

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Кручиніна Дмитра Сергійовича на тему «Оптимальне фокусування пучка заряджених частинок в лінійних прискорюючих системах з трубками дрейфа в формі еліптичних циліндрів», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дисертації.

Розвиток сучасної прискорювальної техніки нерозривно пов'язаний із необхідністю підвищення ефективності керування пучками заряджених частинок, забезпечення їх стійкого транспортування, прискорення та фокусування. При цьому особливого значення набувають математичні методи дослідження динаміки частинок у складних електромагнітних полях та методи оптимізації геометричних і фізичних параметрів прискорювальних систем.

Однією з актуальних задач є забезпечення необхідної якості фокусування пучка при мінімальних втратах частинок та збереженні стійкості їх руху. Традиційні конятурки прискорювальних систем не завжди дозволяють оптимально враховувати просторову структуру електромагнітного поля. Застосування трубок дрейфу у формі еліптичних циліндрів створює додаткові можливості для керування параметрами пучка та формування необхідних умов його фокусування.

У зв'язку з цим розроблення математичних моделей і чисельних методів дослідження руху заряджених частинок у таких системах є актуальним науковим завданням.

Актуальність роботи Кручиніна Д.С. визначається також необхідністю розвитку ефективних алгоритмів визначення областей стійкості, аналізу параметрів траєкторій частинок та пошуку оптимальних режимів функціонування прискорювальних систем.

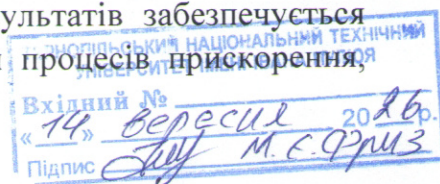
Отже, тематика дисертаційного дослідження є актуальною, відповідає сучасним тенденціям розвитку математичного моделювання та має як теоретичне, так і прикладне значення.

Дослідження, які склали основу роботи, виконувались відповідно до державних замовлень і відомчої тематики Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Результати цих досліджень відображені у трьох звітах, які пройшли державну реєстрацію.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, визначається відповідністю їх сучасним теоретичним уявленням класичної механіки, електродинаміки та теорії прискорення заряджених частинок, а також узгодженням окремих результатів з відомими у літературі теоретичними та експериментальними дослідженнями.

Також обґрунтованість та вірогідність наукових результатів забезпечується коректністю постановок задач математичного моделювання процесів прискорення.



транспортування та фокусування заряджених частинок, а також задач дослідження процесів електроперенесення у фрактальних середовищах для складання їх ефективних математичних описів.

Робота має комплексний характер і для вирішення поставлених завдань автор застосовує апробовані методи математичного моделювання, теорії диференціальних рівнянь, зокрема, теорії стійкості за Ляпуновим, варіаційного числення, методів математичної фізики та чисельні методи.

У дисертаційній роботі запропоновано обґрунтовану модифікацію обчислювальних методів та адаптацію існуючих процедур для комп'ютерного моделювання процесів, що досліджуються.

Частина результатів безпосередньо застосована в практиці що підтверджено актом про використання результатів дисертаційної роботи.

Обґрунтованість наукових положень, результатів та висновків дисертації забезпечується також апробацією результатів дослідження на наукових конференціях, опубліковані у 12 наукових працях, зокрема, у 7 статтях, з яких 4 проіндексовані у науково-метричних базах Scopus та Web of Science.

Достовірність і новизна наукових положень, висновків і рекомендацій.

Достовірність отриманих автором результатів, висновків і рекомендацій забезпечується застосуванням сучасних методів математичного моделювання, положень математичної фізики, електродинаміки та теорії прискорення заряджених частинок, числових методів і теорії алгоритмів, несуперечливістю одержаних результатів відомим теоретичним результатам, а також їх відповідністю даним фізичних експериментів, що підтверджує адекватність запропонованих математичних моделей досліджуваним фізичним процесам.

Отримані у роботі результати є новими. Розв'язано нове наукове завдання побудови математичних моделей в системах прискорення і фокусування та моделювання руху електронів у фрактальних структурах.

Одержані в дисертаційній роботі результати є новими. До найбільш вагомих результатів належать такі:

- Розроблено математичні моделі процесів прискорення та фокусування пучків заряджених частинок у лінійних прискорювальних системах з трубками дрейфу еліптичної форми, які враховують особливості просторового розподілу електромагнітного поля та дозволяють досліджувати вплив геометричних параметрів системи на характеристики руху частинок.
- Отримано результати чисельного дослідження впливу форми поперечного перерізу трубок дрейфу на параметри фокусування та стійкість руху заряджених частинок у прискорювальних системах.
- Розвинуто підходи до математичного моделювання динаміки заряджених частинок на основі методів практичної стійкості та функцій Ляпунова, що дало змогу підвищити ефективність чисельного аналізу процесів прискорення і транспортування пучків.
- Запропоновано математичні моделі процесів переносу заряду у фрактальних структурах, зокрема модель транспорту електронів у фрактальному ефекті

Джозефсона та узагальнення закону Ома із використанням операторів Джексона.

- Розроблено алгоритми та програмні засоби чисельного моделювання процесів прискорення, транспортування та фокусування заряджених частинок, а також дослідження областей стійкості відповідних динамічних систем.

Огляд змісту роботи.

Зміст дисертаційної роботи відповідає її темі, меті та основним завданням дослідження. Матеріал роботи охоплює широкий спектр питань математичного моделювання складних динамічних систем, дослідження практичної стійкості та чисельного аналізу руху заряджених частинок у прискорювальних і фокусувальних системах.

У першому розділі сформовано теоретичне та математичне підґрунтя дослідження. Розглянуто системи частинок із внутрішньою структурою зв'язків, фрактальні моделі таких систем, масштабні властивості фрактальних кластерів, їх енергетичні характеристики та варіаційні принципи механіки. Розглянуті підходи створюють основу для подальшого математичного опису складних систем із урахуванням внутрішньої структури та її впливу на динаміку.

Другий розділ розвиває зазначений математичний апарат стосовно систем зі змінною структурою зв'язків. У ньому розглянуто моделі варіації зв'язків між частинками, узагальнено відповідні варіаційні принципи та отримано рівняння еволюції систем. Такий підхід є важливим для опису складних систем, в яких структура взаємодії частинок може змінюватися в процесі їх динамічного розвитку.

У третьому розділі здійснено перехід від загальних моделей складних систем до конкретних електрофізичних задач. Розглянуто математичні моделі руху та колективної динаміки заряджених частинок, процеси у фрактальних електрофізичних середовищах, нелінійні коливання у фрактальному Джозефсонівському контакті, а також математичні моделі електроперенесення у фрактальних структурах. Особливу увагу приділено використанню операторів Джексона та побудові узагальненої моделі закону Ома для середовищ зі складною структурою та властивостями пам'яті.

Четвертий розділ є безпосередньо орієнтованим на основну прикладну задачу дисертації - математичне та комп'ютерне моделювання процесів прискорення і фокусування пучка заряджених частинок у лінійних прискорювальних системах. У ньому розглянуто задачі визначення нестійких траєкторій, оцінювання областей практичної стійкості, застосування функцій Ляпунова та нелінійних чисельних алгоритмів. Запропоновані моделі враховують неосесиметричну геометрію прискорювального каналу, зокрема використання трубок дрейфу у формі еліптичних циліндрів. Наведені результати чисельних експериментів демонструють можливості запропонованого підходу для аналізу енергії та просторових характеристик руху частинок уздовж прискорювального каналу.

Важливо підкреслити, що розглянуті у роботі задачі доведено до числової реалізації та проілюстровані графічним матеріалом.

Таким чином, зміст дисертації характеризується поєднанням фундаментальних математичних підходів, моделей електрофізичних процесів та прикладних методів комп'ютерного моделювання. Основні результати, наведені в окремих розділах,

узагальнено у висновках та пов'язані з поставленими завданнями дисертаційного дослідження.

Реферат відповідає змісту дисертації.

Теоретична і практична цінність та значення дисертаційної роботи

Теоретичне значення дисертаційної роботи полягає у розвитку математичних моделей та методів дослідження динаміки заряджених частинок у системах зі складною геометрією та неоднорідними характеристиками електромагнітного поля.

Запропоновані підходи можуть бути використані для подальшого дослідження задач стійкості, фокусування та транспортування пучків заряджених частинок.

Практичне значення роботи визначається можливістю використання розроблених моделей та алгоритмів при проектуванні й дослідженні лінійних прискорювачів заряджених частинок, фокусувальних систем та інших електрофізичних установок.

Результати можуть бути корисними при виборі геометричних параметрів трубок дрейфу, аналізі режимів прискорення, визначенні областей стійкого руху частинок та оцінюванні ефективності фокусування.

Окремим напрямом практичного застосування є використання розроблених методів у навчальному процесі під час викладання дисциплін, пов'язаних із математичним моделюванням, чисельними методами, електродинамікою та фізикою заряджених частинок.

Оформлення дисертації та дотримання принципів академічної доброчесності.

Дисертація є самостійно написаною кваліфікаційною науковою працею із науково обґрунтованими висновками та рекомендаціями. Структура і зміст дисертації свідчить про комплексний характер проведеного здобувачем дослідження, яке в повній мірі висвітлює тему роботи. Дисертація характеризується цілісністю, логічною послідовністю, наявністю взаємозв'язку між розділами та підрозділами та оформлена згідно з нормативними вимогами і стандартами, написана належною українською мовою. Використання ідей та результатів інших дослідників мають посилання на відповідні джерела.

Дисертація та наукові публікації, у яких висвітлені основні наукові результати, не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації, текстових запозичень чи інших порушень академічної доброчесності.

Оформлення дисертації відповідає вимогам Наказу МОН України «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» від 12.01.2017 № 40 зі змінами від 31.05.2019 р.

Відповідність дисертаційної роботи спеціальності.

Дисертаційна робота Кручиніна Дмитра Сергійовича «Оптимальне фокусування пучка заряджених частинок в лінійних прискорюючих системах з трубками дрейфа в формі еліптичних циліндрів» за змістом відповідає спеціальності 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки).

Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 01.05.02, зокрема, такому напрямку досліджень: "Розробка або розвиток теорії математичного моделювання реальних явищ, об'єктів, систем чи процесів як сукупності формалізованих дій

(операцій) для складання ефективних математичних описів об'єктів, що досліджуються”.

Дискусійні питання та зауваження до дисертаційної роботи.

Позитивно оцінюючи наукові здобутки дисертанта, вважаю за потрібне висловити певні зауваження дискусійного характеру:

1. У роботі заявлено задачу оптимального фокусування пучка заряджених частинок, причому серед критеріїв ефективності зазначаються мінімізація втрат частинок та покращення просторово-енергетичних характеристик пучка. Водночас доцільно було б чіткіше формалізувати, який саме критерій або функціонал оптимізації використовується при визначенні оптимальних параметрів прискорювальної системи, які параметри підлягають варіюванню та які обмеження на них накладаються. Це дозволило б повніше розкрити саме оптимізаційну складову поставленої задачі.

2. Значна частина теоретичного матеріалу дисертації присвячена математичним моделям систем частинок зі складною та фрактальною структурою, зокрема моделям із змінною структурою зв'язків, фрактальним моделям електрофізичних середовищ та узагальненому закону Ома. Водночас зв'язок зазначеного математичного апарату з основною задачею фокусування пучка в прискорювальній системі з еліптичними трубками дрейфу можна було б зробити більш явним. Бажано було б чіткіше окреслити, які саме результати загальної теорії безпосередньо використовуються у побудові моделі прискорювально-фокусувальної системи та яку додаткову інформацію вони дають порівняно з класичним описом руху заряджених частинок.

3. При чисельному дослідженні впливу геометрії трубок дрейфу на характеристики фокусування важливим є питання кількісного порівняння отриманих результатів із базовим випадком циліндричної геометрії. Доцільним було б ширше представити таке порівняння, а також оцінити чутливість отриманих результатів до зміни основних параметрів моделі та початкових умов. Це дало б змогу більш переконливо оцінити переваги використання еліптичної геометрії та межі застосовності запропонованого підходу.

Зазначені зауваження мають дискусійний характер і не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи. Висловлені положення можуть бути предметом подальшого розвитку та поглиблення запропонованих у роботі математичних моделей і чисельних методів.

Загальні висновки.

Дисертаційна робота Кручиніна Дмитра Сергійовича «Оптимальне фокусування пучка заряджених частинок в лінійних прискорюючих системах з трубками дрейфа в формі еліптичних циліндрів» є завершеним науковим дослідженням, у якому отримано нові науково обґрунтовані результати в галузі математичного моделювання динаміки заряджених частинок, дослідження стійкості та оптимізації прискорювально-фокусувальних систем.

У роботі розроблено та досліджено математичні моделі руху заряджених частинок, запропоновано чисельні алгоритми аналізу їх динаміки та областей практичної стійкості, досліджено вплив геометричних параметрів прискорювальної структури на процес фокусування та отримано результати, що мають теоретичне і практичне значення.

Результати роботи є новими, вони доповідались на міжнародних конференціях. Результати досліджень достатньо повно опубліковані в наукових працях дисертанта. Реферат адекватно відображає зміст роботи.

За актуальністю, рівнем та обсягом досліджень, науковою новизною та практичним значенням отриманих результатів дисертаційна робота «Оптимальне фокусування пучка заряджених частинок в лінійних прискорюючих системах з трубками дрейфа в формі еліптичних циліндрів» відповідає кваліфікаційним вимогам, які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, зокрема, п. 9, 11 та 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами), а її автор Кручинін Дмитро Сергійович заслуговує присвоєння йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
провідний науковий співробітник Інституту
прикладних проблем механіки і математики
ім. Я. С. Підстригача НАН України

Ольга ЧЕРНУХА

Підпис О.Ю.Чернухи засвідчую

В.о. вченого секретаря ІППММ
ім.Я.С.Підстригача НАН України



Наталія ДЖАЛЮК