

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Лобзова Леоніда Дмитровича
**«Стабілізація збуджуваних ВЧ полів у H -резонаторі лінійного
прискорювача іонів в умовах мультипакторних явищ»**,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
зі спеціальності 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

Дисертаційну роботу Л.Д. Лобзова присвячено теоретичному та експериментальному дослідженню процесів стабілізації у часі амплітуд електромагнітних полів, збуджуваних в об'ємних резонаторах малогабаритних лінійних прискорювачів іонів, які знаходять застосування у науково-дослідних та технологічних установках різноманітного призначення.

Актуальність обраної теми. Останні роки характеризуються стрімким просуванням нових, наукоємних технологій у різноманітні сфери наукової та технічної діяльності, як цивільного, так і військового призначення. Однією з таких технологій є застосування інтенсивних високоенергійних струменів легких іонів, зокрема, водню та дейтерію, у прикладних цілях. Пучки прискорених іонів широко використовуються в наукових дослідженнях, в ядерній енергетиці, техніці, медицині, біології, геології, як технологічний інструмент для забезпечення різних виробничих процесів та ін. Прискорювачі для таких цілей мають бути компактними, відносно дешевими, надійними в роботі, простими в експлуатації, мати високу продуктивність. Прискорений пучок повинен бути однорідним за енергією і мати емітанс (об'єм фазового простору), при якому втрати частинок при транспортуванні мінімальні.

На жаль, як в будь-яких технологіях, що інтенсивно розвиваються, має місце протиріччя між вимогами практики та можливостями розробників технічної бази. Як відомо, рух частинок уздовж прискорювального тракту в процесі прискорення в радіальному напрямку нестійкий. Стабілізація руху пучка по радіусу здійснюється різного роду фокусуючими пристроями, які, як правило, ро-



зміщуються в трубках дрейфу. Це значно ускладнює конструкцію трубок дрейфу і всього прискорювача в цілому. Суттєво зменшити розміри прискорювача, спростити його конструкцію і покращити параметри пучка можна шляхом переходу до резонаторів на коливаннях H -типу.

Однак, як показують експерименти, робота й таких прискорювачів не завжди є стабільною, головним чином, за рахунок мультипакторних явищ між паралельними торцями трубок дрейфу. Для забезпечення належної надійності системи, відтворюваності її характеристик та параметрів, необхідно стабілізувати у часі амплітуди аксіально-симетричних електромагнітних полів між трубками дрейфу, а також створити умови для мінімізації шкідливих явищ вторинно-електронної емісії між торцями елементів прискорюючої системи.

Зважаючи на вищевказане, є підстави стверджувати, що тема дисертаційної роботи Л.Д. Лобзова, яка стосується одного з напрямів розвитку експериментальної та теоретичної бази прискорення легких атомних ядер малогабаритними лінійними прискорювачами іонів малої та середньої енергії, а саме, забезпечення стабільності роботи та відтворюваності параметрів і характеристик таких установок, є на сьогоднішній день цілком актуальною.

Матеріали дисертації напрацьовані в ННЦ ХФТІ в рамках виконання планових бюджетних науково-дослідних робіт згідно з Постановами Бюро Відділення ядерної фізики та енергетики НАН України, де дисертант виступав у якості виконавця.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій. Основним методом аналізу процесів стабілізації збуджуваних аксіально-симетричних ВЧ-полів між трубками дрейфу лінійного прискорювача іонів в умовах існування мультипакторних явищ між їх торцями, що становлять предмет дослідження дисертаційної роботи, є спеціально сплановані натурні експерименти з подальшим аналізом, обробкою та фізичною інтерпретацією їх результатів аналітичними методами. Сумісне застосування експериментального та математичного апарату надає запропонованій роботі потрібного рівня фундаментальності та обґрунтованості, оскільки виключаються типові

для чисто теоретичних методів помилки неврахування тих чи інших фізичних факторів. Достовірність матеріалів дисертації обумовлена належним рівнем опису застосованих експериментальних установок та, особливо, детальною ілюстрацією їх результатів.

Наукові результати дисертаційної роботи не викликають сумніву, тому що основні висновки отримані автором з використанням відомих експериментальних та теоретичних методів і у більшості випадків вони не протирічать загальновідомим фізичним ефектам. Всі нові результати добре обґрунтовано за рахунок використання фундаментальних принципів фізики та техніки. Алгоритми обробки та інтерпретації експериментальних даних досить прості і не викликають особливих застережень.

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи. Головна наукова новизна дисертаційної роботи Л.Д. Лобзова полягає в послідовному експериментальному та теоретичному дослідженні факторів стабілізації вихідних параметрів та характеристик малогабаритних лінійних прискорювачів іонів в умовах існування мультипакторних явищ між паралельними торцями трубок дрейфу прискорюючої системи з резонатором на коливаннях H -типу.

В рамках вирішення цієї наукової задачі отримано окремі результати, які також мають ту чи іншу наукову новизну. Серед них, на наш погляд, слід особливо відзначити наступні.

1. Запропоновано оригінальний експериментальний метод дослідження збудження ВЧ-коливань та розвитку мультипакторних явищ у лінійному прискорювачі іонів з резонатором на коливаннях H -типу. Сумісний аналіз часових залежностей ВЧ-полів резонатора та струмів вторинно-електронної емісії, що виходять з електродів, дозволяє робити висновки про характер вторинно-емісійних процесів у зазорах прискорювальної системи, зокрема, про існування паразитних вторинно-емісійних розрядів на його периферії.

2. Досліджено умови множення електронів вторинно-електронної емісії між паралельними електродами трубок дрейфу лінійного прискорювача іонів з резонатором на коливаннях H -типу. Зокрема, проаналізовано вплив цих вто-

ринно-емісійних процесів на форму та амплітуду імпульсу загального струму на виході прискорювача.

Окрім перерахованих головних нових наукових результатів, є також інші, що можуть бути охарактеризовані як пріоритетні дослідження автора дисертаційної роботи.

Практичне значення роботи. Практична значимість проведеної автором роботи полягає в наступному. По-перше, проведено цілеспрямоване, комплексне (експериментальне та теоретичне) дослідження явищ збудження електромагнітних полів в електродинамічній системі лінійного прискорювача іонів з резонатором на коливаннях H -типу в умовах існування паразитних мультипакторних явищ між електродами прискорювальних зазорів. Результати його, з точки зору адекватності та універсальності, є цілком придатними для вирішення ряду актуальних проблем фізики та техніки високих енергій. Зокрема, детальний опис в дисертаційній роботі методики та результатів проведених експериментів є безперечно цінним для подальшого вивчення багатогранної проблеми забезпечення ефективності, стабільності та надійності роботи інтенсивних джерел високоенергетичних заряджених часток.

По-друге, результати наведених в дисертації експериментальних досліджень факторів та процесів стабілізації ВЧ-полів, збуджуваних у резонаторах електродинамічних систем малогабаритних лінійних прискорювачів іонів, мають загальнопрактичний характер і являють собою базу для розробки нових конструкцій таких прискорювачів для промисловості, медицини, матеріалознавства та ін., ще більш компактних, простіших та дешевших, так само як і для вдосконалення існуючої прискорювальної техніки.

Повнота викладу результатів в опублікованих працях. Результати дисертаційної роботи досить повно освітлено у відповідних публікаціях (8 статей у спеціалізованих фахових наукових виданнях України, що задовольняють вимогам ДАК МОН України до публікацій, на яких ґрунтується дисертація; 2 авторських свідоцтва та 1 патент. З них 2 статті опубліковані у спеціалізованих

наукових виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз Scopus. Наявні також 10 доповідей та тез на наукових конференціях та нарадах).

Аналіз публікацій автора показав, що вони мають усі необхідні елементи, що підкреслюють повноту і глибину розкриття розроблюваних питань. Робота має широку апробацію на міжнародних наукових фахових конференціях.

Дисертаційна робота написана, в основному, з використанням прийнятої в даній науковій області термінології, досить зрозуміло та логічно. Стиль викладання матеріалу характеризується цілісністю, змістовною завершеністю, послідовністю і взаємозв'язком.

Зміст та структура автореферату Л.Д. Лобзова цілком відповідає структурі, основним положенням та висновкам дисертації.

Зауваження та недоліки. Підтверджуючи обґрунтованість висновків і результатів дисертаційної роботи, по суті її змісту все ж необхідно зробити деякі зауваження:

1. Найбільш суттєвим недоліком оглядової частини (розділ 1) є відсутність будь-якого ілюстративного матеріалу. Автор описує сучасні й перспективні конструкції лінійних прискорювачів іонів, порушує проблеми, що мають місце при конструюванні та функціонуванні цих пристроїв, розглядає можливі варіанти їх розв'язання, але не підкріплює текстові положення жодною функціональною схемою, кресленням чи діаграмою. Звісно, аналізуючи цитовану в розділі літературу, можна створити належне уявлення про стан питань та проблем, що порушуються. Але оглядова частина для того й призначена, щоб, маючи певною мірою незалежний характер, допомагати читачеві швидко зорієнтуватися в подальшому матеріалі дисертаційної роботи.

2. Автор подекуди вживає термін «потенційна енергія первинних електронів», хоча відомо, що коефіцієнт вторинної електронної емісії визначається, поміж іншого, кінетичною енергією первинних електронів в момент досягнення ними поверхні вторинно-емісійного матеріалу.

3. Застосована в дисертаційній роботі методика інтегрування рівняння руху вторинно-емісійних електронів (4.3) викликає ряд запитань. Зокрема, для

знаходження траєкторій електронів, що емітовано з поверхні електрода, в заданих полях зазвичай розв'язується задача Коші. Однак, на с.с. 93 та 94 граничні умови сформульовано таким чином, що вони стають подібними до умов іншого класу задач, а саме, межових. Для повної оцінки адекватності результатів моделювання авторові також слід було б чітко визначити критерії поняття «найменша енергія вторинно-емісійних електронів» (с. 100).

4. Дисертанту варто було б звернути більше уваги на стиль викладення наукового матеріалу та чіткість окремих формулювань в його роботі. Такі вирази, як «емпіричне припущення» (с. 21), «електрична енергія електронів» (с. 23), «паразитні фактори у резонаторі» (с. 30), «коефіцієнти полів» (с. 46) та інші є занадто розпливчатыми, незрозумілими і тому неприйнятними для наукової праці.

5. Текст дисертаційної роботи не до кінця «вчитано». Зокрема, деякі речення побудовані незадовільно з точки зору української граматики. Іноді це призводить до того, що сенс окремих висловлювань стає малозрозумілим. Наприклад, «...це фактори грубого викривлення у прискорювальних зазорах аксіально-симетричних ВЧ полів, які знаходяться в повному оточенні однорідних ВЧ полів між паралельними торцями трубок» (с. 20), «викривлення умов погодженого з ним ПК відбувається автоматично» (с. 29), «на початку фаз півперіоду часу» (с. 99) та ін.

Разом з тим, вказані зауваження не порушують принципово суть роботи, не впливають істотно на кінцеві результати досліджень, виконаних автором, не зменшують наукову значущість і актуальність дисертації та не знижують високу оцінку наукового рівня дисертаційної роботи.

Висновки по роботі в цілому. Дисертаційна робота Л.Д. Лобзова «Стабілізація збуджуваних ВЧ полів у H -резонаторі лінійного прискорювача іонів в умовах мультипакторних явищ» є закінченим і цілісним дослідженням, з чіткою структурою і логічним викладенням матеріалу і свідчить про значний персональний внесок автора в науку. Відображені в ній нові науково обґрунтовані результати дослідження явищ збудження електромагнітних полів в електроди-

намічних системах лінійних прискорювачів іонів з резонаторами на коливаннях *H*-типу в умовах існування паразитних мультипакторних явищ між електродами прискорювальних зазорів у сукупності є суттєвим досягненням та базою для подальшого розвитку прискорювальної техніки.

З урахуванням актуальності, новизни, теоретичної та практичної значущості результатів та відповідності змісту дисертації спеціальності 01.04.01 вважаю, що дисертаційна робота Л.Д. Лобзова «Стабілізація збуджуваних ВЧ полів у *H*-резонаторі лінійного прискорювача іонів в умовах мультипакторних явищ» повністю відповідає вимогам Положення Кабінету Міністрів України про порядок присудження наукових ступенів щодо кандидатських дисертацій за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем, а її автор, Лобзов Леонід Дмитрович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.

Офіційний опонент
доктор фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.04 –
фізична електроніка,
професор кафедри мікроелектроніки,
електронних приладів та пристроїв
Харківського національного
університету радіоелектроніки



О.В. Грицунов

«Підпис д.ф.м.н. Грицунова О.В. засвідчую»

Перший проректор Харківського
національного університету радіоелектроніки



І.В. Рубан