

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Дормідонтова Анатолія Вікторовича "Взаємодія заряджених частинок і електромагнітних хвиль в циліндричних твердотільних структурах", яку представлено на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика

Актуальність теми. У вакуумній електроніці в основі джерел мікрохвильових хвиль знаходиться перетворення енергії пучка заряджених частинок, що взаємодіють зі сповільнюючою структурою, хвилеводом або резонатором, в електромагнітне випромінювання. Знання особливостей механізмів генерації електромагнітних хвиль є однією з першочергових задач радіофізики. Одним із шляхів виявлення елементарного механізму генерування є знаходження втрат енергії частинки на збудження власних хвиль і коливань структури, з якою вона взаємодіє. Специфіка освоєння міліметрового і субміліметрового діапазонів довжин хвиль привела до використання надрозмірних електродинамічних систем, що працюють у багатомодовому режимі. У таких системах генерування електромагнітних коливань зі стабільною частотою пов'язано зі збудженням і селекцією робочої моди високого порядку в твердотільних структурах, з якими взаємодіє потік заряджених частинок.

Дисертація Дормідонтова А. В. присвячена: 1) виявленню особливостей механізмів збудження власних хвиль і коливань твердотільного циліндра, над бічною поверхнею якого рухається заряджена частинка або потік частинок; 2) впровадженню розробленого способу селекції мод "шепочучої галереї" в автоколивальній системі на основі високодобротного циліндричного діелектричного резонатора.

Об'єктом досліджень є процеси взаємодії заряджених частинок і електромагнітних полів власних хвиль і коливань твердотільних структур циліндричної конфігурації. Невід'ємною частиною досліджень є хвильові і коливальні процеси в твердотільних хвилеводах і резонаторах, що в загальному випадку складаються з плазмоподібного середовища або містять таке. Додатково досліджуються електромагнітні властивості малорозмірних структур, включаючи нанотрубку. **Мета роботи** полягає у встановленні фізичних явищ і закономірностей, які мають місце, коли в полі заряджених частинок або однієї зарядженої частинки (макрочастинки) знаходиться або потрапляє в нього твердотільний об'єкт циліндричної конфігурації. При цьому прицільна відстань між частинкою (потокм частинок) і об'єктом є такою, що поля частинки (згустку або пучка) і власних коливань об'єкта взаємодіють.

У світлі сказаного, тема дисертаційної роботи Дормідонтова А. В. є актуальною як у теоретичному, так і прикладному відношенні. Додатковим підтвердженням актуальності теми є входження обраної тематики в Цільові програми наукових досліджень Відділення фізики і астрономії НАН України. Як впливає з матеріалів дисертації, вона виконана в рамках трьох держбюджетних НДР, що виконуються в Інституті радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України в період 2007–2021 рр.

Обґрунтованість наукових положень дисертації впливає з того, що вони базуються на результатах кількісного і якісного аналізу адекватних моделей електродинамічних систем, в яких здійснюється взаємодія частинки або згустку частинок, що рухається, з циліндричними твердотільними структурами. Ці моделі побудовані на основі розв'язку системи рівнянь, що складається з рівнянь Максвелла, матеріальних рівнянь, рівняння неперервності і рівняння руху зарядженої частинки, з урахуванням граничних умов на циліндричних поверхнях розділення середовищ електродинамічної системи і траєкторії частинки, а також умов випромінювання на нескінченності та скінченності поля на осі симетрії структури. Аналізи моделей проведено в рамках лінійної теорії спектральних задач.

Обґрунтування можливості збудження хвиль "шепочучої галереї" в циліндричному діелектричному резонаторі за допомогою багатоструменевого азимутально-періодичного електронного пучка базується на аналізі як теоретичних, так і експериментальних результатів досліджень. Підсумком такого підходу до наукових досліджень є селекція робочих мод резонатора автоколивальної системи.

Вірогідність отриманих кількісних результатів і якісних висновків обумовлена:

- обґрунтованістю електродинамічних систем, в яких виявлені основні механізми збудження власних хвиль і коливань циліндричних твердотільних резонаторів при взаємодії їх електромагнітних полів із зарядженими частинками, що рухаються;
- використанням строгих методів математичної фізики розв'язання спектральних задач і перевірених чисельних методів пошуку коренів трансцендентних дисперсійних рівнянь;
- добрим збігом енергії втрат в одиницю часу зарядженої частинки в окремих випадках прямолінійного або орбітального її руху з відомими результатами, що отримані іншими дослідниками;
- використанням добре відомих і перевірених експериментальних методів діагностики релятивістського електронного пучка і мікрохвильового випромінювання, а також технічними можливостями вимірювальних пристроїв, що застосовуються

Всі нові результати добре обґрунтовано за допомогою використання фундаментальних принципів фізики.

Наукова новизна результатів і висновків дисертації полягає у наступному:

1. Виявлено нові прояви відомих механізмів генерації електромагнітних хвиль в процесі взаємодії зарядженої частинки, що рухається, з твердотільною структурою (в загальному випадку — плазмоподібною) циліндричної конфігурації в умовах черенковського і магнітогальмівного резонансів. Зокрема, досліджено механізми збудження власних електромагнітних хвиль напівпровідникового (3D) циліндра з нанорозмірним плазмовим (2D) шаром на бічній поверхні та нанотрубки.
2. Вперше виявлено ефект невзаємності збудження власних мод гіротропного

циліндра з ідентичною структурою полів, але які відрізняються напрямком поширення вздовж азимутальної координати.

3. Вперше здійснено селекцію мод "шепочучої галереї" високодобротного циліндричного діелектричного резонатора в процесі збудження багатострумевим азимутально-періодичним потоком електронів, що обдувають резонатор.

Наукова і практична значущість роботи полягає в наступному. По-перше, істотно розширено можливості теоретичного дослідження механізмів збудження твердотільних структур у разі взаємодії з ними заряджених частинок, що рухаються. Результати досліджень спектральних характеристик циліндричних 3D- і 3D+2D-хвилеводів дають гарантію для їх застосування в пристроях субміліметрового діапазону довжин хвиль. По-друге, спосіб селекції робочих мод автоколивальної системи на основі циліндричного діелектричного резонатора дозволяє розряджати спектр випромінювання багатомодових КВЧ-генераторів. Це сприяє створенню джерел коливань терагерцевого діапазону, які мають прийнятні розміри.

Таким чином, результати дисертації розширюють фізичні можливості твердотільних структур у генераторних пристроях, які засновані на процесах перетворення енергій пучків заряджених частинок. Варто зазначити, що вони, особливо, знайдуть широке впровадження в розробках пристроїв міліметрового і субміліметрового діапазонів довжин хвиль, в яких реалізуються ефекти Вавилова–Черенкова і Доплера.

Серед можливих шляхів використання результатів дисертації можна назвати впровадження розвинених радіофізичних методів дослідження електродинамічних систем циліндричної конфігурації в практику конструкторських і проектних організацій, що займаються розробкою КВЧ-апаратури різного призначення. Варто розширити впровадження матеріалів дисертації в навчальний процес магістрантів і аспірантів за спеціальностями 010 – природні науки.

Зауваження та недоліки. Підтверджуючи обґрунтованість висновків і отриманих результатів, необхідно зробити наступні зауваження:

1. У своїх дослідженнях автор обмежився визначенням втрат енергії в одиницю часу частинки, що рухається поблизу поверхні твердотільної структури циліндричної конфігурації, яка також може містити 2D електронний газ. Непогано було б визначити спектрально-кутовий розподіл формованого випромінювання в досліджуваних електродинамічних системах.
2. Розділи (2)–(4) присвячено взаємодії електрона, що рухається, з циліндричними твердотільними структурами. Така взаємодія дозволяє виділити елементарні основні механізми генерування електромагнітного випромінювання. Для створення мікрохвильових генераторів необхідно використовувати пучки заряджених частинок, про що свідчать результати експериментальних досліджень автора, які наведені в останньому 5-му розділі. Отже, назріла необхідність теоретичних досліджень взаємодії електронного пучка з твердотільними структурами, в тому числі, що містять плазмopodobні середовища.
3. Дослідження в розділах 3 та 4 проведено в електростатичному наближенні. Автору слід продовжити свої дослідження і розглянути електродинаміку до-

сліджуваних систем у разі врахування ефекту запізнювання (скінченності швидкості світла).

4. У розділі 3 наведено результати чисельного дослідження тільки поверхневих хвиль у структурах, що розглядаються. В той час як аналітично досліджено і об'ємно-поверхневі хвилі. Відсутність результатів чисельного експерименту для об'ємно-поверхневих хвиль не дозволяє наочно побачити їх специфіку.
5. У роботі є граматичні помилки і свавілля оформлюючого характеру. Наприклад, перше посилання на рисунок 3.2 міститься на стор. 82, в той час як сам рисунок наведено на стор. 84, тобто через одну сторінку, що створює складність для читача. Аналогічна ситуація має місце з рисунками 3.3 і 3.4. Граматичні помилки в основному пов'язані з неточністю перекладу з російської мови.

Разом з тим, зазначені зауваження не порушують принципово суть роботи, не впливають істотно на кінцеві результати досліджень, що виконані автором, не зменшують наукову значимість та актуальність дисертації і не знижують високу оцінку наукового рівня дисертаційної роботи. Всі зауваження не позначаються на достовірності отриманих результатів про взаємодію заряджених частинок і електромагнітних хвиль в досліджуваних електродинамічних системах. Вони є рекомендацією і спрямуванням автору до наступних досліджень. В цілому, висловлені зауваження та зазначені недоліки не знижують загальну позитивну оцінку роботи.

Загальна оцінка роботи. Переходячи до загальної оцінки дисертації, варто відмітити, що вона є закінченим і цілісним дослідженням, з чіткою структурою і логічним поданням матеріалу та свідчить про персональний внесок автора в науку. Вона присвячена розв'язанню актуальної задачі радіофізики — взаємодії полів заряджених частинок і власних хвиль (коливань) твердотільних структур циліндричної конфігурації. Результати дисертаційної роботи досить повно висвітлено в 20 публікаціях, які включають 7 статей, що опубліковані у фахових журналах за спеціальністю 01.04.03, а також 13 доповідей на міжнародних конференціях і симпозіумах. Всі статті видано англійською мовою в журналах США: "Technical Physics Letters", "Technical Physics", "Radiophysics and Quantum Electronics" і "Telecommunication and Radio Engineering", які включені до наукометричних баз Scopus і Web of Science. Аналіз публікацій автора показав, що вони мають всі необхідні елементи, які підкреслюють повноту і глибину розкриття питань, що розглядаються. Робота має широку апробацію на наукових міжнародних 9 конференціях і 3 симпозіумах, а також на 1 конференції молодих вчених. Дисертація написана з використанням прийнятої в даній науковій сфері термінології досить зрозуміло і логічно. Стиль викладу матеріалу характеризується цілісністю, змістовною завершеністю, послідовністю і взаємозв'язком. Зміст і структура автореферату А. В. Дормідонтова в повній мірі відповідають структурі, основним положенням і висновкам дисертації. Обсяг і оформлення дисертації відповідають існуючим вимогам.

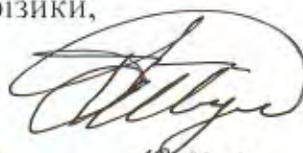
Висновки по роботі в цілому. Дисертаційна робота А. В. Дормідонтова "Взаємодія заряджених частинок і електромагнітних хвиль в циліндричних твердотільних структурах" є завершеною працею. Відбиті в ній науково обґрунто-

вані результати про властивості власних і вимушених хвиль та коливань циліндричних твердотільних хвилеводів і резонаторів, а також про механізми збудження електромагнітних хвиль в таких структурах зарядженими частинками, що рухаються над їх бічною поверхнею, є значним досягненням у розвитку радіофізики. За своєю актуальністю, новизною, науковою та практичною значущістю отриманих результатів дисертаційна робота задовольняє всім вимогам "Порядку присудження наукових ступенів", що пред'являються до кандидатських дисертацій за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

З урахуванням вищевикладеного вважаю, що Дормідонтов Анатолій Вікторович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за вказаною спеціальністю.

Офіційний опонент:

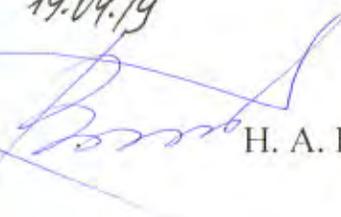
доктор фізико-математичних наук
за спеціальністю радіофізика,
професор кафедри теоретичної радіофізики,
декан факультету радіофізики,
біомедичної електроніки
і комп'ютерних систем



19.04.19

С. М. Шульга

Учений секретар
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна

Н. А. Вінникова