

**ВІДГУК**  
**офіційного опонента на дисертаційну роботу**  
**Лаврової Галини Миколаївни**  
**«Кінетика фазонних дефектів та радіаційних пошкоджень**  
**в квазікристалах»,**  
**яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук**  
**(спеціальність 01.04.02 «теоретична фізика»)**

У дисертаційній роботі Лаврової Г.М. побудовано та розвинуто теоретичні підходи до опису кінетики фазонних дефектів та радіаційних пошкоджень в квазікристалах. Теоретичні методи включають як аналітичні, так і числові підходи гідродинаміки, термодинаміки та фізики радіаційних явищ. Дисертанткою продемонстровано гарне володіння цими методами. Самі об'єкти дослідження – квазікристали є дуже цікавими твердими тілами з унікальними властивостями, вивчення яких проводиться в провідних наукових центрах світу. Це робить обрану тему дисертаційної роботи актуальною.

*Актуальність досліджень*, проведених в рамках дисертаційної роботи Лаврової Г.М., підтверджується двома науковими проектами, що виконувались в Інституті теоретичної фізики імені О.І. Ахієзера Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України з 2016 по 2020 рік, 5 статтями в рейтингових журналах, 9 тезами доповідей на міжнародних конференціях і школах, а також на наукових семінарах Інституту теоретичної фізики імені О.І. Ахієзера Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України.

За *змістом і структурою* дисертаційна робота повністю відповідає вимогам до кандидатських дисертацій – її викладено на 139 сторінках друкованого тексту, вона складається зі вступу, чотирьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел з 96 найменувань і одного додатку. У *вступі* окрім окреслення зазначеної структури дисертаційної роботи наведено обґрунтування вибору теми досліджень із зазначенням їх актуальності, сформульовано основні завдання, наукову новизну отриманих результатів, їх практичне та наукове значення, особистий внесок здобувача, апробацію результатів на міжнародних конференціях, школах і семінарах.

*Розділ 1* присвячено опису структури квазікристалів, експериментальних даних та теоретичних робіт, в яких досліджувався рух дислокацій. Це необхідно для побудови належного теоретичного опису руху дислокацій і досягнення поставлених завдань. Зроблено систематизацію експериментальних робіт, в яких досліджувався вплив опромінення на квазікристали. Також наведено опис робіт, присвячених використанню квазікристалів у якості зміцнюючих домішок до сплавів.

У розділі 2 побудовано теоретичний підхід до опису рухливості дислокації в квазікристалі. Зокрема, досліджено залежність рухливості від температури та концентрації вакансій в ікосаедричному квазікристалі. Встановлено, що фазонний доданок дає основний внесок до рухливості, а вакансії впливають на неї мало. Знайдено вирази для рухливості дислокації в квазікристалі в рамках двох підходів – гідродинамічного і термодинамічного, і показано, що вони дають якісно подібні результати.

У розділі 3 розглянуто утворення і властивості фазонів як часткових точкових дефектів та їх роль у радіаційних явищах. Аналітично розглянуто еволюцію дислокаційних петель та показано, що в квазікристалі без пор петлі досягають граничного розміру. Чисельними методами показано, що ефективність фазонів для зменшення розпухання залежить від рухливості фазонів і від здатності пор поглинати фазони.

В розділі 4 розглянуто вплив фазонного сліду на ефективності поглинання міжвузлових атомів і вакансій дислокаційними петлями різного розміру. Чисельним методом знайдено ефективність поглинання точкових дефектів дислокаційною петлею з комплементарним кільцем фазонів. Показано, що фазони суттєво зменшують преференс дислокацій до міжвузлових атомів, внаслідок чого квазікристалічні матеріали повинні мати підвищену стійкість до вакансійного розпухання.

Таким чином, у дисертаційній роботі Лаврової Г.М. успішно розвинуто теоретичні підходи до опису рухливості дислокацій в квазікристалах, а також запропоновано концептуальний підхід до побудови теорії радіаційних процесів у квазікристалах. Дисертантом отримано суттєво нові та вагомні результати з наукової точки зору, побудовано нові та розвинено сучасні методи теоретичного дослідження. Дисертація **повною мірою відповідає спеціальності 01.04.02 – «теоретична фізика»**.

Загалом, дослідження дисертаційної роботи Лаврової Г.М. доповнюють і розширюють існуючі уявлення про кінетику дефектів в квазікристалах, що **підтверджує фундаментальне теоретичне значення здобутих результатів**. Також, на мою думку, до найбільш вагомних наукових результатів, здобутих в дисертаційній роботі, необхідно віднести запропоновану модель мікроскопічної структури фазонних дефектів вакансійного і міжвузлового типів та отримані вирази для швидкості розпухання квазікристала. Результати досліджень можуть бути використані для планування та проведення експериментів з вивчення можливості використання матеріалів, що містять включення квазікристалічних фаз, в якості конструкційних матеріалів реакторобудування. Таким чином, **результати дисертаційної роботи та розроблені методи опису кінетики дефектів в квазікристалах мають і вагоме практичне значення**.

*Обґрунтованість та достовірність* отриманих в дисертації теоретичних результатів забезпечується застосуванням сучасних і надійно апробованих методів

теоретичної та обчислювальної фізики, а також підтверджується ретельно проведеними математичними розрахунками, наведеними у тексті. У рамках застосованих модельних припущень наукові положення, висновки, сформульовані у дисертації, є повністю обґрунтованими. Аналітичні результати доповнюються і підтверджуються відповідним числовим аналізом.

Вважаю за доцільне ознайомити з науковими результатами дисертаційної роботи Лаврової Г.М. фахівців університетів МОН України й інститутів НАН України, таких як: Київський національний університет ім. Т. Шевченка, Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України (м. Київ), Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича (м. Київ), Інститут фізики конденсованих систем НАН України (м. Львів), Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна (м. Харків), Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України (м. Харків), Інститут монокристалів НАН України (м. Харків), Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут».

По змісту дисертації виникло декілька зауважень здебільшого рекомендаційного характеру:

- 1) У другому розділі представлена теорія руху дислокації в гідродинамічному наближенні. Треба було дослідити і вказати межі застосування цього наближення по температурі та зовнішнім механічним напруженням.
- 2) Одним із основних експериментальних методів дослідження динаміки дислокацій у звичайних кристалах є метод внутрішнього тертя. Було б корисно пристосувати розвинену теорію до такого роду досліджень в квазікристалах.
- 3) Процеси радіаційного розпухання матеріалів включають декілька стадій, серед яких основними є зародження радіаційних лінійних та об'ємних дефектів та стаціонарна зміна їх розмірів. В роботі представлено ескіз теорії радіаційного росту пор та дислокаційних петель в квазікристалі, але процеси зародження при цьому навіть не згадано. Було б цікаво мати хоч якесь обговорення цього явища в контексті теорії, що розвивається.

Наведені зауваження не зменшують наукову вагу та важливість отриманих результатів, а також загальну високу оцінку роботи. Дисертація відмінно структурована і якісно написана. Основні результати опубліковано в 5 статтях, більшість з яких у загально відомих фізичних журналах. Беззаперечним є особистий внесок дисертанта, що підтверджується великою кількістю персональних доповідей на міжнародних конференціях і семінарах. Новизна та наукове значення здобутих результатів не викликають сумнівів, а опубліковані роботи й автореферат повною мірою відображають зміст та висновки дисертаційної роботи. Дисертація Лаврової Г.М. є закінченою науковою роботою, в якій

отримані нові результати, що вирішують важливу наукову проблему теоретичної фізики, а саме послідовно побудовані теоретичні підходи до опису кінетики дислокацій і фазонних дефектів в квазікристалах із залученням сучасних методів теоретичної і обчислюваної фізики, а також зроблено важливі передбачення для проведення майбутніх експериментів з вивчення можливості використання матеріалів, що містять включення квазікристалічних фаз в якості конструкційних матеріалів реакторобудування.

Враховуючи високу актуальність обраної теми, наукову значимість і новизну отриманих результатів, достовірність і обґрунтованість висновків, вважаю, що дисертація «Кінетика фазонних дефектів та радіаційних пошкоджень в квазікристалах» повністю задовольняє вимогам до кандидатських дисертацій, зокрема, п.п. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р. (із змінами і доповненнями, внесеними постановами Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 року №656, від 30 грудня 2015 року №1159, від 27 липня 2016 року № 567, від 20 листопада 2019 року №943, від 15 липня 2020 року №607), а автор дисертаційної роботи, Лаврова Галина Миколаївна, повною мірою заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук,  
професор, завідувач відділу теорії  
конденсованого стану речовини  
Інституту монокристалів НАН України

В.В. Яновський

Підпис засвідчую:

Учений секретар Інституту монокристалів  
НАН України  
Канд. фіз.-мат. наук



К.М.Кулик