

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Лихачова Олександра Олександровича

“Спектральні характеристики та стабільність випромінювання клинотронів міліметрового та субміліметрового діапазонів з урахуванням особливостей процесів енергообміну”

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань

10 – Природничі науки за спеціальністю 104 – фізика та астрономія

1. Актуальність дослідження та зв'язок з науковими програмами, темами.

На даний момент випромінювання міліметрового та субміліметрового діапазонів зазначених діапазонів знаходить широке застосування у широкому колі практичних задач, зокрема, у високошвидкісній комунікації, візуалізації біологічних та медичних об'єктів, динамічній поляризації ядр для підвищення роздільної здатності ЯМР спектрометрів, сфері безпеки, матеріалознавстві та багатьох інших. У теперішній час напівпровідникові генераторні системи є дуже популярними через їх компактність та можливість широкого діапазону перестроювання, проте на жаль, не зважаючи на значний прогрес у напівпровідниковій галузі, головним недоліком даних генераторів залишаються низькі рівні потужності випромінювання особливо у субміліметровому діапазоні. В цей же час у зазначених діапазонах частот найбільшу потужність випромінювання мегаватного рівня мають гіротрони – електронно-вакуумні прилади сімейства мазерів на циклотронного резонансу. Однак частота випромінювання гіротронів прямопропорційна індукції магнітного поля, тож для роботи у субміліметровому діапазоні прилади даного типу потребують магнітних полів більше за 10Т, що значно впливає на габарити та вагу генераторних систем. Відкриті резонатори гіротронів забезпечують високу стабільність частоти випромінювання але в той самий час значно звужують діапазон перестроювання частоти. На відміну від гіротронів традиційні електронно-вакуумні прилади черенковського типу, до яких і відносяться клинотрони, є перспективними через їх компактність та достатні рівні потужності для роботи з середовищами, що мають значний коефіцієнт поглинання.

Всі завдання дисертації спрямовані на вирішення важливої наукової проблеми сучасної фізики, яка стосується розробки генераторних систем на основі клинотронів міліметрового та субміліметрового діапазонів з покращеними спектральними та амплітудно-часовими характеристиками випромінювання.

Важливість проведених досліджень обумовлена як їх суто науковою цінністю, так і великим значенням для прикладних застосувань. Тому тематика дисертації Лихачова О.О. є актуальною як в теоретичному, так і в прикладному

плані і становить великий інтерес для розробників апаратури мікрохвильового, терагерцового і оптичного діапазонів хвиль.

Про актуальність і практичну значимість теми дисертації переконливо свідчить і те, що вона виконувалася в рамках трьох держбюджетних науково-дослідних робіт Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України, в яких здобувач брав участь як виконавець.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Представлені наукові положення, висновки і рекомендації, що виносяться на захист, є досить обґрунтованими. Постановка дослідницького завдання виконана аргументовано та переконливо. Дисертація Лихачова О.О. складається зі вступу, який містить загальну характеристику роботи, чотирьох розділів основного тексту, висновків до роботи і списку використаних джерел.

У першому розділі дисертаційної роботи наведено характеристики вакуумних електронних приладів міліметрового та субміліметрового діапазону типу клинотрон, проведено аналіз параметрів сучасних високовольтних джерел живлення, що відповідають вимогам для роботи даного типу приладів.

У другому розділі дисертаційної роботи значна увага приділяється процесам формування та транспортування щільного стрічкового потоку електронів у електронно-оптичній системі діодного типу клинотронів. В результаті моделювання руху щільного стрічкового електронного пучка у просторі взаємодії клинотрону у статичному магнітному полі рівень досліджено вплив просторового заряду на профіль поздовжніх швидкостей електронів та визначено рівні пульсацій прискорювальної напруги, вплив яких на розкид швидкостей електронів пучка незначний порівняно з впливом інших фізичних факторів. У розділі особливу увагу приділено питанню формування високовольтної напруги для отримання мінімального рівня пульсацій, а також впровадженню додаткових зовнішніх кіл зворотного зв'язку для реалізації довготривалої стабілізації параметрів випромінювання.

Третій розділ присвячено дослідженню спектральних характеристик випромінювання клинотронів міліметрового та субміліметрового діапазонів. Отримано теоретичні та експериментальні залежності ширини спектральної лінії випромінювання від резонансних властивостей електродинамічної системи клинотронів, а також від розкиду швидкостей електронів пучка. В результаті моделювання електронно-хвильової взаємодії продемонстровано резонансні властивості електродинамічних систем клинотронів та показано, що у випадку субміліметрових приладів резонансні властивості надрозмірної електродинамічної системи обумовлюються відбиттями та трансформацією об'ємних і поверхневих хвиль, тоді як у приладах міліметрового діапазону завдяки відбиттю поверхневої хвилі на границях гребінки через відсутність поглиначів у колекторній частині приладу.

У четвертому розділі проведено дослідження параметрів випромінювання клинотронів у частотних діапазонах від 25 до 400 ГГц з метою запровадження розроблених систем стабілізації у генераторних комплексах та реалізації режимів модуляції частоти як у межах окремої зони генерації з безперервною зміною частоти, так і за алгоритмом переходу між зонами генерації для реалізації ступінчастої зміни частоти у набагато більшому діапазоні.

3. Наукова новизна та достовірність отриманих результатів

Наукова новизна отриманих у дисертації результатів природно впливає з актуальності й новизни вибору об'єкта досліджень, а фізично обґрунтований підхід до вибору і рішення необхідних для його повного вивчення завдань дозволяє автору переконливо це підтвердити.

В результаті проведених досліджень отримано ряд нових і принципово важливих результатів. Серед них необхідно визначити наступні:

1. Вперше встановлено рівень пульсацій високовольтної напруги, що прискорює електрони щільного стрічкового пучка у діодній електронно-оптичній системі клинотрона, коли розкид швидкостей електронів визначається виключно шумами пучка та дією анодної лінзи гармати.
2. Вперше продемонстровано, що для клинотронів міліметрового діапазону резонансні властивості обумовлені відбиттям поверхневої електромагнітної хвилі від границь гребінки, а у випадку клинотронів субміліметрового діапазону суттєвий вплив мають ефекти відбиття та трансформації мод у надрозмірній електродинамічній системі.
3. У результаті моделювання взаємодії електронного пучка з поверхневою хвилею у клинотронах міліметрового та субміліметрового діапазонів вперше встановлено залежність ширини спектральної лінії випромінювання від крутизни електронного перестроювання частоти з урахуванням резонансних властивостей електродинамічної системи.
4. Вперше реалізовано режими частотної модуляції для клинотронів міліметрового та субміліметрового діапазонів як з безперервною зміною частоти у межах окремих зон генерації, так і у режимі ступінчастої зміни частоти за умови переходу між відокремленими зонами генерації

Достовірність і обґрунтованість результатів, наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в даній дисертаційній роботі, не викликає сумнівів і визначається коректністю постановки задач, а також тим, що при їх отриманні використовувалися відомі методи теоретичної фізики для досліджень моделювання руху заряджених часток у статичному магнітному полі та взаємодії з електромагнітними полями, всебічно апробовані експериментальні методи вимірювання потужності та частоти для терагерцового діапазону. В роботі отримано добре узгодження експериментальних результатів з теоретичними передбаченнями.

Ознакою наукової новизни та достовірності отриманих результатів є також те, що більшість результатів опубліковано в провідних міжнародних журналах, в яких всі статті проходять ретельне експертне рецензування.

4. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях, відсутність порушень академічної доброчесності.

Дисертаційна робота Лихачова О.О. є завершеним науковим дослідженням, виконаним на високому науковому рівні.

В ній викладені нові фізичні результати, що мають як самостійні, так і прикладне значення, оскільки ці результати в достатній мірі сприяють вирішенню важливої наукової задачі сучасної фізики яка стосується з'ясування закономірностей фундаментальних фізичних механізмів і прикладних аспектів розробки генераторних систем на основі клинотронів міліметрового та субміліметрового діапазонів з покращеними спектральними та амплітудно-часовими характеристиками випромінювання.

Дисертація написана цілком зрозуміло і грамотно, науково-технічна термінологія використовується коректно, структура роботи є логічною.

Основні наукові результати дисертації висвітлені у 9 наукових публікаціях, серед яких 5 у наукових статтях, з яких 4 індексуються в міжнародних наукометричних базах даних Web of Science та Scopus і одна стаття опубліковано у фаховому науковому виданні України, а також у 4 збірниках матеріалів доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях Лихачова О. О. не виявлено. Посилання на дослідження інших авторів є коректним.

5. Науково-практична значимість отриманих результатів і можливі шляхи їхнього застосування

В результаті ретельного дослідження факторів, що впливають на спектральні та амплітудо-частотні характеристики випромінювання клинотронів міліметрового та субміліметрового діапазонів, було запропоновано нові генераторні комплекси, що мають покращені характеристики та додаткові можливості, такі як режим модуляції частоти генерації як за лінійним так і за ступеневим законами.

Одержані в дисертаційній роботі теоретичні та експериментальні результати можуть бути використані при створенні ТГц систем візуалізації тривимірних об'єктів та неруйнівного дослідження підповерхневого простору

Дисертаційна робота представляє наукову і практичну цінність для фахівців в області мікрохвильовий радіофізики, квантової радіофізики, оптоелектроніки та ін. Результати, отримані при її виконанні, можна рекомендувати для застосування в різних установах як дослідницького, так і науково-виробничого напрямків.

6. Недоліки і зауваження

Поряд з високим рівнем проведених експериментальних і теоретичних досліджень та цінністю отриманих результатів, мушу зазначити деякі недоліки і зауваження щодо дисертаційної роботи, що розглядається:

1. У першому розділі автор проводить опис принципів роботи вакуумних та електронних приладів мм та субмм діапазонів на ефектах Вавілова-Черенкова та Сміта-Парселла, але досить у конспективній формі. Бажано було б провести більш детальний та ґрунтовний порівняльний аналіз їх характеристик.
2. У другому розділі розглянуто формування щільного стрічкового пучка електронною гарматою типу плоский діод. Було б доцільно розглянути розкид поздовжніх швидкостей електронів, що досягається у інших конфігураціях електронних гармат з компресією пучка. Опис підрозділу 2.3 носить суттєво технічний характер і його слід було б перенести у додаток.
3. В роботі вказано, що за рівнів пульсації прискорювальної напруги нижче встановленого, визначний вклад у розкид швидкостей електронів пучка вносять ефекти, що пов'язані з шумами пучка. Однак дослідження впливу даних ефектів не проведено.
4. У четвертому розділі при описі методів відновлення зображення слід зазначати, яке наближення використовується – ближньої чи дальньої зони, що стосується також проведеного експериментального дослідження.

Дисертація не вільна від технічних огріхів. Так, на рисунку 2.1 відсутнє схематичне зображення електронно-оптичної системи, згаданої у підписі до рисунку.

У тексті дисертаційної роботи використовується лабораторний жаргон типу "...прискорює електрони пучка у 200 ГГц клинотроні" (ст.78).

Автор не завжди акуратно підходить до застосування наукової термінології та використовує англійські терміни у рисунках без розшифрування їхнього фізичного сенсу (рис. 1.2, рис.1.3, рис. 3.7).

7. Загальні висновки

Ці зауваження не зменшують загальну позитивну оцінку рецензованої роботи і не стосуються принципових результатів і висновків дисертації

В роботі отримані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують актуальну наукову задачу сучасної фізики яка стосується з'ясування закономірностей фундаментальних фізичних механізмів і прикладних аспектів розробки генераторних систем на основі клинотронів міліметрового та субміліметрового діапазонів з покращеними спектральними та амплітудно-часовими характеристиками випромінювання.

За тематикою проведених досліджень, змістом і наслідками дисертація Лихачова О.О. повністю відповідає спеціальності 104 – фізика та астрономія.. Матеріали дисертації повністю опубліковані в реферованих провідних

наукових журналах і були своєчасно подані на конференціях і симпозиумах, що проводилися за тематикою досліджень.

Беручи до уваги усе вищесказане, вважаю, що розглянута дисертаційна робота Лихачова Олександра Олександровича «Спектральні характеристики та стабільність випромінювання клинотронів міліметрового та субміліметрового діапазонів з урахуванням особливостей процесів енергообміну», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 104 – Фізика та астрономія, повністю відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» (з наступними змінами) та постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022р. «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченї ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» зі змінами, внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України № 341 від 21 березня 2022р., характеризується єдністю змісту та послідовністю викладення, містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, отримані здобувачем в процесі досліджень та не має порушень академічної доброчесності і здобувач – Лихачов Олександр Олександрович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія.

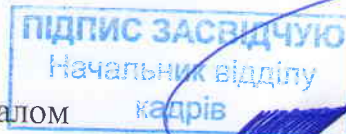
Офіційний опонент,
завідувач кафедри квантової радіофізики
факультету радіофізики, біомедичної
електроніки та комп'ютерних систем
Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна, доктор фізико-
математичних наук, професор



Вячеслав МАСЛОВ

23 січня 2023 року

Підпис засвідчую
начальник відділу кадрів
Служби управління персоналом



Олена ГРОМІКО

