

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

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»**,

яка подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 10 – Природничі науки

за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали

1. Оцінка роботи здобувача в процесі підготовки дисертації і виконання індивідуального плану навчальної та наукової роботи.

Аспірант Бондар Денис Сергійович виконав в повному обсязі індивідуальний план виконання освітньо-наукової програми підготовки доктора філософії. Освітня програма в обсязі 40 кредитів ECTS виконана в повному обсязі. Здобувач успішно склав наступні дисципліни:

- залік з навчальної дисципліни «Іноземна мова для аспірантів» (96 балів);
- залік з навчальної дисципліни «Філософські засади та методологія наукових досліджень» (100 балів);
- залік з навчальної дисципліни «Підготовка наукових публікацій та презентація результатів досліджень» (98 балів);
- залік з навчальної дисципліни «Інформаційні технології у прикладній фізиці» (100 балів);
- іспит з навчальної дисципліни «Іноземна мова для аспірантів» (95 балів);
- залік з навчальної дисципліни «Актуальні проблеми сучасної прикладної фізики та наноматеріалів» (96 балів);

- залік з навчальної дисципліни «Теоретична та прикладна фізика плазми» (98 балів);
- іспит з навчальної дисципліни «Актуальні проблеми сучасної прикладної фізики та наноматеріалів» (95 балів);
- іспит з навчальної дисципліни «Теоретична та прикладна фізика плазми» (97 балів).

Усі заплановані види робіт були виконані вчасно. Здобувач плідно співпрацював з науковими керівниками протягом усього терміну навчання в аспірантурі.

2. Обґрунтування вибору теми дослідження

В дисертаційній роботі представлені результати дослідження з питань збудження кільватерних полів лазерними імпульсами та згустками електронів в плазмі та діелектрику. Дослідження в роботі зосереджено навколо намагання спростити реальні експерименти, як сучасні, так й майбутні, особливо, коли дослідники мають справу з нелінійними збуреннями. Нелінійні ефекти важко прогнозувати й досліджувати, особливо, теоретично. Спрощення формул шляхом відкидання членів рівнянь, малих порівняно з іншими, що за таких умов необхідні, суттєво впливають на точність розрахунків й обмежують експериментаторів. В лабораторних умовах плазма часто є нестационарною, а збудження лазерними імпульсами й згустками кільватерних полів в плазмі у багатьох випадків є нелінійним процесом. В той самий час, за допомогою числового моделювання можна відтворити експеримент, або його частину, навіть тоді, коли докладної (або взагалі – майже ніякої) теорії з питання немає. Використовуючи лише комп'ютерне обладнання можна поточнити найдетальніші моменти майбутнього лабораторного експерименту й, зробивши відповідні припущення, отримати бажаний експериментальний результат швидше та з використанням меншої кількості ресурсів.

Наразі – у часи, що передують повноцінному запуску проекту EuPRAXIA, розвитку проекту з реалізації термоядерного синтезу ITER, числове моделювання є надзвичайно актуальним методом наукового дослідження, й

результати числового аналізу з того чи іншого питання є частиною програми будь-якої міжнародної фізичної конференції. Зокрема, в роботі виконується числове моделювання збудження кільватерного поля потужними рентгенівськими лазерними імпульсами. Нелінійний режим сприяє збільшенню амплітуди поля прискорення, але суттєво ускладнює експеримент. Питання фокусування згустків позитронів було досліджене в лінійному випадку. Фокусування позитронів через їхній заряд й у лінійному випадку є складним. Плазмові лінзи, для яких було знайдено параметри в дослідженні, забезпечують однорідне фокусування послідовності згустків. Також, було досліджено спосіб відновлення резонансу послідовності згустків й отримання найбільшого (за оптимальних умов) коефіцієнту трансформації. В дослідженні отримано екстремальні (кілька теравольт на метр за амплітудою) поля й релятивістські та ультрарелятивістські самоінжектовані згустки. В роботі за допомогою двовимірного числового моделювання досліджено силу фокусування, що діє на згустки електронів при розповсюдженні електронних згустків у плазмі в залежності від довжини згустку та відстані між згустками для різних профілів струму згустку. В роботі також розглядався комбінований режим лазеро-плазмового прискорення. Вивчалися способи підвищення ефективності кільватерного прискорення за використання неоднорідної плазми. Досліджувалося профілювання лазерних імпульсів та його вплив на самоінжектовані згустки. Кільватерні методи є перспективними, потребують детального аналізу й подальшого дослідження, особливо, засобами числового моделювання.

Актуальність зазначених проблем, їхнє теоретичне та практичне значення зумовили вибір теми дослідження, його мету та завдання.

Мета й завдання дослідження.

Автор дисертації мав на меті в ході дослідження досягнути розв'язання наступних задач:

- виконати числове моделювання збудження рентгенівським лазерним імпульсом кільватерного поля в плазмі;

- пошук параметрів для лазерних імпульсів, що дозволили б забезпечити найменший просторовий та енергетичний розкид самоінжекттованих згустків, що утворюються за збудження кільватерного поля в плазмі лазерним імпульсом;
- проаналізувати отримані результати та визначити максимальне значення амплітуди кільватерного поля прискорення;
- виконати дослідження впливу ефекту від профілювання лазерних імпульсів на самоінжекттовані згустки за процесу кільватерного прискорення;
- проаналізувати динаміку самоінжекттованих згустків, їхній просторовий розкид, функцію розподілу по імпульсах;
- вивчити питання формування солітонних каверн та їхню динаміку за збудження кільватерного поля в неоднорідній плазмі (інерційний синтез);
- дослідити питання згладжування поперечної неоднорідності при взаємодії лазерного імпульсу з неоднорідною плазмою;
- дослідити питання когерентного складання поздовжніх кільватерних полів прискорення для ланцюжку лазерних імпульсів в нелінійному випадку. Запропонувати спосіб відновлення когерентного складання у випадку відхилення позиції лазерного імпульсу від «резонансної»;
- вивчення залежності коефіцієнту трансформації від довжини електронного згустку. Пошук оптимальної довжини згустку для заданих параметрів;
- вивчення способу відновлення резонансу за допомогою впливу зовнішнього магнітного поля за збудження кільватерного поля послідовністю релятивістських електронних згустків;
- дослідження коефіцієнту трансформації під час збудження кільватерного поля в діелектричному резонаторі послідовністю згустків заряджених частинок;
- виконати дослідження збудження кільватерного поля в поздовжньо неоднорідній плазмі.

Для досягнення мети дисертаційного дослідження необхідно було виконати наступні дослідження:

- розробити задачі для подальшого числового моделювання збудження кільватерних полів в плазмі лазерними імпульсами;
- виконати пробні моделювання, віднайти оптимальні параметри, за яких можливо досягти цілей дослідження;
- виконати обробку й аналіз результатів числового моделювання, побудувати графіки, зробити необхідні висновки, припущення;
- визначити, за яких умов досягається максимальна амплітуда збудженого поздовжнього кільватерного поля прискорення;
- виконати числове моделювання збудження кільватерного поля послідовностями релятивістських електронних, позитронних згустків, відповідно до встановлених задач;
- дослідити збудження кільватерного поля послідовністю згустків заряджених частинок в діелектрику;
- за допомогою числового моделювання вивчити вплив зовнішнього магнітного поля на зміну амплітуди кільватерного поля за збудження кільватерного поля послідовністю релятивістських згустків електронів;
- дослідити вплив на коефіцієнт трансформації різних факторів, вивчити шляхи його збільшення;
- вивчити (виконати аналіз) динаміку амплітуди поля прискорення та динаміки самоінжекттованих згустків;
- розглянути спосіб утримання самоінжекттованого згустку в області фази прискорення кільватерного поля в неоднорідній плазмі;
- дослідити спосіб відновлення когерентного складання полів прискорення для послідовності лазерних імпульсів.

Об'єкт та предмет дослідження.

Об'єктом дослідження є кільватерні поля, що збуджуються лазерними імпульсами та згустками заряджених частинок, плазмові структури, що

утворюються під час кільватерного процесу й, безпосередньо, самоінжектовані згустки. Досліджуються параметри згустків. Об'єктом дослідження також, певною мірою, можна назвати лазерні імпульси – їхні параметри вивчаються з точки зору отримання найліпших конфігурацій кільватерного поля й самоінжектованих згустків.

Предметом дослідження є фізичні процеси, що є причиною й супроводжують процес збудження кільватерних полів в плазмі. Предметом дослідження можна вважати динаміку самоінжектованих згустків та кільватерних пузирів. Також, предметом дослідження є механізми формування самоінжектованих згустків, принципи взаємодії полів та самоінжектованих згустків; механізми впливу зовнішнього магнітного поля на відновлення резонансу за збудження кільватерного поля послідовністю згустків заряджених частинок, механізми збудження кільватерних полів в діелектричному резонаторі, механізми кільватерного фокусування згустків позитронів.

Методи дослідження.

Для розв'язання завдань дисертаційної роботи використовувалися методи числового моделювання (PIC моделювання – метод частинок в комітках). Числове моделювання є наближенням до експерименту, що дозволяє детально вивчити (сильно) нелінійні процеси, опис яких занадто складний суто аналітично.

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

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. Особистий внесок дисертанта в отриманні наукових результатів та

їх новизна

Особистий внесок дисертанта в отриманні наукових результатів та їх новизна полягає в наступному:

- 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.
- Запропоновано та використано механізм «підлаштування» для відновлення в нелінійному випадку процесу когерентного складання полів прискорення після лазерних імпульсів за збудження кільватерного поля ланцюжком рентгенівських лазерних імпульсів в плазмі, густина якої дорівнює густині вільних електронів в металах.

- Вперше у випадку плазми твердотільної густини продемонстровано спосіб утримання самоінжектованого згустку в фазі прискорення кільватерної хвилі за допомогою використання поздовжньої зростаючої неоднорідності плазми.
- Вперше досліджено використання профільованого лазерного імпульсу в поздовжньо неоднорідній твердотільній плазмі зі зростаючим профілем плазми задля збільшення поздовжнього імпульсу самоінжектованих згустків.
- Вперше в нелінійному режимі в неоднорідній плазмі твердотільної густини було продемонстровано переваги збудження кільватерного поля напівкосинусним лазерним імпульсом й досліджено динаміку самоінжектованих згустків.
- Знайдено нові параметри для плазмової кільватерної лінзи, що дозволяє здійснити однорідне фокусування послідовності релятивістських позитронних згустків.
- 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.
- 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.
- 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.

- Знайдено оптимальну довжину електронного згустку, за якої спостерігається найбільше значення коефіцієнту трансформації за збудження кільватерного поля згустком електронів.
- За допомогою числового моделювання для конкретних параметрів було досліджено та підтверджено формулу для коефіцієнту трансформації в діелектричному резонаторі.
- 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.
- 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.
- Досліджена еволюція кільватерної сили фокусування в залежності від відстані між згустками послідовності та довжини релятивістських електронних згустків.

5. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів, які одержав Бондар Д. С. при проведенні досліджень за темою дисертаційної роботи, забезпечується використанням фундаментальних підходів і методів числового експерименту за допомогою апробованих засобів. Отримані результати та зроблені висновки не суперечать сучасним науковим теоріям та положенням й узгоджуються з відомими результатами.

Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані в індексованих наукових журналах та доповідалися на українських й міжнародних наукових конференціях. Висновки дисертаційної роботи є обґрунтованими.

6. Наукове, теоретичне та практичне значення результатів дисертації.

Отримані в ході дисертаційного дослідження результати можуть бути використані як у подальших дослідженнях за допомогою числового моделювання, так й під час лабораторних дослідів. Результати досліджень дозволяють спростити лабораторні експерименти через те, що використовуючи числове моделювання, можна заздалегідь прорахувати параметри, за яких можливо отримання оптимальних, кращих результатів. Більш того, замість проведення повторних числових експериментів задля виправлення недоліків в ході лабораторних дослідів, можна використовувати дані числового моделювання. Числове моделювання дозволяє виконувати досліди з поглядом на майбутнє. Саме такими є досліди, зокрема, зі збудження кільватерного поля в плазмі лазерними імпульсами. Питання відновлення резонансу можуть використовуватися повсякчас в будь-яких устаткуваннях. Важливими й нагальними є питання збудження кільватерного поля в діелектричному резонаторі. Результати, отримані в дисертаційній роботі, можуть бути використані в українських та європейських дослідженнях, зокрема, в ННЦ «ХФТ», в ході функціонування європейських проектів EuPRAXIA, ALEGRO, в ході яких планується реалізувати й реалізується чимало експериментів з кільватерного прискорення. Також, практичне застосування дисертаційні результати можуть мати в лабораторіях з кільватерного прискорення. Зокрема, у Argonne National Laboratory та BELLA Center (США), Spanish Center for Pulsed Lasers (Іспанія), лабораторіях CERN (Швейцарія), Laboratori Nazionali di Frascati (Італія), DESY (Німеччина). Окрім того, результати можуть бути використані в будь яких лабораторіях, системах, устаткуваннях з метою покращення якості згустків заряджених частинок, зокрема, фокусування. Отже, дослідження є такими, що мають перспективи практичної реалізації.

7. Повнота викладення матеріалів дисертації в роботах, опублікованих автором.

Матеріали дисертаційної роботи опубліковано в 18 наукових працях, серед яких 5 статей у виданнях, які входять до наукометричних баз Scopus та/або Web of Science, 13 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Наукові праці в наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз Scopus та/або Web of Science:

1. **D. S. Bondar**, V. I. Maslov, I. N. Onishchenko, and R. T. Ovsiannikov, “Plasma lens for electron and positron beams,” *Problems of Atomic Science and Technology*, vol. 4(134), pp. 70–73, 2021, doi: 10.46813/2021-134-070
Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задачі, виконанні числового моделювання, аналізі та інтерпретації результатів, написанні й оформленні статті.
2. **D. S. Bondar**, V. I. Maslov, I. N. Onishchenko, “Simulation of plasma wakefield focusing and self-focusing of a short sequence of electron bunches depending on the bunch length, shape and distance between bunches,” *Problems of Atomic Science and Technology*, vol. 6(142), pp. 36–39, 2022, doi: 10.46813/2022-142-036
Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задачі, виконанні числового моделювання, аналізі та інтерпретації результатів, написанні й оформленні статті.
3. **D. S. Bondar**, V. I. Maslov, I. N. Onishchenko, “A method for maintaining the acceleration rate and increasing the energy of self-injected bunch due to the use of inhomogeneous plasma,” *Problems of Atomic Science and Technology*, vol. 4(146), pp. 67-70, 2023, doi: 10.46813/2023-146-067
Особистий внесок здобувача: формулювання задачі, виконання числового моделювання, участь в аналізі та інтерпретації результатів, написання й оформлення статті.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до міжнародних наукометричних баз Scopus та/або Web of Science:

1. V. Maslov, **D. Bondar**, I. Onishchenko, and V. Papkovich, “Transformer Ratio at Wakefield Excitation by Train of Electron Bunches with Linear Growth of Current in Dielectric Resonator Electron–Positron Collider,” *J Phys Conf Ser*, vol. 1596(1), p. 012056, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1596/1/012056

Особистий внесок здобувача: участь у отриманні, аналізі та інтерпретації результатів, написання й оформлення статті.

2. V. I. Maslov, **D. S. Bondar**, and I. N. Onishchenko, “Investigation of the Way of Phase Synchronization of a Self-Injected Bunch and an Accelerating Wakefield in Solid-State Plasma,” *Photonics*, vol. 9(3), p. 174, 2022, doi: 10.3390/photonics9030174

Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задачі, виконанні числового моделювання, аналізі та інтерпретації результатів, написанні й оформленні статті.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. **D. Bondar**, V. Maslov, and I. Onishchenko, “Identical Focusing of Train of Relativistic Positron Gaussian Bunches in Plasma,” in *12th International Particle Accelerator Conference (IPAC’21): Abstract Booklet*. Geneva, Switzerland: JACoW Publishing, May 2021, pp. 565–567.

Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задачі, виконанні числового моделювання, аналізі та інтерпретації результатів, написанні й оформленні матеріалів доповіді, представлення доповіді.

2. **D. Bondar**, V. Maslov, and I. Onishchenko, “Wakefield Excitation by a Sequence of Laser Pulses in Plasma,” in *12th International Particle Accelerator Conference (IPAC’21): Abstract Booklet*. Geneva, Switzerland: JACoW Publishing, May 2021, pp. 568–570.

Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задачі, виконанні числового моделювання, аналізі та інтерпретації результатів, написанні й оформленні матеріалів доповіді, представлення доповіді.

3. **D. Bondar**, V. Maslov, and I. Onishchenko, “Wakefield Excitation in Plasma of Metallic Density by a Laser Pulse,” in *12th International Particle Accelerator Conference (IPAC’21): Abstract Booklet*. Geneva, Switzerland: JACoW Publishing, May 2021, pp. 571–573.

Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задачі, виконанні числового моделювання, аналізі та інтерпретації результатів, написанні й оформленні матеріалів доповіді, представлення доповіді.

4. **D. Bondar**, V. Maslov, and I. Onishchenko, “Studying of Combined Mode of Wakefield Acceleration, High Accelerating Gradient Obtaining and also Plateau Formation on the Distribution of an Accelerating Wakefield and Zero Radial Wake Force by Very Short Electron Bunch, Self-injected and Accelerated in a Metallic-Density Electron Plasma by Laser Pulse, Shaped on Radius, Length and Intensity,” in *3rd Townhall Meeting High Gradient Accelerator Plasma/Laser*, May 2021.

Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задачі, виконанні числового моделювання, аналізі та інтерпретації результатів, написанні й оформленні матеріалів доповіді, представлення доповіді.

5. **D. Bondar**, V. Maslov, and I. Onishchenko, “Transition of Laser-Driven Wakefield Acceleration to Self-Injected Electron-Driven Wakefield Acceleration in Plasma of Metallic Density, Plateau Formation on Accelerating Wakefield and Zero Radial Wake Force by Laser Pulse, Shaped on Radius and Intensity,” in *47th Conference on Plasma Physics – Satellite Meeting*, Jun. 2021.

Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задачі, виконанні числового моделювання, аналізі та інтерпретації результатів, написанні й оформленні матеріалів доповіді, представлення доповіді.

6. V. I. Maslov, **D. S. Bondar**, I. P. Levchuk, and I. N. Onishchenko, “Optimal Wakefield Excitation in Plasma by Non-resonant Train of Relativistic Electron

Bunches,” in *4th European Advanced Accelerator Concepts Workshop*, La Biodola Bay, Isola d'Elba, Italy, Sep. 2019.

Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задачі, виконанні числового моделювання, аналізі та інтерпретації результатів, написанні й оформленні матеріалів доповіді, представлення доповіді.

7. **D. S. Bondar**, V. I. Maslov, I. P. Levchuk, and I. N. Onishchenko, “Wakefield Excitation in a Metallic-Density Electron Plasma by X-ray Laser Pulses,” in *4th European Advanced Accelerator Concepts Workshop*, La Biodola Bay, Isola d'Elba, Italy, Sep. 2019.

Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задачі, виконанні числового моделювання, аналізі та інтерпретації результатів, написанні й оформленні матеріалів доповіді, представлення доповіді.

8. **D. S. Bondar**, V. I. Maslov, I. P. Levchuk, and I. N. Onishchenko, “Wakefield Excitation in a Metallic-Density Electron Plasma by X-ray Laser Pulses,” in *4th European Advanced Accelerator Concepts Workshop*, La Biodola Bay, Isola d'Elba, Italy, 2019.

Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задачі, виконанні числового моделювання, аналізі та інтерпретації результатів, написанні й оформленні матеріалів доповіді, представлення доповіді.

9. **Д. С. Бондар**, В. І. Маслов, та І. М. Онищенко, “Особливості когерентного складання кільватерних полів ланцюжка коротких лазерних імпульсів в плазмі високої густини,” у *XIX Конференція з фізики високих енергій і ядерної фізики*, м. Харків, Україна, 2021, с. 61.

Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задачі, виконанні числового моделювання, аналізі та інтерпретації результатів, написанні й оформленні матеріалів доповіді, представлення доповіді.

10. **D. S. Bondar**, V. I. Maslov, I. P. Levchuk, and I. N. Onishchenko, “Excitation of wakefield by a laser pulse in a metallic-density electron plasma,” in *International Conference and School on Plasma Physics and Controlled Fusion*, Kharkiv, Ukraine, Sep. 2018, p. 85.

Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задачі, виконанні числового моделювання, аналізі та інтерпретації результатів, написанні й оформленні матеріалів доповіді.

11. **D. S. Bondar**, V. I. Maslov, and I. N. Onishchenko, “Investigation of ways to optimize bunches of charged particles that are formed during wakefield acceleration in high-density plasma,” in *Academic and Scientific Challenges of Diverse Fields of Knowledge in the 21st Century. CLIL in Action*, Kharkiv, Ukraine, 2021, pp. 327-336.

Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задачі, виконанні числового моделювання, аналізі та інтерпретації результатів, написанні й оформленні матеріалів доповіді, представлення доповіді.

12. V. I. Maslov, **D. S. Bondar**, D. Batani, and R. T. Ovsianikov, “Laser Pulse Scattering in Transverse Direction near Critical Point in Inhomogeneous Plasma of Target in Inertial Fusion,” in *17th Direct Drive and Fast Ignition Workshop*, Geneva, Switzerland: JACoW Publishing, May 2021, pp. 571–573.

Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задачі, виконанні числового моделювання, аналізі та інтерпретації результатів, написанні й оформленні матеріалів доповіді.

13. **D.S. Bondar**, V.I. Maslov, and I.N. Onishchenko, “A method for maintaining the acceleration rate and increasing the energy of self-injected bunch due to the use of inhomogeneous plasma,” in *XVI International Workshop “Plasma Electronics and New Methods of Acceleration”*, Kharkiv, Ukraine, 2023, p. 8.

Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задачі, виконанні числового моделювання, аналізі та інтерпретації результатів, написанні й оформленні матеріалів доповіді, представлення доповіді.

Результати дисертаційної роботи повністю відображено в публікаціях.

8. Дотримання академічної доброчесності.

На підставі вивчення тексту дисертації здобувача, наукових праць здобувача та Протоколу контролю оригінальності (перевірку наявності текстових запозичень виконано в антиплагіатній інтернет-системі

Strikeplagiarism.com) встановлено, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

9. Апробація матеріалів дисертації.

Результати проведених досліджень представлялись на українських та міжнародних наукових конференціях у формі доповідей, за результатами яких опубліковано матеріали наукових конференцій:

1. **D. Bondar**, V. Maslov, and I. Onishchenko, “Identical Focusing of Train of Relativistic Positron Gaussian Bunches in Plasma,” in *12th International Particle Accelerator Conference (IPAC’21): Abstract Booklet*. Geneva, Switzerland: JACoW Publishing, May 2021, pp. 565–567.
2. **D. Bondar**, V. Maslov, and I. Onishchenko, “Wakefield Excitation by a Sequence of Laser Pulses in Plasma,” in *12th International Particle Accelerator Conference (IPAC’21): Abstract Booklet*. Geneva, Switzerland: JACoW Publishing, May 2021, pp. 568–570.
3. **D. Bondar**, V. Maslov, and I. Onishchenko, “Wakefield Excitation in Plasma of Metallic Density by a Laser Pulse,” in *12th International Particle Accelerator Conference (IPAC’21): Abstract Booklet*. Geneva, Switzerland: JACoW Publishing, May 2021, pp. 571–573.
4. **D. Bondar**, V. Maslov, and I. Onishchenko, “Studying of Combined Mode of Wakefield Acceleration, High Accelerating Gradient Obtaining and also Plateau Formation on the Distribution of an Accelerating Wakefield and Zero Radial Wake Force by Very Short Electron Bunch, Self-injected and Accelerated in a Metallic-Density Electron Plasma by Laser Pulse, Shaped on Radius, Length and Intensity,” in *3rd Townhall Meeting High Gradient Accelerator Plasma/Laser*, May 2021.
5. **D. Bondar**, V. Maslov, and I. Onishchenko, “Transition of Laser-Driven Wakefield Acceleration to Self-Injected Electron-Driven Wakefield Acceleration in Plasma of Metallic Density, Plateau Formation on Accelerating

- Wakefield and Zero Radial Wake Force by Laser Pulse, Shaped on Radius and Intensity,” in *47th Conference on Plasma Physics – Satellite Meeting*, Jun. 2021.
6. V. I. Maslov, **D. S. Bondar**, I. P. Levchuk, and I. N. Onishchenko, “Optimal Wakefield Excitation in Plasma by Non-resonant Train of Relativistic Electron Bunches,” in *4th European Advanced Accelerator Concepts Workshop*, La Biodola Bay, Isola d'Elba, Italy, Sep. 2019.
 7. **D. S. Bondar**, V. I. Maslov, I. P. Levchuk, and I. N. Onishchenko, “Wakefield Excitation in a Metallic-Density Electron Plasma by X-ray Laser Pulses,” in *4th European Advanced Accelerator Concepts Workshop*, La Biodola Bay, Isola d'Elba, Italy, Sep. 2019.
 8. **D. S. Bondar**, V. I. Maslov, I. P. Levchuk, and I. N. Onishchenko, “Wakefield Excitation in a Metallic-Density Electron Plasma by X-ray Laser Pulses,” in *4th European Advanced Accelerator Concepts Workshop*, La Biodola Bay, Isola d'Elba, Italy, 2019.
 9. **Д. С. Бондар**, В. І. Маслов, та І. М. Онищенко, “Особливості когерентного складання кільватерних полів ланцюжка коротких лазерних імпульсів в плазмі високої густини,” у *XIX Конференція з фізики високих енергій і ядерної фізики*, м. Харків, Україна, 2021, с. 61.
 10. **D. S. Bondar**, V. I. Maslov, I. P. Levchuk, and I. N. Onishchenko, “Excitation of wakefield by a laser pulse in a metallic-density electron plasma,” in *International Conference and School on Plasma Physics and Controlled Fusion*, Kharkiv, Ukraine, Sep. 2018, p. 85.
 11. **D. S. Bondar**, V. I. Maslov, and I. N. Onishchenko, “Investigation of ways to optimize bunches of charged particles that are formed during wakefield acceleration in high-density plasma,” in *Academic and Scientific Challenges of Diverse Fields of Knowledge in the 21st Century. CLIL in Action*, Kharkiv, Ukraine, 2021, pp. 327-336.
 12. V. I. Maslov, **D. S. Bondar**, D. Batani, and R. T. Ovsiannikov, “Laser Pulse Scattering in Transverse Direction near Critical Point in Inhomogeneous Plasma

of Target in Inertial Fusion,” in *17th Direct Drive and Fast Ignition Workshop*, Geneva, Switzerland: JACoW Publishing, May 2021, pp. 571–573.

13. **D.S. Bondar**, V.I. Maslov, and I.N. Onishchenko, “A method for maintaining the acceleration rate and increasing the energy of self-injected bunch due to the use of inhomogeneous plasma,” in *XVI International Workshop “Plasma Electronics and New Methods of Acceleration”*, Kharkiv, Ukraine, 2023, p. 8.

10. Оцінка структури, мови та стилю дисертації.

Матеріал дисертації викладено в логічній послідовності в доступній для сприйняття формі. Дисертація написана науковою мовою, стиль роботи відповідає стилю науково-дослідницьких публікацій експериментального спрямування, при викладанні матеріалу застосовано сучасну наукову термінологію. Зміст, структура, оформлення 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), наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій».

11. Відповідність змісту дисертації спеціальності, з якої вона подається до захисту.

За своїм фаховим спрямуванням, науковою новизною і практичною значимістю дисертаційна робота Бондаря Д. С. «Дослідження збудження полів в плазмі та діелектрику потужними лазерними імпульсами та релятивістськими електронними згустками задля прискорення, фокусування та нагріву електронів і позитронів» відповідає спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали». Здобувачем повністю виконано освітню та наукову складову третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти.

12. Результат обговорення та проведення дисертації.

Рекомендація дисертації до захисту.

Здобувач представив основні результати своєї дисертаційної роботи на розширеному засіданні Кафедри прикладної фізики та фізики плазми навчально-наукового інституту «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна щодо попередньої експертизи дисертації (Витяг з протоколу № 6 розширеного засідання Кафедри прикладної фізики та фізики плазми від 24.01.2024 р.) у формі презентації та наукової дискусії після її завершення. На даному засіданні були присутні 11 співробітників із різних наукових та навчальних установ України, з яких 6 докторів наук та 3 кандидати наук. Дисертанту було задано 6 питань, на які він надав вичерпні відповіді. Також виступили 6 науковців, які позитивно відізначались про дисертаційне дослідження Бондаря Дениса Сергійовича.

У рамках цього розширеного засідання було ухвалено одноголосно (11 голосів) рекомендувати дисертаційну роботу аспіранта Бондаря Дениса Сергійовича на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Доктор фізико-математичних наук,
професор Кафедри
прикладної фізики та
фізики плазми ННІ
«Фізико-технічний факультет»
Харківського національного
Університету імені В.Н. Каразіна



Ігор ДЕНИСЕНКО