

Заключение диссертационного совета МГУ.011.2

по диссертации на соискание ученой степени доктора наук

Решение диссертационного совета от «17» октября 2024 г. №7

О присуждении Андрееву Павлу Александровичу, гражданину Российской Федерации ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Представление квантовой механики многочастичных систем в терминах эволюции коллективных наблюдаемых» по специальности 1.3.3 – теоретическая физика принята к защите диссертационным советом 10.06.2024, протокол № 5.

Соискатель Андреев Павел Александрович 1982 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Линейная и нелинейная эволюция возбуждений в конденсате Бозе-Эйнштейна и плотной квантовой плазме» защитил в 2010 году, в диссертационном совете К 501.002.10 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова.

Соискатель работает доцентом на кафедре общей физики физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Диссертация выполнена кафедре общей физики физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Официальные оппоненты:

Рыбаков Юрий Петрович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической физики и механики, Российский университет дружбы народов, Институт физических исследований и технологий.

Полищук Илья Яковлевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический

институт» (национальный исследовательский университет), кафедра теоретическая физики.

Сазонов Сергей Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, начальник отдела экспериментальных исследований конденсированного состояния, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Курчатовский ядерно-физический комплекс.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался направлением их научной работы в отрасли, соответствующей теме диссертации соискателя, научным авторитетом и наличием большого числа публикаций в авторитетных международных рецензируемых журналах, индексируемых в реферативных базах данных Scopus, WoS, RSCI.

Соискатель имеет 95 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 41 работу, из них 41 статья, опубликованных, в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности и отрасли наук.

1. *Andreev P. A.*, Two-fluid hydrodynamics of cold atomic bosons under the influence of quantum fluctuations at non-zero temperatures // *Physica Scripta*, V. 97, no. 3, p. 035206 (20), 2022. Объем – 2.31 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.9 (JIF), 0.73 (JCI). DOI: 10.1088/1402-4896/ac555a.
2. *Andreev P. A.*, Quantum hydrodynamic theory of quantum fluctuations in dipolar Bose-Einstein condensate // *Chaos*, V. 31, no. 2, p. 023120 (9), 2021. Объем – 1.04 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.9 (JIF), 1.59 (JCI). DOI: 10.1063/5.0036511.
3. *Andreev P. A.*, Hydrodynamics of the atomic Bose-Einstein condensate beyond the mean-field // *Laser Physics Letters*, V. 18, no. 5, p. 055501 (11), 2021. Объем – 1.27 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 1.7 (JIF), 0.5 (JCI). DOI: 10.1088/1612-202X/abf5cd.
4. *Andreev P. A.*, Novel soliton in dipolar BEC caused by the quantum fluctuations // *The European Physical Journal D*, V. 75, no. 2, p. 60 (10), 2021. Объем – 1.16 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 1.8 (JIF), 0.46 (JCI). DOI: 10.1140/epjd/s10053-021-00071-1.
5. *Andreev P. A., K. V. Antipin, M. Iv. Trukhanova*, Bosonic bright soliton in the mixture of repulsive Bose-Einstein condensate and polarized ultracold fermions under influence of the pressure evolution // *Laser Physics*, V. 31, no. 1, p. 015501 (14), 2021. Объем – 1.62 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 1.2 (JIF), 0.37 (JCI). DOI: 10.1088/1555-6611/abd16e. (Вклад автора 0.6).

6. *Andreev P. A.*, Extended hydrodynamics of the degenerate partially spin polarized fermions with the short-range interaction up to the third order by the interaction radius approximation // *Laser Physics*, V. 31, no. 4, p. 045501 (28), 2021. Обьем – 3.23 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 1.2 (JIF), 0.37 (JCI). DOI: 10.1088/1555-6611/abe717.
7. *Andreev P. A., Kuz'menkov L. S.*, On the equation of state for the “thermal” part of the spin current: The Pauli principle contribution in the spin wave spectrum in a cold fermion system // *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, V. 2019, no. 5, p. 053J01 (21), 2019. Обьем – 2.43 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 3.5 (JIF), 0.79 (JCI). DOI: 10.1093/ptep/ptz029. (Вклад автора 0.7).
8. *Andreev P. A.*, Hydrodynamic model of a Bose-Einstein condensate with anisotropic short-range interaction and the bright solitons in a repulsive Bose-Einstein condensate // *Laser Physics*, V. 29, no. 3, p. 035502 (12), 2019. Обьем – 1.38 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 1.2 (JIF), 0.37 (JCI). DOI: 10.1088/1555-6611/aaf921.
9. *Andreev P. A., Trukhanova M. I.*, Separated spin evolution quantum hydrodynamics of degenerated electrons with spin-orbit interaction and extraordinary wave spectrum // *Journal of Plasma Physics*, V. 84, no. 5, p. 905840504 (25), 2018. Обьем – 2.89 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.5 (JIF), 0.85 (JCI). DOI: 10.1017/S0022377818000958. (Вклад автора 0.4).
10. *Andreev P. A.*, Spin current contribution in the spectrum of collective excitations of degenerate partially polarized spin-1/2 fermions at separate dynamics of spin-up and spin-down fermions // *Laser Physics Letters*, V. 15, no. 10, p. 105501 (12), 2018. Обьем – 1.38 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 1.7 (JIF), 0.5 (JCI). DOI: 10.1088/1612-202x/aad944.
11. *Andreev P. A.*, Extraordinary SEAWs under influence of the spin-spin interaction and the quantum Bohm potential // *Physics of Plasmas*, V. 25, no. 6, p. 062114 (7), 2018. Обьем – 0.81 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.2 (JIF), 0.77 (JCI). DOI: 10.1063/1.5034775.
12. *Andreev P. A.*, Radiative corrections to the Coulomb law and model of dense quantum plasmas: Dispersion of waves in magnetized quantum plasmas // *Physics of Plasmas*, V. 25, no. 4, p. 042103 (5), 2018. Обьем – 0.58 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.2 (JIF), 0.77 (JCI). DOI: 10.1063/1.5022807.
13. *Andreev P. A.*, Kinetic description of the oblique propagating spin-electron acoustic waves in degenerate plasmas // *Physics of Plasmas*, V. 25, no. 3, p. 032116 (8), 2018. Обьем – 0.92 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.2 (JIF), 0.77 (JCI). DOI: 10.1063/1.5022076.
14. *Andreev P. A., Kuz'menkov L. S.*, Dielectric permeability tensor and linear waves in spin-1/2 quantum kinetics with non-trivial equilibrium spin-distribution functions // *Physics of Plasmas*, V. 24, no. 11, p. 112108 (7), 2017. Обьем – 0.81 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.2 (JIF), 0.77 (JCI). DOI: 10.1063/1.4999103. (Вклад автора 0.7).

15. *Andreev P. A.*, Extraordinary spin-electron acoustic wave // *Physics of Plasmas*, V. 24, no. 2, p. 022123 (5), 2017. Обьем – 0.58 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.2 (JIF), 0.77 (JCI). DOI: 10.1063/1.4976643.
16. *Andreev P. A.*, Kinetic analysis of spin current contribution to spectrum of electromagnetic waves in spin-1/2 plasma, Part I: Dielectric permeability tensor for magnetized plasmas // *Physics of Plasmas*, V. 24, no. 2, p. 022114 (10), 2017. Обьем – 1.15 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.2 (JIF), 0.77 (JCI). DOI: 10.1063/1.4975014.
17. *Andreev P. A.*, Kinetic analysis of spin current contribution to spectrum of electromagnetic waves in spin-1/2 plasma, Part II: Dispersion dependencies // *Physics of Plasmas*, V. 24, no. 2, p. 022115 (9), 2017. Обьем – 1.04 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.2 (JIF), 0.77 (JCI). DOI: 10.1063/1.4975015.
18. *Iqbal Z., Andreev P. A.*, Nonlinear separate spin evolution in degenerate electron-positron-ion plasmas // *Physics of Plasmas*, V. 23, no. 6, p. 062320 (7), 2016. Обьем – 0.81 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.2 (JIF), 0.77 (JCI). DOI: 10.1063/1.4954908. (Вклад автора 0.5).
19. *Andreev P. A.*, Spin-electron acoustic waves: The Landau damping and ion contribution in the spectrum // *Physics of Plasmas*, V. 23, no. 6, p. 062103 (12), 2016. Обьем – 1.38 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.2 (JIF), 0.77 (JCI). DOI: 10.1063/1.4953049.
20. *Andreev P. A., Kuz'menkov L. S.*, Surface spin-electron acoustic waves in magnetically ordered metals // *Applied Physics Letters*, V. 108, no. 19, p. 191605 (4), 2016. Обьем – 0.46 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 4.0 (JIF), 0.8 (JCI). DOI: 10.1063/1.4949356. (Вклад автора 0.7).
21. *Andreev P. A., Iqbal Z.*, Rich eight-branch spectrum of the oblique propagating longitudinal waves in partially spin-polarized electron-positron-ion plasmas // *Physical Review E*, V. 93, no. 3, p. 033209 (8), 2016. Обьем – 0.92 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.4 (JIF), 0.99 (JCI). DOI: 10.1103/PhysRevE.93.033209. (Вклад автора 0.5).
22. *Andreev P. A.*, Spin-electron acoustic soliton and exchange interaction in separate spin evolution quantum plasmas // *Physics of Plasmas*, V. 23, no. 1, p. 012106 (10), 2016. Обьем – 1.15 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.2 (JIF), 0.77 (JCI). DOI: 10.1063/1.4938508.
23. *Andreev P. A., Kuz'menkov L. S.*, Separated spin-up and spin-down evolution of degenerated electrons in two dimensional systems: Dispersion of longitudinal collective excitations in plane and nanotube geometry // *Europhysics Letters*, V. 113, no. 1, p. 17001 (6), 2016. Обьем – 0.69 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 1.8 (JIF), 0.49 (JCI). DOI: 10.1209/0295-5075/113/17001. (Вклад автора 0.7).
24. *Andreev P. A., Kuz'menkov L. S.*, Oblique propagation of longitudinal waves in magnetized spin-1/2 plasmas: Independent evolution of spin-up and spin-down electrons // *Annals of Physics*, V. 361, p. 278-292, 2015. Обьем – 1.73 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 3.0 (JIF), 0.73 (JCI). DOI: 10.1016/j.aop.2015.07.004. (Вклад автора 0.7).

25. *Andreev P. A.*, Hydrodynamic and kinetic models for spin-1/2 electron-positron quantum plasmas: Annihilation interaction, helicity conservation, and wave dispersion in magnetized plasmas // *Physics of Plasmas*, V. 22, no. 6, p. 062113 (20), 2015. Объем – 2.31 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.2 (JIF), 0.77 (JCI). DOI: 10.1063/1.4922662.
26. *Ivanov A. Yu., Andreev P. A., Kuz'menkov L. S.*, Langmuir wave dispersion in semi-relativistic spinless quantum plasma // *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, V. 2015, no. 6, p. 063I02 (15), 2015. Объем – 1.73 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 3.5 (JIF), 0.79 (JCI). DOI: 10.1093/ptep/ptv080. (Вклад автора 0.4).
27. *Andreev P. A.*, Separated spin-up and spin-down quantum hydrodynamics of degenerated electrons: Spin-electron acoustic wave appearance // *Physical Review E*, V. 91, no. 3, p. 033111 (11), 2015. Объем – 1.27 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.4 (JIF), 0.99 (JCI). DOI: 10.1103/PhysRevE.91.033111.
28. *Andreev P. A.*, Quantum kinetics of spinning neutral particles: General theory and Spin wave dispersion // *Physica A*, V. 432, p. 108-126, 2015. Объем – 2.19 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 3.3 (JIF), 0.95 (JCI). DOI: 10.1016/j.physa.2015.03.019.
29. *Andreev P. A., Kuz'menkov L. S.*, Ion acoustic and dust acoustic waves at finite size of plasma particles // *Physics of Plasmas*, V. 22, no. 3, p. 032104 (9), 2015. Объем – 1.04 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.2 (JIF), 0.77 (JCI). DOI: 10.1063/1.4913986. (Вклад автора 0.7).
30. *Andreev P. A., Kuz'menkov L. S.*, Waves of spin-current in magnetized dielectrics // *International Journal of Modern Physics B*, V. 29, no. 13, p. 1550077 (28), 2015. Объем – 3.23 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 1.7 (JIF), 0.32 (JCI). DOI: 10.1142/S0217979215500770. (Вклад автора 0.7).
31. *Andreev P. A., Kuz'menkov L. S.*, Dispersion properties of transverse waves in the electrically polarized BEC // *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, V. 47, no. 22, p. 225301(12), 2014. Объем – 1.38 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 1.6 (JIF), 0.5 (JCI). DOI: 10.1088/0953-4075/47/22/225301. (Вклад автора 0.7).
32. *Andreev P. A., Kuz'menkov L. S.*, Exact analytical soliton solutions in dipolar Bose-Einstein condensates // *The European Physical Journal D*, V. 68, no. 9, p. 270 (14), 2014. Объем – 1.62 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 1.8 (JIF), 0.46 (JCI). DOI: 10.1140/epjd/e2014-40555-3. (Вклад автора 0.7).
33. *Ivanov A. Yu., Andreev P. A., Kuz'menkov L. S.*, Balance equations in semi-relativistic quantum hydrodynamics // *International Journal of Modern Physics B*, V. 28, no. 21, p. 1450132 (31), 2014. Объем – 3.58 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 1.7 (JIF), 0.32 (JCI). DOI: 10.1142/S021797921450132X. (Вклад автора 0.4).
34. *Andreev P. A., Kuz'menkov L. S.*, Self-consistent field theory of polarised Bose-Einstein condensates: dispersion of collective excitations // *The European Physical Journal D*, V. 67, no. 10, p. 216 (16), 2013. Объем –

- 1.85 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 1.8 (JIF), 0.46 (JCI). DOI: 10.1140/epjd/e2013-40341-9. (Вклад автора 0.6).
35. *Zezyulin K. V., Andreev P. A., and Kuz'menkov L. S.*, Soliton appearing in boson-fermion mixture at the third order of the interaction radius // *The European Physical Journal D*, V. 67, no. 7, p. 140 (9), 2013. Объем – 1.04 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 1.8 (JIF), 0.46 (JCI). DOI: 10.1140/epjd/e2013-30418-x. (Вклад автора 0.4).
36. *Andreev P. A.*, Non-integral form of the Gross-Pitaevskii equation for polarized molecules // *Modern Physics Letters B*, V. 27, no. 13, p. 1350096 (12), 2013. Объем – 1.39 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 1.9 (JIF), 0.43 (JCI). DOI: 10.1142/S0217984913500966.
37. *Andreev P. A.*, First principles derivation of NLS equation for BEC with cubic and quintic nonlinearities at non zero temperature. Dispersion of linear waves // *International Journal of Modern Physics B*, V. 27, no. 6, p. 1350017 (25), 2013. Объем – 2.89 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 1.7 (JIF), 0.32 (JCI). DOI: 10.1142/S0217979213500173.
38. *Andreev P. A., Kuz'menkov L. S.*, Bright-like soliton solution in quasi-one-dimensional BEC in third order by interaction radius // *Modern Physics Letters B*, V. 26, no. 23, p. 1250152 (14), 2012. Объем – 1.62 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 1.9 (JIF), 0.43 (JCI). DOI: 10.1142/S0217984912501527. (Вклад автора 0.8).
39. *Andreev P. A., Kuz'menkov L. S., Trukhanova M. I.*, Quantum hydrodynamics approach to the formation of waves in polarized two-dimension systems of charged and neutral particles // *Physical Review B*, V. 84, no. 24, p. 245401 (13), 2011. Объем – 1.50 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 3.7 (JIF), 0.76 (JCI). DOI: 10.1103/PhysRevB.84.245401. (Вклад автора 0.3).
40. *Andreev P. A., Trukhanova M. I.*, On the bright soliton in the Bose–Einstein condensate (to the third order in the interaction radius) // *Russian Physics Journal*, V. 53, no. 11, p. 1196-1203, 2010. [*Андреев П. А., Труханова М. И.*, Об ярком солитоне в конденсате Бозе-Эйнштейна // *Известия высших учебных заведений. Физика*, №. 11, с. 78-84, 2010.] Объем – 0.92 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 0.6 (JIF), 0.16 (JCI). DOI: 10.1007/s11182-011-9548-9. (Вклад автора 0.5).
41. *Andreev P. A., Kuz'menkov L. S.*, Problem with the single-particle description and the spectra of intrinsic modes of degenerate boson-fermion systems // *Physical Review A*, V. 78, no. 5, p. 053624 (12), 2008. Объем – 1.38 печ.л.. Импакт-фактор WoS – 2.9 (JIF), 0.92 (JCI). DOI: 10.1103/PhysRevA.78.053624. (Вклад автора 0.7).

На диссертацию и автореферат дополнительных отзывов не поступило.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований получены научные результаты и решены научные задачи, имеющие большое значение для развития физики квантовых газов и плазмopodobных сред. Среди основных результатов можно выделить следующие:

1. Сформулирован метод квантовой гидродинамики, основанный на микроскопической динамике многочастичной системы, описываемой уравнением Шредингера в координатном представлении. Выполнен перевод эволюции системы из абстрактного многомерного конфигурационного пространства, где система частиц описывается волновой функцией, в трехмерное физическое пространство, где динамика системы представлена набором материальных полей различной тензорной размерности.

2. Выведена замкнутая система уравнений квантовой гидродинамики для спин-поляризованных нейтральных фермионов, состоящая из уравнения непрерывности, уравнения эволюции поля скоростей и уравнения эволюции давления. Уравнения содержат вклад взаимодействия с точностью до третьего порядка по радиусу взаимодействия.

3. Получена система уравнений квантовой гидродинамики с отдельной спиновой эволюцией для систем заряженных частично спин-поляризованных фермионов. Она включает в себя уравнения эволюции парциальных концентраций и плотностей импульса частиц с определенной проекцией спина с учетом несохранения парциального числа частиц, происходящего из за переворота спина.

4. Теоретически предсказано, что коллективная динамика в системах частично спин-поляризованных заряженных вырожденных фермионов приводит к существованию спин-электрон-акустической волны. Волна обусловлена относительной динамикой частиц одного сорта, обладающих различными проекциями спина. Реальная часть дисперсионной зависимости спин-электрон-акустических волн имеет линейный вид в длинноволновом пределе. Также показано возникновение тонкой структуры циклотронных волн. Она состоит из трех ветвей для циклотронной волны каждого порядка и обусловлена эволюцией спинов электронов в вырожденном электронном газе при учете аномального магнитного момента электрона.

5. Показана возможность формирования яркого солитона в бозон-фермионных смесях, нейтральных частиц, находящихся при близкой к нулю температуре, как области с повышенной концентрацией в бозонной подсистеме, находящейся в состоянии конденсата Бозе-Эйнштейна. Это вызвано нелокальным бозон-бозонным и бозон-фермионным короткодействующим взаимодействием, которое создает условие для уменьшения частоты акустических волн по отношению к частотам линейного спектра.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на

защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Системы заряженных частично спин-поляризованных фермионов могут быть описаны системой уравнений квантовой гидродинамики с отдельной спиновой эволюцией, состоящей из уравнений эволюции парциальных концентраций и плотностей импульса частиц с определенной проекцией спина и уравнения эволюции плотности спина. Эти уравнения учитывают несохранение парциального числа частиц, возникающее из-за переворота спина.

2. В системах частично спин-поляризованных заряженных вырожденных фермионов возникают спин-электрон-акустические волны, представляющие собой волны относительного движения частиц одного сорта, обладающих различными проекциями спина. Реальная часть частоты спин-электрон-акустических волн является линейной функцией волнового числа в длинноволновом пределе. Мнимая часть частоты спин-электрон-акустических волн, обусловленная бесстолкновительным затуханием, мала по сравнению с действительной частью частоты.

3. Существует тонкая структура циклотронных волн, состоящая из трех ветвей для циклотронной волны каждого порядка. Существует одиночная ветвь циклотронной волны нулевого порядка. Этот эффект вызван эволюцией спинов электронов в вырожденном электронном газе при учете аномального магнитного момента электрона.

4. В бозонной подсистеме с отталкивающим взаимодействием, находящейся в состоянии конденсата Бозе-Эйнштейна в ультрахолодных смесях атомов, возникают условия для формирования яркого солитона, как области с повышенной концентрацией. Это обусловлено нелокальной частью вклада короткодействующего взаимодействия при условии преобладания над квантовым потенциалом Бома.

На заседании 17.10.2024 диссертационный совет принял решение присудить Андрееву П.А. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 10 человек, из них 10 докторов наук, участвовавших в заседании, из 12 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 10, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель
диссертационного совета

Садовников Б.И.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Поляков П.А.