

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Кузьміна Володимира Валеріановича «Прискорення заряджених частинок у електромагнітних полях великої інтенсивності», представлена на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю

01.04.20 – фізики пучків заряджених частинок

**Актуальність** У фізиці пучків високих енергій одним із головних завдань є підвищення темпів прискорення заряджених частинок, що відкриває нові можливості для мініатюризації прискорювальних пристройів та розширення їх практичного застосування. Також викликає особливий інтерес пошук нових фізичних принципів аналізу структури речовини без внесення значних радіаційних ушкоджень. Сучасні методи прискорення частинок діляться на традиційні методи з металевими та діелектричними прискорювальними секціями та на нові методи прискорення. Основним недоліком металевих резонаторів є обмеження по напруженості електричного поля, збільшення якого до значень 20-50 МВ/м призводить виникнення пробою та до руйнування електродинамічних систем. Тому вибраний здобувачем напрямок дослідження є на сьогоднішній день затребуваним для розвитку альтернативних високоградієнтних методів прискорення заряджених частинок.

Дисертаційна робота Кузьміна В. В. присвячена проблемі взаємодії заряджених частинок з електромагнітними полями великої інтенсивності. Більшість результатів здобуті при використанні полів, для яких параметр сили хвилі є більшим ніж одиниця ( $a \equiv (eE / mc\omega) > 1$ ). З такими полями відкриваються можливості створення нових схем прискорення заряджених частинок. Причому таке прискорення може відбуватися у вакуумі, і не вимагає виконання відомих резонансних умов.

Слід також відзначити, що загальна тенденція використання більш потужних електромагнітних полів для прискорення заряджених частинок призводить не тільки до кількісних наслідків (наприклад до росту темпу прискорення), а й до появи нових якісних особливостей в динаміці руху частинок. Зокрема, в полях поперечних електромагнітних хвиль великої інтенсивності звичний поперечний рух частинок змінюється на повздовжній рух. Як відомо, такий рух є характерним для прискорення частинок в плазмових полях.

Тому, з моєї точки зору, актуальність теми дисертаційного дослідження Кузьміна Володимира Валеріановича не викликає сумнівів.

### Обґрунтованість і достовірність

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Кузьміна В.В. є високою. Вона базується на ретельному аналізі багатьох використаних джерел за даною проблемою, грамотній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів досліджень, розумному співставленні результатів,

критичному аналізі отриманих результатів у порівняні з результатами інших дослідників. В багатьох випадках дисертант здобув відомі граничні результати, які отримані в роботах інших авторів.

При виконанні поставленої мети досліджень було коректно використано комплекс добре апробованих методів теоретичної фізики та чисельних методів дослідження, а також відомі чисельні методи для комп'ютерного моделювання.

Дисертаційна робота являє собою закінчений труд. Він поєднує огляд літератури з оригінальними результатами, спрямованими на впровадження. Згідно з викладеним вище, обґрунтованість наукових положень, висновки результатів дослідження і рекомендації, що сформульовані в дисертаційній роботі, на мій погляд не підлягають сумніву.

**Значущість для науки і практики** дисертаційної роботи, головним чином, обумовлена тим фактом, що в ній досліджено низку нових умов прискорення заряджених частинок при їх русі у електромагнітному полі великої напруженості. Відзначу найважливіші з них.

1. Визначено, що електронний пучок може збуджувати регулярні коливання в умовах циклотронного резонансу, коли частота хвилі, що збуджується, є у декілька разів меншою, ніж пучкова частота. Це дозволяє створювати системи з перетворенням частоти модуляції електронного потоку.

2. Встановлено, що у сильних ( $a > 1$ ) поперечних електромагнітних полях основну роль у динаміці заряджених частинок відіграє нелінійна магнітна сила Лоренца. Тому поздовжній, по відношенню до хвильового вектору, рух заряджених частинок значно більш суттєвий, ніж поперечний рух. Цей результат кардинально відрізняється від випадку полів малої інтенсивності, де основний рух частинок відбувається у поперечному до хвильового вектору напрямку.

3. У полі лазерного імпульсу з круговою поляризацією, за відсутності зовнішнього магнітного поля, форма зміни поздовжнього (по відношенню до хвильового вектору) імпульсу зарядженої частинки повторює форму огинаючої імпульсу поля. Завдяки цьому саме лазерний імпульс з круговою поляризацією найбільш ефективно можна використати для прискорення заряджених частинок.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у наступному:

1. Здобуті результати, перш за все, наочно доводять, що динаміка заряджених частинок в полях великої напруженості змінюється не тільки кількісно, а саме головне, якісно. Ці особливості відкривають нові можливості для створення нових схем прискорення заряджених часток, зокрема для нових схем прискорення лазерним випромінюванням у вакуумі.

2. Отримані результати досліджень дозволили дати практичні рекомендації відносно параметрів лазерного випромінювання, які треба використовувати для реального, ефективного прискорення у вакуумі.

Зокрема доведено, що використання лазерного випромінювання з круговою поляризацією значно покращує характеристики схем прискорення у вакуумі.

Як практично усі дисертації, цей дисертаційний матеріал теж має деякі недоліки. До їх числа можна віднести наступні:

1. Робота не дуже вдало структурована. Зокрема, обсяги розділів 3 та 4 не перевищують 8 сторінок. Було б доцільним їх поєднання з іншими розділами дисертації.

2. У процесі роботи з текстом дисертації іноді виникає деяка незадоволеність стисливістю викладення аналізу результатів. Зокрема, не зовсім детальними є розрахунки щодо відстані між нелінійними циклотронними резонансами.

3. В п. 2.3, на мій погляд, забагато уваги приділено опису елементарних понять (фазова та групова швидкості, хвильовий пакет).

4. Немає детального опису фізичних причин щодо різниці в динаміці частинок в полі хвиль з лінійною та круговою поляризаціями.

5. В роботі відсутні будь-які схеми, які ілюструють рух потоку заряджених частинок та хвиль. Це ускладнює сприйняття аналізу результатів.

6. В роботі використовувалися чисельні методи розв'язання рівнянь, але не вказано, які саме.

7. Графічний матеріал оформленний з деякими похибками. Наприклад, час на графіках позначається різними буквами (T, τ тощо); на рис. 2.23 вісі координат взагалі не підписані.

8. В роботі спостерігаються граматичні помилки та характерні помилки перекладу: "обурення" замість "збурення", "середа" замість "середовище" та інші.

Ці недоліки дещо погіршують враження від роботи, але не зменшують значення здобутих в дисертації результатів.

Структура дисертації в повній мірі відповідає вимогам, які висуваються до кандидатських дисертаційних робіт. Мова і стиль подання матеріалу академічний і зрозумілий, пропозиції логічно побудовані, мають смислову завершеність, цілісність і зв'язність. Зміст дисертації послідовно відображає постановку завдань і їх розв'язання, а також інтерпретацію отриманих результатів. Автореферат повністю відображає зміст дисертаційної роботи. Основний зміст дисертації достатньо повно викладено у публікаціях автора та обговорено на міжнародних та національних конференціях. Основні результати дисертації викладені у 7 статтях, опублікованих в фахових виданнях, що включені до затвердженого списку МОН України та 3 статтях, опублікованих в закордонних наукових виданнях. 8 статей за темою дисертації індексуються в міжнародних наукометрических базах Scopus та Web of Science. Тому дисертація є цілісною та завершеною роботою.

В цілому, дисертаційна робота Кузьміна В. В. являє собою завершене в цілому теоретичне дослідження, що виконане на високому науковому рівні та представляє як науковий, так і практичний інтерес. За своїм змістом дисертаційна робота повністю відповідає спеціальності 01.04.20 – "Фізика пучків заряджених частинок".

На підставі вищевикладеного можна стверджувати, що робота Кузьміна Володимира Валеріановича «Прискорення заряджених частинок у електромагнітних полях великої інтенсивності» за своєю актуальністю, ступенем новизни, значущості здобутих в ній результатів для науки і практики, а також за структурою і обсягом відповідає вимогам пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присвоєння йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.20 - «Фізика пучків заряджених частинок».

Офіційний опонент

Доктор фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник,  
професор кафедри фізичних основ  
електронної техніки Харківського  
національного університету  
радіоелектроніки



Одаренко Е. М.

Підпис Одаренка Е.М. засвідчує

Вчений секретар ХНУРЕ  
канд. техн. наук, доцент



Магдаліна І. В.