# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0525U000194

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 15-04-2025

**Статус:** Запланована

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:**

## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Пастухов Володимир Степанович
2. Volodymyr S. Pastukhov

**Кваліфікація:** к. ф.-м. н., доцент, 01.04.02

**Ідентифікатор ORCHID ID:** 0000-0002-1868-6130

**Вид дисертації:** доктор наук

**Аспірантура/Докторантура:** ні

**Шифр наукової спеціальності:** 01.04.02

**Назва наукової спеціальності:** Теоретична фізика

**Галузь / галузі знань:** Не застосовується

**Освітньо-наукова програма зі спеціальності:** Не застосовується

**Дата захисту:** 21-05-2025

**Спеціальність за освітою:** Фізика

**Місце роботи здобувача:** Львівський національний університет імені Івана Франка

**Код за ЄДРПОУ:** 02070987

**Місцезнаходження:** вул. Університетська, буд. 1, Львів, 79000, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Університетський

## III. Відомості про організацію, де відбувся захист

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** Д 35.051.09

**Повне найменування юридичної особи:** Львівський національний університет імені Івана Франка

**Код за ЄДРПОУ:** 02070987

**Місцезнаходження:** вул. Університетська, буд. 1, Львів, 79000, 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:** Львівський національний університет імені Івана Франка

**Код за ЄДРПОУ:** 02070987

**Місцезнаходження:** вул. Університетська, буд. 1, Львів, 79000, 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:** 29.17.21, 29.17.41, 29.05.15

**Тема дисертації:**

1. Вплив скінченних температур, вимірності простору та домішок на властивості розріджених бозе-систем

2. The influence of finite temperatures, spatial dimensionality, and impurities on the properties of diluted Bose systems

**Реферат:**

1. Дисертаційна робота привсячена актуальним проблемам фізики багаточастинкових систем, які можна реалізувати на базі ультрахолодних бозе-газів. Зокрема, маються на увазі поведінка макроскопічної кількості бозе-частинок з ненульовим дипольним моментом; властивості дипольних бозе-бозе сумішей; універсальні властивості бозе-газів і їх двокомпонентних сумішей у нижчих вимірностях; термодинамічні характеристики одновимірних бозе-газів з тричастинковою контактною взаємодією; стани кількох бозонів та колективні збудження системи багатьох бозе-частинок з тричастинковою взаємодією в зовнішньому гармонічному потенціалі; чотири- і п'ятичастинковим зв'язаним станам бозонів з контактною потрійною взаємодією; аналіз загасання боголюбівських збуджень при скінченних імпульсах та температурах в просторах довільної

вимірності; використання $1/N$-розкладів для розрахунку властивостей тривимірних бозе-систем у всій області температур, включно з температурою переходу Бозе-Айнштайна; аналіз поведінки домішок в сильноскорельованих бозе-рідинах; властивості бозе-поляронів в нижчих вимірностях та при скінченних температурах; особливості сил Казимира між важкими домішками в ідеальних і слабоneідеальних бозе-конденсатах у всій області температур.

2. The dissertation is devoted to actual problems of physics of many-body systems, which can be realized on the basis of ultracold Bose gases. An exact relationship between the parameters of the low-energy spectrum of Bose particles and bosonic mixtures interacting via dipole-dipole interaction with the macroscopic characteristics of the system, such as isothermal susceptibility and anisotropic superfluid density, is found. The susceptibilities, the elements of matrices of anisotropic superfluid densities, and the Bose condensate depletion of both components at zero temperature are calculated for Bose gases in the one-loop approximation. The exact Tan-like identities have been obtained for one-dimensional bosons with short-range three-particle interactions. A method for observing three-particle forces in experiments with ultracold gases has been indicated. In fractional dimensions in a system of four and five particles, the Efimov-like effect has been discovered. The role of tetramers and pentamers in shaping the macroscopic behavior of the system has been elucidated. The critical temperature of the Bose gas calculated by the $1/N$-expansion method exhibits a non-monotonic dependence on the gas parameter; the calculated temperature dependences of the superfluid density and the Bose condensate depletion are consistent with the results of Monte Carlo simulations. The temperature stabilization of two-component Bose systems with respect to stratification is demonstrated. The spectra of impurity atoms in 1D bosons at absolute zero and in 2D at temperatures below the Berezinskii–Kosterlitz–Thouless transition are well-defined, while the quasiparticle residues always diverge logarithmically. An interpretation of these divergences is proposed as the branch-point singularity of the impurity Green's function with non-universal exponents, which were calculated perturbatively. A mobile impurity immersed in a $D$-dimensional Bose gas near the critical temperature possesses finite binding energy and lifetime, but its effective mass diverges. The Green function of the impurity reveals a branch point-type feature in the critical region. In mixtures of non-interacting bosons with a macroscopic number of spin-polarized fermions, a thermodynamically stable phase with the coexistence of Fermi atoms, fermionic dimers, and trimers has been discovered. Using the $\epsilon$-expansion in a neighborhood of four dimensions, a phase diagram of the system has been obtained. The generalization of the mean-field theory of one-dimensional Bose polarons in the case of mobile impurities is presented. A general formula for the effective mass of an impurity in one-, two-, and three-dimensional Bose gases was obtained. The parameters of a spectrum of an impurity immersed in the one-dimensional Bose system with two- and three-particle interactions were calculated, and the full dependence of the impurity energy on its momentum in Bose gas with weak pairwise interaction between particles was found. The obtained results are generalized to two- and three-dimensional cases. The Casimir forces arising between static (infinite mass) impurities immersed in Bose condensates were investigated. A nonmonotonic dependence of the induced pair interaction potential between heavy particles on temperature was revealed.

### 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:** Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

### Публікації:


- V. Pastukhov. Strongly interacting Bose–Fermi mixtures in 4 – ▫ dimensions // Ann. Phys. 2024. Vol. 468. Art. 169745. 9 p. https://doi.org/10.1016/j.aop.2024.169745

- А. Ніколаєва, В. Пастухов. Властивості домішки в квазіодновимірному бозе-газі в границі унітарності // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. фіз. 2024. Вип. 61. С. 3-14. https://doi.org/10.30970/vph.61.2024.3
- O. Hryhorchak, V. Pastukhov. Trapped ideal Bose gas with a few heavy impurities // Atoms. 2023. Vol. 11, No. 5. Art. 77. 11 p. https://doi.org/10.3390/atoms11050077
- O. Hryhorchak, V. Pastukhov. Second root of dilute Bose-Fermi mixtures // J. Phys. A.: Math. Theor. 2023. Vol. 56, No. 20. Art. 205003. 15 p. https://doi.org/10.1088/1751-8121/accda4
- O. Hryhorchak, V. Pastukhov. Efimov-like physics in fraction-dimensional Bose systems with three-body interaction // Eur. Phys. J. A. 2022. Vol. 58, No. 11. Art. 215. 8 p. https://doi.org/10.1140/epja/s10050-022-00874-9
- G. Panochko, V. Pastukhov. Static impurities in a weakly interacting Bose gas // Atoms. 2022. Vol. 10, No. 1. Art. 19. 12 p. https://doi.org/10.3390/atoms10010019
- G. Panochko, V. Pastukhov. Two- and three-body effective potentials between impurities in ideal BEC // J. Phys. A: Math. Theor. 2021. Vol. 54, No. 8. Art. 085001. 16 p. https://doi.org/10.1088/1751-8121/abdbc5
- O. Hryhorchak, V. Pastukhov. Large-N expansion for condensation and stability of Bose–Bose mixtures at finite temperatures // J. Low Temp. Phys. 2021. Vol. 202, No. 1. P. 219-230. https://doi.org/10.1007/s10909-020-02542-y
- V. Pastukhov. Ground-state properties of dilute spinless fermions in fractional dimensions // Phys. Rev. A. 2020. Vol. 102, No. 1. Art. 013307. 5 p. https://doi.org/10.1103/PhysRevA.102.013307
- V. Pastukhov. Bose gas in classical environment at low temperatures // Ukr. J. Phys. 2020. Vol. 65 No. 11. P. 1002-1007. https://doi.org/10.15407/ujpe65.11.1002
- O. Hryhorchak, G. Panochko, V. Pastukhov. Mean-field study of repulsive 2D and 3D Bose polarons // J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 2020. Vol. 53, No. 20. Art. 205302. 8 p. https://doi.org/10.1088/1361-6455/abb3ab
- O. Hryhorchak, V. Pastukhov. Condensation and superfluidity of SU(N) Bose gas // Physica B: Cond. Matt. 2020. Vol. 583, Art. 412017. 5 p. https://doi.org/10.1016/j.physb.2020.412017
- G. Panochko, V. Pastukhov. Mean-field construction for spectrum of one-dimensional Bose polaron // Ann. Phys. 2019. Vol. 409. Art. 167933. 15 p. https://doi.org/10.1016/j.aop.2019.167933
- V. Pastukhov. Mean-field properties of impurity in Bose gas with three-body forces // Phys. Lett. A. 2019. Vol. 383, No. 22. P. 2610-2614. https://doi.org/10.1016/j.physleta.2019.05.018
- M. Valiente, V. Pastukhov. Anomalous frequency shifts in a one-dimensional trapped Bose gas // Phys. Rev. A. 2019. Vol. 99, No. 5. Art. 053607. 8 p. https://doi.org/10.1103/PhysRevA.99.053607
- V. Pastukhov. Ground-state properties of dilute one-dimensional Bose gas with three-body repulsion // Phys. Lett. A. 2019. Vol. 383, No. 9. P. 894-897. https://doi.org/10.1016/j.physleta.2018.12.006
- V. Pastukhov. Ground-state properties of a dilute two-dimensional Bose gas // J. Low Temp. Phys. 2019. Vol. 194, Nos. 3-4. P. 197–208. https://doi.org/10.1007/s10909-018-2082-1
- O. Hryhorchak, V. Pastukhov. Large-N properties of a non-ideal Bose gas // J. Phys. A: Math. Theor. 2019. Vol. 52, No. 2. Art. 025002. 8 p. https://doi.org/10.1088/1751-8121/aaede7
- V. Pastukhov. Polaron in dilute 2D Bose gas at low temperatures // J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 2018. Vol. 51, No. 15. Art. 155203. 5 p. https://doi.org/10.1088/1361-6455/aacdcb
- V. Pastukhov. Polaron in the dilute critical Bose condensate // J. Phys. A: Math. Theor. 2018. Vol. 51, No. 19. Art. 195003. 11 p. https://doi.org/10.1088/1751-8121/aab9c1
- P. Konietin, V. Pastukhov. 2D dilute Bose mixture at low temperatures // J. Low Temp. Phys. 2018. Vol. 190. No. 3. P. 256-266. https://doi.org/10.1007/s10909-017-1836-5
- V. Pastukhov. Impurity states in the one-dimensional Bose gas // Phys. Rev. A. 2017. Vol. 96. No. 4. Art. 043625. 7 p. https://doi.org/10.1103/PhysRevA.96.043625
- O. Hryhorchak, V. Pastukhov. 1/N-expansion for the critical temperature of the Bose gas // EPL (Europhysics Letters). 2017. Vol. 118, No. 5, Art. 56003. 6 p. https://doi.org/10.1209/0295-5075/118/56003
- V. Pastukhov. Beyond mean-field properties of binary dipolar Bose mixtures at low temperatures // Phys. Rev. A. 2017. Vol. 95, No. 2. Art. 023614. 6 p. https://doi.org/10.1103/PhysRevA.95.023614

- V. Pastukhov. Infrared behavior of dipolar Bose systems at low temperatures // J. Low Temp. Phys. 2017. Vol. 186, No. 1. P. 148-162. https://doi.org/10.1007/s10909-016-1659-9
- V. Pastukhov. High-density limit of quasi-two-dimensional dipolar Bose gas // Ann. Phys. 2016. Vol. 372. P. 149-158. https://doi.org/10.1016/j.aop.2016.05.002
- V. Pastukhov. Damping of Bogoliubov excitations at finite temperatures // J. Phys. A: Math. Theor. 2015. Vol. 48, No. 40. Art. 405002. 9 p. https://doi.org/10.1088/1751-8113/48/40/405002
- I. Vakarchuk, V. Pastukhov, R. Prytula. Theory of structure and thermodynamic function of liquid $^4$He (Review Article) // Low Temp. Phys. 2013. Vol. 39, P. 741-751. https://doi.org/10.1063/1.4821754

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

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПІВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:** 0112U001275, 0116U001539, 0122U001514

## VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

## VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

### Офіційні опоненти

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Дудка Максим Леонідович
2. Maxym L. Dudka

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

**Ідентифікатор ORCHID ID:** 0000-0001-6971-8895

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут фізики конденсованих систем Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05540014

**Місцезнаходження:** вул. Свєнціцького, буд. 1, Львів, 79011, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Академічний

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Якименко Олександр Ілліч
2. Alexander I. Yakimenko

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., доцент, 01.04.02

**Ідентифікатор ORCHID ID:** 0000-0002-1841-1145

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**Код за ЄДРПОУ:** 02070944

**Місцезнаходження:** вул. Володимирська, буд. 60, Київ, 01033, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Сектор науки:** Університетський

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Сотніков Андрій Геннадійович

2. Andrii H. 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

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Ткачук Володимир Михайлович

2. Volodymyr M. Tkachuk

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

**Ідентифікатор ORCHID ID:** 0000-0003-1099-0960

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Львівський національний університет імені Івана Франка

**Код за ЄДРПОУ:** 02070987

**Місцезнаходження:** вул. Університетська, буд. 1, Львів, 79000, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Університетський

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Ровенчак Андрій Адамович

2. Andrij A. Rovenchak

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

**Ідентифікатор ORCHID ID:** 0000-0002-0452-6873

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Львівський національний університет імені Івана Франка

**Код за ЄДРПОУ:** 02070987

**Місцезнаходження:** вул. Університетська, буд. 1, Львів, 79000, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Сектор науки:** Університетський

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Новосядлий Богдан Степанович

2. Bohdan S. Novosiadlyi

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор, член-кор. НАН України, 01.03.02

**Ідентифікатор ORCHID ID:** 0000-0003-1621-0873

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Львівський національний університет імені Івана Франка

**Код за ЄДРПОУ:** 02070987

**Місцезнаходження:** вул. Університетська, буд. 1, Львів, 79000, 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** | Мудрий Степан Іванович |
| **Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні** | Мудрий Степан Іванович |
| **Відповідальний за підготовку облікових документів** | Ровенчак А. А. |
| **Реєстратор** | УкрІНТЕІ |
| **Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності** | Юрченко Тетяна Анатоліївна |