Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U003271

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 04-08-2025

Статус: Запланована

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Унукович Владислав Ігорович
2. Vladyslav Unukovych

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCHID ID: 0000-0003-0459-999X

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 105

Назва наукової спеціальності: Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Прикладна фізика та наноматеріали

Дата захисту:

Спеціальність за освітою: Прикладна фізика та наноматеріали

Місце роботи здобувача: Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут" Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 14312223

Місцезнаходження: вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р-н., 61108, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Сектор науки: Академічний

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 9849

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Код за ЄДРПОУ: 02071205

Місцезнаходження: майдан Свободи, 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Сектор науки: Університетський

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Код за ЄДРПОУ: 02071205

Місцезнаходження: майдан Свободи, 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Сектор науки: Університетський

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 29.19.15, 29.19.43, 29.19.03

Тема дисертації:

1. Дослідження термодинамічних властивостей та фазових станів ультрахолодних фермі-газів з високими спіновими симетріями в оптичних ґратках

2. Study of thermodynamic properties and phases of ultracold fermionic gases with high spin symmetries in optical lattices

Реферат:

1. Дисертація присвячена дослідженню низькотемпературних рівноважних властивостей взаємодійних фермі-газів, що знаходяться в просторово-періодичних потенціалах ґраток та мають неперервні високі симетрії в спіновому просторі; в рамках проведених теоретичних досліджень визначено вплив явного порушення неперервних симетрій та просторової анізотропії тривимірних ґраток на фазові переходи та типи магнітно-впорядкованих станів у таких системах. У вступі коротко обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету та основні завдання дослідження, також об’єкт, предмет та методи дослідження. Сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про

публікації, особистий внесок здобувача та апробацію результатів дисертації. Також приведені відомості про структуру та обсяг дисертаційної роботи. Розділ 1 присвячено огляду та аналізу літератури за темою дисертації. У цьому розділі розглянуто фізичні аспекти квантових систем багатьох частинок і, зокрема, ультрахолодних газів, до яких розвинуто подальшу методологію теоретичного опису. Увагу приділено необхідності модифікувати підходи для врахування впливу просторово-періодичних потенціалів і надано огляд основних типів багаточастинкових станів у таких системах. Наведено основні кроки для отримання вихідної моделі Габбарда, яка необхідна для подальшого аналізу. Розглянуто формалізм теорії збурень із застосуванням перетворень Шріффера--Вольфа для випадку сильного зв'язку, а також особливості опису без застосування теорії збурень за допомогою числового алгоритму динамічної теорії середнього поля. Розділ 2 присвячено детальному аналізу ефектів магнітного впорядкування в SU(4)-симетричних фермі-газах за низьких температур у начвертьзаповненій найнижчій зоні оптичної ґратки. Приділено увагу принциповій відмінності досліджуваної системи від випадку напівзаповненої зони, де магнітне впорядкування на квадратній або кубічній ґратці не зазнає ефектів геометричної фрустрації, а магнітне впорядкування відбувається за відносно простим двопідґратковим сценарієм. У досліджуваній системі в граничному випадку нульових температур та помірних амплітуд взаємодій може відбуватись так зване плакетне магнітне впорядкування зі збільшеною елементарною коміркою порівняно з двопідґратковими типами впорядкування. З метою наведення кількісних оцінок для експериментальних реалізацій з ультрахолодними газами нейтральних атомів стронцію-87 або ітербію-173 проведено кількісний аналіз критичних значень ентропії, що необхідні для досягнення різних типів магнітно-впорядкованих станів у гармонічних потенціалах оптичних пасток, що утворюються спеціально налаштованими лазерами. У розділі 3 наведено результати дослідження впливу просторової анізотропії тривимірної кубічної ґратки на низькотемпературні магнітно-впорядковані фазові стани. Показано, що в граничних випадках відокремлених площин з квадратною геометрією ґратки та ізотропної кубічної ґратки може відбуватись магнітне впорядкування за різних сценаріїв. Зазначено, що не всі магнітні фази можуть бути поєднані неперервним чином за зміни амплітуди тунелювання між двовимірними площинами, тому може спостерігатись гістерезисна поведінка таких систем. Побудовано просторові розподіли густини атомів і намагніченості в гармонічному потенціалі оптичної пастки. Розділ 4 присвячено виведенню ефективних спінових моделей та дослідженню енергетичних спектрів і термодинамічних характеристик чотирикомпонентних фермі-газів у випадках явного порушення спінової симетрії SU(4). Проаналізовано енергетичні стани та ефективні магнітні сталі взаємодії у випадках, коли чотири взаємодійні спінові компоненти в гамільтоніані Габбарда незалежно утворюють підгрупи симетрії типу «три на один» або «два на два» відповідно до їх амплітуд тунелювання або взаємодії, і вивчено поведінку відповідних ефективних моделей Гейзенберга в границі сильної взаємодії. Отримано та проаналізовано просторові розподіли густини спінових компонентів у гармонічній оптичній пастці для кожного випадку явного порушення симетрії. Результати даної роботи мають фундаментальне значення для покращення розуміння фізичної поведінки складних квантових систем, розвинення передових методів теоретичних досліджень, а також значення для прикладного застосування, зокрема, для розробки та створення нових пристроїв для зберігання та обробки інформації та в квантових обчисленнях.

2. The dissertation is devoted to the study of low-temperature equilibrium properties of interacting Fermi gases placed in spatially periodic lattice potentials and posessing continuous high symmetries in spin space; within the framework of theoretical studies, the influence of the explicit breaking of continuous symmetries and spatial anisotropy of three-dimensional lattices on phase transitions and types of magnetically ordered states in these systems is determined. In introduction, we briefly outline the relevance of the dissertation topic, define the goal and main objectives of the research, as well as the object, subject and methods of the research. The scientific novelty and practical significance of the results are formulated. Information about publications, the personal author contribution and presentations of the dissertation results on the conferences and workshops are provided. Information about the structure and scope of the thesis is also provided. Chapter 1 is devoted to a review and analysis of the literature on the topic of the thesis. This section considers the physical aspects of quantum systems of many particles and, in particular, ultracold gases, for which a further methodology of theoretical description has

been developed. Attention is paid to the need to modify approaches to take into account the influence of spatially periodic potentials and an overview of the main types of many-particle states in these systems is provided. We outline the main steps for obtaining the initial Hubbard model, which is necessary for further analysis. We show the relevance of the perturbation theory and the Schrieffer-Wolff transformations for the case of strong coupling. We also extend description beyond the perturbation theory by introducing the dynamical mean-field theory (DMFT) numerical approach. Chapter 2 is devoted to a detailed analysis of the effects of magnetic ordering in SU(4)-symmetric Fermi gases at low temperatures in a quarter-filled lowest band of optical lattice. Attention is drawn to the fundamental difference of the studied system from the case of a half-filled band, where magnetic ordering on a square or cubic lattice is not affected by geometric frustration, and magnetic ordering develops according to a relatively simple two-sublattice scenario. For the system under study, in the limiting case of zero temperatures and moderate interaction amplitudes, the so-called plaquette magnetic ordering with an enlarged unit cell compared to two-sublattice types of ordering can develop. In order to provide quantitative estimates for experimental implementations with ultracold gases of neutral atoms of strontium-87 or ytterbium-173, we performed a quantitative analysis of the critical entropy values required to achieve different types of magnetically ordered states in the harmonic potentials of optical traps formed by specially tuned lasers. In chapter 3 we present results of the study of the influence of spatial anisotropy of a three-dimensional cubic lattice on low-temperature magnetically ordered phases. It is shown that in the limiting cases of decoupled planes with square lattice geometry and an isotropic cubic lattice, magnetic ordering can occur under different scenarios. It is noted that not all magnetic phases can be linked continuously with changes in the tunneling amplitude between two-dimensional planes, therefore, hysteretic behavior in these systems can be observed. We also obtain spatial distributions of atomic density and magnetization in the harmonic potential of an optical trap. Chapter 4 is devoted to the derivation of effective spin models and the study of the energy spectra and thermodynamic characteristics of four-component Fermi gases in cases of explicit breaking of the SU(4) spin symmetry. The energy states and effective magnetic couplings are analyzed in cases where the four interacting spin components in the Hubbard Hamiltonian independently form three-by-one or two-by-two symmetry subgroups according to their tunneling or interaction amplitudes, and the behavior of the corresponding effective Heisenberg models in the strong interaction limit is studied. The spatial distributions of the density of spin components in a harmonic optical trap are obtained and analyzed for each case of explicit symmetry breaking. The results of this work are of fundamental importance for improving the understanding of the physical behavior of complex quantum systems, developing advanced methods of theoretical research, as well as for applications, in particular, for the development and creation of new devices for storing and processing information and in quantum computing.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Не застосовується

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- Unukovych V., Sotnikov A. SU(4)-symmetric Hubbard model at quarter filling: Insights from the dynamical mean-field approach. Physical Review B. 2021. Vol. 104, no. 24. Art. no. 245106 (Scopus,Q1) DOI: https://doi.org/10.1103/PhysRevB.104.245106.
- Unukovych V., Sotnikov A. Anisotropy-driven magnetic phase transitions in SU(4)-symmetric Fermi gas in three-dimensional optical lattices. Journal of Physics B Atomic, Molecular and Optical Physics. 2024. Vol.57, no. 18. Art. no. 185301 (Scopus, Q2) DOI: https://doi.org/10.1088/1361-6455/ad6b63.

- Unukovych V., Litvinova S., Sotnikov A. Explicit symmetry breaking and effective spin models for four-component interacting Fermi gases in lattice potentials. Low Temperature Physics. 2025. Vol. 51, no. 1. P.10–20 (Scopus, Q4) DOI: https://doi.org/10.1063/10.0034554.
- Unukovych V.I., Sotnikov A.G. Low-temperature phases of SU(4) symmetric fermionic mixtures in optical lattices. II International Advanced Study Conference “Condensed Matter and Low Temperature Physics” (June 6 – 12, Kharkiv, Ukraine, 2021): Abstract Kharkiv, 2021. P. 213.
- Unukovych V.I., Sotnikov A.G. Low-temperature phases of SU(4) symmetric fermionic mixtures in optical lattices, The European Conference Physics of Magnetism 2021 (June 28 – July 2, Poznan, Poland, 2021): Abstract Poznan, 2021. P. 70.
- Unukovych V.I., Sotnikov A.G. Evolution of magnetic ordering of SU(4)-symmetric fermionic mixture within the transition from 3D to 2D-layered optical lattice. III International Conference “Condensed Matter and Low Temperature Physics” (June 5 – 11, Kharkiv, Ukraine, 2023): Abstract Kharkiv, 2023. P. 199.
- Unukovych V. Quantum correlations and magnetic properties of ultracold Fermi gases with SU(4) spin symmetry in anisotropic cubic optical lattices. US-Ukraine Quantum Forum 2023 (August 28 – 31, Kharkiv, Ukraine, 2023): Abstracts Kharkiv, 2023. P. 28.
- Unukovych V.I., Sotnikov A.G. Effects of symmetry breaking in four component interacting Fermi gas in periodic potential. IV International Conference “Condensed Matter and Low Temperature Physics” (June 3 – 7, Kharkiv, Ukraine, 2024): Abstract Kharkiv, 2024. P. 220.
- Унукович В.І., Сотніков А.Г. Ультрахолодні чотирикомпонентні фермі-гази в оптичних ґратках. Вплив порушення просторової та спінової симетрій на фізичні властивості. 24-та Всеукраїнська школа-семінар молодих вчених зі статистичної фізики та теорії конденсованої речовини (24 – 25 жовтня 2024 р., м. Львів): Збірка тез Львів, 2024. С. 18.
- Bulakhov M.S., Peletminskii A.S., Slyusarenko Yu.V., Unukovych V.I., Sotnikov A.G. Long-range correlations and magnetism of spinor ultracold atomic gases. IEEE Magnetics “Magnetism for Ukraine Initiative” Workshop (14 November, 2024, Kyiv, Ukraine): Abstract Kyiv, 2024. P. 53.

Наукова (науково-технічна) продукція: методи, теорії, гіпотези

Соціально-економічна спрямованість:

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами: 0120U10225 , 0122U001575, 0121U108722, 0120U104963, 0124U004372

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Сотніков Андрій Геннадійович

2. Andrii Sotnikov

Кваліфікація: д. ф.-м. н., с.д., 01.04.02

Ідентифікатор ORCHID ID: 0000-0002-3632-4790

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут" Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 14312223

Місцезнаходження: вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р-н., 61108, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Сектор науки: Академічний

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Шевченко Сергій Миколайович
2. Sergey Shevchenko

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.02

Ідентифікатор ORCHID ID: 0000-0003-3655-0365

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Фізико-технічний інститут низьких температур імені Б. І. Вєркіна Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534601

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Харків, Харківський р-н., 61103, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Сектор науки: Академічний

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Лев Богдан Іванович
2. Bohdan Lev

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.02

Ідентифікатор ORCHID ID: 0000-0003-3905-2070

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05417124

Місцезнаходження: вул. Метрологічна, буд. 14-б, Київ, 03143, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Сектор науки: Академічний

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Рашба Георгій Ілліч
2. Georgiy Rashba

Кваліфікація: к. ф.-м. н., доц., 01.04.02

Ідентифікатор ORCHID ID: 0000-0003-0535-330X

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Код за ЄДРПОУ: 02071205

Місцезнаходження: майдан Свободи, 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Сектор науки: Університетський

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Єзерська Олена Володимирівна
2. Elena Ezerskaya

Кваліфікація: к. ф.-м. н., доц., 01.04.11

Ідентифікатор ORCHID ID: 0000-0002-6896-9550

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Код за ЄДРПОУ: 02071205

Місцезнаходження: майдан Свободи, 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Сектор науки: Університетський

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради Немченко Костянтин Едуардович

Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Нємченко Костянтин Едуардович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Шевченко Андрій Олександрович
Реєстратор	УкрІНТЕІ
Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності	Юрченко Тетяна Анатоліївна