

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення

дисертації Шимановського Андрія Романовича

«Симетрія, консолідація, модульовані структури параметру порядку»,

яка подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 10 Природничі науки

за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали

1. Оцінка роботи здобувача у процесі підготовки дисертації і виконання індивідуального плану навчальної та наукової роботи.

У процесі роботи над дисертаційним дослідженням аспірант Шимановський А. Р. чітко дотримувався індивідуального плану наукової роботи та в повному обсязі й успішно виконав індивідуальний навчальний план. За час навчання в аспірантурі Шимановський А. Р. оволодів такими ключовими компетентностями: здатність самостійно застосовувати феноменологічні підходи з чітким усвідомленням меж їх застосовності для опису фазових переходів у відкритих нерівноважних системах та конденсованих середовищах із просторово неоднорідними станами; навички успішного застосування методів групового аналізу диференціальних рівнянь, зниження порядку варіаційних задач та знаходження точних аналітичних розв'язків у формі еліптичних функцій Якобі для опису періодичних і солітонних структур; вміння використовувати сучасні обчислювальні методи для розрахунку тривимірних нестационарних температурних полів та аналізу термокапілярних нестійкостей у розплавах під дією сильнострумів пучків; компетентність у проведенні комплексного аналізу експериментальних даних та їх фізичного трактування через призму розроблених теоретичних моделей порушення симетрії; навички підготовки наукових текстів, структурування матеріалів дисертації відповідно до сучасних вимог, а також успішної публічної апробації результатів.

2. Обґрунтування вибору теми дослідження.

Дослідження фізичних систем із неоднорідним просторовим розподілом параметру порядку (ПП) (магнітного моменту, поляризації тощо), а також фазових переходів, що зумовлюють появу таких станів, залишається одним із пріоритетних завдань сучасної фізики протягом останніх десятиліть. Значною мірою це пов'язано з тим, що результати, отримані при дослідженні різних магнітних систем, сегнетоелектриків, надпровідників відіграли важливу роль у розробці новітніх технологій у мікроелектроніці, обчислювальній техніці та створенні матеріалів із заданими властивостями. З іншого боку, вдосконалення уявлень з цього питання сприяло розвитку фізичних і математичних методів, мають важливе, а деяких випадках універсальне значення. Зокрема, йдеться про утвердження варіаційного принципу, як основоположного постулату фізики, про широке застосування симетрійного аналізу та дослідження нелінійних явищ і проблем стійкості станів.

Прикладами систем з просторово неоднорідним розподілом параметра порядку є, зокрема, доменні структури різних типів, магнітні структури типу спінових хвиль, модульовані структури, що виникають при різних структурних фазових переходах, хвилі густини заряду в металах, мікрофазове розшарування в колоїдних чи поверхнево-активних речовинах і т.д.

Особливий інтерес становить з'ясування властивостей систем з неоднорідним розподілом параметра порядку поблизу точок фазових перетворень, зокрема при значеннях фізичних характеристик системи, коли феноменологічний опис все ще допустимий. Цей інтерес зумовлений тим, що поведінка впорядкованих середовищ у критичній області, як правило, істотно відрізняється від їхньої поведінки далеко від точок фазових переходів. Наприклад, доменні структури вже не можна описати як сукупність різко розмежованих областей. Встановлення цих відмінностей та розуміння їх причин важливо при з'ясуванні властивостей та типів допустимих фаз та аналізі механізмів фазових переходів. Використання феноменологічних

підходів (таких як теорія Ландау фазових переходів другого роду), в основі яких лежать перші принципи фізики, дозволяє отримувати результати, що відрізняються великою спільністю і достовірністю. Разом з тим, теоретичне розуміння системи з неоднорідним розподілом параметра порядку поблизу точок фазових перетворень залишається неповним, що створює розрив між теорією та наявними експериментальними даними.

Неоднорідності параметра порядку просторово однорідних середовищах можуть бути зумовлені різними чинниками. Таким фактором, по-перше, є наявність зовнішньої межі, що виявляється, зокрема, або в конкуренції об'ємної та поверхневої анізотропії (що породжує неоднорідність параметра порядку в напрямку нормалі до поверхні зразка), або в конкуренції об'ємної та поверхневої енергій (що призводить до утворення доменних структур). По-друге, просторова модуляція параметра порядку може бути наслідком конкуренції та компромісу внутрішніх взаємодій, як це має місце у разі несумірних структур.

Разом з тим, з формальної точки зору, коли не береться до уваги конкретний фізичний зміст конкуруючих членів, вищезгадані ситуації виникають у результаті конкуренції низки доданків у виразах для термодинамічних потенціалів системи. Це призводить до появи кількох класів, які є близькими за структурою до нелінійних варіаційних рівнянь Ейлера. Аналіз таких рівнянь, зокрема, симетрійний аналіз дозволяє виявити загальні властивості систем з неоднорідним параметром порядку, полегшує пошук рішень, зокрема, рішень спеціального виду (солітони, кінки і т. д.). Цей перспективний напрямок нині розвинений недостатньо.

Критична поведінка упорядкованих фаз у конденсованих середовищах залишається однією з центральних проблем фізики твердого тіла. Перехід речовини у твердий стан сам собою може бути пов'язаний з просторовим упорядкуванням – утворенням кристалічної структури. Прикладами просторового впорядкування є фазові переходи (ФП) у твердих тілах, а також утворення модульованих структур із різними періодами модуляції. Труднощі

в описі впорядкування у твердих тілах пов'язані з необхідністю врахування багатьох ступенів свободи в масштабах від атомних до макроскопічних. Дослідження впорядкованих станів у твердих тілах важливе як із загальнофізичної точки зору, так і з прикладної.

Мета та основні завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є комплексне теоретичне дослідження та з'ясування особливостей критичної поведінки твердих тіл із просторово-модульованим упорядкуванням. Основна увага приділяється аналізу еволюції параметра порядку в околицях точок Ліфшиця та мультикритичних точок.

Для досягнення поставленої мети було необхідно виконати **такі завдання:**

- Сформулювати та обґрунтувати модель, здатну коректно описувати критичну поведінку системи, що допускає мультикритичні точки з властивостями точки Ліфшиця.
- Побудувати нові просторові розподіли ПП моделі φ^6 , відповідні точним розв'язкам нелінійних варіаційних рівнянь. Провести детальний аналіз фізичних умов (енергетичних, симетрійних та граничних), за яких виникають такі розподіли, та визначити їхню термодинамічну стійкість.
- Розширити класичний феноменологічний опис шляхом врахування внесків від вищих нелінійностей та градієнтів параметра порядку у виразі для вільної енергії.
- Дослідити специфіку структурних змін та фазових перетворень у твердих тілах (зокрема, у металах та сплавах) під дією потужних імпульсних потоків випромінювання.

З'ясувати роль просторової неоднорідності та нерівноважних станів у процесах деградації або модифікації мікроструктури матеріалів у жорстких радіаційних полях.

Об'єктом дослідження є фазові переходи першого та другого роду в конденсованих системах, зокрема у сегнетоелектриках, тугоплавких металах, та органічних середовищах.

Предметом дослідження є модульовані структури параметру порядку, що описуються варіаційним рівнянням термодинамічного потенціалу, та впорядковані структури у конденсованих системах під дією критичних чинників.

Методи дослідження. У роботі застосовано комплекс сучасних методів теоретичної фізики твердого тіла:

- Дослідження просторово-неоднорідних та несумірних структур параметра порядку базується на застосуванні варіаційного принципу для функціоналів вільної енергії.
- Для класифікації впорядкованих станів та аналізу стійкості фаз за умов спонтанного порушення симетрії використано методи групового аналізу (симетрійний аналіз).
- Для комплексного аналізу структурно-фазових перетворень, що відбуваються у молібденовій мішені під дією потужного електронного опромінення, було застосовано поєднання методів рентгеноструктурного аналізу, електронної мікроскопії та дюрOMETричних випробувань.

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційну роботу виконано в Навчально-науковому інституті «Фізико-технічний факультет» Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна відповідно до тематичних планів фундаментальних науково-дослідних робіт. Результати досліджень дисертаційної роботи були отримані в межах виконання науково-дослідної роботи з такої держбюджетної теми: «Енергетична залежність і рефракційні властивості взаємодії легких ядер з ядрами», ДР № 0120U102294 (2021 р.) НДР № 20-13-20. Дослідження, що ввійшли до дисертаційної роботи, також виконувались в рамках меморандуму про взаєморозуміння між ХНУ Каразіна та Інституту електрофізики та радіаційних технологій: «Наномасштабні структури в металах і сплавах як чинник впливу на радіаційну стійкість, електрофізичні та механічні властивості», ДР № 0121U108713 (2024 р.) та «Розробка

фундаментальних основ радіаційних і електрофізичних технологій модифікації та випробування матеріалів для потреб енергетичного переходу», ДР № 0123U103150 (2025 р.).

4. Особистий внесок дисертанта в отриманні наукових результатів та їх новизна.

Складається з його участі в аналітичному та чисельному вирішенні поставленого завдання; обробці та інтерпретації експериментальних даних, що стосуються впливу випромінювання на структуру молібдену; у самостійній постановці завдань щодо пошуку нових розподілів ПП; формулюванні висновків та підготовці матеріалів до публікації у провідних наукових виданнях. Результати дисертаційної роботи були самостійно отримані здобувачем.

Наукова новизна одержаних результатів розкривається у таких положеннях:

1. Встановлено, що спонтанне порушення парності для скалярних параметрів порядку як функцій координат призводить зумовлює виникнення в упорядкованих середовищах низки модульованих фаз, що різняться своєю просторовою симетрією. Зокрема, ідентифіковано існування неперіодичної виродженої солітонної фази.

2. Побудовано нові класи точних просторових розподілів параметра порядку моделі φ^6 . Сформульовано критерії та умови інтегрованості нелінійних варіаційних рівнянь у моделях, що враховують внески від вищих градієнтів та нелінійностей ПП.

3. Описано трансформацію просторового розподілу структурних неоднорідностей, зумовлених ефектом Бенара-Марангоні, на прикладі молібдену за умов інтенсивного зовнішнього впливу.

4. Запропоновано новий підхід для обчислення параметра порядку в моделі утворення кірально чистого середовища, яке виникає внаслідок спонтанного порушення симетрії в високомолекулярних сполуках живої природи.

5. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, результатів і висновків дисертації Шимановського А. Р. забезпечена застосуванням сучасних методів групового аналізу диференціальних рівнянь, варіаційного числення та теорії нелінійних функцій Якобі, що дозволило отримати точні аналітичні розв'язки для періодичних і солітонних розподілів параметра порядку; використанням фундаментальних феноменологічних підходів Гінзбурга-Ландау та розрахунком нестационарних температурних полів для аналізу термокапілярних нестійкостей. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані у наукових журналах індексованих наукометричною базою Scopus та доповідалися на міжнародних наукових конференціях. Висновки дисертаційної роботи є обґрунтованими.

6. Наукове, теоретичне та практичне значення результатів дисертації.

Встановлено механізми формування періодичного рельєфу молібдену під дією СРЕП. Це дозволяє прогнозувати термічну стабільність першої стінки реактора та оптимізувати радіаційний теплообмін між стінкою та плазмою за рахунок керування мікроструктурою поверхні.

Результати дослідження динаміки електричного заряду в полімерах є основою для вдосконалення методів електростатичної сепарації пластикових відходів. Це підвищує ефективність розділення полімерів для їх подальшої вторинної переробки.

7. Повнота викладення матеріалів дисертації в роботах, опублікованих автором.

Результати дисертації опубліковані у 5 наукових працях, усі у наукових

фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science, та 5 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. **A. R. Shymanovskiy** and V. F. Klepikov, “Spontaneous chirality of the organic environment as a sign of external radiation exposure”, *Problems of Atomic Science and Technology*, vol. 157, no. 3, pp. 139–141, 2025.

DOI: 10.46813/2025-157-139.

ISSN: 1562-6016.

2. S. E. Donets, V. V. Lytvynenko, O. L. Rak, V. V. Shatov and **A. R. Shymanovskiy**, “Estimation of the effect of high-current electron beam irradiation on the radiative heat transfer modes on the molybdenum target”, *Problems of Atomic Science and Technology*, vol. 159, no. 5, pp. 45–49, 2025.

DOI: 10.46813/2025-159-045.

ISSN: 1562-6016.

3. V. V. Bryukhovetsky, S. E. Donets, S. A. Kniaziev, O. V. Subbotin, V. V. Lytvynenko, S. I. Bogatyrenko, O. L. Rak and **A. R. Shymanovskiy**, “Structural and phase transformations in a molybdenum target under the impact action of a high-power electron beam”, *Problems of Atomic Science and Technology*, vol. 160, no. 6, pp. 76–82, 2025.

DOI: 10.46813/2025-160-076.

ISSN: 1562-6016.

4. **A. R. Shymanovskiy** and V. F. Klepikov, “Partial Exact Solutions of Nonlinear Distribution One-Component Order Parameter in Equilibrium Systems”, *East European Journal of Physics*, vol. 158, no. 4, pp. 157–163, 2025.

DOI: 10.26565/2312-4334-2025-4-13.

ISSN: 2312-4539.

5. **A. R. Shymanovskyi** and V. F. Klepikov, “Analytical solutions of the thermodynamic potential of the Michelson model in equilibrium systems”, *Problems of Atomic Science and Technology*, vol. 161, no. 1, pp. 103–107, 2026.

DOI: 10.46813/2026-161-103.

ISSN: 1562-6016.

8. Дотримання академічної доброчесності.

На підставі вивчення тексту дисертації здобувача, наукових праць здобувача та Протоколу контролю оригінальності (перевірку наявності текстових запозичень виконано в антиплагіатній інтернет системі Strikeplagiarism.com) встановлено, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

9. Апробація матеріалів дисертації.

Результати дисертаційної роботи були представлені у доповідях на таких вітчизняних та міжнародних наукових конференціях:

1. **A. R. Shymanovskyi**, V. F. Klepikov, and A. V. Kotova, “Evolution and critical phenomena”, in XII Ukrainian Scientific Conference “*Academic and Scientific Challenges of Diverse Fields of Knowledge in the 21st Century. CLIL in Action*”, Kharkiv, 24 Mar. 2023, Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv Nat. Univ., 2023, pp. 323–329.

2. **А. Р. Шимановський** і В. Ф. Клепиков, “Термодинамічний підхід до опису радіаційно-стимульованих перетворень в органічних речовинах”, у II Міжнар. наук.-техн. конф. імені В. Воєводіна “*Проблеми сучасної ядерної енергетики*”, Харків, 16–18 Квіт. 2025, Київ: Вістка, 2025. с. 47.

3. **А. Р. Шимановський** і В. Ф. Клепиков, “Нелінійні властивості просторової модуляції параметру порядку в тіокарбаміді”, у *10-та Українська наукова конференція з фізики напівпровідників*, Ужгород, 26–30 Трав. 2025, Ужгород: ТОВ «РІК-У», 2025, с. 147.

4. С. Є. Донець, В. В. Литвиненко, О. А. Мелякова й **А. Р. Шимановський** “Особливості радіаційних методів сепарації відходів пластику для їх переробки та запобігання засміченню морського середовища”, у XVI Міжнар. наук.-практ. конф. “Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2025)”, Одеса, 28–30 Трав. 2025, Одеса: Херсонська державна морська академія, 2025, с. 377–379.

5. **А. Р. Шимановський** і В. Ф. Клепиков “Частинні точні розв’язки моделі Міхельсона фазових переходів першого роду в чистих матеріалах”, у 7-ї Міжнар. конф. “Високочисті матеріали: отримання, застосування, властивості”, Харків, 15–17 Вер. 2025, Харків: ННЦ ХФТІ, 2025, с. 46.

10. Оцінка структури, мови та стилю дисертації.

Матеріал дисертації викладено в логічній послідовності та доступній для сприйняття. Дисертація написана науковим стилем мовлення, структура дисертації відповідає алгоритму здійснення автором дослідження. Зміст, структура, оформлення дисертації та кількість публікацій відповідають вимогам відповідно постанови Кабінету Міністрів України “Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії” (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, зі змінами, внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2017 р. №40 “Про затвердження вимог до оформлення дисертації” (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки України від 31.05.2019 року № 759).

11. Відповідність змісту дисертації спеціальності, за якою вона подається до захисту.

За своїм фаховим спрямуванням, науковою новизною і практичною значимістю дисертаційна робота Шимановського А. Р. відповідає

спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали. Здобувачем повністю виконана освітня та наукова складові освітньо-наукового рівня вищої освіти.

12. Результати обговорення та проведення презентації. Рекомендація дисертації до захисту.

Здобувачем було представлено основні результати дисертаційної роботи на засіданні кафедри фізики ядра та високих енергій імені О.І. Ахієзера науково-навчального інституту «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна щодо попередньої експертизи дисертації у формі презентації і наукової дискусії після її завершення. За підсумком обговорення, дисертаційне дослідження було оцінено позитивно. Дисертаційна робота Шимановського Андрія Романовича виконана на високому науковому рівні та є цілісним науковим дослідженням, яке відповідає встановленим вимогам чинного законодавства України.

Враховуючи високий рівень дослідження, актуальність, новизну, практичну цінність отриманих результатів та відповідність роботи спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» дисертація Шимановського А. Р. «Симетрія, консолідація, модульовані структури параметру порядку» рекомендується до захисту в спеціалізованій вченій раді для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали з галузі знань 10 Природничі науки .

Головуючий, кандидат фізико-математичних наук,
Заступник завідувача кафедри фізики ядра
та високих енергій імені О.І. Ахієзера
ННІ «Фізико-технічний факультет»
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна



Андрій ГАХ