні поля. Такі плазмові прискорювачі позбавлені певних недоліків, що притаманні класичним прискорювачам, наприклад обмеження на електричні поля прискорення або радіаційні втрати. Використання кільватерних прискорювачів відкриває нові можливості в створенні компактних надпотужних прискорювачів заряджених частинок. Саме дослідженню сучасного методу прискорення заряджених

частинок за допомогою кільватерного поля в плазмі з густиною частинок близькою до густини в твердому тілі, який дозволяє досягти полів прискорення з амплітудою в кілька теравольт на метр і присвячена дисертаційна робота Бондаря Д.С. В роботі шляхом числового експерименту вирішуються задачі, які дозволяють підвищити амплітуди полів прискорення, покращити надійність фокусування згустків заряджених частинок, а також збільшити коефіцієнт трансформації при збудженні кільватерних полів послідовністю згустків заряджених частинок в плазмі та діелектрику. В роботі зокрема представлені дослідження з питання збудження кільватерного поля рентгенівськими лазерними імпульсами за умови густини плазми, що дорівнює густині вільних електронів в металах, яке наразі є актуальним.

Зокрема, в роботі досліджується спосіб утримання самоінжекттованих згустків в фазі прискорення кільватерної хвилі, а також, вплив зовнішнього магнітного поля на електронні згустки, які збуджують в плазмі кільватерне поле. Розглянуто процес комбінованого лазеро-плазмового прискорення та вивчено питання збудження кільватерного поля в плазмі твердотільної густини. Встановлено, що при таких параметрах плазми формується область з підвищеною густиною іонів, яка забезпечує значне поле прискорення, що, в свою чергу, дозволяє значно підвищити енергію прискорення самоінжекттованих згустків, які рухаються вздовж кільватерного пузиря без руйнування протягом 100 періодів лазера. Режим комбінованого лазеро-плазмового прискорення дозволяє зберегти та використати енергію лазерного імпульсу, що руйнується під час розповсюдження в плазмі, що призводить до поліпшення ефективності процесу прискорення. Розглянуто процес когерентного складання полів прискорення після лазерних імпульсів у ланцюжку та встановлено, що використання механізму «підлаштування» частково відновлює механізм когерентного складання в нелінійному випадку. В ході дослідження питання, було виявлено ефект зростання амплітуди кільватерного поля після лазерних імпульсів. Питання знаходження параметрів, що забезпечать якомога менший просторовий та енергетичний розкид самоінжекттованих згустків розв'язувалось

за допомогою механізму профілювання, завдяки якому вдалось отримати самоінжектований згусток, просторовий розмір якого в кілька разів менше за розмір кільватерної бульбашки. Окремо було розглянуто питання фокусування позитронних згустків. В роботі запропоновано використання плазмової лінзи для фокусування згустків.

Результати, які автор представив в роботі, можуть бути використані як у подальших числових дослідженнях, так й під час лабораторних дослідів. Використання числового моделювання дозволяє спростити дослідження, уникнути зайвих складних експериментів, можуть бути використані як в українських так і в європейських дослідженнях з кільватерного прискорення.

Актуальними є й питання збудження полів згустками – це один з відомих, можна сказати, класичних методів, що не втрачає й не втрапить доцільності, динамічно розвивається. Автор дисертації ж пропонує цікаві методи підвищення ефективності установок, що використовують такі схеми.

Зважаючи на вищезазначене, можна стверджувати, що дисертація Бондаря Дениса Сергійовича «Дослідження збудження полів в плазмі та діелектрику потужними лазерними імпульсами та релятивістськими електронними згустками задля прискорення, фокусування та нагріву електронів і позитронів» є актуальною, а її результати є істотними й можуть бути використані для розвитку досліджень кільватерних прискорювачів заряджених частинок.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення.

Дисертаційна робота виконана в Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна та Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут». Дисертація складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, п'ять розділів, висновків, списку використаних джерел, одного додатку. Робота містить 153 найменування. Загальний обсяг роботи складає 193 сторінки. В роботі 107 рисунків, 1 таблиця.

У вступі автор обґрунтовує вибір теми, визначає мету дослідження, його завдання, об'єкт, предмет, характеризує методи, розкриває наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, зазначає свій особистий внесок під

час виконання дослідження, наводить перелік наукових публікацій за темою дисертації, інформацію стосовно апробації матеріалів роботи, вказує зв'язок роботи з науковими програмами, планами, грантами, темами.

В першому розділі автор оглядає та аналізує теоретичні й експериментальні роботи, присвячені дослідженню збудження полів в плазмі та діелектрику лазерними імпульсами та електронними згустками. Розглядалися як одні з перших робіт з тематики, так й сучасні статті за темою роботи.

Другий розділ присвячено дослідженню збудження кільватерного поля в плазмі з великою (металевою) густиною рентгенівським лазерним імпульсом, розглянуто режим комбінованого лазерно-плазмового прискорення, динаміку самоінжектованих електронних згустків.

Третій розділ присвячено дослідженню кільватерного прискорення в неоднорідній та однорідній плазмі, продемонстровано переваги використання неоднорідної плазми для утримання самоінжектованих згустків у фазі прискорення кільватерним полем. Автор продемонстрував забезпечення фазової синхронізації самоінжектованого згустку та поздовжнього кільватерного поля.

У четвертому розділі автор демонструє спосіб фокусування послідовностей позитронних згустків, досліджує фокусування електронних згустків й збудження кільватерного поля нерезонансною послідовністю релятивістських електронних згустків. Автор вивчив фокусування згустків електронів за збудження кільватерного поля в плазмі в залежності від довжини згустків та відстані між ними.

В п'ятому розділі автор вивчає коефіцієнт трансформації, коли поле в плазмі та діелектрику збуджується згустками заряджених частинок.

У висновках автор наводить результати досліджень. Висновки детальні, повністю висвітлюють дослідження.

Список використаних джерел оформлено у відповідності до вимог, кількість посилань достатня, посилання дійсні, присутні номери DOI.

Дисертація Бондаря Д. С. є завершеною, якісною науковою роботою, в якій шляхом чисельного моделювання вирішено ряд задач, що стосуються збудження кільватерного поля в плазмі та діелектрику лазерними імпульсами та релятивістськими згустками заряджених частинок. Результати досліджень, окрім змісту дисертації, автор висвітлив в наукових публікаціях та матеріалах конференцій.

Оформлення дисертації відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44), та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження, в рамках дисертації, були виконані під час навчання автора в аспірантурі Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (ННІ «Фізико-технічний факультет») та роботи в ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» за підтримки цих закладів. Дослідження також виконувалася за фінансової підтримки за рахунок державного бюджету, у співробітництві з Європейським консорціумом з розвитку термоядерної енергії EUROfusion. Зокрема автор був виконавцем проектів:

- конкурс Національного фонду досліджень України «Підтримка досліджень провідних та молодих учених», проект № 2020.02/0299.
- Проект в рамках Eurofusion «Study of Direct Drive and Shock Ignition for IFE: Theory, Simulations, Experiments, Diagnostics development» («Вивчення прямого опромінення та ударного запалювання для IFE: теорія, моделювання, експерименти, розробка діагностики») за № CfP-ADMIN-AWP19-ENR-01, 2019-2021 pp.
- проект в рамках Eurofusion «Advancing shock ignition for direct-drive inertial fusion» («Посилення ударного запалювання для інерційного синтезу з прямим опроміненням») за № CfP-FSD-AWP21-ENR-01-CEA-02,

2021-2023 рр.

- реалізація досліджень дисертаційної роботи у відповідності до тематики досліджень ІПЕНМП ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут».

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

За результатами аналізу дисертації та публікацій Бондаря Дениса Сергійовича можна дійти висновку, що результати є повністю науково обґрунтованими, актуальними, достовірними. Автор повністю досяг мети й успішно виконав завдання дисертаційної роботи. Достовірність та обґрунтованість наукових результатів, висновків дисертації є очевидними. Кількість публікацій, їхня якість, участь у конференціях та наукових дискусіях підтверджують високий рівень апробації результатів.

5. Основні наукові результати, одержані автором, їхня новизна.

Основні результати роботи оприлюднені та обговорені на дев'яти конференціях, зокрема, міжнародних:

12th International Particle Accelerator Conference (IPAC'21), 3rd Townhall Meeting High Gradient Accelerator Plasma/Laser, 47th Conference on Plasma Physics – Satellite Meeting, 4th European Advanced Accelerator Concepts Workshop, XIX Конференція з фізики високих енергій і ядерної фізики, International Conference and School on Plasma Physics and Controlled Fusion, Academic and Scientific Challenges of Diverse Fields of Knowledge in the 21st Century. CLIL in Action, 17th Direct Drive and Fast Ignition Workshop, XVI International Workshop “Plasma Electronics and New Methods of Acceleration”.

Результати дисертації повністю висвітлено в п'яти наукових статтях, зокрема, в фаховому виданні України та іноземних виданнях й в матеріалах й тезах доповідей наукових конференцій. Всі видання, в яких опубліковано статті, входять як мінімум до однієї з міжнародних наукометричних баз Web of Science чи Scopus. Автором було зокрема отримано наступне:

1. Вперше виконано комплексне дослідження зміни параметрів самоінжектованих згустків за зміни параметрів лазерних імпульсів у випадку збудження кільватерного поля рентгенівськими лазерними імпульсами в плазмі металевої густини.
2. Вперше у випадку плазми твердотільної густини продемонстровано спосіб утримання самоінжектованого згустку в фазі прискорення кільватерної хвилі за допомогою використання поздовжньої зростаючої неоднорідності плазми.
3. Вперше досліджено використання профільованого лазерного імпульсу в поздовжньо неоднорідній твердотільній плазмі зі зростаючим профілем густини для збільшення поздовжнього імпульсу самоінжектованих згустків.
4. Вперше в нелінійному режимі в неоднорідній плазмі твердотільної густини було продемонстровано переваги збудження кільватерного поля напівкосинусним лазерним імпульсом й досліджено динаміку самоінжектованих згустків.
5. Вперше для заданих параметрів системи для задачі дотичної інерційному синтезу при взаємодії лазерного імпульсу з неоднорідною плазмою твердотільної густини було продемонстровано формування солітонних каверн в критичній точці, де $\omega_{pe} = \omega_l$ частота плазми дорівнює частоті лазера, які «утримують» електричне поле та можуть його транспортувати.
6. Вперше для заданих параметрів системи за допомогою числового моделювання було показано згладжування поперечної неоднорідності в критичній точці, де $\omega_{pe} = \omega_l$ частота плазми дорівнює частоті лазера.
7. Для плазми твердотільної густини було комплексно досліджено механізм комбінованого лазеро-плазмового прискорення, який дозволив за рахунок одночасного збудження поля лазерними імпульсами та самоінжектованими згустками, збільшити амплітуду кільватерного поля прискорення.
8. Знайдено оптимальне значення зовнішнього магнітного поля, за якого дефокусовані згустки під час збудження кільватерного поля послідовністю релятивістських електронних згустків повертаються на вісь системи й

продовжують брати участь в збудженні кільватерного поля, наслідком чого є збільшення амплітуди.

9. Вперше для заданих параметрів системи було виконано дослідження збудження кільватерного поля в сильно нерезонансному режимі, показано відновлення резонансу зі ступінчастим збільшенням радіальної сили й кільватерного поля прискорення.

10. Детально вивчено кільватерну силу фокусування в залежності від відстані між згустками, послідовності та довжини релятивістських електронних згустків.

6. Практичне значення отриманих результатів.

Результати, отримані в дисертаційній роботі, є важливими як для фундаментальних досліджень збудження кільватерного поля в плазмі та діелектрику рентгенівськими лазерними імпульсами та послідовністю релятивістських електронних згустків так і для практичного використання при створенні новітніх прискорювачів з використанням кільватерного поля для прискорення частинок. Отримані результати демонструють перспективи використання числового моделювання для прогнозування результатів експериментальних досліджень в даній області та розрахунку оптимальних параметрів системи, що суттєво спрощує процес організації та проведення експериментів. Проведені дослідження мають важливу практичну складову, яка дозволяє використати їх для розробки, конструювання та вибору оптимальних режимів роботи прискорювачів заряджених частинок нового покоління. Результати, отримані в дисертаційній роботі, можуть бути використані як в промисловості, так й в фізичних дослідженнях в українських й світових наукових установах.

7. Дотримання академічної доброчесності.

Оформлення, зміст, структура дисертації, кількість публікацій відповідають вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44) та наказу Міністерства освіти

і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

На підставі детального розгляду тексту дисертації, посилань, статей здобувача та Протоколу контролю оригінальності (перевірку можливої наявності текстових запозичень виконано в інтернет-системі Strikeplagiarism.com) встановлено, що дисертація виконана здобувачем самостійно, текст роботи не містить плагіату. Порушення норм академічної доброчесності відсутні.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

1. Робота повністю присвячена моделюванню, що безсумнівно важливо, але постає питання про відповідність результатів моделювання та експерименту. Було б доречно провести порівняння результатів моделювання та експерименту, принаймні там, де це можливо.
2. У тексті багато специфічних термінів. Можливо, доречно було б дати їм визначення в першому розділі роботи.

Наведені зауваження жодним чином не впливають на якість дисертації та обґрунтованість висновків, не зменшують їх.

9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи.

Дисертація Бондаря Дениса Сергійовича є завершеною науково-дослідною роботою, має наукову новизну й практичну цінність. Зміст повністю відображає основні наукові положення дисертації. Дисертація оформлена відповідно до чинних вимог, написана науковим стилем і літературною українською мовою.

Дисертаційна робота Бондаря Дениса Сергійовича «Дослідження збудження полів в плазмі та діелектрику потужними лазерними імпульсами та релятивістськими електронними згустками задля прискорення, фокусування та нагріву електронів і позитронів» є актуальною, новою роботою, її повний текст, оформлення, наукові результати, викладені в дисертації та публікаціях здобувача повністю відповідають спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали», вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти,

наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44), та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

На мою думку, Бондар Денис Сергійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Рецензент,
кандидат фізико-математичних наук,
доцентка кафедри прикладної фізики
та фізики плазми ННІ «Фізико-
технічний факультет»
Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна

Інна АФАНАСЬЄВА

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ

створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 19:28:02 28.03.2024

Назва файлу з підписом: Afanasieva_Bondar_review.pdf.asice

Розмір файлу з підписом: 214.0 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Afanasieva_Bondar_review.pdf

Розмір файлу без підпису: 241.0 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: АФАНАСЬЄВА ІННА ОЛЕКСІЇВНА

П.І.Б.: АФАНАСЬЄВА ІННА ОЛЕКСІЇВНА

Країна: Україна

РНОКПП: 2861313508

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 19:27:59 28.03.2024

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F040000007B0452010DA1E904

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2024.03.14 13:00

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
професору Ігорю ГІРЦІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, професора кафедри матеріалів реакторобудування та фізичних технологій Навчально-наукового інституту «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, доктора фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.08 – фізика плазми) **Зикова Олександра Володимировича** на дисертаційну роботу **Бондаря Дениса Сергійовича** «Дослідження збудження полів в плазмі та діелектрику потужними лазерними імпульсами та релятивістськими електронними згустками задля прискорення, фокусування та нагріву електронів і позитронів», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

1. Обґрунтування вибору теми дослідження.

Подальший розвиток фундаментальної та прикладної фізики надвисоких енергій потребує розробки ефективних прискорювачів заряджених частинок, заснованих на нових принципах дії. В дисертаційній роботі Бондаря Д.С. шляхом числового експерименту досліджується потужний метод прискорення заряджених частинок за допомогою кільватерного поля в плазмі з густиною частинок близькою до густини в твердому тілі, який дозволяє досягти полів прискорення з амплітудою в кілька теравольт на метр. В роботі вирішується ряд задач, розв'язання яких дозволяє збільшити амплітуди полів прискорення, забезпечити фокусування згустків заряджених частинок, а також підвищити коефіцієнт трансформації.

Зокрема, досліджуються способи керування параметрами самоінжектіваних згустків, вплив неоднорідної плазми на динаміку згустків, утримання самоінжектіваних згустків в фазі прискорення кільватерної хвилі з одночасним зростанням амплітуди поля прискорення. Також визначено способи фокусування згустків позитронів, досліджено збудження кільватерного поля електронними згустками в плазмі в сильно нерезонансному випадку. В дисертації знайдено оптимальний режим відновлення резонансу у випадку інжекції до плазми послідовності згустків заряджених частинок в присутності зовнішнього магнітного поля.

Виконані дослідження дозволяють реалізувати різні підходи до покращення параметрів прискорювачів, зокрема, збільшити градієнти полів прискорення, енергії згустків, поліпшити їх фокусування і таким чином зробити прискорювачі заряджених частинок більш компактними. Це є дуже важливим при практичному застосуванні прискорювачів в промисловості та медицині.

Зважаючи на вищезазначене, можна стверджувати, що дисертація Бондаря Дениса Сергійовича є **повністю актуальною**, а її результати є **важливими** для подальших досліджень прискорювачів заряджених частинок з використанням кільватерного поля.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення.

Дисертаційна робота виконана в Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна та Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут». Дисертаційна робота складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, 5 розділів, висновків та списку використаних джерел, який містить 153 найменування. Загальний обсяг роботи складає 193 сторінки. Робота ілюстрована 107 рисунками та однією таблицею.

У **вступі** наведено обґрунтування вибору теми, визначено мету й завдання дослідження, його об'єкт та предмет, методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, зазначено

особистий внесок здобувача при виконанні дослідження, наведено перелік наукових публікацій за темою дисертації та інформацію стосовно апробації матеріалів дисертації. Встановлено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

У **першому розділі** проведено огляд та аналіз теоретичних та експериментальних робіт з тематики кільватерного прискорення, збудження полів згустками заряджених частинок в плазмі та діелектрику. Було розглянуто як класичні роботи, так оригінальні сучасні статті, що відповідають стандартам в даній області.

У **другому розділі** досліджено збудження кільватерного поля в плазмі з густиною частинок близькою до густини в твердому тілі рентгенівським лазерним імпульсом, розглянуто режим комбінованого лазерно-плазмового прискорення.

У **третьому розділі** досліджено кільватерне прискорення в неоднорідній плазмі та показано переваги використання неоднорідної плазми для утримання самоінжекттованих згустків у фазі прискорення кільватерним полем. Показано згладжування поперечної неоднорідності в критичній точці $\omega_{pe}=\omega_1$.

У **четвертому розділі** продемонстровано спосіб фокусування послідовностей позитронних згустків, досліджено фокусування електронних згустків та збудження кільватерного поля нерезонансною послідовністю релятивістських електронних згустків в нерезонансному випадку.

У **п'ятому розділі** досліджено коефіцієнт трансформації за збудження поля в плазмі та діелектрику, а також, запропоновано спосіб використання зовнішнього магнітного поля для збільшення амплітуди кільватерного поля, що збуджується згустками електронів.

До кожного розділу наведено висновки, що підсумовують основні результати досліджень.

У **висновках** наведено основні результати роботи, які повністю відповідають змісту дисертації.

Список використаних джерел містить посилання на наукові статті, що відображають сучасний стан за темою дисертації.

Дисертація є завершеною науковою роботою. В ній вирішено комплекс задач, пов'язаних з чисельним моделюванням збудження кільватерного поля в плазмі та діелектрику лазерними і згустковим драйвером. Результати досліджень повністю висвітлені в наукових публікаціях, матеріалах конференцій та відображені в змісті дисертації.

Оформлення, зміст, структура дисертації та кількість публікацій **відповідають вимогам** «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44) та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження, в рамках дисертації, були виконані під час навчання автора в аспірантурі Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (ННІ «Фізико-технічний факультет») та роботи в ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» за підтримки цих закладів. Дослідження також виконувалася за фінансової підтримки за рахунок державного бюджету, у співробітництві з Європейським консорціумом з розвитку термоядерної енергії EUROfusion. Зокрема:

- конкурс Національного фонду досліджень України «Підтримка досліджень провідних та молодих учених», проект № 2020.02/0299 «Транспортування електронних/позитронних згустків при високоградієнтному прискоренні електромагнітними полями, що

збуджуються у діелектричних структурах або плазмі інтенсивними електронними згустками та потужним лазерним імпульсом».

- Проект в рамках Eurofusion «Study of Direct Drive and Shock Ignition for IFE: Theory, Simulations, Experiments, Diagnostics development» («Вивчення прямого опромінення та ударного запалювання для IFE: теорія, моделювання, експерименти, розробка діагностики») (№ CfP-ADMIN-AWP19-ENR-01, 2019-2021 pp.);
 - проект в рамках Eurofusion «Advancing shock ignition for direct-drive inertial fusion» («Посилення ударного запалювання для інерційного синтезу з прямим опроміненням») (№ CfP-FSD-AWP21-ENR-01-CEA-02, 2021-2023 pp.).
 - реалізація досліджень дисертаційної роботи у відповідності до тематики досліджень Інституту плазмової електроніки та нових методів прискорення ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут».
- Рівень участі автора дисертації в роботах – виконавець.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Аналіз тексту дисертації та змісту публікацій Бондаря Д. С. дає змогу зробити висновок, що результати є науково обґрунтованими, достовірними та відповідають меті й завданням дисертаційної роботи. Достовірність та обґрунтованість наукових результатів і висновків дисертаційної праці не викликає жодних сумнівів і забезпечується високим рівнем апробації та наукових видань, у яких опубліковано результати дослідження.

5. Основні наукові результати, одержані автором, їхня новизна.

Основні результати роботи оприлюднені та обговорені **на 9 конференціях:**

12th International Particle Accelerator Conference (IPAC'21), 3rd Townhall Meeting High Gradient Accelerator Plasma/Laser, 47th Conference on Plasma Physics – Satellite Meeting, 4th European Advanced Accelerator Concepts Workshop, XIX Конференція з фізики високих енергій і ядерної фізики,

International Conference and School on Plasma Physics and Controlled Fusion, Academic and Scientific Challenges of Diverse Fields of Knowledge in the 21st Century. CLIL in Action, 17th Direct Drive and Fast Ignition Workshop, XVI International Workshop “Plasma Electronics and New Methods of Acceleration”.

Результати дисертації повністю висвітлено в **5 наукових статтях** (в періодичних виданнях, серед яких є фахове наукове видання України, а також, іноземні видання) та в матеріалах й тезах доповідей наукових конференцій. Всі видання, в яких опубліковано статті, входять до міжнародних наукометричних баз Scopus та/або Web of Science.

1. Вперше виконано комплексне дослідження зміни параметрів самоінжекттованих згустків за зміни параметрів лазерних імпульсів у випадку збудження кільватерного поля рентгенівськими лазерними імпульсами в плазмі металевої густини.
2. Запропоновано та використано механізм «підлаштування» для відновлення в нелінійному випадку процесу когерентного складання полів прискорення після лазерних імпульсів та збудження кільватерного поля ланцюжком рентгенівських лазерних імпульсів в плазмі, густина якої дорівнює густині вільних електронів в металах.
3. Вперше досліджено використання профільованого лазерного імпульсу в поздовжньо неоднорідній твердотільній плазмі зі зростаючим профілем густини для збільшення поздовжнього імпульсу самоінжекттованих згустків.
4. Вперше в нелінійному режимі в неоднорідній плазмі твердотільної густини було продемонстровано переваги збудження кільватерного поля напівкосинусним лазерним імпульсом й досліджено динаміку самоінжекттованих згустків.
5. Вперше для заданих параметрів системи за допомогою числового моделювання було показано згладжування поперечної неоднорідності в критичній точці, де $\omega_{pe} = \omega_l$ частота плазми дорівнює частоті лазера.
6. Для плазми твердотільної густини було комплексно досліджено механізм комбінованого лазеро-плазмового прискорення, який дозволив за рахунок

одночасного збудження поля лазерними імпульсами та самоінжектованими згустками, збільшити амплітуду кільватерного поля прискорення.

7. Знайдено оптимальне значення зовнішнього магнітного поля, за якого дефокусовані згустки під час збудження кільватерного поля послідовністю релятивістських електронних згустків повертаються на вісь системи й продовжують брати участь в збудженні кільватерного поля та збільшення його амплітуди.

8. Знайдено нові параметри плазмової кільватерної лінзи, що дозволяють здійснити однорідне фокусування послідовності релятивістських позитронних згустків.

9. Вперше досліджена еволюція кільватерної сили фокусування в залежності від відстані між згустками, послідовності та довжини релятивістських електронних згустків.

6. Практичне значення отриманих результатів.

Результати, отримані в дисертаційній роботі, є важливими для фундаментальних досліджень збудження кільватерного поля в плазмі та діелектрику рентгенівськими лазерними імпульсами та послідовністю релятивістських електронних згустків. Методом числового моделювання продемонстровано ефекти, які потребують подальших досліджень, зокрема нерезонансне збудження кільватерного поля, значне підвищення градієнтів полів прискорення, питання збудження кільватерного поля в діелектричному резонаторі. Отримані результати дозволяють, використовуючи числове моделювання, прогнозувати експериментальні дослідження, спростити лабораторні експерименти завдяки можливості наперед прорахувати оптимальні параметри системи. Також числове моделювання дозволяє виправити недоліки лабораторних досліджень, прораховувати майбутні експерименти. Проведені дослідження мають також практичну спрямованість на розробку в майбутньому потужних, компактних прискорювачів заряджених частинок з надвисокою енергією для промисловості і медицини. Результати, отримані в дисертаційній роботі, можуть бути використані в провідних

розробках в галузі фізики високих енергій світових і українських наукових установах.

7. Дотримання академічної доброчесності.

На підставі детального розгляду тексту дисертації, посилань, статей здобувача та Протоколу контролю оригінальності (перевірку можливої наявності текстових запозичень виконано в інтернет-системі Strikeplagiarism.com) встановлено, що дисертаційна робота **виконана самостійно**, текст дисертації **не містить плагіату**, а дисертація **відповідає усім вимогам академічної доброчесності**.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

1. Робота поєднує в собі широкий клас задач, результатів яких вистачило б на дві окремі роботи, хоча автор робить акцент саме на збудженні кільватерного поля в плазмі лазерним драйвером. При цьому, всі дослідження, представлені в роботі, є достатньо завершеними.
2. У тексті присутні формулювання на зразок «кільватерна бульбашка», «плазма лазера», які зрозумілі лише вузьким спеціалістам й потребують додаткового пояснення більш широкій аудиторії.
3. Автору слід було вдатися до більш детальних пояснень схеми числового моделювання окремих задач.
4. Анотація та вступ мають бути дещо лаконічнішими. Автору необхідно було виокремлювати змістовні блоки тексту у цих частинах роботи.
5. Автор використовує код числового моделювання, що дозволяє досліджувати динаміку самоінжекттованих згустків, виконує відповідні дослідження, проте, не зазначає переваг використаної програми над іншими існуючими з подібної тематики.

Наведені зауваження жодним чином не зменшують якість дисертації та обґрунтованість висновків.

9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи.

Дисертація Бондаря Дениса Сергійовича є завершеною науково-дослідною роботою, має наукову новизну та практичну значущість. Зміст

повністю відображає основні наукові положення дисертації. Дисертація оформлена відповідно до чинних вимог, написана науковим стилем і літературною українською мовою. Дисертаційна робота Бондаря Дениса Сергійовича «Дослідження збудження полів в плазмі та діелектрику потужними лазерними імпульсами та релятивістськими електронними згустками задля прискорення, фокусування та нагріву електронів і позитронів» за актуальністю, змістом та повнотою викладу її результатів у публікаціях здобувача, обсягом і якістю оформлення відповідає спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали», вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44), та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації». ***Вважаю, що Бондар Денис Сергійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».***

Рецензент,
доктор фізико-математичних наук,
професор кафедри матеріалів
реакторобудування та фізичних технологій
ННІ «Фізико-технічний факультет»
Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна

Олександр ЗИКОВ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 13:25:13 19.03.2024

Назва файлу з підписом: Zykov_Bondar_review.pdf.asice
Розмір файлу з підписом: 225.9 КБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: Zykov_Bondar_review.pdf
Розмір файлу без підпису: 251.2 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: ЗИКОВ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ
П.І.Б.: ЗИКОВ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ
Країна: Україна
РНОКПП: 2105000898
Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 13:25:12 19.03.2024
Сертифікат виданий: АЦСК АТ КБ «ПРИВАТБАНК»
Серійний номер: 248197DDFAB977E5040000003CC4110114B04904
Алгоритм підпису: ДСТУ 4145
Тип підпису: Удосконалений
Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)
Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)
Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2024.03.01 13:00

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
професору Ігорю ГІРЦІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

ВІДГУК

офіційного опонента, завідувача кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, доктора фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.08 – фізика плазми), професора Анісімова Ігоря Олексійовича на дисертаційну роботу Бондаря Дениса Сергійовича «Дослідження збудження полів в плазмі та діелектрику потужними лазерними імпульсами та релятивістськими електронними згустками задля прискорення, фокусування та нагріву електронів і позитронів», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

1. Обґрунтування вибору теми дослідження.

В роботі розглянуто набір задач, вивчення яких реалізує комплексний підхід до збільшення ефективності прискорення та фокусування заряджених частинок. Автор використовує числове моделювання для відтворення фізичних явищ в плазмі. Зокрема, кільватерне прискорення, яке є центральною частиною роботи, є відомим перспективним методом прискорення заряджених частинок, що дозволяє не тільки отримувати поля прискорення з амплітудою в кілька теравольт на метр, але й формувати згустки заряджених частинок безпосередньо в плазмовій структурі з метою їхнього подальшого прискорення й фокусування. Завдяки цьому, кільватерний метод прискорення відкриває перспективи створення компактних прискорювачів заряджених частинок, які можуть бути використані в різних галузях від лабораторних фізичних досліджень до промисловості й медицини. Не втрачає актуальності й проблема

фокусування згустків заряджених частинок, що інжектуються до плазми й діелектрику, яка вивчалася в роботі.

З урахуванням зазначеного можна зробити висновок, що обрана дисертантом тема дослідження є **актуальною**.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення.

Дисертаційна робота виконана в Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна та Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут». Дисертаційна робота складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 153 найменування. Робота містить один додаток. Автор наводить 107 рисунків та одну таблицю. Загальний обсяг роботи складає 193 сторінки.

Розділ 1 присвячено огляду актуальних робіт за тематикою дослідження, зокрема з кільватерного прискорення, динаміки згустків заряджених частинок в плазмі та діелектрику. Огляд є повним, автор розглядає як основоположні роботи за відповідними темами, так і сучасні роботи.

Розділ 2 присвячено дослідженню динаміки самоінжектованих згустків та кільватерних полів у твердотільній плазмі рентгенівським лазерним імпульсом. Автор також розглядає комбінований режим лазерно-плазмового прискорення та переваги його використання.

Розділ 3 присвячено вивченню кільватерного прискорення в неоднорідній плазмі, зокрема, використанню цієї неоднорідності для утримання самоінжектованих згустків у фазі прискорення. Досліджено ефект згладжування поперечної неоднорідності в плазмі у критичній точці.

Розділ 4 присвячено фокусуванню послідовностей електронних та позитронних згустків. Показано можливість зростання амплітуди кільватерного поля при його збудженні послідовністю релятивістських електронних згустків у нерезонансному випадку.

Розділ 5 присвячено збудженню кільватерного поля в плазмі за наявності зовнішнього магнітного поля. Показана також можливість зростання коефіцієнта трансформації за збудження поля в діелектрику згустками заряджених частинок.

У висновках представлено найважливіші результати дисертаційного дослідження. Висновки є змістовними, добре структурованими, містять повний виклад основних результатів, що підтверджує високий рівень дисертаційної роботи.

Дисертація Бондаря Дениса Сергійовича на тему «Дослідження збудження полів в плазмі та діелектрику потужними лазерними імпульсами та релятивістськими електронними згустками задля прискорення, фокусування та нагріву електронів і позитронів» є новою, самостійною, завершеною, актуальною роботою, що відповідає сучасним науковим стандартам.

Оформлення дисертації повністю відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44) та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. №40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації». Робота відповідає вимогам академічної доброчесності.

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Автор виконував дослідження під час навчання в аспірантурі ННІ «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна та роботи в ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» у відповідності до планів роботи цих закладів. Дослідження також виконувалася у співробітництві з Європейським консорціумом з розвитку термоядерної енергії (Eurofusion). Зокрема, автор брав участь у таких конкурсах та проектах:

- конкурс Національного фонду досліджень України «Підтримка досліджень провідних та молодих учених», проект № 2020.02/0299

«Транспортування електронних/позитронних згустків при високоградієнтному прискоренні електромагнітними полями, що збуджуються у діелектричних структурах або плазмі інтенсивними електронними згустками та потужним лазерним імпульсом»;

- проєкт Eurofusion «Study of Direct Drive and Shock Ignition for IFE: Theory, Simulations, Experiments, Diagnostics development» (№ CfP-ADMIN-AWP19-ENR-01, 2019-2021 pp.);
- проєкт в рамках Eurofusion «Advancing shock ignition for direct-drive inertial fusion» (№ CfP-FSD-AWP21-ENR-01-CEA-02, 2021-2023 pp.).

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Висновки й наукові результати, отримані автором за результатами досліджень, які представлені в дисертації, є новими й обґрунтованими. Метод досліджень, обраний здобувачем, є сучасним, загально прийнятним для виконання досліджень з тематики роботи. Робота містить достатній обсяг матеріалу. В порівнянні з роботами інших науковців, можна зробити висновок про достовірність отриманих результатів.

5. Основні наукові результати, одержані автором, їхня новизна.

Основні результати роботи оприлюднені та обговорені на 9 конференціях: 12th International Particle Accelerator Conference (IPAC'21), 3rd Townhall Meeting High Gradient Accelerator Plasma/Laser, 47th Conference on Plasma Physics – Satellite Meeting, 4th European Advanced Accelerator Concepts Workshop, XIX Конференція з фізики високих енергій і ядерної фізики, International Conference and School on Plasma Physics and Controlled Fusion, Academic and Scientific Challenges of Diverse Fields of Knowledge in the 21st Century. CLIL in Action, 17th Direct Drive and Fast Ignition Workshop, XVI International Workshop “Plasma Electronics and New Methods of Acceleration”. Результати дисертації висвітлено в

5 статтях, що опубліковано у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз Scopus та (або) Web of Science.

Найважливіші результати роботи:

1. Автором вперше було виконано повне дослідження залежності зміни параметрів самоінжекттованих згустків від параметрів системи, зокрема, густини плазми й параметрів лазерних імпульсів в плазмі твердотільної густини; показано переваги використання профілювання лазерних драйверів для отримання самоінжекттованих згустків з меншим просторовим розкидом та більшими значеннями поздовжнього імпульсу.
2. Автором вперше було продемонстровано успішне використання профільованого лазерного імпульсу в неоднорідній плазмі з поздовжньо зростаючим профілем густини заради збільшення поздовжнього імпульсу самоінжекттованих згустків.
3. Автором було проаналізовано недоліки існуючого фокусування послідовності згустків позитронів в плазмі, а також знайдено комплекс параметрів для плазмової лінзи, яка може забезпечити однакове та однорідне фокусування послідовностей релятивістських позитронних згустків.
4. Автором було вперше запропоновано та досліджено механізм комбінованого лазерно-плазмового прискорення рентгенівським лазерним імпульсом та самоінжекттованими згустками в плазмі твердотільної густини для збільшення амплітуди кільватерного поля.
5. Автором вперше було продемонстровано за запропонованої конфігурації системи придушення (згладжування) поперечної неоднорідності в околі критичної точки за поширення лазерного імпульсу в неоднорідній плазмі.
6. Автором було досліджено збудження кільватерного поля послідовністю релятивістських електронних згустків у нерезонансному випадку, зокрема, за використання зовнішнього магнітного поля, отримано зростання амплітуди. Знайдено оптимальне значення амплітуди магнітного поля.

7. Було виконано дослідження зміни кільватерної сили фокусування за зміни довжини згустків та відстані між ними в послідовності.
8. Вперше для неоднорідної твердотільної плазми й рентгенівського лазерного імпульсу було продемонстровано вплив профілювання на самоінжекцію.

6. Практичне значення отриманих результатів.

Автор розглянув широке коло задач, пов'язаних зі збудженням кільватерних полів лазерними імпульсами та електронними згустками в плазмі й діелектрику. Розглядалося, зокрема, й використання зовнішнього магнітного поля, й нерезонансний випадок. Результати дослідження дозволяють покращити картину прискорення, в тому числі утримання самоінжекттованих згустків у фазі прискорення, збільшення їхнього поздовжнього імпульсу та зменшення просторового розкиду, збільшення амплітуд полів прискорення.

У задачах з релятивістськими згустками також спостерігалось збільшення амплітуди поля й фокусування послідовності позитронних згустків. В роботі показано доцільність подальшого вивчення кільватерних прискорювачів, зокрема, розвитку перспективного методу – кільватерного прискорення рентгенівським лазером в твердотільній плазмі, що дозволяє отримати градієнти прискорення в кілька теравольт на метр. Експерименти з кільватерного прискорення вже відбуваються в світових наукових центрах, таких, як DESY. Теоретичні дослідження відповідних методів відбуваються й в Україні.

Результати досліджень, представлені в дисертаційній роботі, можуть стати основою для подальших теоретичних й лабораторних досліджень. Таким чином, підтверджується суттєве наукове, теоретичне та практичне значення результатів дисертації.

7. Дотримання академічної доброчесності.

Дослідження тексту дисертації та публікацій не виявило будь-якого порушення вимог академічної доброчесності, плагіату, фальсифікацій.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

1. В тексті дисертації присутні терміни, характерні для вузької тематики кільватерного прискорення. Зокрема, «кільватерні бульбашки», «комбіноване лазеро-плазмове прискорення». Автору слід було більш детально пояснити їхнє значення та особливості використання.
2. У тексті дисертації трапляються невдалі мовні звороти, як от «інжекція лазеру в плазму», «поєднання теоретичних та виробничих способів» тощо.
3. З графічних залежностей зрозуміло, що автор використовує однорідний радіальний профіль плазми. Тим не менш, акцент на це потрібно було зробити безпосередньо при постановці задач.
4. Кількість задач, що представлено в дисертації можна було б зменшити.

Висловлені зауваження не зменшують наукову цінність роботи і не впливають на загальну високу оцінку її результатів.

9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи.

Дисертація Бондаря Дениса Сергійовича є новою, самостійною, завершеною, актуальною роботою, що відповідає сучасним науковим стандартам та вимогам до дисертаційних робіт.

Дисертація оформлена відповідно до чинних вимог, написана науковим стилем, літературною українською мовою. Робота є повною, її науковий зміст відповідає галузі знань 10 – «Природничі науки», спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали». Текст відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової

спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44) та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. №40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації». Робота відповідає вимогам академічної доброчесності.

Вважаю, що Бондар Денис Сергійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Офіційний опонент,
доктор фізико-математичних наук,
професор, завідувач кафедри радіотехніки
та радіоелектронних систем
факультету радіофізики, електроніки
та комп'ютерних систем Київського
національного університету імені
Тараса Шевченка

Ігор АНІСІМОВ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 17:13:23 21.03.2024

Назва файлу з підписом: Anisimov_Bondar_review.pdf.asice
Розмір файлу з підписом: 183.0 КБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: Anisimov_Bondar_review.pdf
Розмір файлу без підпису: 187.8 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: АНІСІМОВ ІГОР ОЛЕКСІЙОВИЧ
П.І.Б.: АНІСІМОВ ІГОР ОЛЕКСІЙОВИЧ
Країна: Україна
РНОКПП: 2136506079
Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 17:13:46 21.03.2024
Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"
Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000ECF05501928BF404
Алгоритм підпису: ДСТУ 4145
Тип підпису: Удосконалений
Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)
Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)
Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2024.03.14 13:00

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
професору Ігорю ГІРЦІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

ВІДГУК

офіційного опонента, заступника директора з наукової роботи Інституту фізики Національної академії наук України, кандидата фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.04 – фізична електроніка), старшого наукового співробітника **Добровольського Андрія Миколайовича** на дисертаційну роботу **Бондаря Дениса Сергійовича** *«Дослідження збудження полів в плазмі та діелектрику потужними лазерними імпульсами та релятивістськими електронними згустками задля прискорення, фокусування та нагріву електронів і позитронів»*, подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

1. Обґрунтування вибору теми дослідження.

Поряд з розвитком існуючих класичних методів прискорення, завжди актуальною темою був пошук нових шляхів збільшення ефективності прискорення заряджених частинок. Один з таких методів – використання кільватерного прискорення, зокрема, розвиток ідей з використання твердотільної плазми та рентгенівських лазерних імпульсів. Значний прогрес розвитку фізичних технологій зумовлюють необхідність вивчення кільватерних методів у різних середовищах. В дисертаційній роботі пропонуються способи фокусування й збільшення амплітуди полів не лише коли драйвер – лазерний імпульс, але й для драйверів – згустків заряджених частинок. Використаний метод числового моделювання дозволяє охопити широке коло параметрів, розглянути випадки, що поки недоступні для експериментів, полегшивши майбутню роботу експериментаторам. Результати досліджень можуть бути як основою для подальших теоретичних досліджень, досліджень за допомогою моделювання й експериментів з метою подальшого використання оновлених

прискорювачів в лабораторіях, галузях промисловості, медицині, у високих технологіях. Саме тому дослідження, виконані в роботі, є актуальними.

Таким чином, дисертація **Бондаря Дениса Сергійовича** є актуальною науковою роботою, обрана тема є доцільною.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення.

Дисертаційна робота виконана в Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна, ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут». Дисертація містить: анотацію українською та англійською мовами, вступ, 5 розділів, висновки, список використаних джерел (153 найменування), додаток. Загальний обсяг роботи складає 193 сторінки. В роботі сто сім рисунків та одна таблиця. Змістовні складові роботи:

- **Вступ** містить загальну інформацію про роботу, доцільність обрання саме такої теми дослідження. У вступі висвітлено наукову новизну, надано інформацію про публікації, загальний зміст дослідження й інше. Загалом, автор дисертації надає повну інформацію.
- **Перший розділ** присвячено огляду літератури з тематики дослідження. Автор розглядає як класичні роботи з тематики, так і сучасні дослідження, висвітлює основні досягнення науковців з тематики.
- **Другий розділ** присвячено дослідженню питання кільватерного прискорення в твердотільній плазмі рентгенівським лазерним імпульсом. Автор дисертації розглядає утворення самоінжектованих згустків та комбінований режим лазеро-плазмового прискорення.
- **Третій розділ** присвячено кільватерному прискоренню й руху самоінжектованих згустків в неоднорідній плазмі. Розглядається утримання самоінжектованих згустків в фазі прискорення кільватерної хвилі, зростання амплітуди поля прискорення в області самоінжектованих згустків.
- **Четвертий розділ** присвячено плазмовим лінзам для релятивістських позитронних згустків, збудженню полів в плазмі послідовністю релятивістських електронних згустків в нерезонансному випадку.

- **П'ятий розділ** присвячено вивченню збудження полів в плазмі послідовністю згустків заряджених частинок за наявності зовнішнього магнітного поля, дослідженню коефіцієнта трансформації в плазмі та діелектрику.
- **У висновках** автор підбиває підсумки та аналізує виконане дослідження, його результати. Висновки є повними й зрозумілими.
- **Список використаних джерел** містить достатню кількість посилань, оформлених належним чином.

Дисертація Бондаря Дениса Сергійовича на тему «Дослідження збудження полів в плазмі та діелектрику потужними лазерними імпульсами та релятивістськими електронними згустками задля прискорення, фокусування та нагріву електронів і позитронів» є завершеною науковою роботою, зміст якої відповідає критеріям роботи, достатньої для здобуття ступеня доктора філософії. Дослідження, виконані в ході роботи є актуальними, послідовними, повними, містять наукову новизну та мають теоретичне й практичне значення. В дисертації відсутній плагіат, вона написана літературною мовою й зрозуміла.

Дисертація є цілісною та повністю завершеною науковою роботою. Текст та оформлення дисертації повністю відповідають «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44) та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації». Робота не містить плагіату.

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження, які автор представив в дисертації, виконувалися протягом навчання автора в аспірантурі Навчально-наукового інституту «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна та роботи в ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут». Дослідження виконано в часи співпраці автора дисертації з Eurofusion.

Проекти, в яких брав участь автор дисертації:

- конкурс НФДУ «Підтримка досліджень провідних та молодих учених», виконуючи проект № 2020.02/0299,
- Проект в рамках Eurofusion «Study of Direct Drive and Shock Ignition for IFE: Theory, Simulations, Experiments, Diagnostics development» № CfP-ADMIN-AWP19-ENR-01 (2019-2021 роки),
- проект в рамках Eurofusion «Advancing shock ignition for direct-drive inertial fusion» № CfP-FSD-AWP21-ENR-01-CEA-02 (2021-2023 роки).
- Також, автор дисертації бере участь в реалізації досліджень з тематики Інституту плазмової електроніки та нових методів прискорення Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут».

У всіх проектах автор виконував роль виконавця.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Результати, отримані автором дисертації, є науково достовірними й обґрунтованими. Метод числового моделювання, обраний здобувачем, є сучасним та розповсюдженим методом фізичних досліджень. Здобувач використовує верифіковану міжнародною науковою спільнотою фізико-математичну модель та програмний код. Останні є зараз практичним стандартом в таких дослідженнях. Отримані в результаті моделювання картини прискорення й фокусування принципово вкладаються у відому фізичну картину подібних (числових) експериментів. Обґрунтування й висновки, наведені здобувачем, також принципово відповідають фізиці прискорення заряджених частинок. Безпосередньо процеси, що розглядаються в роботі, є актуальними для вивчення з урахуванням того, що в світі в тій чи іншій мірі, відбуваються подібні теоретичні та практичні дослідження.

5. Основні наукові результати, одержані автором, їхня новизна.

Автор дисертації представив основні результати досліджень на наступних конференціях: 12th International Particle Accelerator Conference (IPAC'21), 3rd Townhall Meeting High Gradient Accelerator Plasma/Laser, 47th Conference on

Plasma Physics – Satellite Meeting, 4th European Advanced Accelerator Concepts Workshop, XIX Конференція з фізики високих енергій і ядерної фізики, International Conference and School on Plasma Physics and Controlled Fusion, Academic and Scientific Challenges of Diverse Fields of Knowledge in the 21st Century. CLIL in Action, 17th Direct Drive and Fast Ignition Workshop, XVI International Workshop “Plasma Electronics and New Methods of Acceleration”.

Результати дисертації повністю висвітлено в **п’яти статтях** в періодичних наукових виданнях. Серед видань є як українське наукове фахове видання, так й іноземні видання. Всі видання входять до принаймні однієї з баз Scopus, Web of Science.

Автор дисертації отримав такі основні результати:

- В дисертації автор виконує повне дослідження збудження кільватерного поля в плазмі твердотільної густини (густина, що приблизно дорівнює густині вільних електронів в металах) лазерним імпульсом з рентгенівською довжиною хвилі. Показано формування й досліджено динаміку самоінжектованих згустків, продемонстровано збудження полів прискорення з амплітудою в кілька теравольт на метр.
- Вперше у випадку твердотільної плазми було продемонстровано переваги використання профільованих лазерних імпульсів, зокрема в формуванні самоінжектованих згустків з мінімальним просторовим розміром.
- Вперше в твердотільній неоднорідній плазмі показано утримання в фазі прискорення кільватерної хвилі самоінжектованих згустків з метою збільшення їхнього поздовжнього імпульсу.
- Вперше в неоднорідній плазмі в критичній точці $\omega_{pe} = \omega_{laser}$ було продемонстровано згладжування поперечної неоднорідності плазмових структур, що утворюються при розповсюдженні в плазмі лазерного імпульсу.
- Вперше для твердотільної плазми в дослідженні було поєднано профілювання лазерного імпульсу та неоднорідність плазми, показано вплив профілювання на самоінжекцію, продемонстровано зростання

амплітуди кільватерного поля прискорення в області самоінжектованого згустку.

- Досліджено комбінований режим лазеро-плазмового прискорення в твердотільній плазмі при збудженні кільватерного поля рентгенівським лазерним імпульсом.
- Автор запропонував кілька конфігурацій плазмових лінз для фокусування послідовностей релятивістських позитронних згустків, перед цим продемонструвавши необхідність вивчення питання фокусування позитронних згустків.
- Автор продемонстрував збудження кільватерного поля зі зростанням амплітуди у сильно нерезонансному випадку. Розглянуто використання в слабконерезонансному випадку зовнішнього магнітного поля для збільшення амплітуди поля.
- Для короткої послідовності згустків для кількох розподілів струму згустку виконано повне дослідження залежності кільватерної сили фокусування від довжини згустків та відстані між ними.

За результатами аналізу досягнень, можна зробити висновок про наявність в роботі суттєвої наукової новизни.

6. Практичне значення отриманих результатів.

Автор розглянув та розв'язав широке коло задач, що поєднують як класичні, так й перспективні методи прискорення й фокусування заряджених частинок. У випадку кільватерних прискорювачів в твердотільній плазмі було продемонстровано отримання градієнтів прискорення в кілька теравольт на метр. Завдяки цьому, відкривається шлях до створення компактних прискорювачів заряджених частинок. Відповідно, такі прискорювачі можуть використовуватися, наприклад, в промисловості. Дослідження виконані шляхом числового моделювання, методу, що широко використовується, коли дослідник має справу з нелінійними процесами, про які йде мова в прискорення в кільватерних полях. В роботі демонструється зростання амплітуди поля, збудженого послідовностями згустків заряджених частинок в нерезонансному

випадку, досліджується сила фокусування послідовності згустків, вивчається коефіцієнт трансформації в плазмі та діелектрику. Результати досліджень мають наукову й практичну цінність, можуть бути використані для подальших досліджень – теоретичних чи експериментальних. Можливість створення більш ефективних прискорювачів підтверджує теоретичну й практичну цінність результатів дисертації.

7. Дотримання академічної доброчесності.

Після детального вивчення тексту роботи та публікацій, можна зробити висновок про відсутність будь-яких порушень вимог академічної доброчесності з боку автора. Елементи фабрикації та фальсифікації тексту також відсутні.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації. В ході детального аналізу повного тексту дисертації, в опонента виникли наступні зауваження:

1. Автор добре описує результати дослідження. Умовним недоліком можна вважати відсутність детального опису використаної фізико-математичної моделі. Це покращило б сприйняття результатів.
2. Автору дисертації необхідно було більш детально виокремити постанову задачі в розділах, щоб полегшити сприйняття цієї інформації.
3. Попереднє зауваження поширюється також на параметри системи моделювання в окремих задачах, не вистачає представлення цієї інформації, наприклад, в таблицях.
4. Дисертація містить дуже великий обсяг різнобічної інформації, що ускладнює процес її вивчення. Хоча весь представлений науковий матеріал відповідає темі роботи.
5. Символьна формалізація МГД моделі також полегшила б сприйняття постановки задачі.
6. Місцями присутні граматичні, стилістичні помилки та жаргонізми. Але це ніяк не заважає розумінню дисертації.

Зауваження ні в якому разі не зменшують наукової цінності дисертації, оцінка роботи є позитивною.

9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи.

Дисертація Бондаря Дениса Сергійовича на тему «Дослідження збудження полів в плазмі та діелектрику потужними лазерними імпульсами та релятивістськими електронними згустками задля прискорення, фокусування та нагріву електронів і позитронів» відповідає вимогам, що пред'являють до робіт такого наукового рівня з відповідної спеціальності, вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44), наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації». Дисертація є самостійною, якісною, завершеною науковою роботою. Дослідження, представлені в роботі, мають наукову новизну, вирізняються актуальністю.

Вважаю, що Бондар Денис Сергійович в роботі над дисертацією продемонстрував наукову зрілість та високий професіоналізм і **заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії** з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Офіційний опонент,
кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник, заступник
директора з наукової роботи
Інституту фізики Національної
академії наук України

Андрій ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ

створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 20:21:29 25.03.2024

Назва файлу з підписом: Dobrovolskyi_Bondar_review.pdf.asice

Розмір файлу з підписом: 210.8 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Dobrovolskyi_Bondar_review.pdf

Розмір файлу без підпису: 227.7 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: Добровольський Андрій Миколайович

П.І.Б.: Добровольський Андрій Миколайович

Країна: Україна

РНОКПП: 2428001594

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 20:21:24 25.03.2024

Сертифікат виданий: КНЕДП АТ "УКРСИББАНК"

Серійний номер: 4723196C41B46DB604000000728603006C190F00

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2024.03.14 13:00