

JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH
BOGOLIUBOV LABORATORY OF THEORETICAL PHYSICS

MODERN PROBLEMS OF CONDENSED MATTER THEORY

International Conference

Dubna, July 15-19, 2024

Book of Abstracts

Dubna • 2024

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

Международная Конференция

Дубна, Июль 15-19, 2024

Сборник Аннотаций

Дубна • 2024

Программный Комитет

А.М. Поволоцкий	ОИЯИ, Дубна
Е. Аницаш	ОИЯИ, Дубна
Д.Н. Аристов	ПИЯФ НИЦ КИ, СПбГУ, Санкт-Петербург
М.М. Глазов	ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
А.В. Окотруб	ИНХ СО РАН, Новосибирск
Ю.М. Письмак	СПбГУ, Санкт-Петербург
А.В. Рожков	ИТПЭ, Москва
П.Б. Сорокин	НИТУ МИСиС, Москва

Организационный Комитет

В.А. Осипов	—сопредседатель
М. Гнатич	—сопредседатель
В.Л. Катков	—ученый секретарь
О.Н. Коротчик	—секретарь
Г.А. Калагов	
К.В. Куликов	
Н.М. Лебедев	
Л. Мижишин	
Ю.Г. Молотков	

CONTENTS

- 1 *E.K. Alpmishev, G.G. Adamian, and N.V. Antonenko*
OPEN QUANTUM SYSTEMS FOR TWO-DIMENSIONAL MATERIALS
- 2 *D.V. Anghel, A.L. Nastasia, and M. Dolineanu*
UNVEILING THE QUANTUM TOROIDAL DIPOLE OF A NANOSYSTEM, ITS QUANTIZATION, INTERACTION ENERGY, AND MEASUREMENT POSSIBILITIES
- 3 *И.В. Антонова*
 ГИБКИЕ СЕНСОРНЫЕ УСТРОЙСТВА ИЗ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА
- 4 *С.С. Апостолов , Е.С. Андрияхина , И.С. Бурмистров*
СТАБИЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ (АНТИ)ВИХРЕЙ ПИРЛА И СКИРМИОНОВ НЕЕЛЯ В ТОНКИХ ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ СВЕРХПРОВОДНИК-МАГНЕТИК
- 5 *В.Е. Тимофеев, Ю.В. Барамыгина, Д.Н. Аристов*
ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД В СПЕКТРЕ МАГНОНОВ СКИРМИОННОГО КРИСТАЛЛА
- 6 *T. Belgibayev, Yu.M. Shukrinov1,*
Peculiarities of the Besselian behavior of the Buzdin, Shapiro and Chimera steps in the φ_0 Josephson junction
- 7 *V.V. Bolginov, A.S. Ionin, L.N. Karelina, N.S. Shuravin, S.V. Egorov, M.S. Sidelnikov*
EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF THE SUPERCONDUCTING SIGMA NEURON
- 8 *V. Vartic, N.B.T. Pham, G.M. Arzumanyan*
CHARACTERIZATION OF STRUCTURED 2D MATERIAL LIKE “TRIANGLES” OF MOS2 BY RAMAN SPECTROSCOPY
- 9 *М.Г. Васин*
ПЕРЕХОД ЖИДКОСТЬ-СТЕКЛО КАК ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В УПРУГОЙ СРЕДЕ
- 10 *A. Yu. Cherny , E. M. Anitas1 , A. A. Vladimirov and V. A. Osipov*
Packing of disks with a power-law size distribution: correlations in real and reciprocal spaces
- 11 *М. Гнатич , Т.Лучивянки ,Л.Мижишин, Ю.Молотков и А.Овсянников*
Генерация магнитных полей развитыми турбулентными потоками.

- 12 *N.V. Antonov, N.M. Gulitskiy, P. I. Kakin and A.S. Romanchuk*
**RANDOM WALK ON A RANDOM SURFACE: RENORMALIZATION
 GROUP ANALYSIS OF STOCHASTIC MODEL**
- 13 *D.A. Davletbaeva , M.V. Komarova and M.Yu. Nalimov*
**ON THE QUANTUM NAVIER-STOKES EQUATION IN THE
 VICINITY OF THE POINT OF PHASE TRANSITION TO
 THE SUPERFLUID STATE**
- 14 *M.B. Долгополов, Н.А. Ивлиев, И.И. Марипов, С.К. Отабоев, В.В.
 Раденко, С.А. Раджапов, А.С. Чипура*
**АКТИВИРОВАННЫЙ ГЕТЕРОПЕРЕХОД SIC/SI С КОН-
 ТАКТНОЙ РАЗНОСТЬЮ ПОТЕНЦИАЛОВ**
- 15 *L.Ts. Adzhemyan , D.A. Evdokimov , M.V. Kompaniets*
Hyperlogarithms in the theory of turbulence of infinite dimension
- 16 *G. A. Kalagov*
Critical phenomena at the tensor ordering phase transition
- 17 *И.В. Крайнов, Р.А. Ниязов, Д.Н. Аристов, В.Ю. Качоровский*
**СИЛЬНЫЙ НЕМАГНИТНЫЙ МЕХАНИЗМ РАССЕЯНИЯ
 НАЗАД В КРАЕВЫХ СОСТОЯНИЯХ 2D ТОПОЛОГИ-
 ЧЕСКОГО ИЗОЛЯТОРА**
- 18 *M. Hnatič , M. Kecer and T. Lučivjanský*
**Renormalization group analysis of two-species reaction-diffusion
 system: Crossover between long-range and short-range spreading**
- 19 *K.K. Kesharpu and E.A. Kochetov*
**Re-entrant topological order due to Rashba spin-orbit coupling
 in topological superconductors**
- 20 *П. П. Кобчикова, С.В. Ефимов, В.В. Клочков*
**МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИ-
 НАМИКИ В ПРИЛОЖЕНИИ К ИССЛЕДОВАНИЯМ ВНУТ-
 РИМОЛЕКУЛЯРНОЙ ПОДВИЖНОСТИ НЕКОТОРЫХ
 ЦИКЛОСПОРИНОВ**
- 21 *Е.С.Коваленко, Ю.М.Шукринов*
**ПРОЯВЛЕНИЕ СВЯЗИ ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ И МАГ-
 НИТНЫХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ В φ_0 ПЕРЕХОДЕ В ОБЛА-
 СТИ ФЕРРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА**
- 22 *В.Н. Кондратьев, В.А. Осипов*
СУПЕРФЕРРОМАГНИТОРЕЗИСТОРЫ

- 23 *Красавин С.Е. , Осипов В.А.*
РОЛЬ РЕЗОНАНСНЫХ ПРИМЕСЕЙ В ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВАХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ГРАФЕНА
- 24 *K.V. Kulikov , E. Kovalenko, J. Tekić M. Nashaat, Yu. M. Shukrinov*
Properties of Buzdin steps in φ_0 Josephson junction
- 25 *Ivan Dutta, Kush Saha*
Flat bands with non-trivial Hopf index
- 26 *N.V. Antonov , P.I. Kakin , N.M. Lebedev , A.Yu. Luchin*
RENORMALIZATION GROUP ANALYSIS OF A SELF-ORGANIZED CRITICAL SYSTEM: INTRINSIC ANISOTROPY VS RANDOM
- 27 *S.V. Lepeshkin, A.A. Mikhailova, D.V. Rybkovskiy, A.R. Oganov*
PREDICTION OF THE STRUCTURE AND STABILITY OF MOLECULES AND CLUSTERS
- 28 *А.А. Повзнера, А.Г. Волков, А.Р. Кузнецов, Ю.Н. Горностырев, Э.И. Лопатко*
ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СПИНОВЫЕ СКИРМИОНЫ В ДОПИРОВАННЫХ ВЕЙЛЕВСКИХ ПОЛУМЕТАЛЛАХ $Co(Si_{1-x}Co_x)$ С КИРАЛЬНЫМ ФЕРРОМАГНЕТИЗМОМ
- 29 *F.G. Uskov , A.E. Teretenkov and O.V. Lychkovskiy*
QUANTUM MANY-BODY DYNAMICS BY RECURSION METHOD: RECENT DEVELOPMENTS AND PROSPECTS
- 30 *P.A. Maksimov*
THE SAGA OF $BaCO_2 (ASO_4)_2$
- 31 *В.Н. Манцевич, Н.С. Маслова, И.В. Рожанский, Н.С. Аверкиев*
ДИНАМИЧЕСКАЯ СПИНОВАЯ ИНЖЕКЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ СПИНОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ В ГИБРИДНОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СТРУКТУРЕ
- 32 *Н.Л. Мацко , Д.А. Шохонов , В.А. Осипов*
Комбинационное рассеяние в монослое MoS_2 на кварцевой подложке. Расчет из первых принципов.
- 33 *V.S. Melezhib , S. Shadmehri*
ACCELERATION AND TWISTING OF NEUTRAL ATOMS BY STRONG ELECTROMAGNETIC PULSES

- 34 *A.С.Мельников*
ФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В СВЕРХПРОВОДНИКАХ
- 35 *L. Mižišin*
Magnetohydrodynamics in the Elsasser variables: Quantum-field renormalization group approach
- 36 *Hnatič Michal, Lučivjanský Tomáš, Mižišin Lukáš, Molotkov Yurii and Ovsiannikov Andrei*
Magnetohydrodynamics with broken spatial parity: Two-loop calculation and RG analysis
- 37 *A.С. Москвин*
НЕТРАДИЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕХОДА ИЗОЛЯТОР-«ПЛОХОЙ» МЕТАЛЛ В ОРТОНИКЕЛАТАХ RNiO₃
- 38 *R.G. Nazmitdinov , M. Pudlak*
Valley focusing in a corrugated graphene
- 39 *L.Gosteva , M.Nalimov and A.Yashugin1*
On dynamics in the vicinity of a phase transition to a superconducting state
- 40 *D.T. Nguyen , M. Pudlak , and R.G. Nazmitdinov*
SPIN POLARIZATION OF ELECTRONS BY MEANS OF QUANTUM RING WITH RASHBA INTERACTION IN THE REGIME OF STRONG LIGHT-MATTER COUPLING
- 41 *E. G. Nikonov , R. G. Nazmitdinov and P. I. Glukhovtsev*
Manifestation of the hexatic phase of charge particles confined in a lateral potential with circular symmetry
- 42 *P. A. Ниязов, И. В. Крайнов, Д. Н. Аристов, В. Ю. Качоровский*
ДРОБОВОЙ ШУМ В ИНТЕРФЕРОМЕТРАХ ААРОНОВА-БОМА
- 43 *M.Nashaat, E. Kovalenko, and Yu. M. Shukrinov*
MANIFESTATION OF DIFFERENT DYNAMICAL STATES ON CHIMERA AND BUZDIN STEP IN φ_0 JUNCTION
- 44 *M.Nashaat, J. Tekič, and Yu. M. Shukrinov*
REALIZATION OF SPACE-TIME CRYSTAL PATTERN IN φ_0 JOSEPHSON JUNCTION ON TOPOLOGICAL INSULATOR
- 45 *Hnatič Michal, Lučivjanský Tomáš, Mižišin Lukáš, Molotkov Yurii and Ovsiannikov Andrei*
Turbulent Dynamo as Spontaneous Symmetry Breaking: Two-Loop Approximation

- 46 *Y.D. Panov , V.S. Ryumshin , V.A. Ulitko , and A.S. Moskvina*
Competition of the magnetic and charge ordering in orthonickelates
- 47 *А.Д. Панферов*
ОПИСАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ДВУХЗОННЫХ МОДЕЛЕЙ
ВО ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ НА ОСНОВЕ
КИНЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА
- 48 *I.B. Pestov*
ORIGIN OF SUPERCURRENT IN SUPERCONDUCTORS
- 49 *Ю.М. Письмак*
СПИНОРНОЕ ФЕРМИОННОЕ ПОЛЕ МАЙОРАНЫ:
ЕГО ОСОБЕННОСТИ И ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
В МОДЕЛЯХ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
- 50 *Zh. Adamyan, N. Ananikyan, L. Ananikyan, G. Mirzoyan, V.V. Paroyan, and O. Rojas*
ENTANGLEMENT AND QUANTUM MAGNETIC PROPERTIES
OF ANTIFERROMAGNETIC CLUSTER MODELS WITH
SPINS 1/2, 1 AND 3/2.
- 51 *A.V. Rozhkov , A.L. Rakhmanov , and A.O. Sboychakov*
HALF-METAL AND OTHER FRACTIONAL METAL PHASES
IN DOPED AB BILAYER GRAPHENE
- 52 *A.E. Romanov, A.L. Kolesnikova*
DISCLINATIONS IN NANO- AND MICROOBJECTS
- 53 *В.Н. Рыжов, Е.Е. Тареева, Ю.Д. Фомищев, Е.Н. Циок*
ВЛИЯНИЕ СЛУЧАЙНОГО БЕСПОРЯДКА НА СЦЕНАРИИ
ДВУМЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ
- 54 *Н.Е. Савицкая, Т.А. Федорова*
ВЛИЯНИЕ АССОРТАТИВНОСТИ СЕТИ КОНТАКТОВ
НА ОТКЛИК МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ НА ЛАВИНООБРАЗНОЕ ВОЗМУЩЕНИЕ
- 55 *А.В. Самохвалов, А.С. Мельников*
ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА ВИХРЯ АБРИКОСОВА
В СВЕРХПРОВОДНИКАХ С АНИЗОТРОПНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ФЕРМИ
- 56 *V.A. Semkin, I.K. Domorartskiy, M.K. Kashchenko, D.A. Mylnikov, D.A. Svintsov*
ELECTROMAGNETIC DETECTION IN 2D MATERIALS
VIA DESIGN OF CONTACT GEOMETRIES

- 57 *V.A. Semkin, I.K. Domorartskiy, M.K. Kashchenko, D.A. Mylnikov, D.A. Svintsov*
ELECTROMAGNETIC DETECTION IN 2D MATERIALS VIA DESIGN OF CONTACT GEOMETRIES
- 58 *M.A. Semina*
THEORY OF COULOMB COMPLEXES IN 2D SEMICONDUCTORS
- 59 *А.Я. Силенко*
СРАВНЕНИЕ ДВУХ ПОДХОДОВ К ОПИСАНИЮ ЭЛЕКТРОНОВ ГРАФЕНА В ОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ
- 60 *К.С. Солдатов, П.А. Овчинников, В.Ю. Капитан, Г.Ю. Шитов*
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СКЕЙЛИНГ В СКРЫТЫХ ПАТТЕРНАХ НАПРАВЛЕННОЙ ПЕРКОЛЯЦИИ
- 61 *Л.А. Сюракина, В.Ю. Юшанхай*
НЕРАВНОВЕСНАЯ ДИНАМИКА НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СПИНОВЫХ СИСТЕМ
- 62 *Z. Slijvančanin*
Metal Adatoms at 2D Materials: Structure, Reactivity and Magnetic Properties
- 63 *С.А. Тарасенко*
ТОКИ, ИНДУЦИРОВАННЫЕ СТРУКТУРИРОВАННЫМ ТЕРАГЕРЦОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В ДВУМЕРНЫХ СИСТЕМАХ
- 64 *А.С.Тарасов, И.Г. Ильюшин*
МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АДСОРБАТОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ VIВ ГРУППЫ НА СТРУКТУРАХ γ -ГРАФИНА И ПОТЕНЦИАЛ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СПИНТРОНИКЕ
- 65 *V. K. Ivanov , I. S. Terekhov*
Induced charge generated by Coulomb Impurity in TMDs
- 66 *В.Е. Тимофеев, Д.Н. Аристов*
Краевые магнонные моды в скирмионных кристаллах
- 67 *L.Ts. Adzhemyan , M.V. Kompaniets , A.V. Trenogin*
Six-loop calculation of the tricritical exponents of the $O(n)$ -symmetric $\varphi^4 + \varphi^6$ theory

- 68 *В. М. Уздин, И. С. Лобанов*
УСТОЙЧИВОСТЬ И ДИНАМИКА ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР В МАГНЕТИКАХ И ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ
- 69 *V.A. Ulitko, Y.D. Panov*
MONTE CARLO STUDY OF THE TWO-DIMENSIONAL MODEL OF SEMI-HARD-CORE BOSONS
- 70 *И.И. Файрушин, А.В. Мокшин*
ОПИСАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЛЕКТИВНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ ЖИДКОСТИ ЮКАВЫ В РАМКАХ САМОСОГЛАСОВАННОЙ РЕЛАКСАЦИОННОЙ ТЕОРИИ
- 71 *Maria Fedyaeva, Sergey Lepeshkin, and Artem R. Oganov*
INVESTIGATION OF THE STRUCTURE AND STABILITY OF BORON-CARBON CLUSTERS USING THE DFT METHOD
- 72 *Ю.Д. Фомин*
ПЛАВЛЕНИЕ ГРАФЕНА И СИЛИЦЕНА: СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ
- 73 *Yakov Fominov*
JOSEPHSON DIODE EFFECT IN ASYMMETRIC HIGHER-HARMONIC SQUID
- 74 *Hajar Shiraliyeva Nohbala qizi, Mirzayev Nijat Agil oglu*
STUDY OF ADSORPTION OF RADIONUCLIDES FOR TRANSFER URANIUM ISOTOPES AND FOR PRODUCTION OF HIGH PURITY AMMONIUM SALTS
- 75 *Cam N. Hoang, Hieu T. Nguyen-Truong and V.A. Osipov*
DIELECTRIC ENVIRONMENT AND RYDBERG EXCITONS IN ATOMICALLY THIN SEMICONDUCTORS
- 76 *Е.Н. Циок, Е.А. Гайдук, Е.Е. Тареева, Ю.Д. Фомин, В.Н. Рыжков*
ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА САМОСБОРКУ ВОДНОГО РАСТВОРА ПАРАМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ
- 77 *E. D. Chernov, A. V. Lukoyanov*
HIGH SPIN POLARIZATION IN FULL HEUSLER CO₂MN₂ (Z = SI, GA, GE, SN) ALLOYS
- 78 *Л.А. Чернозатонский*
МУАРОВЫЕ АЛМАЗОПОДОБНЫЕ ПСЕВДО-2D НИТРИДЫ: ИХ СТРУКТУРА И СВОЙСТВА.

- 79 *В.М. Шабаев*
РАСПАД ВАКУУМА В СВЕРХКРИТИЧЕСКОМ КУЛОНОВСКОМ ПОЛЕ
- 80 *V.R. Shaginyan*
Common behavior of the scaled condensation energy for both high- T_c and conventional superconductors
- 81 *Ю.М.Шукринов*
РЕЗОНАНСНЫЕ, СИНХРОНИЗАЦИОННЫЕ И ХАОТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ ГИБРИДНЫХ СТРУКТУРАХ
- 82 *Н.М. Щелкачев, Р.Е. Рыльцев*
ГЛУБОКОЕ МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ, СТРУКТУРНАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ И ДИЗАЙН ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ
- 83 *А.С. Щербakov, О.И. Утесов*
ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАМАГНЕТИЗМ В ЛЕГКО-ПЛОСКОСТНОМ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКЕ В НАКЛОННОМ ПОЛЕ
- 84 *V.I. Yukalov and E.P. Yukalova*
Self-similar renormalization for nonlinear problems

OPEN QUANTUM SYSTEMS FOR TWO-DIMENSIONAL MATERIALS

E.K. Alpomishev^{1,2}, G.G. Adamian¹, and N.V. Antonenko¹

¹*BLTP, JINR, Dubna, Moscow Region, 141980, Russia*

²*Institute of Nuclear Physics, 100214 Tashkent, Uzbekistan*

E-mail, alpomishev@theor.jinr.ru

The theory of open quantum systems is applied to study galvano-, thermo-magnetic, and magnetization phenomena in axial symmetric two-dimensional systems. Charge carriers are considered as quantum particles interacting with the environment through a one-body (mean-field) mechanism. The dynamics of charge carriers is affected by the average collision time that takes effectively into account two-body effects. The functional dependencies of the average collision time on the external uniform magnetic field, concentration and temperature are phenomenologically treated. Analytical expressions are obtained for the tensors of electric and thermal conductivity. The developed theory is applied to describe the Shubnikov-de Haas oscillations and quantum Hall effect in graphene and GaAs/Al_xGa_{1-x}As heterostructure [1].

References

- [1] E.K. Alpomishev, G.G. Adamian, and N.V. Antonenko *Quantum Hall and Shubnikov-de Haas Effects in Graphene within Non-Markovian Langevin Approach*. Symmetry MDPI, **16**, 7 (2024).

UNVEILING THE QUANTUM TOROIDAL DIPOLE OF A NANOSYSTEM, ITS QUANTIZATION, INTERACTION ENERGY, AND MEASUREMENT POSSIBILITIES

D.V. Anghel^{1,2}, A.L. Nastasia^{2,3}, and M. Dolineanu^{2,3}

¹*BLTP, JINR, Dubna, Russia*

²*IFIN-HH, Magurele, Romania*

³*Faculty of Physics, University of Bucharest, Romania*

dragos@theor.jinr.ru

We analyze a quantum particle in a quasi-2D system of cylindrical symmetry, which, in concrete cases is a torus with the coordinates (θ, ϕ, ξ) , as shown in Fig. 1. We focus on the toroidal dipole of the particle [1] and show that the operator associated to it is self-adjoint, so it may correspond to an observable. We numerically solve the eigenvalue and eigenvectors problem (EEP) for the free Hamiltonian and try to apply the same procedure to the operator of the toroidal dipole projection on the z axis \hat{T}_3 , but the convergence is not good. In [2] we analytically solve the (EEP) for \hat{T}_3 and find that the eigenvalues are discrete and equidistant, whereas the eigenvectors are of infinite norms, i.e., they are eigenfunctionals, not eigenfunctions. This implies that they *cannot be numerically calculated using any orthonormal basis functions*. Furthermore, this raises fundamental problems related to the measurement principle, since the wavefunction of the system cannot collapse on a function of infinite norm as the result of a measurement.

We also show how we can indirectly measure T_3 by its interaction energy, by passing a current along the z axis (Fig. 1).

References

- [1] M. Dolineanu, A.T. Preda, and D.V. Anghel, *The toroidal dipole operator in nanostructures*, Physica A **598**, 127377 (2022).
- [2] D. V. Anghel and M. Dolineanu, *The eigenvalues and eigenfunctions of the toroidal dipole operator*, Phys. Scr. **98**, 015223 (2023).
- [3] A.L. Nastasia, M. Dolineanu, and D.V. Anghel, *Unveiling the Quantum Toroidal Dipole of a Nanosystem*, to be submitted.

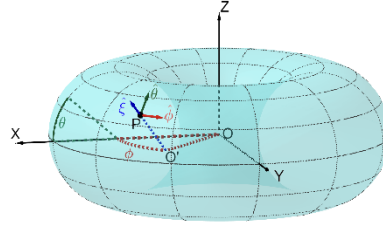


Fig. 1: A quantum particle in a quasi-2D system of cylindrical symmetry [in most cases, a torus, with the toroidal coordinates (θ, ϕ, ξ)].

ГИБКИЕ СЕНСОРНЫЕ УСТРОЙСТВА ИЗ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА

И.В. Антонова

*Институт физики полупроводников им А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск,
Россия*

antonova@isp.nsc.ru, <http://www.isp.nsc.ru/institut/nauchnye-podrazdeleniya/laboratoriya-7/sotrudniki/antonova-irina-veniaminovna>

Известна возможность использования слоев графена в качестве различных химических и биологических сенсоров. В данном докладе будет рассказано о широких возможностях использования ультратонких композитных слоев из графена и проводящего полимера PEDOT:PSS в качестве сенсоров влажности, неинвазивных сенсоров глюкозы, основанные на анализе пота, сенсоров дыхания и касания, сенсоров для анализа химических растворов и т.п. Установлено влияние структуры напечатанного слоя на чувствительность сенсора. Сочетание разработанного композита с определенной структурой активного слоя позволяет достигать высокой чувствительности разных сенсоров. Если обычно резистивные сенсоры на основе графена демонстрируют изменение сопротивления от 30% до двух порядков, то в нашем случае отклик сенсора составляет от 2 до 5 порядков. Сенсоры демонстрируют не только высокий отклик, но и хорошую воспроизводимость и стабильность. При тестировании глюкозы, максимальная чувствительность наблюдается для 2-3 печатных слоев, когда большая часть частиц графена располагается вертикально, обеспечивая наличие активных состояний на границах частиц. При повышенной влажности происходит активация спектра электрически активных состояний, по которым и осуществляется проводимость. Предполагается, что адсорбция молекул глюкозы происходит именно на краевых состояниях частиц графена, и они же выступают в качестве катализатора окисления глюкозы. Резкое уменьшение чувствительности и селективности наблюдается в более толстых пленках (4-8 печатных слоев) из того же композита, что связано со сменой структуры слоев. Найденный дизайн сенсоров делает их многократными, поскольку они не теряют своих свойств при многократном использовании и длительном хранении. При этом созданные сенсоры сочетают в себе простоту в изготовлении и дешевизну с высоким откликом.

Работа поддержана грантом РФФИ № 22-19-00191.

СТАБИЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ (АНТИ)ВИХРЕЙ ПИРЛА И СКИРМИОНОВ НЕЕЛЯ В ТОНКИХ ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ СВЕРХПРОВОДНИК-МАГНЕТИК

С.С. Апостолов¹, Е.С. Андрияхина¹, И.С. Бурмистров¹

¹ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН, Черногловка, Россия
ssapostoloff@yandex.com

В последние десятилетия магнитные скирмионы привлекли внимание, благодаря их перспективному применению для обработки и хранения высокой плотности данных. В настоящей работе мы изучаем взаимодействие через магнитные поля рассеяния сверхпроводящих вихрей Пирла и скирмионов Нееля в тонких гетероструктурах. Это исследование мотивировано недавними экспериментами, где были обнаружены пары вихрь–скирмион [1], а также возможностью использования майорановских мод, локализованных на таких парах, в квантовых вычислениях [2].

Для того, чтобы аналитически изучить эти явления, мы разработали новый подход, который описывает намагниченность скирмиона с помощью относительно простого анзаца [3]. Минимизируя свободную энергию с использованием этого анзаца, мы можем определить размер, искривлённую форму и устойчивое положение скирмиона в магнитном поле одного или нескольких (анти)вихрей. Мы представим фазовую диаграмму, описывающую тип стабильного состояния вихрь–скирмион, а также зависимости размера и смещения скирмиона от материальных параметров системы. Кроме того, будет показано, что скирмион может стабилизировать в своей близости пару вихрь–антивихрь. Работа поддержана грантом Российского научного фонда № 24-12-00357.

Список литературы

- [1] A.P. Petrović et al, *Skyrmion-(Anti)vortex coupling in a chiral magnet-superconductor heterostructure*, Phys. Rev. Lett. **126**, 117205 (2021).
- [2] J. Nothhelfer et al, *Steering majorana braiding via skyrmion-vortex pairs: A scalable platform*, Phys. Rev. B **105**, 224509 (2022).
- [3] S.S. Apostoloff, E.S. Andriyakhina, and I.S. Burmistrov, *Deformation of a Néel-type skyrmion in a weak inhomogeneous magnetic field: Magnetization Ansatz and interaction with a Pearl vortex*, Phys. Rev. B **109**, 104406 (2024).

ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД В СПЕКТРЕ МАГНОНОВ СКИРМИОННОГО КРИСТАЛЛА

В.Е. Тимофеев^{1,2}, Ю.В. Барамыгина¹, Д.Н. Аристов^{1,2}

¹НИИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, Гатчина, Россия

² Санкт-Петербургский Государственный Университет, СПб, Россия

barjv@mail.ru

Магнитные скирмионы – топологически нетривиальные вихри локальной намагниченности. В широком спектре материалов магнитные скирмионы упорядочиваются в решётки, так называемые скирмионные кристаллы (СкК).

Исследуется спектр элементарных возбуждений СкК, образующегося в тонких ферромагнитных плёнках с взаимодействием Дзялошинского-Мории и внешним магнитным полем. Для анализа используется метод стереографической проекции, позволяющий переписать компоненты локальной намагниченности через функцию комплексной переменной [1].

Мы обобщаем разработанный ранее подход для описания гиротропной моды СкК [2] на две вышележащие ветки спектра, наблюдаемые в эксперименте по магнитному резонансу. Мы демонстрируем топологический переход, происходящий между этими двумя зонами [3]. При определённом значении магнитного поля щель между рассматриваемыми модами исчезает. Закрытие и повторное открытие щели при изменении магнитного поля сопровождается сменой топологического характера исследуемых ветвей спектра: ниже точки перехода зоны имеют отличные от нуля числа Черна, в то время как выше точки перехода числа Черна обеих зон обращаются в ноль.

Наличие топологического перехода в спектре магнонов СкК может отразиться на свойствах теплового транспорта системы, а также приводить к возникновению магнонных краевых состояний.

References

- [1] V.E. Timofeev and D.N. Aristov. *Magnon band structure of skyrmion crystals and stereographic projection approach*. Phys. Rev. B, **105**, 024422 (2022)
- [2] V.E. Timofeev and D.N. Aristov. *Goldstone mode of skyrmion crystal*. JETP Lett., **118**, 455 (2023)
- [3] V.E. Timofeev, Yu.V. Baramygina and D.N. Aristov. *Magnon topological transition in skyrmion crystal*. JETP Lett., **118**, 911 (2023)

Peculiarities of the Besselian behavior of the Buzdin, Shapiro and Chimera steps in the φ_0 Josephson junction

T. Belgibayev¹, Yu.M. Shukrinov^{1,2}

¹*BLTP, Dubna, 141980, Russian Federation*

²*Dubna State University, Dubna, 141980, Russian Federation*

belgibaev@theor.jinr.ru

The peculiarities of the Bessel behaviour of the Buzdin, Shapiro and Chimera steps at the φ_0 Josephson junction are investigated. Using a theoretical model, we analysed and presented detailed results demonstrating the characteristic responses of each step to varying radiation amplitudes. Understanding these phenomena can provide valuable insights for applications in superconducting qubits, SQUIDs, and standard volt, enhancing the precision and stability of these technologies.

References

- [1] Yu. M. Shukrinov, E. Kovalenko, J. Tekic, K. Kulikov, M. Nashaat, *Buzdin, Shapiro and Chimera Steps in φ_0 Josephson Junctions*. Physical Review B, **109**, 024511 (2024)

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF THE SUPERCONDUCTING SIGMA NEURON

**V.V. Bolginov, A.S. Ionin, L.N. Karelina, N.S. Shuravin, S.V. Egorov,
M.S. Sidelnikov**

¹*Osipyany Institute of Solid State Physics RAS, Chernogolovka, Moscow District, 2
Academician Osipyany str., 142432 Russia*

bolg@issp.ac.ru

A superconducting sigma neuron is a single-junction interferometer, part of the circuit of which is shunted by an additional inductance. It is designed to nonlinearly transform the input signal (magnetic flux) in accordance with a certain sigmoidal law. Such an interferometer should be implemented as a multilayer thin-film structure over a superconducting screen to ensure independence of setting and reading the magnetic flux in the neuron elements. An experimental implementation of such a device, as well as an experimental measurement of its transfer function, were presented in [1]. The main results of the theoretical model [2] were confirmed, but the possibility of interaction of the neuron elements through the superconducting screen was revealed which wasn't taken into account earlier. In the report a generalized method for analyzing the transfer function of a sigma neuron will be presented, which allows taking into account all components of the inductance matrix. The obtained formulas allow achieving good agreement between the experimental and numerical curves when using the calculated inductance matrix obtained by means of the 3DMLSI program [3]. The developed approach will allow designing next-generation sigma neurons with a predetermined form of the transfer function.

The work is done within RSF project #23-72-00053.

References

- [1] Ionin, A. S., Shuravin ... & Bol'ginov, V. V. (2023). Experimental Study of a Prototype of a Superconducting Sigma Neuron for Adiabatic Neural Networks. *Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 137(6), 888-898.
- [2] Soloviev, I. I., Schegolev ... & Golubov, A. A. (2018). Adiabatic superconducting artificial neural network: Basic cells. *Journal of applied physics*, 124(15).
- [3] Bakurskiy, S. V., Klenov ... & Khapaev, M. M. (2021). Extraction of inductances and spatial distributions of currents in a model of superconducting neuron. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 61(5), 854-863.

CHARACTERIZATION OF STRUCTURED 2D MATERIAL LIKE “TRIANGLES” OF MoS₂ BY RAMAN SPECTROSCOPY

V. Vartic, N.B.T. Pham, G.M. Arzumanyan

*Joint Institute for Nuclear Research, Laboratory of Neutron Physics,
Sector of Raman Spectroscopy, Joliot-Curie, 6, 141980, Dubna, Russia
e-mail: victoria.vartic@gmail.com*

One of the intensely investigated areas of the material research is the study of low dimensional structures with their unique optical and electronic band structure properties. It should be noted that the performances in applications of 2D crystals are largely influenced by their morphology and microstructure. In our study we used monolayer MoS₂ triangle flakes prepared by the chemical vapor deposition (CVD) method on SiO₂/Si substrate. Raman spectroscopy has been proven to be a fast, convenient, nondestructive technique and play a key role to characterize the fundamental properties of 2DMs. Therefore, we implemented this sensitive vibrational spectroscopy to probe the effect of interaction between the MoS₂ flakes and the Si substrate.

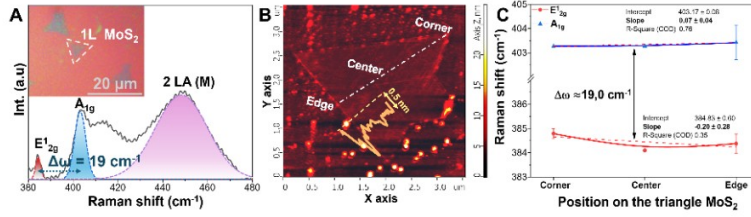


Figure 1. (a) Raman spectra of monolayer MoS₂ under 633 nm laser excitation, inset of the brightfield optical micrograph on MoS₂ deposited on silicon surface, (b) AFM image of a monolayer MoS₂. Inset: the height profile along the dashed line and the dash-dot line to denote the measured Raman positions, (c) the vibrational modes A_{1g}, E_{12g}¹, shifts in dependence of the position from corner to edge of the triangle MoS₂.

The resonant Raman spectrum of MoS₂ at the 633 nm excitation is composed of two basic vibrational modes; E_{12g}¹ (384 cm⁻¹), A_{1g} (405 cm⁻¹), and a broad asymmetric band at around 454 cm⁻¹ (Fig.1a). The peak frequency difference between those A_{1g}, E_{12g}¹ modes is about 19 cm⁻¹, which is characteristic for monolayer MoS₂. This was further confirmed by the AFM mapping (Fig.1b). For the E_{12g}¹ vibrational mode we observed small frequency deviations (shifts) in the spectra taken from the corner-center-edge positions (Fig.1c).

It can be postulated that one of the contributing factors to this discrepancy may be the strain resulting from a mismatch in the lattice constants between the substrate and the two-dimensional flake. Another factor that can be considered is the binding between the flake and the substrate characterized by a weakening from the center to the edges and corners. The obtained Raman spectra exhibited a good correlation with the results of the density functional theory (DFT) simulations. Also, in this study, transport properties of the MoS₂ flakes were observed with increasing the energy of the laser excitation which modulates the resonance with the electronic bands of MoS₂ occurring in the scattering processes.

ПЕРЕХОД ЖИДКОСТЬ-СТЕКЛО КАК ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД В УПРУГОЙ СРЕДЕ

М.Г. Васин^{1,2}

¹ *Всероссийский НИИ автоматики имени Н. Л. Духова, Москва, Россия*

² *Институт физики высоких давлений им. Л.Ф.Верещагина РАН,
Москва, Россия*

E-mail: dr_vasin@mail.ru

Микроскопические механизмы, порождающие стекольное состояние вещества, до сих пор остаются предметом активных обсуждений. В частности, дискуссионным остаётся вопрос: можно ли рассматривать стёкла как предельно вязкие жидкости, либо стекольная фаза является результатом подлинного термодинамического фазового перехода в твёрдое состояние. В представленном докладе приведены аргументы в пользу второго утверждения и показано, что переход в стекольную фазу в полной мере можно описать как фазовый переход в системе топологических дефектов, т.е. как топологический фазовый переход.

Этот подход не нов, теоретическое описание стекольной фазы как замороженной системы топологически устойчивых дефектов активно развивалось в конце прошлого века. Тогда же было предположено, что переход в стекольное состояние является топологическим фазовым переходом (см. например, [1]).

В представленном докладе предлагается развитие данного подхода. Показано, что в трёхмерной системе топологических дефектов может происходить фазовый переход, обладающий всеми признаками стекольного перехода. Методами неравновесной динамики показано, что расходимость времени релаксации вблизи данного перехода описывается уравнением Фогеля-Фулчера-Таммана, температура перехода зависит от скорости охлаждения [2]. При этом в статическом пределе предложенная модель демонстрирует большинство свойств, характерных для стекольного перехода. Таких, например, как характерная температурная зависимость теплоёмкости, или расходимость нелинейных восприимчивостей третьего и пятого, порядка в точке перехода [2].

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ (№23-22-00168).

References

[1] И.Е. Дзялошинский, С.П. Обухов, ЖЭТФ 83 (2), 813 (1982)

[2] M.G.Vasin, Phys. Rev. E **106**, 044124 (2022)

Packing of disks with a power-law size distribution: correlations in real and reciprocal spaces

A. Yu. Cherny¹, E. M. Anitas^{1,2}, A. A. Vladimirov¹ and V. A. Osipov¹

¹*Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 141980, Russian Federation*

²*Horia Hulubei, National Institute of Physics and Nuclear Engineering,*

RO-077125 Bucharest-Magurele, Romania

artem.a.vladimirov@gmail.com

We investigate analytically and numerically the spatial correlation properties of disk packings with power-law distributed radii [1, 2]. We study the corresponding structure factor, mass-radius relation, and pair distribution function of the disk centers. A toy model of dense segments, randomly placed in one dimension, is considered and solved exactly. It is shown theoretically in one dimension and numerically in one and two dimensions that such a dense packing exhibits fractal properties. It is found that the exponent of the power-law distribution and the fractal dimension coincide provided the packing is dense and random. The thermodynamic limit is considered when the total number of disks increases infinitely, while the mean density of the disk centers and the range of the size distribution are kept constant. It is shown that the fractal range in reciprocal space corresponds to the range of the size distribution in real space. The dependence of the structure factor on density is examined. As is found, the power-law exponent remains unchanged but the fractal range shrinks when the packing fraction decreases. In addition to random packing, we consider non-random packing algorithms, such as constant-pressure compression generated by the LAMMPS GRANULAR software package. As is shown, in this case the fractal exponent significantly deviates from the size distribution exponent. These findings reveal the fractal-like properties of the disk packings and can be applied to the analysis of small-angle scattering from such systems.

References

- [1] A. Yu. Cherny, E. M. Anitas, and V. A. Osipov, *Dense random packing with a power-law size distribution: the structure factor, mass-radius relation, and pair distribution function*. J. Chem. Phys., **158**, 044114 (2023)
- [2] A. Yu. Cherny, E. M. Anitas, A. A. Vladimirov and V. A. Osipov, *Dense Random Packing of Disks With a Power-Law Size Distribution in Thermodynamic Limit*. J. Chem. Phys., **160**, 024107 (2024)

Генерация магнитных полей развитыми турбулентными потоками.

**М. Гнатич^{1,2,3}, Т.Лучивьянски¹, Л.Мижишин², Ю.Молотков² и
А.Овсянников¹**

¹*Institute of Physics, Faculty of Sciences, P. J. Šafárik University, Park
Angelinum 9, 040 01 Košice, Slovakia*

²*Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Московская
обл., Россия*

³*Institute of Experimental Physics, Slovak Academy of Sciences, Košice,
Slovakia*

Развитая турбулентность в электропроводящей жидкости (плазме) обладает рядом специфических свойств, связанных с флуктуациями магнитного поля, которые при определенных условиях могут усиливаться и приводить к образованию среднего крупномасштабного магнитного поля. Это явление известно, как турбулентное динамо. Особенно ярко оно проявляется в жидкости с нарушенной зеркальной симметрией. Мы продолжаем исследование этого явления с помощью методов квантовой теории поля, в рамках которой, образование магнитного поля может быть интерпретировано, как следствие спонтанного нарушения симметрии. Предложен общий сценарий для многопетлевых расчетов собственно-энергетических и вершинных фейнмановских диаграмм, отвечающих за генерацию однородного магнитного поля и его перенормировку, соответственно.

**RANDOM WALK ON A RANDOM SURFACE: RENORMALIZATION
GROUP ANALYSIS OF STOCHASTIC MODEL**

N.V. Antonov^{1,2}, N.M. Gulitskiy^{1,2}, P. I. Kakin¹ and A.S. Romanchuk¹

*¹Department of Physics, St. Petersburg State University,
7/9 Universitetskaya Naberezhnaya, St. Petersburg 199034, Russia*

*²N.N. Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear
Research, Dubna 141980, Moscow Region, Russia*

n.gulitskiy@spbu.ru

We study a model of a random walk on a rough fluctuating surface. We consider the Fokker-Planck equation for a particle in a uniform gravitational field. The surface is modelled by the most popular non-linear Kardar-Parisi-Zhang (KPZ) stochastic equation for the height field. Using the general Martin-Siggia-Rose and de Dominicis-Janssen theorems, the original stochastic problem is reformulated as a certain field theoretic model. This allows one to apply the well-developed formalism of Feynman diagrammatic techniques, renormalization theory and renormalization group. It was found that from six possible fixed points only two are infrared-attractive. First one is Gaussian and corresponds to free theory. Second one corresponds to the pure KPZ model, where the coupling constant responsible for the interaction between fluctuation of the surface and random walks is equal to zero. Moreover, it was found that well-known non-perturbal fixed point for KPZ model, followed from functional renormalization group analysis, is stable for the whole model (including random walks) too. This fixed point describes non-trivial scaling, in which all interactions are non-zero and take part in asymptotic behavior of correlation and structure functions.

Research was supported by RSF grant №24-22-00220 “Quantum field theory methods in statistical physics problems: models of self-organized criticality and random walks”.

**ON THE QUANTUM NAVIER-STOKES EQUATION IN THE VICINITY OF
THE POINT OF PHASE TRANSITION TO THE SUPERFLUID STATE**

D.A. Davletbaeva^{1,2}, M.V. Komarova¹ and M.Yu. Nalimov^{1,3}

¹*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*

²*NRC “Kurchatov Institute” PNPI, Gatchina, Russia*

³*Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia*

dav.diana@mail.ru

The study focuses on investigating the dynamics of the phase transition of helium into the superfluid state. The research employs the model constructed using the formalism of finite-temperature Green’s functions in [1]. A method for constructing a quantum analog of the Navier-Stokes equation through the analysis of the time derivative of momentum $\partial_t p$ is proposed. It is demonstrated that the critical dimension of viscosity can be further determined through dimensions of the correlation functions of composite operators.

The work is supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (agreement no. 075–15–2022–287).

References

- [1] J. Honkonen, M. Komarova, Yu. Molotkov, M. Nalimov, and A. Trenogin, *Critical dynamics of the superfluid phase transition: Multiloop calculation of the microscopic model*. Phys. Rev. E, **106**, 014126 (2022)

АКТИВИРОВАННЫЙ ГЕТЕРОПЕРЕХОД SiC/Si С КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТЬЮ ПОТЕНЦИАЛОВ

**М.В. Долгополов¹, Н.А. Ивлиев², И.И. Марипов³,
С.К. Отабоев³, В.В. Раденко⁴, С.А. Раджапов³, А.С. Чипура¹**


¹Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

²Самарский национальный исследовательский университет имени академика
С.П. Королева, Самара, Россия

³Физико-технический институт Академии наук Узбекистана, Ташкент,
Узбекистан

⁴ТП "Атомные и субатомные технологии", Самара, Россия

mikhaildolgopolov68@gmail.com, www.samgtu.ru/profile/dolgopolov.mv?f=vm

Определяется активация гетероперехода и активированный наногетеропереход как фундаментальные структуры [1,2]. Для максимальной эффективности комбинированного геометрического и количественного масштабирования полупроводниковых микросхем преобразователей энергии и датчиков на подложках из кремния и карбида кремния используется моделирование [3]. Вариант оптимизации масштабирующего решения реализуется гетеропереходами с изменением последовательности слоев при увеличении концентрации и плотностей токов неравновесных носителей заряда и дальнейшем увеличении напряжения при накачке заряда преобразователем. Проверка модели проведена численным моделированием обратной задачи инжекции внутри ОПЗ гетероперехода и экспериментальным построением профиля потенциала и работы выхода по методикам СЗМ зонда Кельвина и модуляционной СТС (на рис.  пример по двум точкам).

Список литературы

- [1] А.В. Гурская, М.В. Долгополов, М.В.Елисов, В.В. Раденко, С.А. Раджапов *Комбинированное масштабирование наночипов-генераторов для бетавольтаики*. Письма в журнал Физика элементарных частиц и атомного ядра, **Т. 20**, № 5(250). – С. 1230-1237 (2023)
- [2] В.И. Чепурнов, М.В. Долгополов, А.В. Гурская, С.Н. Подгорнов, Щербаков А.Н. *Гетероструктура p-p-SiC/Si для прикладных целей*. Электроника-2015. Зеленоград, 19–20 ноября 2015 года. – С. 13 (2015)
- [3] М.В. Долгополов, М.В. Елисов, С.А. Раджапов, И.Р. Рахманкулов, А.С. Чипура *Моделирование полупроводниковых гетероструктур для преобразователей энергии и датчиков*. Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия, **Т. 30**. №1. – С. 64-81 (2024)

Hyperlogarithms in the theory of turbulence of infinite dimension

L.Ts. Adzhemyan^{1,2}, D.A. Evdokimov¹, M.V. Kompaniets^{1,2}

¹*Saint Petersburg State University, 7/9 Universitetskaya nab., St.*

Petersburg, 199034, Russian Federation

²*Bogolyubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear*

Research, 141980 Dubna, Russian Federation

st062851@student.spbu

Parametric integration with hyperlogarithms is a promising method for multi-loop calculations [1], which was successfully applied in problems of high energy physics and critical statics [2]. In this work, we investigate its applicability to critical dynamics by studying the stochastic model of fully developed turbulence of infinite dimension within the framework of renormalization group and ε -expansion [3]. The adaptation of the hyperlogarithm method is carried out by choosing a proper renormalization scheme and introducing an effective dimension of the space. Consideration of the infinite dimension case leads to significant simplifications of the Feynman diagrams, making it possible to advance to the fourth order of the perturbation theory. Analytical calculation of the renormalization group functions is performed up to the four-loop approximation, which allows to obtain the ε -expansion of the critical exponent ω responsible for the infrared stability of the fixed point. Results obtained open possibilities for further multiloop investigations of dynamic models with the parametric hyperlogarithm approach.

This work was performed at the Saint Petersburg Leonhard Euler International Mathematical Institute and supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (agreement no. 075-15-2022-289).

References

- [1] E. Panzer, Algorithms for the symbolic integration of hyperlogarithms with applications to Feynman integrals, *Comput. Phys. Commun.* 188 (2015) pp. 148–166.
- [2] M. V. Kompaniets and E. Panzer, Minimally subtracted six-loop renormalization of $O(n)$ -symmetric ϕ^4 theory and critical exponents, *Phys.Rev.D* 96 (2017) p. 036016.
- [3] L. T. Adzhemyan, N. V. Antonov, P. B. Gol'din, T. L. Kim and M. V. Kompaniets, Renormalization group in the infinite-dimensional turbulence: third-order results, *J. Phys. A: Math. Theor.* 41 (2008) p. 495002

Critical phenomena at the tensor ordering phase transition

G. A. Kalagov

*Joint Institute for Nuclear Research, 6 Joliot-Curie St., Dubna, Russia, 141980
kalagov@jinr.ru*

We reveal the critical properties of the phase transition towards superfluid order that has been proposed to occur in large spin fermionic systems. For this purpose, we consider the bosonic field theory for fluctuations of the complex skew-symmetric rank-2 tensor order parameter close to the transition. We then non-perturbatively determine the scale dependence of the couplings of the theory by means of the functional renormalization group. We established a fluctuation-induced first-order phase transition. In the weak-coupling regime the jump in the order parameter is small and a new phase occurs almost continuously, while in the strong one the discontinuity of the transition is well detectable.

СИЛЬНЫЙ НЕМАГНИТНЫЙ МЕХАНИЗМ РАССЕЯНИЯ НАЗАД В КРАЕВЫХ СОСТОЯНИЯХ 2D ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ИЗОЛЯТОРА

И.В. Крайнов¹, Р.А. Ниязов¹, Д.Н. Аристов¹, В.Ю. Качоровский¹

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: kachor.valentin@gmail.com

Известно, что на краю 2D топологического изолятора (ТИ) существуют 1D киральные состояния (КС), в которых электроны двигаются в противоположных направлениях с противоположными спинами. Экспериментально установлено [1], что в КС длиной более 3 мкм наблюдается рассеяние назад, т.е. разрушение топологической защиты вплоть до очень низких температур. Известные механизмы немагнитного рассеяния назад в КС предполагают обязательное наличие неупругих процессов [2,3]. Однако, темп неупругого рассеяния быстро падает с уменьшением температуры, что противоречит экспериментальным данным. Мы предлагаем механизм рассеяния назад в КС, связанный с наличием островков, которые могут захватывать электрон. Принципиальную роль играет ее-взаимодействие. Однако, в отличие от рассмотренных ранее моделей островка [2], неупругие процессы не вовлекаются и нет подавления эффекта при уменьшении температуры. Ключевую роль в нашем механизме играет наличие циркулярных токов в островке. Важность таких токов можно пояснить на базе простой модели островка в виде отверстия в объёме 2D ТИ. При наличии взаимодействия, характеризующегося малой константой g ($g \ll 1$), в островке возникает флуктуирующий циркулярный ток, $J = g(N_R - N_L)$ [4], где N_R (N_L) - число правых(левых) электронов в температурной полоске. Ток J приводит к тому, что при обходе островка R и L электроны набирают разную фазу. Как следствие, вклады этих процессов в амплитуду рассеяния назад перестают сокращать друг друга и возникает вероятность рассеяния назад, пропорциональная $(\sin J)^2$. Хотя тепловое среднее от флуктуационного тока J равно нулю, среднее от $(\sin J)^2$ не равно нулю и возникает конечный темп рассеяния назад, обусловленный «выпрямлением» флуктуаций J .

Работа выполнена при поддержке РФФ 20-12-00147 (продление).

References

- [1] E.B. Olshanetsky, Z.D. Kvon, et. al., PhysicaE, **147**, 115605 (2023)
- [2] Väyrynen J.I., Goldstein M, et. al., Phys. Rev. Lett. 110, 216402 (2013)
- [3]] Schmidt T.L., Rachel S, et. al., Phys. Rev. Lett. 108, 156402 (2012)
- [4] A.P. Dmitriev, I.V. Gornyi, , et. al., Phys. Rev. Lett. 105, 036402 (2010)

**Renormalization group analysis of two-species reaction-diffusion system:
Crossover between long-range and short-range spreading**

M. Hnatič^{1,2,3}, M. Kecer¹ and T. Lučivjanský¹

¹*Faculty of Sciences, P.J. Šafárik University, 04154 Košice, Slovakia,*

²*Institute of Experimental Physics, Slovak Academy of Sciences, Watsonova 47,
040 01 Košice, Slovakia,*

³*Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, JINR, 141980 Dubna,
Moscow Region, Russia.*

E-mail: matej.kecer@student.upjs.sk

In this work we focus on two-species reaction-diffusion system with the reactions $A + A \rightarrow (\emptyset, A)$, $A + B \rightarrow A$, with general diffusion constants. Such a system was studied earlier at and below its upper critical dimension $d_c = 2$ in [1, 2], and also in the presence of long-range spreading with fractional Laplace operator $\partial^\sigma \equiv \partial^{2(1-\alpha)}$ [3]. In the latter case, however, only long-range limit was explored ($\alpha \gg \epsilon$), where $\epsilon = d_c - d = 2 - d$. Here, we study the hybrid regime in which parameters α and ϵ are of the same order, i.e. $\alpha = O(\epsilon)$. Our primary theoretical tool is field-theoretic perturbative renormalization group augmented with the approach of Honkonen and Nalimov [4]. The model is renormalized to all orders of perturbation theory, stable long-time asymptotic regimes are identified and time-decay exponent of respective particle densities is calculated.

References

- [1] R. Rajesh and O. Zaboronski, *Survival probability of a diffusing test particle in a system of coagulating and annihilating random walkers*, Phys. Rev. E **70**, 036111 (2004).
- [2] B. Vollmayr-Lee, J. Hanson, R. S. McIsaac, J. D. Hellerick, *Anomalous dimension in a two-species reaction-diffusion system*, J. Phys. A: Math. Theor. **51**, 034002 (2018).
- [3] D. Shapoval, V. Blavatska, M. Dudka, *Survival in two-species reaction-diffusion system with Lévy flights: renormalization group treatment and numerical simulations*, J. Phys. A: Math. Theor. **55**, 455002 (2022).
- [4] J. Honkonen and M. Yu. Nalimov, *Crossover between field theories with short-range and long-range exchange or correlations*, J. Phys. A: Math. Gen. **22**, 751 (1989).

Re-entrant topological order due to Rashba spin-orbit coupling in topological superconductors

K.K. Kesharpu[†] and E.A. Kochetov

¹*Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Moscow Region 141980, Russia*

[†] *kesharpu@theor.jinr.ru*

Topological superconductivity is one of the extensively researched field due to its predicted application in quantum computing. There are several proposals for synthesizing topological superconductors, both in 1D and 2D materials; among them hetero-structures of 1D nanowire with Rashba spin orbit coupling (RSOC) on 2D s -wave superconductors under an external magnetic field have been promising. The Majorana Fermions (MF) are generated at the two ends of the wire. However, it is preferable to design systems without magnetic field, as magnetic field: (i) is detrimental to the s -wave superconductivity, (ii) don't allow for miniaturization of the system, (iii) applies restriction on material to be used. There are several proposals to synthesize systems without magnetic field. One of the proposal is to use strongly correlated 1D nanowire on the extended s -wave superconductors proposed by the authors [?]. We further investigated this system by inclusion of the RSOC in the strongly correlated nanowire. The phase diagram of the system with spiral spin field has a re-entrant behavior, it is due to the gaped energy spectrum. The numerical calculations also give the same result.

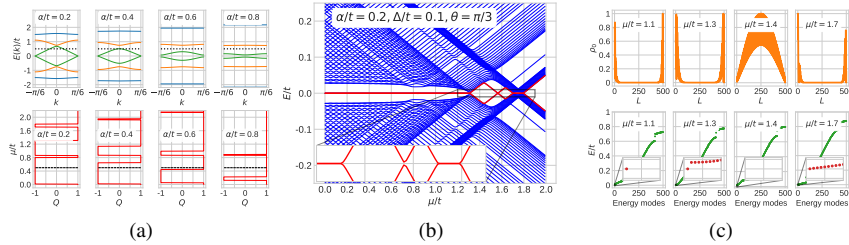


Figure 1: (a) Energy spectrum in reduced BZ for $\theta = \pi/3$. The BZ boundary is at $\pi/6$ as periodicity of \tilde{t}_i is six. Depending on α , the μ may be present inside the band or outside of it (in the bandgap), e.g. $\mu/t = 0.5$ (dotted, black) is inside the band for $\alpha/t = 0.2$, however, it is in the bandgap for $\alpha/t = 0.8$. (b,c) Numerical calculations of zero modes.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ В ПРИЛОЖЕНИИ К ИССЛЕДОВАНИЯМ ВНУТРИМОЛЕКУЛЯРНОЙ ПОДВИЖНОСТИ НЕКОТОРЫХ ЦИКЛОСПОРИНОВ

П. П. Кобчикова¹, С.В. Ефимов², В.В. Клочков²

¹ОИЯИ, Дубна, Россия

²КФУ, Казань, Россия

pollytoon@ya.ru

Структура белка в значительной мере определяет его свойства, но факт существования разнообразных конформаций белка является не менее важным для понимания того, как и почему функционируют белки. Структурные параметры и детали о внутримолекулярной подвижности молекул можно получать с помощью различных экспериментальных и расчетных методов. Мы использовали ядерный магнитный резонанс (ЯМР) высокого разрешения в сочетании с молекулярной динамикой (МД). Предметом исследований было семейство циклоспоринов – аналогов циклоспорина А (CsA), а именно: CsB, CsC, CsD, CsE, CsG, CsH, CsL. Было проведено полное соотнесение ЯМР ¹H и ¹³C сигналов циклоспоринов с их химической структурой в растворе CDCl₃ и в комплексе с мицелламиДФХ. По экспериментальным данным были определены некоторые межатомные расстояния, а также некоторые двугранные углы. Жесткость основной цепи CsE наблюдается как в растворе CDCl₃, так и в комплексе с мицеллами фосфолипидов, что может быть одной из причин слабого по сравнению с другими циклоспоринами взаимодействия CsE с митохондриальным поровым комплексом [1]. митохондриальным поровым комплексом [1]. Однако в системе CsE–ДФХ эта жесткость не столь абсолютна. Применение алгоритмов снижения размерности пространства и кластеризации к траекториям двугранных углов циклоспоринов позволило однозначно найти кластеры пространственных структур, значимо отличающихся друг от друга. Подход, используемый в работе, позволил однозначно найти участки наибольшего расхождения между структурами в разных кластерах.

References

1. Efimov, S. V., Dubinin, M. V., Kobchikova, P. P., Zgadzay, Y. O., Khodov, I. A., Belosludtsev, K. N., & Klochkov, V. V. (2020). Comparison of cyclosporin variants B–E based on their structural properties and activity in mitochondrial membranes. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 526(4), 1054–1060. doi:10.1016/j.bbrc.2020.03.184

ПРОЯВЛЕНИЕ СВЯЗИ ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ И МАГНИТНЫХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ В φ_0 ПЕРЕХОДЕ В ОБЛАСТИ ФЕРРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Е.С.Коваленко¹, Ю.М.Шукринов^{2,3}

¹ЦРЦТ, Красногорск, Россия,

²ОИЯИ, Дубна, Россия,

³Университет Дубна, Дубна, Россия,

shukrinv@theor.jinr.ru

Сосуществование и взаимное влияние сверхпроводимости и магнетизма является одной из актуальных проблем физики конденсированного состояния [1]. Важным достижением в этой области является реализация связи между сверхпроводящей фазой и магнитным моментом в джозефсоновском переходе сверхпроводник-ферромагнетик-сверхпроводник с сильным спин-орбитальным взаимодействием [2]. В работе [3] показано, что в φ_0 переходе вблизи ферромагнитного резонанса вдоль ступеньки Шапиро в зависимости намагниченности от тока смещения возникает пузырчатая структура, однако ее происхождение в этой работе не обсуждалось.

Нами исследуется влияние интенсивности спин-орбитального взаимодействия, отношения джозефсоновской энергии к энергии анизотропии, степени близости к ферромагнитному резонансу и константы гильбертовского затухания на данную зависимость. Полученные результаты могут быть основой для объяснения природы пузырчатой структуры.

References

1. Ю. М. Шукринов. *Аномальный эффект Джозефсона. Успехи физических наук*, **65**, 345 (2022).
2. F. Konschelle and A. Buzdin, *Magnetic Moment Manipulation by a Josephson Current*, Phys. Rev. Lett. 102, 017001 (2009).
3. Yu. M. Shukrinov, E. Kovalenko, J. Tekic, K. Kulikov, and M. Nashaat. *Buzdin, Shapiro, and chimera steps in φ_0 Josephson junctions*, Phys. Rev. B **109**, 024511 (2024).

СУПЕРФЕРРОМАГНИТОРЕЗИСТОРЫ

В.Н. Кондратьев¹, В.А. Осипов¹

¹ *Лаборатория Теоретической Физики имени Н.Н.Боголюбова, ОИЯИ, 141980,
Дубна, Россия,*

E-mail, vkondrat@jinr.ru

Достижения в области микро- и нано-технологий привели к широкому использованию спинтронных датчиков магнитосопротивления (МС) и/или магниторезистивных датчиков как для записывающих, так и незаписывающих приложений. Такие ультрасовременные магниторезистивные датчики обладают высокой чувствительностью детектируемого сверхслабого поля, которые отвечают требованиям интеллектуальных сенсорных приложений в областях интернета, мобильных устройств, космических технологий, авионавтики, утечки магнитного потока, домотики, окружающей среды, здравоохранения и медицины. Более того, их возможность настройки и миниатюризации, простота интеграции и экономичность делают эти датчики уникально конкурентоспособными с точки зрения массовых применений и производства.

В этой работе рассмотрены ансамбли суперпарамагнитных частиц (СПМ), помещенных в электро-проводящее вещество. При достаточно высокой концентрации СПМ эти метаматериалы проявляют суперферромагнитные свойства и могут быть использованы как МС датчики [1]. Мы исследуем электрический ток между СПМ частицами и показываем, что возникающее гигантское МС определяется соотношением соответствующего времени релаксации и пролета между СПМ. Этот эффект усиливается для безмассовых носителей заряда, как в случае графена, и может быть значительным при комнатных температурах.

References

[1] V.N. Kondratyev and V.A. Osipov *Superferromagnetic sensors. Nanomanufacturing.* **3**, 357 (2023)

РОЛЬ РЕЗОНАНСНЫХ ПРИМЕСЕЙ В ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВАХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ГРАФЕНА

Красавин С.Е.¹, Осипов В.А.¹

¹Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова ОИЯИ Дубна

Исследуется роль резонансных примесей в поликристаллическом графене с точки зрения поведения удельного сопротивления. Рассеяние носителей заряда на примесях рассматривается в рамках развитой ранее модели [1], описывающей поведение удельного сопротивления, как функции размера и угла разориентировки границы зерна. Комбинация рассеяния зарядов статическими полями напряжения границы зерна в сочетании с рассеянием на резонансных примесях, позволяет объяснить асимметрию в поведении удельного сопротивления как функции концентрации носителей заряда наблюдаемую в эксперименте.

References

[1] S.E. Krasavin, V.A. Osipov "Electrical resistivity of polycrystalline graphene: effect of grain-boundary-induced strain fields" Sci.Rep. 12 (2022) 14553.

Properties of Buzdin steps in ϕ_0 Josephson junction

K.V. Kulikov^{1,2}, **E. Kovalenko**³, **J. Tekić**⁴, **M. Nashaat**^{1,5}, **Yu. M. Shukrinov**^{1,5}

¹*BLTP, JINR, Dubna, 141980*

²*Dubna State University, Dubna, 141980*

³*Center for the Development of Digital Technologies, Krasnogorsk, Russia*

⁴*“Vinca” Institute of Nuclear Sciences, Laboratory for Theoretical and Condensed Matter Physics, University of Belgrade, Belgrade, Serbia*

⁵*Department of Physics, Cairo University, Cairo, Egypt*

⁶*Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny 141700, Russia*

kulikov@theor.jinr.ru

The ϕ_0 superconductor-ferromagnet-superconductor Josephson junction exhibits unique locking phenomena under external periodic signal when both magnetic and electric components are taken into account [1]. Due to the coupling of superconductivity and magnetism in this system, the magnetic moment precession of the ferromagnetic layer caused by the magnetic component of external radiation can lock the Josephson oscillations, which results in the appearance of a particular type of steps in the current-voltage characteristics, completely different from the well-known Shapiro steps. The influence of the amplitudes of both components as well as the driving frequency of external radiation on the locking is analyzed in detail. Contrary to the well-known Shapiro steps, the Buzdin steps possess very different properties, such as amplitude and frequency dependence, that are indications of their unique origins and locking mechanisms.

1 Acknowledgments

Numerical simulations were funded by the Russian Science Foundation Project No. 22-71-10022.

References

- [1] Yu. M. Shukrinov, E. Kovalenko, J. Tekic, K. Kulikov, and M. Nashaat *Buzdin, Shapiro, and chimera steps in Φ_0 Josephson junctions* Phys. Rev. B, **109**, 024511 (2024)

Flat bands with non-trivial Hopf index

Ivan Dutta,^{1,2}Kush Saha^{1,2}

¹*National Institute of Science Education and Research, Jatni, Odisha
752050, India*

²*Homi Bhabha National Institute, Training School Complex, Anushakti
Nagar, Mumbai 400094, India*

Emails: *ivan.dutta@niser.ac.in, kush.saha@niser.ac.in*

We report the presence of exactly and nearly flat bands with non-trivial topology in three-dimensional (3D) lattice models. We first show that an exactly flat band can be realized in a 3D lattice model characterised by a 3D topological invariant, namely Hopf invariant. In contrast, both nearly and exact flat bands can be obtained in a 3D lattice, exhibiting both 2D Chern and 3D Hopf invariant. We find that such a Hopf-Chern model can be realized using a simple two-orbital 2D square lattice with in-plane nearest-neighbor and next-nearest hopping among different orbitals. Extending specific nearest and next-nearest hoppings along the third direction, we find both perfect and nearly perfect flat bands in all three planes at some special parameter values. While the nearly flat band carries a finite Chern number, the perfect flat bands have zero Chern number. Interestingly, such a 3D lattice construction from 2D allows finite Hopf invariant too. Finally, we show that higher Chern models can also be constructed in the same lattice setup with only nearest and next-nearest hopping, but the appearance of flat bands along high-symmetric path in the Brillouin zone requires long-range hopping. We close with a discussion on possible experimental platforms to realize the models.

References

- [1] Ivan Dutta and Kush Saha, *Flat Bands in Three-dimensional Lattice Models with Non-trivial Hopf Index*, arXiv:2305.09616

**RENORMALIZATION GROUP ANALYSIS OF A SELF-ORGANIZED
CRITICAL SYSTEM: INTRINSIC ANISOTROPY VS RANDOM
ENVIRONMENT**

N.V. Antonov^{1,2}, P.I. Kakin¹, N.M. Lebedev², A.Yu. Luchin¹

¹*Department of Physics, Saint Petersburg State University, 7/9 Universitetskaya
Naberezhnaya, Saint Petersburg 199034, Russia*

²*N. N. Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear
Research, Dubna 141980, Moscow Region, Russia
nikita.m.lebedev@gmail.com*

We study the model of anisotropic self-organized critical system introduced by Hwa and Kardar coupled to an isotropic random fluid environment. The problem is represented as a field theoretic model, which is shown to be multiplicatively renormalizable. Using the field-theoretic renormalization group, we find infrared attractive fixed points of the renormalization group equation associated with universality classes, i.e., with regimes of critical behavior. Depending on what terms (anisotropic, isotropic, or both) and which type of energy injection are relevant in specific universality class, different types of scaling behavior (ordinary one or generalized) are established.

References

- [1] N.V. Antonov, N.M. Gulitskiy, P.I. Kakin, G.E. Kochnev, *Effects of Turbulent Environment on Self-Organized Critical Behavior: Isotropy vs. Anisotropy*. Universe, **6**(9), 145 (2020)
- [2] N.V. Antonov, P.I. Kakin, N.M. Lebedev, A.Yu. Luchin, *Renormalization group analysis of a self-organized critical system: Intrinsic anisotropy vs random environment*. Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical, **56**, 375002 (2023)

PREDICTION OF THE STRUCTURE AND STABILITY OF MOLECULES AND CLUSTERS

S.V. Lepeshkin¹, A.A. Mikhailova¹, D.V. Rybkovskiy¹, A.R.Oganov¹

¹*Skolkovo Institute of Science and Technology, Bolshoy Boulevard 30, bld. 1,
121205 Moscow, Russian Federation*

S.Lepeshkin@skoltech.ru

The unique properties of nanoclusters are extensively used in nanoelectronics, optoelectronics, solar cells, catalysis, biomedical imaging sensors, etc. These properties are closely linked to the atomic structure of particles, especially in small clusters. In this work we present a new method for prediction of atomic structure and stability of nanoclusters in a wide area of sizes and compositions. Our algorithm performs joint evolutionary search for all clusters in a given area of the compositional space and takes advantage of common structural motifs often observed in clusters of close composition. The new algorithm was implemented in the widely used code USPEX [1].

We apply our method to global optimization of a number of systems, including Si-O [1], Cu-Au [2] and Li-P [3] nanoclusters in a wide range of compositions. Scanning over wide composition areas reveals trends in cluster structure and related properties. In particular, we calculated the minimum second derivative of energy with respect to the number of atoms of different types, which allows one to find so-called “magic” (especially stable) clusters, which can be interesting for different applications.

This research was supported by Russian Science Foundation RSF #19-72-30043.

References

- [1] Lepeshkin S.V., Baturin V.S., Uspenskii Yu.A., Oganov A.R., *Method for Simultaneous Prediction of Atomic Structure and Stability of Nanoclusters in a Wide Area of Compositions*, J. Phys. Chem. Lett., **10**, 1, 102-106 (2019).
- [2] Mikhailova A.A., Lepeshkin S.V., Baturin V.S., Maltsev A.P., Uspenskii Yu.A., Oganov A.R., *Ultralow reaction barriers for CO oxidation in Cu–Au nanoclusters*. Nanoscale **15**, 13699-13707 (2023).
- [3] Rybkovskiy D.V., Lepeshkin S.V., Mikhailova A.A., Baturin V.S., Oganov A.R., *Lithiation of phosphorus at the nanoscale: a computational study of LinPm clusters*. Nanoscale **16**, 1197-1205 (2024).

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СПИНОВЫЕ СКРМИОНЫ В ДОПИРОВАННЫХ ВЕЙЛЕВСКИХ ПОЛУМЕТАЛЛАХ $\text{Co}(\text{Si}_{1-x}\text{Co}_x)$ С КИРАЛЬНЫМ ФЕРРОМАГНЕТИЗМОМ

А.А. Повзнер^{a1}, А.Г. Волков, А.Р. Кузнецов^b,
Ю.Н. Горностырев^b, Э.И. Лопатко^b

^a Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

^b Институт физики металлов РАН им. М.Н. Михеева, г. Екатеринбург

¹E-mail: a.a.povzner@urfu.ru

Легирование не магнитных вейлевских полуметаллов магнитными ионами является перспективным способом создания новых спинтронных материалов. В частности, экспериментально установлено, что допирование нецентросимметричной кристаллической решетки диамагнитного вейлевского полуметалла CoSi [1] ничтожно малым количеством атомов кобальта, приводит к киральному ферромагнетизму в $\text{Co}(\text{Si}_{1-x}\text{Co}_x)$ [2].

В настоящей работе проведено DFT – моделирование электронной структуры $\text{Co}(\text{Si}_{1-x}\text{Co}_x)$ в пакете VASP. Получено, что причиной возникновения кирального ферромагнетизма (в интервале $0.044 > x > 0.029$) является энергетический сдвиг топологических особенностей электронной структуры и резкое увеличение плотности d-электронных состояний исходного вейлевского полуметалла до значений, при которых осуществляется квантовый переход в состояние паулиевский зонного ферромагнетизма.

Показано, что составы $\text{Co}(\text{Si}_{1-x}\text{Co}_x)$ характеризуются аномально малыми параметрами мода-мода в функционале Гинзбурга-Ландау. При пересечении химическим потенциалом высокотемпературной парамагнитной фазы, области электронных состояний с отрицательным межмодовым взаимодействием, возникают фрагменты геликоидальных спиновых спиралей с фиксированными фазами Берри (топологический электронный переход)

При температурном энергетическом сдвиге химического потенциала за пределы области электронных состояний с кривизной Берри, происходит повторная смена знака аномально малого параметра межмодового взаимодействия на положительный и возникает дальний порядок с геликоидальными спиновыми спиральями (магнитный фазовый переход первого рода).

Во внешних магнитных полях чуть ниже температуры магнитного перехода, возможно нарушение термодинамической устойчивости ферромагнетизма и формированию высокотемпературных спиновых скирмионов.

Результаты были получены в рамках выполнения задания Министерства науки и высшего образования, контракт № FEUZ-2023-0015, а также темы «Структура», №122021000033-2.

Литература

[1] B. Balasubramanian, P. Manchanda, R. Pahari, D. Sellmyer, et al., Chiral Magnetism and High-Temperature Skyrmions in B20-Ordered Co-Si, Phys.Rev.Letter, **124**, 057201 (2020).[2]

[2] H. Wang, Sh. Xu, Xiao-Qin Lu, et al., de Haas–van Alphen quantum oscillations and electronic structure in the large-Chern-number topological chiral semimetal CoSi , Phys. Rev. B, **102**, 115129 (2020).

**QUANTUM MANY-BODY DYNAMICS BY RECURSION METHOD:
RECENT DEVELOPMENTS AND PROSPECTS**

F.G. Uskov^{1,2}, A.E. Teretenkov^{1,3} and O.V. Lychkovskiy^{1,3,4}

¹*Skolkovo Institute of Science and Technology,
Bolshoy Boulevard 30, bld. 1, Moscow 121205, Russia*

²*Gubkin Russian State University of Oil and Gas,
65 Leninsky Prospekt, Moscow 119991, Russia*

³*Steklov Mathematical Institute of Russian Academy of Sciences,
8 Gubkina St., Moscow 119991, Russia*

⁴*Russian Quantum Center,
Bolshoy Boulevard 30, bld. 1, Moscow 121205, Russia*

o.lychkovskiy@skoltech.ru

Recursion method is a technique to solve coupled Heisenberg equations in a tridiagonal operator basis constructed via Lanczos algorithm [1]. We report an implementation of the recursion method that addresses quantum many-body dynamics in the nonperturbative regime. The implementation has three key ingredients: a computer-algebraic routine for symbolic calculation of nested commutators [2], a procedure to extrapolate the sequence of Lanczos coefficients according to the universal operator growth hypothesis [3] and a large time asymptotic expansion. We apply the method to calculate infinite-temperature correlation functions for spin-1/2 systems on one- and two-dimensional lattices [2]. The method allows one to accurately calculate transport coefficients. As an illustration, we compute the diffusion constant for the transverse-field Ising model on a square lattice [2]. The work is supported by the Russian Science Foundation under the grant No. 24-22-00331.

References

- [1] V. S. Viswanath and G. Müller, *The Recursion Method: Application to Many-Body Dynamics*. Springer Science & Business Media, New York (2008)
- [2] F. Uskov and O. Lychkovskiy, *Quantum dynamics in one and two dimensions via the recursion method*. Phys. Rev. B, **108**, L140301 (2024)
- [3] D. E. Parker, X. Cao, A. Avdoshkin, T. Scaffidi and E. Altman, *A universal operator growth hypothesis*. Phys. Rev. X, **9**, 041017 (2019)

THE SAGA OF $\text{BaCo}_2(\text{AsO}_4)_2$

P.A. Maksimov¹

¹*Bogolyubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Moscow region, Russia 141980*

maksimov@theor.jinr.ru

A honeycomb compound $\text{BaCo}_2(\text{AsO}_4)_2$ has been studied since 1970s, where using inelastic neutron scattering it was shown to exhibit a spiral state [1]. Recently, $\text{BaCo}_2(\text{AsO}_4)_2$ was also put in spotlight due to recent interest in cobalt-based honeycomb materials [2]. They were proposed to host Kitaev exchange model [3], an exactly solvable model that has Majorana excitations with topological properties [4]. Recent INS also showed that $\text{BaCo}_2(\text{AsO}_4)_2$ has unique double-zigzag ground state [5] and a plateau in the magnetization process [1,2].

We have performed an extensive search through a eight-parameter phase space of the Kitaev-Heisenberg model and showed that third-neighbor anisotropic Kitaev-type interaction is the one necessary for stabilization of double-zigzag, which we also confirmed by DMRG calculations [6]. We have also calculated field phase diagram for the minimal model that stabilizes double-zigzag ground state and establish a parameter regime where experimentally observed sequence of magnetic phase transitions is realized [7].

References

- [1] L.-P. Regnault, P. Burlet, J. Rossat-Mignod, *Magnetic ordering in a planar X-Y model: $\text{BaCo}_2(\text{AsO}_4)_2$* , Physica B+C **86–88**, 660 (1977).
- [2] R. Zhong, T. Gao, N. P. Ong, R. J. Cava, *Weak-field induced nonmagnetic state in a Co-based honeycomb*, Sci. Adv. **6**, eaay6953 (2020).
- [3] H. Liu, J. Chaloupka, and G. Khaliullin, *Kitaev Spin Liquid in 3d Transition Metal Compounds*, Phys. Rev. Lett. **125**, 047201 (2020).
- [4] A. Kitaev, *Anyons in an exactly solved model and beyond*, Annals of Physics **321**, 2 (2006).
- [5] L.-P. Regnault, C. Boullier, J.E. Lorenzo, *Polarized-neutron investigation of magnetic ordering and spin dynamics in $\text{BaCo}_2(\text{AsO}_4)_2$ frustrated honeycomb-lattice magnet*, Heliyon **4**, e00507 (2018).
- [6] P.A. Maksimov, A.V. Ushakov, Z.V. Pchelkina, Y. Li, S.M. Winter, and S.V. Streltsov, *Ab initio guided minimal model for the “Kitaev” material $\text{BaCo}_2(\text{AsO}_4)_2$: Importance of direct hopping, third-neighbor exchange, and quantum fluctuations*, Phys. Rev. B **106**, 165131 (2022).

**ДИНАМИЧЕСКАЯ СПИНОВАЯ ИНЖЕКЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
СПИНОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ В ГИБРИДНОЙ
ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СТРУКТУРЕ**

В.Н. Манцевич¹, Н.С. Маслова¹, И.В. Рожанский², Н.С. Аверкиев²

¹*МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*
²*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия*

vmantsev@yahoo.com

Идея управления спиновой поляризацией в полупроводниковых наноструктурах получила значительное развитие после того, как технологические возможности позволили формировать гибридные структуры на базе квантовых ям, отделенных туннельным барьером от узкого магнитного слоя [1]. Такие структуры позволяют сохранять транспортные и оптические свойства квантовых ям, а также управлять спиновой поляризацией в яме за счет присутствия магнитного слоя, приводящего к эффектам спин-зависимого туннелирования между ямой и слоем.

Физическое явление, которое обсуждается в данной работе, заключается в возникновении спиновой поляризации носителей заряда в квантовой яме за счет спин-зависимого ухода носителей через туннельный барьер между квантовой ямой и магнитным слоем. Выполненный анализ формирования динамической спиновой поляризации в гибридной структуре полупроводниковая квантовая яма – магнитное примесное состояние позволил выявить роль кулоновских корреляций и предложить новый механизм сверхбыстрого переключения спиновой поляризации [2].

References

- [1] T. Dietl, H. Ohno. Rev. Mod. Phys., **86**, 187 (2014).
- [2] I.V. Rozhansky, V.N. Mantsevich, N.S. Maslova, P.I. Arseyev, N.S. Averkiev, J. Magn. Magn. Mat., 565, 170303 (2023)

Комбинационное рассеяние в монослое MoS₂ на кварцевой подложке.

Расчет из первых принципов.

Н.Л. Мацко¹, Д.А. Шохонов¹, В.А. Осипов¹

¹ОИЯИ, Дубна, Россия.
matsko@theor.jinr.ru

Дисульфид молибдена MoS₂ - перспективный представитель класса дихалькогенидов переходных металлов. Высокая подвижность носителей, высокие поверхностная активность и коэффициент адсорбции, изменение величины запрещенной щели с количеством слоев и т.д. делают гетероструктуры MoS₂ многообещающими в оптоэлектронике. Комбинационное рассеяние (КР) - эффективный инструмент, позволяющий получить информацию о динамике ионной системы и структуре исследуемого объекта. КР широко используется при изучении гетероструктур MoS₂ на различных подложках, полученных как отслаиванием, так и с помощью хим. осаждения из паровой фазы (CVD). При этом взаимодействие с подложкой влияет на колебательные спектры атомов MoS₂, что, в свою очередь, проявляется в спектрах КР исследуемой гетероструктуры. Теоретическое описание механизмов, лежащих в основе результирующей картины, может оказать существенную помощь в анализе полученных спектров КР. Среди доступных численных методов расчеты на основе DFT дают наиболее точные результаты.

Целью работы является DFT анализ интерфейса между монослоем MoS₂ и кварцевой подложкой SiO₂ и его влияние на вид КР. Рассматриваются возможные варианты структурирования поверхности, возникающие, в том числе, при различных условиях синтеза. Исследованы три типа поверхности SiO₂ и, соответственно, три типа интерфейса MoS₂/SiO₂. Первый - интерфейс с "плотной" поверхностью кварца. Это можно рассматривать как идеальную ситуацию, когда пленка MoS₂ переносится на подложку SiO₂/Si отслаиванием. Другой тип интерфейса - при наличии ковалентных связей между атомами кислорода в SiO₂ и атомами серы в MoS₂, что может быть реализовано в процессе CVD. И, наконец, третий вариант - "шершавая" поверхность, поверхность с дефектами, когда не реализуется ни первый, ни второй варианты интерфейса. Такая поверхность будет характеризоваться наличием атомов кислорода, "торчащих" из поверхности кварца и связанных только с одним атомом кремния. Рассмотренные интерфейсы не исчерпывают все возможные варианты, но позволяют выявить основные особенности комбинационного рассеяния света в монослое MoS₂ на кварцевой подложке.

ACCELERATION AND TWISTING OF NEUTRAL ATOMS BY STRONG ELECTROMAGNETIC PULSES

V.S. Melezhik¹, S. Shadmehri²

¹*Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna,
Moscow Region 141980, Russia*

²*Meshcheryakov Laboratory of Information Technologies, Joint Institute for Nuclear Research,
Dubna, Moscow Region 141980, Russia
melezhik@theor.jinr.ru*

One of the hot areas at present is the physics of twisted photons and electrons due to the potentially interesting applications [1]. For example, electron vortex beams have been used to study chirality, magnetization mapping and transfer of angular momentum to nanoparticles [2]. Several proposals have been made to create vortex beams of composite particles (neutrons, protons, and atoms). It is supposed that twisting to alter the fundamental interactions of such particles and to enable probing their internal structure. However, until recently only one successful experiment for creation of a vortex beam of atoms was realized: in work [3] a beam of twisted helium atoms was obtained with a fork diffraction grating. My work discusses the possibility of producing twisted accelerated hydrogen atoms using specially polarized laser pulses. The calculation was performed within the framework of the quantum-semiclassical approach [4, 5], in which the Schrödinger equation for the electron wave function is simultaneously integrated with the coupled classical Hamilton equations for the center-of-mass motion.

References

- [1] B.A. Knyazev, V.G. Serbo, *Beams of photons with nonzero projection of orbital angular momenta: new results*, Physics-Uspekhi **61**, 449 (2018)
- [2] K.Y. Bliokh et. al., *Theory and applications of free-electron vortex states*, Phys. Rep. **690**, 1 (2017)
- [3] A. Luski et. al., *Vortex beams of atoms and molecules*, Science **373**, 1105 (2021)
- [4] V.S. Melezhik, *Quantum-quasiclassical analysis of center-of-mass nonseparability in hydrogen atom stimulated by strong laser fields*, J. Phys **A56**, 154003 (2023)
- [5] V.S. Melezhik, S. Shadmehri, *Acceleration of neutral atoms by strong short-wavelength short-range electromagnetic pulses*, Photonics **10**, 1290 (2023)

ФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В СВЕРХПРОВОДНИКАХ

А.С.Мельников^{1,2}

¹Московский Физико-технический Институт, Долгопрудный, Россия

²Институт Физики Микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия

E-mail: melnikov@ipmras.ru

В докладе будут рассмотрены особенности фотогальванических эффектов и эффекта увлечения куперовских пар фотонами в сверхпроводниках и гибридных сверхпроводящих системах. В качестве простейшей теоретической модели, позволяющей описать возможные механизмы возникновения квадратичной нелинейности в электродинамическом отклике и, соответственно, механизмы генерации фотоиндуцированных постоянных токов, магнитного момента и вихрей Абрикосова и переключение сверхпроводящих токовых состояний под действием электромагнитной волны различной поляризации будет использована теория Гинзбурга – Ландау (ГЛ). Для анализа механизмов фотогальванических явлений в сверхпроводниках с внутренним диодным эффектом мы используем функционал ГЛ, обобщенный с учетом нечетных степеней градиентов параметра порядка. Использование обобщения теории ГЛ на нестационарный случай позволило нам также выполнить расчеты фотоиндуцированного постоянного тока в сверхпроводнике в поле линейно поляризованной электромагнитной волны (эффекта увлечения куперовских пар фотонами); второй гармоники; магнитного момента сверхпроводящего конденсата, возникающего под действием циркулярно поляризованной электромагнитной волны (т.е. обратного эффекта Фарадея в сверхпроводниках).

Рассмотренные эффекты позволяют предложить различные сценарии фотоиндуцированных переключений токовых и вихревых состояний в сверхпроводящих структурах, что представляет интерес для различных приложений в сверхпроводниковой электронике.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание) № FSMG-2023-0011.

Magnetohydrodynamics in the Elsasser variables: Quantum-field renormalization group approach

L. Mizisin¹,

*¹Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research, 141980 Dubna, Russia
mizisin@theor.jinr.ru*

We study a stochastic magnetohydrodynamics process define by the Elssaser variable. The process is rewritten to the quantum field model using the Martin-Siggia-Rose formalismus. We proceed by using the renormalization group approach to study infrared scale behavior. The investigation is performed in the leading order of perturbation theory and the stable infrared fixed points, the area of stability are determined. Finally, the scaling behavior of physically interesting correlation function in the inertial range interval will be presented.

Magnetohydrodynamics with broken spatial parity: Two-loop calculation and RG analysis

Michal Hnatič^{1,2,3}, Tomáš Lučivjanský¹, Lukáš Mižišin², Yuri Molotkov², Andrei Ovsiannikov¹¹

¹*Institute of Physics, Faculty of Sciences, P. J. Šafárik University, Park Angelinum 9, 040 01 Košice, Slovakia*

²*Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research, 141980 Dubna, Russia* ³*Institute of Experimental Physics, Slovak Academy of Sciences, Watsonova 47, 040 01 Košice, Slovakia*
molotkov@theor.jinr.ru

We investigate the stochastic version of a paradigmatic model of magnetohydrodynamic turbulence. This model can be interpreted as an active vector admixture subject to advective processes governed by turbulent flow, with explicit consideration of the back influence on fluid dynamics. The velocity field is generated through a fully developed turbulent flow that accounts for the violation of spatial parity, introduced via the helicity parameter ρ . We consider a generalized setup introducing parameter A into the model formulation, which is associated with the interaction part of the model and whose value represents different physical systems. The model is analyzed using the field-theoretic renormalization group. Calculations are performed using ε -expansion, where ε is the deviation from the Kolmogorov scaling. We present two-loop numerical calculations of the renormalization constant associated with the magnetic field renormalization. Deviation from Kolmogorov scaling laws is discussed.

References

- [1] Hnatič M, Lučivjanský T, Mižišin L, Molotkov Y, Ovsiannikov A. Renormalization Analysis of Magnetohydrodynamics: Two-Loop Approximation. *Universe*. 2024; 10(6):240. <https://doi.org/10.3390/universe10060240>

НЕТРАДИЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕХОДА ИЗОЛЯТОР-«ПЛОХОЙ» МЕТАЛЛ В ОРТОНИКЕЛАТАХ $RNiO_3$

А.С. Москвин^{1,2}

¹Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

²Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Alexander.moskvin@urfu.ru

Ортоникелаты редкоземельных элементов $RNiO_3$ (R = редкая земля, или иттрий Y) относятся к широкому классу ян-теллеровских (ЯТ) магнетиков, соединений на основе ян-теллеровских $3d$ - и $4d$ -ионов с конфигурациями типа $t_{2g}^{n_1}e_g^{n_2}$ в высокосимметричном октаэдрическом, кубическом или тетраэдрическом окружении и с орбитальным E_g -дублетом в основном состоянии [1]. Все ЯТ- конфигурации d -ионов включают один e_g -электрон или одну e_g -дырку сверх устойчивых, полностью или наполовину заполненных, оболочек. Эти конфигурации являются неустойчивыми относительно реакции диспропорционирования так что для ЯТ-ионов мы имеем дело с конкуренцией между эффектом Яна-Теллера, приводящим к орбитальному упорядочению, и эффектом анти-ЯТ-диспропорционирования, приводящим к формированию системы электронных и дырочных центров S -типа с орбитально невырожденным основным состоянием [1]. Все ЯТ-магнетики являются сильно коррелированными системами в том смысле, что они не могут быть адекватно описаны в рамках методов теории функционала плотности (DFT) (или их гибридных расширений типа LDA+U), так что для корректного описания свойств таких материалов требуется выход за пределы DFT-методов. В частности, мы указываем на необходимость принципиального пересмотра традиционного подхода [2] к описанию перехода «металл-изолятор» в ЯТ-магнетиках. В ортоникелатах переход «изолятор-металл» связывается с разрушением низкотемпературного зарядового порядка (CO) и переходом CO-NO в неупорядоченное «металлоподобное» состояние (bad metal). В рамках модели зарядовых триплетов с учетом электронно-колебательного взаимодействия нами развита простая количественная теория перехода.

References

- [1] A.S. Moskvin, Jahn–Teller Magnets, *Magnetochemistry*, **9**, 224 (2023)
- [2] M. Imada, A. Fujimori, and Y. Tokura, Metal-insulator transitions, *Rev. Mod. Phys.* **70**, 1039 (1998)

MANIFESTATION OF DIFFERENT DYNAMICAL STATES ON CHIMERA AND BUZDIN STEP IN φ_0 JUNCTION

M.Nashaat^{1,2}, E. Kovalenko³, and Yu. M. Shukrinov^{1,4,5}

¹*BLTP, JINR, Dubna, Moscow region, 141980, Russia*

²*Faculty of Science, Department of Physics, Cairo University, 12613, Giza, Egypt*

³*Center for the Development of Digital Technologies, Krasnogorsk, Russia*

⁴*Dubna State University, Dubna, Russia*

⁵*Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny 141700, Russia*

E-mail: majednas@theor.jinr.ru

In the presence of external electromagnetic radiation, the magnetization and current-voltage characteristics of superconductor-ferromagnet-superconductor φ_0 Josephson junctions have been studied. We demonstrate the implementation of two types of dynamical states of magnetization. These states in the synchronization region are distinguished by the type of magnetic moment precession and their Josephson oscillations have phase difference of π . The possibility of switching between these states using a current pulse is demonstrated. Transitions between these states with increasing and decreasing bias current show hysteresis, which is reflected in the bifurcation diagram and the current-voltage characteristics. Additionally, we demonstrate how the results can be verified experimentally by measuring the phase shift in voltage temporal dependence at fixed current values in both directions. Various applications of the results obtained can be found in the field of superconducting spintronics and quantum computing.

References

- [1] **M. Nashaat, E. Kovalenko, and Yu. M. Shukrinov.** “Buzdin, Shapiro and Chimera Steps in φ_0 Josephson Junctions. II. Bifurcation, Switching, and Hysteresis”, **arXiv:2403.03621** (2024).
- [2] **Yu. M. Shukrinov, E. Kovalenko, J. Tekic, K. Kulikov, and M. Nashaat.** “Buzdin, Shapiro and Chimera Steps in φ_0 Josephson Junctions”, *Phys. Rev. B* **109**, 024511 (2024).

**REALIZATION OF SPACE-TIME CRYSTAL PATTERN IN
 φ_0 JOSEPHSON JUNCTION ON TOPOLOGICAL INSULATOR**

M. Nashaat^{1,2}, J. Tekic³, and Yu. M. Shukrinov^{1,4,5}

¹*BLTP, JINR, Dubna, Moscow region, 141980, Russia*

²*Faculty of Science, Department of physics, Cairo University, 12613, Giza, Egypt*

³*"Vinča" Institute of Nuclear Sciences, Laboratory for Theoretical and Condensed Matter Physics - 020, University of Belgrade, 11001 Belgrade, Serbia*

⁴*Dubna State University, Dubna, Russia*

⁵*Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny 141700, Russia*

E-mail: majednas@theor.jinr.ru

We present results of the current and calculation for space-time averaged current correlation function $J^{cor}(\delta y, \delta t)$ for the long φ_0 Josephson junction on a topological insulator (TI) (see figure).

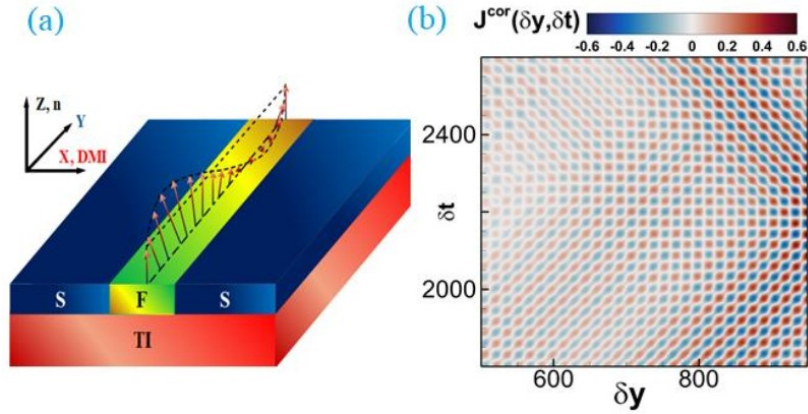


Figure. (a) Demonstration of SFS junction on TI. The direction of the gradient of the spin-orbit potential is in Z-axis and magnetic anisotropy is in Y-axis. The DMI vector is along X-axis. The arrows show magnetization precession in the F-layer. (b) an enlarged part for space-time-averaged current correlation function which shows space-time pattern.

In this specific type of junction, the critical current depends on the value of the in-plane magnetic moment and an additional phase shift is induced for the Josephson phase. Taking into account the exchange interaction between magnetic moments in the presence of Dzyaloshinskii–Moriya interaction (DMI), we demonstrate a space-time pattern in the junction current and $J^{cor}(\delta y, \delta t)$. This pattern can be considered as a fingerprint for the manifestation of time crystal in SFS hybrid junctions.

Valley focusing in a corrugated graphene

R.G. Nazmitdinov^{1,2}, M. Pudlak³

¹*Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia*

²*Faculty of Natural and Engineering Science, Dubna State University, 141982 Dubna, Russia*

³*Institute of Experimental Physics, Slovak Academy of Sciences, 040 01 Kosice, Slovakia*
rashid@theor.jinr.ru

Graphene corrugations affect hybridization of π and σ orbitals of carbon atoms in graphene based systems. It can as well break differently the symmetry of the electron transfer integrals for different strip boundaries. Using these facts, we found that the momentum distribution of electrons in ballistically propagating beam can be selective without external electric and/or magnetic fields in the graphene strip under experimentally feasible periodic potential [?]. Such a potential is created by means of the superlattice that consists of periodically repeated graphene elements (flat+rippled junction) with different hybridization of carbon orbits, produced by variation of the graphene surface curvature. As a result it gives rise to the valley dependent focusing effects that can be controlled by alteration of number N of superlattice elements.

This effect becomes essential for incident electrons, moving in the energy interval $0 < E < \epsilon$, where ϵ is the energy difference between of π orbitals in the curved and flat graphene sheet. At $N \gg 1$, only for the direction perpendicular to the surface of the superlattice with zig-zag edge termination there is almost the ideal transmission, while for the other angles there is the strong reflection. In the superlattice with armchair edge termination similar filtering takes place at the supercollimation angle $|\varphi| \approx 25.5^\circ$.

References

- [1] M. Pudlak, R. Nazmitdinov, *Valley focusing effect in a rippled graphene superlattice*, Phys. Rev. B, **109**, 205402 (2024).

On dynamics in the vicinity of a phase transition to a superconducting state.

L.Gosteva¹, M.Nalimov^{1,2} and A.Yashugin¹

¹*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*

²*Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia*

myunalimov@gmail.com

We begin with a microscopic description in the temperature Green's function formalism to derive an effective static model of the superconducting phase transition. Then, dynamical equations that are valid in the vicinity of the phase transition into the superconducting state are given. The possible effects of the field of charge carriers' magnetic interactions and the field of temperature fluctuations were taken into account. The order of the phase transition is discussed on the bases of renormalisation group and $4 - \epsilon$ expansion. The high order behavior of the expansion in the model is found and used for the Borel-transform of the series.

**SPIN POLARIZATION OF ELECTRONS BY MEANS OF QUANTUM
RING WITH RASHBA INTERACTION IN THE REGIME OF STRONG
LIGHT-MATTER COUPLING**

D.T. Nguyen^{1,2}, M. Pudlak³, and R.G. Nazmitdinov^{1,4}

¹*Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear
Research, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia*

²*Institute of Physics, Viet Nam Academy of Science and Technology, 10 Dao Tan,
Ba Dinh, Hanoi 1000, Viet Nam*

³*Institute of Experimental Physics, Slovak Academy of Sciences, 040 01 Kosice,
Slovakia*

⁴*Faculty of Natural and Engineering Science, Dubna State University, 141982
Dubna, Russia*

nguen@theor.jinr.ru

Electronic properties of semiconductor quantum rings with the Rashba spin-orbit interaction irradiated by an off-resonant high-frequency electromagnetic field (dressing field) in the presence of the perpendicular magnetic field are analysed [1]. Within the Floquet theory [2] of periodically driven quantum systems, it is demonstrated that the dressing field drastically modifies all electronic characteristics of the rings, including spin-orbit coupling, effective electron mass, and optical response. The specific conditions have been found that allow to control the spin polarization of electrons in prospective ring-shaped spintronic devices.

References

- [1] M. Pudlak, R. Nazmitdinov, *Spin Interference Effects in a Ring with Rashba Spin-Orbit Interaction Subject to Strong Light-Matter Coupling in Magnetic Field*, *Symmetry*, **14**, 1194 (2022).
- [2] A. Eckardt, E. Anisimovas, *High-frequency approximation for periodically driven quantum systems from a Floquet-space perspective*, *New J. Phys.*, **17**, 093039 (2015).

Manifestation of the hexatic phase of charge particles confined in a lateral potential with circular symmetry

E. G. Nikonov, R. G. Nazmitdinov and P. I. Glukhovtsev

JINR, Dubna, Russia

Planar systems of charged particles interacting through the Coulomb potential and locked by external potentials with high symmetry play an important role in various fields of both experimental and theoretical physics and chemistry. Obviously, the functional efficiency of such systems depends on their structure, which can change during phase transitions under the influence of external conditions (e.g., temperature). Until now, the main attention has been focused on the search for signals of phase transitions in continuous two-dimensional systems. In finite quasi-two-dimensional systems, isotropic repulsion between charged particles leads to the formation of a hexagonal lattice in which six neighboring particles are located symmetrically relative to the selected particle [1]. This lattice is an analog of a three-dimensional Wigner crystal on the plane. Both practical and fundamental questions arise about the critical number of electrons at which the symmetry of the crystal lattice in the system under consideration will begin to break and, consequently the nucleation of defects will start.

The main objective of this work is to search for phase characteristics and order parameters, precursors of a phase transition of the hexagonal–hexatic phase type [2], depending on the number of particles in the system at zero temperature.

The dependences of the orientational order parameter and the correlation function, which characterize topological phase transitions, as functions of the number of particles at zero temperature have been studied [3]. The calculation results allow us to establish the precursors of the phase transition from the hexagonal phase to the hexatic one for $N = 92, 136,$ and 187 considered as an example.

It is found that the boundary significantly influences the behavior of the system and the nature of the phase transition from the hexagonal phase to the hexatic phase and then to the isotropic “quasi-liquid state,” in contrast to infinite systems.

References

1. R. G. Nazmitdinov, A. Puente, M. Cerkaski, and M. Pons, Phys. Rev. E 95, 042603 (2017). <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.95.042603>
2. V. N. Ryzhov, E. E. Tareeva, Yu. D. Fomin, and E. N. Tsiok, Usp. Fiz. Nauk 187 (9), 921 (2017). <https://doi.org/10.3367/UFNe.2017>
3. E. G. Nikonov, R. G. Nazmitdinov, and P. I. Glukhovtsev, J. Surf. Invest.: X-Ray, Synchrotron Neutron Tech. 18 (2), 248 (2024). <https://doi.org/10.1134/S1027451024020149>

ДРОБОВОЙ ШУМ В ИНТЕРФЕРОМЕТРАХ ААРОНОВА-БОМА

Р. А. Ниязов^{1,2}, И. В. Крайнов², Д. Н. Аристов^{1,2}, В. Ю. Качоровский²

¹НИЦ «Курчатовский Институт» - ПИЯФ, Гатчина, Россия

²ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

niyazov_ra@npi.nrcki.ru

Дробовой шум связан со среднеквадратичным отклонением тока и является следствием дискретности электронов. Его измерение используется для получения информации недоступной из измерений кондактанса: определить заряд и статистику переносчиков тока, и внутренние энергетические масштабы.

Из измерения шума можно получить фактор Фано, F , который является отношением шума к току. Например, для диффузионного проводника значение $F=1/3$ универсально – не зависит от формы, длины и кондактанса проводника. В данной работе мы исследуем и сравниваем факторы Фано интерферометров Ааронова-Бома двух типов. Первый тип – интерферометр на основе «обычных» материалов. Мы моделируем их одноканальными состояниями электрона. Второй тип – интерферометр на основе 2D топологического изолятора [1]. В них электронные состояния являются геликоидальными (электроны с разными спинами распространяются в противоположных направлениях и защищены от рассеяния на немагнитных примесях).

Была получена резонансная зависимость как кондактанса, так и фактора Фано от магнитного потока при относительно высоких температурах [2]. Для геликоидального интерферометра форма резонансов фактора Фано зависит от параметров системы. Проведено сравнение двух типов интерферометров: зависимости фактора Фано от кондактансов двух систем совпадают при отсутствии внешнего магнитного поля и различаются при его наличии. Это позволяет экспериментально отличить топологически нетривиальную систему.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 20-12-00147-П.

References

- [1] R. A. Niyazov, D. N. Aristov, and V. Yu. Kachorovskii *Coherent spin transport through helical edge states of topological insulator*. npj Computational Materials, **6** (2020)
- [2] R. A. Niyazov, I. V. Krainov, D. N. Aristov, and V. Yu. Kachorovskii *Shot Noise in Helical Edge States in Presence of a Static Magnetic Defect*. JETP Letters, **119**, 372 (2024)

Turbulent Dynamo as Spontaneous Symmetry Breaking: Two-Loop Approximation

M. Hnatič^{1,2,3}, T. Lučivjanský¹, L. Mižišin³, Yu. Molotkov³, and A. Ovsiannikov^{*1}

¹*Faculty of Sciences, P.J. Šafárik University, Košice, Slovakia*

²*Institute of Experimental Physics, SAS, Kosice, Slovakia*

³*Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, JINR, 141980 Dubna, Russia*

Abstract

The study of developed turbulence in electrically conducting fluid driven by the stochastic Navier-Stokes equation has been a subject of intense study [1, 2, 3]. A special role in this regime is played by the properties of the system associated with fluctuations in the magnetic field. In particular, they hold pivotal importance in comprehending diverse convective processes, astrophysics, and cosmology, particularly in elucidating the genesis and progression of large-scale cosmic magnetic fields through the so-called turbulent dynamo mechanism. This effect is most conspicuous in chiral (gyrotropic) fluids, characterized by parity violation, and is intricately linked to the conservation of magnetic helicity. Our research uses field-theoretic methods to propose a general scenario for the generation and renormalization of arising homogeneous magnetic field. We delve into a quantum-field model of stochastic MHD [4, 5], specifically exploring mirror symmetry. Emphasis is placed on analyzing the stability of this system, which is attributed to the emergence of a non-vanishing average large-scale homogeneous magnetic field. In order to clarify the previously obtained one-loop results [5] for the value of spontaneous magnetic field and deformation of Alfvén waves we use two-loop calculations. These complex two-loop calculations are necessary for a self-consistent conclusion that the mechanism of system stabilization (turbulent dynamo) is not destroyed by the influence of higher orders of perturbation theory.

References

- [1] Pouquet, A., Yokoi, N., *Philos. Trans. R. Soc. A* **380**(2219) (2022) 20210087.
- [2] Schekochihin, A. A., *J. Plasma Phys.* **88**(5) (2022) 155880501.
- [3] Tobias, S. M., *J. Fluid Mech.* **912** (2021) P1.
- [4] Adzhemyan, L.T., Vasil'ev, A.N., Gnatich, M., *Theor. Math. Phys.* **64**(2) (1985) 777–785.
- [5] Adzhemyan, L.T., Vasil'ev, A.N., Gnatich, M., *Theor. Math. Phys.* **72**(3) (1987) 940–950.

Competition of the magnetic and charge ordering in orthonickelates

Y.D. Panov¹, V.S. Ryumshin¹, V.A. Ulitko¹, and A.S. Moskvin^{1,2}

¹*Ural Federal University, 19 Mira street, 620002 Ekaterinburg, Russia*

²*Institute of Metal Physics, 18 S. Kovalevskaya st., 620108 Ekaterinburg, Russia
yuri.panov@urfu.ru*

Rare-earth orthonickelates RNiO_3 have attracted continuous interest of researchers in the last decades [?]. We consider these systems as Jahn-Teller (JT) magnets [?], in which the low-energy state is formed by a charge multiplet $[\text{NiO}_6]^{10-,9-,8-}$ (nominally $\text{Ni}^{2+,3+,4+}$) with different spin and orbital ground states. The Ni^{3+} ion in the low-spin configuration of the NiO_6 octahedron $t_{2g}^6 e_g^1$ forms a JT center with a ground orbital doublet 2E . However, the orbital degeneracy in RNiO_3 is lifted due to the charge disproportionation with the formation of Ni^{4+} and Ni^{2+} centers [?, ?]. In this case, the electronic structure of the orthonickelate can be represented as a system of local composite spin-triplet bosons with the configuration $e_g^{2,3} A_{2g}$ moving in a lattice of non-magnetic centers with the configuration t_{2g}^6 . The phase diagram for such a triplet boson system in the mean-field approximation [?] shows the phases of charge ordering, antiferromagnetic insulator, and spin-triplet superconductor, as well as the phase-separated states. With all the variety of possible phase states, the type of phase transition to the charge-ordered state, as well as the accompanying effects of structure change in nickelates remain beyond the scope of the model [?]. The aim of the present work is to describe these key properties, which leads to the need to include a full octet of low-energy states in the model and to account for the interaction of the electron subsystem with the lattice.

The work was supported under grant FEUZ-2023-0017 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

References

- [1] M.L. Medarde, *J. Phys.: Condens. Matter* **9**, 1679 (1997).
- [2] A. Moskvin, *Magnetochemistry* **9**, 224 (2023).
- [3] I.I. Mazin, D.I. Khomskii, R. Lengsdorf, J.A. Alonso, W.G. Marshall, R.M. Ibberson, A. Podlesnyak, M.J. Martínez-Lope, M.M. Abd-Elmeguid, *Phys. Rev. Lett.* **98**, 176406 (2007).
- [4] A.S. Moskvin, *J. Phys.: Condens. Matter* **25**, 085601 (2013).
- [5] V.S. Rumshin, S.V. Nuzhin, Y.D. Panov, A.S. Moskvin, *Phys. Solid State*, **66**, to be published (2024).

ОПИСАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ДВУХЗОННЫХ МОДЕЛЕЙ ВО ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ НА ОСНОВЕ КИНЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

А.Д. Панферов

СГУ, Саратов, Россия

panferovad@sgu.ru

Для описания свойств перспективных двумерных материалов с гексагональной решеткой применимо одночастичное приближение в форме двухзонной модели. Для бесщелевых (безмассовых) моделей, соответствующих графену, был развит подход на основе квантового кинетического уравнения, позволяющий непertурбативно описывать эволюцию его электронной подсистемы во внешних электрических полях с произвольной зависимостью от времени [1,2]. В докладе представляется его обобщение для моделей с гамильтонианом общего вида, применимых для материалов с нарушенной симметрией между подрешетками (монослой нитрида бора, фосфида бора и т.п.), в которых присутствует щель между валентной зоной и зоной проводимости. Получена система кинетических уравнений, определяющих поведение функции распределения электронов и дырок в нестационарных условиях. Коэффициенты уравнений выражаются через компоненты гамильтониана и в этом смысле решение универсально. Наблюдаемая плотность носителей и поверхностного тока определены в форме интегралов от решений системы кинетических уравнений по пространству состояний. Полученные результаты позволяют исследовать численными методами поведение рассматриваемых моделей без ограничения какими либо приближениями, в том числе в условиях нелинейного режима взаимодействия с внешним полем.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-00047, <https://rscf.ru/project/23-21-00047/>

References

- [1] S.A. Smolyansky, A.D. Panferov, D.B. Blaschke and N.T. Gevorgyan *Nonperturbative Kinetic Description of Electron-Hole Excitations in Graphene in a Time Dependent Electric Field of Arbitrary Polarization*. Particles, **Vol. 2**, pages 208–230 (2019)
- [2] S.A. Smolyansky, A.D. Panferov, D.B. Blaschke and N.T. Gevorgyan *Kinetic Equation Approach to Graphene in Strong External Fields*. Particles, **Vol. 3**, pages 456–476 (2020)

**ENTANGLEMENT AND QUANTUM MAGNETIC PROPERTIES OF
ANTIFERROMAGNETIC CLUSTER MODELS WITH SPINS 1/2, 1 AND
3/2.**

**Zh. Adamyan¹, N. Ananikyan^{1,2}, L. Ananikyan², G. Mirzoyan^{1,2}, V.V.
Papoyan^{3,4}, and O. Rojas⁵**

¹*CANDLE Synchrotron Research Institute, Acharyan 31, 0022 Yerevan, Armenia*

²*A.I. Alikhanyan National Science Laboratory, 0036 Yerevan, Armenia*

³*BLTP, JINR, 141980 Dubna, Russian Federation*

⁴*Dubna State University, Dubna, Russian Federation*

⁵*Departamento de Ciencias Exatas, Universidade Federal de Lavras, CP 3037,
37200000, Lavras, MG, Brazile*

vpap@theor.jinr.ru

Entanglement, magnetization, and magnetic susceptibility for the 1D antiferromagnetic Heisenberg model with spin 1/2, 1 and 3/2 on finite chains in the ground state and at low temperatures have been analytically derived.

Our theoretical results were compared with experimental data for temperature-dependent magnetic susceptibility of copper, nickel, and cobalt ion complexes. Additionally, we studied magnetization plateaus, magnetic susceptibility, and thermal entanglement in these complexes in response to an external magnetic field.

The observed correlation between magnetization and entanglement jumps and magnetic susceptibility peaks suggests the need for further experimental research. Based on our theoretical findings, we believe that additional experimental measurements are essential to gain a deeper understanding of these phenomena and possibly uncover even more intricate quantum correlations and behaviors as a function of an external magnetic field at low temperatures.

ORIGIN OF SUPERCURRENT IN SUPERCONDUCTORS

I.B.Pestov¹

¹*Joint Institute for Nuclear Research, Bogoliubov Laboratory of Theoretical
Physics*

E-mail, pestov@theor.jinr.ru

On the phenomenological level of particles and quasi particles there are different approaches to the supercurrent generation mechanism in superconductors (London, Ginzburg-Landau, BCS and other theories). On the fundamental field-theoretical level we attribute essence of supercurrent to physics that contains the gauge potential of the electromagnetic field. In the Classical Mechanics and Electrodynamics this gauge potential is a primary entity since it is not defined by some another quantity. However, in the framework of Quantum Mechanics we can define quantum gauge potential that is defined by a complex scalar field. The quantum gauge potentials can be considered as local topologically nontrivial excitations of the ground state of the electromagnetic field that are characterized by the index equal to integer number of the quants of magnetic flux. From the ordinary and quantum gauge potentials a gauge invariant effective vector potential is created which can be observed like the electric and magnetic fields. This leads to the modification of the Maxwell equations: appearance of the constant of dimension length and localization of the electromagnetic interactions. All these circumstances give a handle to identify the effective vector potential with supercurrent. We also consider interactions of the new form of the electromagnetic field with matter presented here by the Dirac spinor field. This form of charged fermi-matter is characterized by two parameters. From the phenomenological point of view these parameters originate from the electron charge and mass but in general they should be defined by the system itself. Of course, the localization of the electromagnetic interactions in the extended electrodynamics is conserved. A special case is marked when the electromagnetic field is presented only by the quantum gauge potential that carries quants of the magnetic flux. The localization of the electromagnetic interactions can be considered as the quantum physical effect and the main physical reason of superconductivity. We believe, it will help to elucidate the so called high temperature superconductivity in the framework of the fundamental field-theoretical approach. In any case, the experimental observation of the new form of the electromagnetic field ("superconducting light") is the first needed step.

**СПИНОРНОЕ ФЕРМИОННОЕ ПОЛЕ МАЙОРАНЫ:
ЕГО ОСОБЕННОСТИ И ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МОДЕЛЯХ ФИЗИКИ
КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

Ю.М. Письмак

*Физический факультет Санкт-Петербургского государственного
университета, 198504, г. Санкт-Петербург,
г. Петергоф, Ульяновская ул., д.1*

E-mail: y.pismak@spbu.ru, Web page: <https://hep.spbu.ru/index.php/ru/>

В докладе кратко излагаются основные положения теории Майораны вещественного фермионного поля со спином $\frac{1}{2}$. Обсуждаются возможности его взаимодействия с полями Стандартной модели объединенных сильных слабых и электромагнитных взаимодействий элементарных частиц, а также с протяженными материальными объектами. Предлагаются методы использования Майорановских фермионов при построении перенормируемых моделей взаимодействия материальной среды с фундаментальными квантованными полями на основе имеющегося к настоящему времени опыта их разработки в рамках квантовой электродинамики.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-13-00151, <https://rscf.ru/project/22-13-00151/>

HALF-METAL AND OTHER FRACTIONAL METAL PHASES IN DOPED AB BILAYER GRAPHENE

A.V. Rozhkov¹, A.L. Rakhmanov¹, and A.O. Sboychakov¹

¹*Institute for Theoretical and Applied Electrodynamics, ul. Izhorskaya 13, str.6,
125412 Moscow, Russia
arozhkov@gmail.com*

This presentation is dedicated to theoretical study of many-body low-temperature physics of AB bilayer graphene (AB-BLG). We argue that for this graphene-based material electron-electron interaction can give rise to the spontaneous formation of fractional metal phases. These states are generalizations of a more common half-metal. The half-metallic state is characterized by perfect spin polarization of single-electron states at the Fermi level. For the fractional metal states of AB-BLG, the states at the Fermi energy are perfectly polarized not only in terms of a spin-related quantum number, but also in terms of the valley index. The mechanism, which we propose, relies on the assumption that at zero temperature the undoped AB-BLG is a spin density wave insulator, with a finite gap in the single-electron spectrum. Upon doping, the insulator is destroyed, and replaced by a fractional metal phase. As doping increases, transitions between various types of fractional metal (half-metal, quarter-metal, etc.) are triggered. Our findings are consistent with recent experiments on doped AB bilayer graphene, in which a cascade of phase transitions between different isospin states was observed [1].

References

- [1] Sergio C. de la Barrera, Samuel Aronson, Zhiren Zheng, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Qiong Ma, Pablo Jarillo-Herrero, Raymond Ashoori, , *Cascade of isospin phase transitions in Bernal bilayer graphene at zero magnetic field*. Nature Physics, **18**, 771-775 (2022)

DISCLINATIONS IN NANO- AND MICROOBJECTS

A.E. Romanov^{1,2}, A.L. Kolesnikova^{1,3}

¹*ITMO University, 49 Kronverski, St. Petersburg, 197101, Russia*

²*Ioffe Institute RAS, 26 Polytechnicheskaya, St. Petersburg, 194021, Russia*

³*IPME RAS, 61 Bolshoi V.O., St. Petersburg, 199178, Russia*

alexey.romanov@niuitmo.ru, <https://adts.itmo.ru>

We present up-to-date information on the analytical solutions of isotropic elasticity boundary-value problems for disclinations – defects of rotational type in solids [1]. The considered plane elasticity problems include those for wedge disclinations in uniform or two-phase cylinders, at a free surface of a half-space, and in a plate of finite thickness [2]. Three-dimensional problems under analysis deal with wedge disclinations in a bulk sphere or spherical layer or with the defects with the lines being normal to free surfaces of the plate [2].

Possible applications of the elasticity solutions for wedge disclinations are discussed [1,2]. We demonstrate that the disclination properties become a controlling factor when considering rotational plasticity in solids [3], grain boundaries and their junctions in conventional polycrystals and nanostructured materials [4], crack nucleation and initiation of ductile fracture [3], pentagonal rods and icosahedral micro- and nanoparticles [1,3], amorphous solids and glasses [3], domains, and twins in ferroelastic films adjusted to a bulk substrate [5], and defects in graphene [6].

References

- [1] A.E. Romanov and A.L. Kolesnikova, Application of disclination concept to solid structures, *Progress in Materials Science*, 2009, vol. 54, No 6, pp. 740-769.
- [2] A.E. Romanov, A.L. Kolesnikova, Elasticity boundary-value problems for straight wedge disclinations. A review on methods and results, *Reviews on Advanced Materials and Technologies*, 2021, vol. 3, No 1, pp. 55-95.
- [3] A.E. Romanov and V.I. Vladimirov, Disclinations in crystalline solids, in F.R.N.Nabarro ed. *Dislocations in solids*, North-Holland, Amsterdam, 1992, vol. 9, pp. 191-402.
- [4] A.A. Nazarov, A.E. Romanov, and R.Z. Valiev, On the structure, stress fields and energy of nonequilibrium grain boundaries, *Acta Metallurgica et Materialia*, 1993, vol. 41, No 4, pp. 1033-1040.
- [5] A.E. Romanov, M.J. Lefevre, J.S. Speck, W. Pompe, S.K. Streiffer, and C.M. Foster, Domain patterns in epitaxial rhombohedral ferroelectric films. II. Interfacial defects and energetics, *Journal of Applied Physics*, 1998, vol. 83, No 5, pp. 2754-2765.
- [6] A.E. Romanov, M.A. Rozhkov, A.L. Kolesnikova, Disclinations in polycrystalline graphene and pseudo-graphenes. Review, *Letters on Materials*, 2018, Vol. 8, No 4, pp. 384-400.

ВЛИЯНИЕ СЛУЧАНОГО БЕСПОРЯДКА СЦЕНАРИИ ДВУМЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ

В.Н. Рыжов, Е.Е. Тареева, Ю.Д. Фомин, Е.Н. Циок

Институт физики высоких давлений РАН, г. Москва, Россия

ryzhov@hppi.troitsk.ru

В докладе на основе современных теорий плавления двумерных систем, базирующихся в основном на представлениях теории Березинского-Костерлица-Таулесса (БКТ) фазовых переходов в двумерных (2D) системах с непрерывной симметрией, рассматривается роль случайного беспорядка и его влияние на сценарии плавления систем с различными потенциалами. В настоящее время существуют три основных сценария плавления двумерных кристаллов [1]: 1). двумерные кристаллы могут плавиться посредством двух непрерывных переходов типа БКТ; 2). стандартный переход первого рода; 3). сценарий, при котором плавление может происходить посредством перехода БКТ и последующего перехода первого рода.

В наших работах [2-3] методами компьютерного моделирования было проанализировано влияние случайного беспорядка различной природы на ориентационный и трансляционный параметры порядка и показано, что случайный беспорядок существенно расширяет гексатическую фазу. В случае перехода первого рода он превращается в два перехода – переход БКТ из кристалла в гексатическую фазу и переход первого рода из гексатической фазы в изотропную жидкость [1]. В то же время Гауссовский пиннинг может превращать сценарий типа БК в БКТХНЯ [2]. В случае структурного перехода между кристаллическими фазами переход первого рода может превратиться в три перехода [3].

References

- [1] В. Н. Рыжов, Е. А. Гайдук, Е. Е. Тареева, Ю. Д. Фомин, Е. Н. Циок, *Сценарии плавления двумерных систем – возможности компьютерного моделирования*, ЖЭТФ, 164, 143–171 (2023).
- [2] Yu. D. Fomin, Eu. A. Gaiduk, E. N. Tsiok, and V. N. Ryzhov, *The influence of Gaussian pinning on the melting scenario of a two-dimensional soft-disk system: First-order versus continuous transition*, Physica A 644, 129841 (2024).
- [3] E. N. Tsiok et al, *Structural transition in two-dimensional Hertzian spheres in the presence of random pinning*, Phys. Rev. E **103**, 062612 (2021).

ВЛИЯНИЕ АССОРТАТИВНОСТИ СЕТИ КОНТАКТОВ НА ОТКЛИК МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ НА ЛАВИНООБРАЗНОЕ ВОЗМУЩЕНИЕ

Н.Е.Савицкая¹,Т.А.Федорова²

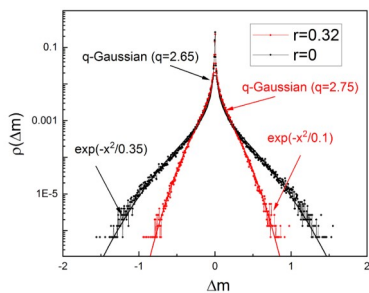
¹ НИЦ ``Курчатовский институт'', Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова, Гатчина, Россия

² Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия

Savitskaya_ne@pnpi.nrcki.ru

Одна из основных структурных характеристик сетей – степень их ассортативности, которая определяется вероятностью для узлов, обладающих разным количеством связей, быть связанными между собой. Несмотря на то, что ассортативность сети часто определяет особенности протекания динамических процессов на ней, механизмы этого еще недостаточно изучены. В нашем докладе мы рассмотрим влияние ассортативности сети на динамические свойства заданной на ней многоэлементной системы, в которой лавинообразное изменение пороговой характеристики (давления) на элементах приводит к переключению их бинарного состояния (мнения). Примером такого поведения может служить процесс формирования общего мнения в группе трейдеров под давлением финансового рынка. В качестве модели системы мы используем модификацию стохастической модели выборщика [1], помещенную на безмасштабную сеть. Мы исследуем статистические свойства отклика, определяемого как изменение усредненного по системе

мнения, вызванное лавиной (Δm), в зависимости от коэффициента ассортативности сети контактов (r). В итоге покажем, что именно корреляции в связях между элементами определяют поведение функции плотности вероятности $\rho(\Delta m)$, а увеличение r ведет к стабилизации системы, т.е. к уменьшению максимального значения $(|\Delta m|)$ и частоты крупномасштабных событий.



Литература

[1] Savitskaya N.E., Fedorova T.A. "Model of opinion dynamics caused by information pressure in multi-agent system with stochastic activation of links", Physica Scripta, **99**, 025007(2024),doi 10.1008/1402-4896/ad1859

ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА ВИХРЯ АБРИКОСОВА В СВЕРХПРОВОДНИКАХ С АНИЗОТРОПНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ФЕРМИ

А.В. Самохвалов¹, А.С. Мельников^{1,2}

¹ *Институт физики микроструктур РАН,
ул. Академическая 7, г. Нижний Новгород, 607680*

² *Московский физико-технический институт,
Институтский переулок 9, г. Долгопрудный, 141701
samokh@ipmras.ru*

Обсуждаются основные особенности электронной структуры вихря Абрикосова в сверхпроводнике s -типа с произвольной анизотропией поверхности Ферми. На основе уравнений Боголюбова-де Жена получены квазиклассические уравнения Андреева, описывающие движение квазичастиц вдоль прямолинейных траекторий, и изучено влияние анизотропии на спектр и плотность подщелевых состояний квазичастиц, локализованных в коре вихря. С помощью правила Бора–Зоммерфельда учтены неквазиклассические эффекты квантования, найдены дискретные уровни энергии и зависимость расстояния между уровнями от параметра анизотропии. Для анализа подщелевых состояний квазичастиц, локализованных в коре вихря, взаимодействующего с центром пиннинга, построена теория андреевского типа, учитывающая интерференцию траекторий квазичастиц в присутствии плоского дефекта с высокой прозрачностью барьера. Показано, что нормальное отражение электронов и дырок на дефекте приводит к качественной трансформации подщелевого спектра и образованию новых типов связанных квазичастичных состояний. Изучено влияние анизотропии поверхности Ферми на спектральные свойства квазичастиц, включая открытие/закрытие мини-щели в спектре и пространственное распределение локальной плотности состояний в вихре в присутствии дефекта. Работа поддержана грантом РФФ # 20-12-00053.

Список литературы

- [1] A.S. Mel'nikov, A.V. Samokhvalov, *Electronic structure of pinned Abrikosov vortices: Andreev theory of quasiparticle bound states*. J. Low Temp. Phys., in press, (2024)

ELECTROMAGNETIC DETECTION IN 2D MATERIALS VIA DESIGN OF CONTACT GEOMETRIES

V.A. Semkin¹, I.K. Domorartskiy¹, M.K. Kashchenko¹, D.A. Mylnikov¹,

D.A. Svintsov¹

¹*Laboratory of 2d Materials for Optoelectronics, Moscow Institute of Physics and Technology, 141700 9 Institutsky Lane, Dolgoprudny, Russia*

svintcov.da@mipt.ru, <https://mipt.ru/l2dm>

Intrinsically high mobility and moderate light absorption per layer in 2d materials set the basis for operation of fast and sensitive electromagnetic detectors. Still, emergence of zero-bias photocurrent in any detector generally requires the introduction of p-n junctions. The latter operation requires chemical doping which is not yet developed for 2d materials. Even if developed, doping would result in mobility degradation and, hence, lower speed of 2d photodetectors.

Here, we report the approach for dopingless 2d photodetectors which we dub as ‘geometric design of contacts’ [1]. It is based on the two physical principles (1) a lateral contact between 2d material and metal necessarily involves a built-in Schottky junction, where an internal photovoltaic effect takes place (2) the “metal-2d material” junctions at the source and drain can be made geometrically inequivalent, which makes their partial photocurrents non-compensating.

We discuss in detail the two detector architectures designed using this principle. The first one represents a rectangular 2d flake with metal contacts to the orthogonal sides. Illumination of the structure with linearly polarized light results in enhanced local intensity at one side via the polarization-dependent lightning rod effect [2]. Therefore, the device demonstrates a zero-bias photocurrent with direction specified by the angle of linear polarization. The second class of devices represents a 2d layer with two contacts, one patterned to a sawtooth shape, and the other completely flat [3]. Here, the local light intensity at the patterned contact exceeds the intensity at the flat contact, independently of the polarization state of light. Bringing the two contacts in close proximity to each other (~200 nm) results in extreme light concentration at the edges, strong light-induced heating of 2d electrons, and large photothermoelectric voltage.

[1] V. A. Semkin *et al.*, “Zero-Bias Photodetection in 2D Materials via Geometric Design of Contacts,” *Nano Lett.*, vol. 23, no. 11, pp. 5250–5256 (2023)

[2] V. Semkin, D. Mylnikov, E. Titova, S. Zhukov, and D. Svintsov, “Gate-controlled polarization-resolving mid-infrared detection at metal–graphene junctions,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 120, no. 19, p. 191107 (2022)

[3] A. Yu. Bocharov *et al.* “Detector of electromagnetic radiation”, patent for the invention RU 2 816 104 C1 (2024)

THEORY OF COULOMB COMPLEXES IN 2D SEMICONDUCTORS

M.A. Semina¹

¹*Ioffe Institute, 26 Politekhnikeskaya, St Petersburg 194021, Russian Federation*

semina@mail.ioffe.ru

Atomically thin semiconductors and Van der Waals structures with them attract a lot of attention both theoreticians and experimentalists. Due to very small thickness and characteristics of dielectric environment, Coulomb correlations are especially pronounced in two-dimensional semiconductors based on transition metal dichalcogenides, for example, in MoS₂ or WSe₂, where the binding energies of excitons – electron-hole pairs – are hundreds of meV, and trions or charged excitons – three-particle complexes of an electron and two holes or two electrons and a hole - tens of meV [1,2]. Extremely small thickness of 2D semiconductors leads to modification of effective interaction potential.

In my talk I will speak about excitons and trions in Van der Waals heterostructures with one or two layers of 2D semiconductors. The main focus will be on one or bilayer transition metal dichalcogenides including excitons and trions with one electron from high high-lying conduction band with negative effective mass [3,4]. Also, excitons and trions in bilayer CrSBr will be spoken about. The main feature of this layered magnetic material relevant to this study is extremely high anisotropy of effective masses of charge carriers in the layer plane. Presented results are obtained by variational method with trial function with small number physically reasonable trial parameters and various numerical methods.

The research was supported by RSF (project No.№ 23-12-00142)

References

- [1] G. Wang, A. Chernikov, M. M. Glazov, et al., *Colloquium: Excitons in atomically thin transition metal dichalcogenides*, Rev. Mod. Phys. **90**, 021001 (2018).
- [2] M. A. Semina, R. A. Suris, *Localized excitons and trions in semiconductor nanosystems*, Physics-Uspekhi **65**, 111 (2022).
- [3] K.-Q. Lin, M.A. Semina et al., *High-lying valley-polarized trions in 2D semiconductors*, Nature Comm. **13**, 6980 (2022).
- [4] M.A. Semina, J.V. Mamedov, M.M. Glazov, *Excitons and trions with negative effective masses in two-dimensional semiconductors*, Oxford Open Materials Science, itad004, doi:10.1093/oxfmat/itad004 (2023).

СРАВНЕНИЕ ДВУХ ПОДХОДОВ К ОПИСАНИЮ ЭЛЕКТРОНОВ ГРАФЕНА В ОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

А.Я. Силенко

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

alsilenko@mail.ru

В недавней работе [1] было показано, что общепринятое описание электронов графена при помощи уравнения Дирака с 2×2 матрицами γ^μ не является удовлетворительным, и более обоснованно использовать обычные 4×4 матрицы Дирака. Тем не менее, спектры энергий электронов графена в однородном магнитном поле B в двух случаях совпадают. Мы демонстрируем, что однозначный выбор между двумя описаниями электронов графена может быть сделан, если добавить однородное электрическое поле к однородному магнитному. Добавленное поле должно быть слабым по сравнению с полем, которое вызывает коллапс спектра энергий: $E \ll E_c = v_F B$ (v_F -- скорость Ферми). Мы определяем релятивистский гамильтониан в представлении Фолди-Ваутхойзена для двух форм исходного уравнения Дирака и показываем, что спектры энергий электронов графена в двух случаях различаются. Таким образом, определение спектра энергий электронов графена в однородном магнитном поле B и слабом однородном электрическом поле E является критическим экспериментом для выбора вида исходного уравнения Дирака.

References

- [1] A.J. Silenko *Foldy-Wouthuysen transformation and multiwave states of a graphene electron in external fields and free (2+1)-space*. Physica Scripta, **99**, 025905 (2024)

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СКЕЙЛИНГ В СКРЫТЫХ ПАТТЕРНАХ НАПРАВЛЕННОЙ ПЕРКОЛЯЦИИ

К.С. Солдатов^{1,2}, П.А. Овчинников^{1,2}, В.Ю. Капитан³, Г.Ю. Шитов^{4,5}

¹Дальневосточный Федеральный Университет, Владивосток, Россия

²Институт прикладной математики ДВО РАН, Владивосток, Россия

³National University of Singapore, Singapore

⁴Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

⁵Département de physique, Université de Sherbrooke, Canada

В работе исследована направленная перколяция [1] в стохастической цепочке, сходной с клеточными автоматами [2]. Фазовая диаграмма модели получена с использованием прямых численных расчётов и нейросетей. В активной фазе обнаружены четыре новые фазы, характеризующиеся различными перколяционными паттернами (параметрами порядка). Методами конечно-размерного скейлинга исследованы критические свойства этих фаз. В частности, определены критические индексы переходов. Данные результаты подтверждают, что в активных фазах таких моделей существует иерархия геометрических порядков с различными перколяционными паттернами, возникающими в критических точках непрерывных фазовых переходов [2]. Эти геометрические переходы принадлежат к классу универсальности направленной перколяции.

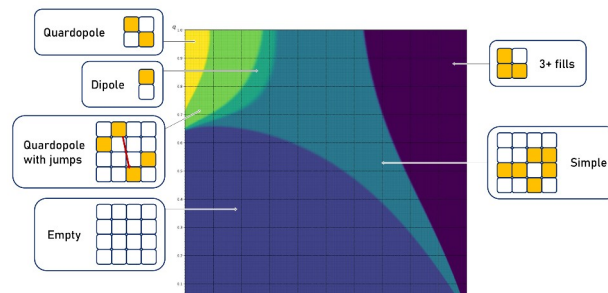


Рис.1 – Фазовая диаграмма различных перколяционных паттернов

References

- [1] Hinrichsen H. Non-equilibrium critical phenomena and phase transitions into absorbing states //Advances in physics. – 2000. – Т. 49. – №. 7. – С. 815-958.
- [2] Timonin P. N., Chitov G. Y. Hidden percolation transition in kinetic replication process //Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical. – 2015. – Т. 48. – №. 13. – С. 135003.

НЕРАВНОВЕСНАЯ ДИНАМИКА НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СПИНОВЫХ СИСТЕМ

Л.А. Сюракшина¹, В.Ю. Юшанхай²

¹Лаборатории информационных технологий им. М.Г. Мещерякова,

²Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова, ОИЯИ,
Дубна, Россия

siuraksh@jinr.ru

Численный анализ неравновесной квантовой динамики низкоразмерных спиновых ($s=1/2$) систем [1] реализуется симуляцией формально квантового алгоритма на компьютере с классической архитектурой. Такая задача эффективно решается для изолированной системы на примере одномерной ХХЗ модели с гамильтонианом $H = J \sum_i \left[(S_{i+1}^x S_i^x + S_{i+1}^y S_i^y) + g S_{i+1}^z S_i^z \right]$. Сильно неравновесное состояние системы достигается при $t=0$ быстрым (неадиабатическим) изменением параметра g гамильтониана и дальнейшая временная, $t > 0$, эволюция наблюдаемых прослежена для локальных намагниченностей $\langle S_i^z(t) \rangle$ и спин-спиновых корреляционных функций $\langle S_{i+l}^z(t) S_i^z(t) \rangle$, где $l=1,2,\dots$

В случае открытой квантовой системы влияние стохастических полей окружения и процессы диссипации нарушают унитарный характер эволюции, что требует применения нестандартных квантовых алгоритмов. Мы используем подход, основанный на редуцированной матрице плотности ρ системы в представлении MPS (Matrix Product State), и анализируем на основе программных средств Qiskit и LindbladMPO временную эволюцию $\rho(t)$ и указанных выше наблюдаемых на основе решений уравнения Линдблада: $\frac{\partial \rho(t)}{\partial t} = -i[H, \rho(t)] + D[\rho(t)]$ при различных начальных условиях и с учетом процессов диссипации описываемых оператором $D[\rho(t)]$.

References

[1] P. Barmettler et al. *Quantum quenches in the anisotropic spin-Heisenberg chain: different approaches to many-body dynamics far from equilibrium*. New J. Phys., **12**, 055017(1-50) (2010).

Metal Adatoms at 2D Materials: Structure, Reactivity and Magnetic

Properties
Ž. Šljivančanin

Vinča Institute of Nuclear Sciences, National Institute of the Republic of Serbia,
University of Belgrade, P.O.Box 522, 11001 Belgrade, Serbia
zeljko@vin.bg.ac.rs

Using density functional theory (DFT), we studied microscopic mechanisms governing adsorption, initial stages of the growth, reactivity, and magnetic properties of selected metal nanostructures on two-dimensional (2D) materials. For metals on graphene, we found the tendency of alkaline and alkaline-earth atoms towards 2D growth, while transition metal atoms form three-dimensional structures [1]. Structural defects can be utilized to prevent the clustering of transition metal adatoms and to stabilize them in the form of monomers [2]. These adatoms are examples of single-atom catalysts with promising properties regarding hydrogen adsorption and recombination [2]. Graphene on Ni(100) forms a striped moiré pattern, enabling selective adsorption of metal atoms and small clusters. Our DFT calculations reveal electrostatic interaction as the origin of preference of Au to bind on the valleys and Co to adsorb at the ridges, as confirmed in recent experiments [3].

Using borophene on Ag(100) as a substrate, we investigated 2D magnetic nanostructures formed by the adsorption of Fe atoms. Combining DFT with the anisotropic Heisenberg model and Monte Carlo simulations, we estimate the critical temperatures of 105 K and 30 K for the Fe-based magnets grown above or under borophene, respectively [4].

References

- [1] S. Stavrić, M. R. Belić, and Ž. Šljivančanin, *Planar versus three-dimensional growth of metal nanostructures at graphene*. Carbon, **96**, 216 (2016).
- [2] D. N. Sredojević, M. R. Belić, and Ž. Šljivančanin, *Hydrogen evolution reaction over single-atom catalysts based on metal adatoms at defected graphene and h-BN*. J. Phys. Chem. C, **124**, 16860 (2020).
- [3] S. Stavrić, V. Chesnyak, S. del Puppo, M. Panighel, G. Comelli, C. Africh, Ž. Šljivančanin, and M. Peressi, *1D selective confinement and diffusion of metal atoms on graphene*. Carbon, **215**, 118486 (2023).
- [4] B. Šoškić, S. Stavrić, and Ž. Šljivančanin, *Ab-initio and Monte Carlo study of Fe-based two-dimensional magnets at borophene supported by Ag(111) surface*. Phys. Rev. Mater., **5**, 074001 (2021).

ТОКИ, ИНДУЦИРОВАННЫЕ СТРУКТУРИРОВАННЫМ ТЕРАГЕРЦОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В ДВУМЕРНЫХ СИСТЕМАХ

С.А. Тарасенко

ФТИ и.м. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26
tarasenko@coherent.ioffe.ru, <http://www.ioffe.ru/coherent>

Исследуется электрический отклик двумерного электронного газа на структурированное излучение терагерцового диапазона. Примером структурированного излучения являются векторные оптические пучки, составленные из плоских волн с различной поляризацией, или закрученные оптические пучки, несущие орбитальный угловой момент. Показано, что во втором порядке по амплитуде поля (первом порядке по интенсивности излучения) в системе возникают постоянные токи и токи на удвоенной частоте. В отличие от традиционных фотогальванических эффектов и эффектов генерации второй гармоники, изучаемые токи обусловлены не отсутствием центра инверсии в среде, а пространственной неоднородностью самого электромагнитного поля.

В докладе обсуждается физика взаимодействия пространственно неоднородного терагерцового электромагнитного поля с двумерными проводящими системами, обсуждаются механизмы генерации токов. Показано, что фототоки могут быть вызваны как градиентом интенсивности излучения в плоскости электронного газа, так и градиентами поляризационных параметров Стокса и градиентом фазы электромагнитного поля [1]. В рамках кинетического подхода Больцмана разработана микроскопическая теория нелинейного нелокального транспорта электронов, получены аналитические выражения для различных вкладов в фототок. Развитая теория применена для изучения электрических токов, индуцированных закрученными терагерцовыми пучками.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 22-12-00211.

Список литературы

- [1] A.A. Gunyaga, M.V. Durnev, and S.A. Tarasenko, *Photocurrents induced by structured light*. Phys. Rev. B, **108**, 115402 (2023)

**МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АДСОРБАТОВ ПЕРЕХОДНЫХ
МЕТАЛЛОВ VIB ГРУППЫ НА СТРУКТУРАХ γ -ГРАФИНА
И ПОТЕНЦИАЛ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В
СПИНТРОНИКЕ**

А.С.Тарасов ¹, И.Г. Ильюшин ²

¹*Институт наукоёмких технологий и передовых материалов,
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия*

tarasov.as@dvfu.ru

Углерод известен широким разнообразием аллотропных конфигураций, среди которых большой интерес для практического применения вызывают двумерные графен и его аллотропы графины, сформированные из sp^2/sp гибридных атомов, образующих ячеисто-пористую структуру. Среди различных форм, γ -графин имеет геометрию пор изоморфную решетке графена, где поры являются оптимальными сайтами адсорбции переходных металлов [1], что дает возможность экспериментальной реализации планарных графен-подобных сверхрешеток адатомов для изучения свойств магнитного упорядочения дальнего порядка. Исследованием систем с полным допированием установлено существование различных типов магнитной упорядоченности и проводимости, среди которых адсорбаты переходных металлов VIB группы имеют потенциал использования в спинтронике: адсорбаты хрома имеют структуру антиферромагнитного металла, а молибдена и вольфрама являются ферромагнитными полуметаллами [2].

В настоящей работе рассмотрена зависимость магнитного порядка и зонной структуры от концентрации адатомов переходных металлов VIB группы на субстрате γ -графина. Результаты демонстрируют потенциальную возможность экспериментальной реализации спиновых фильтров и базы элементов магниторезистивной логики на основе таких структур.

References

- [1] S. Kim, A. Ruiz Puigdollers, P. Gamallo, F. Viñes, J.Y. Lee, Functionalization of γ -graphyne by transition metal adatoms. *Carbon*, **120**,63 (2017)
- [2] X. Ren, J. Huang, P. Li, Y. Zhang, and Z.-X. Guo *Exotic Spintronic Properties of Transition-Metal Monolayers on Graphyne*. *Adv. Theory Simul.*, **5**, 2100287 (2022)

Induced charge generated by Coulomb Impurity in TMDs

V. K. Ivanov¹, I. S. Terekhov¹

¹*School of Physics and Engineering, ITMO University, 197101 St. Petersburg,
Russia
i.s.terekhov@gmail.com*

We investigate the charge density $\rho_{ind}(\mathbf{r})$ induced by an external field in two-dimensional Dirac materials. We calculate $\rho_{ind}(\mathbf{r})$ induced by the Coulomb impurity with potential $U(\mathbf{r}) = eQ/r$, where e is the electron charge, Q is the impurity charge. The induced charge is expressed through the Green's function of the electron in an external field as

$$\rho_{ind}(\mathbf{r}) = -ieN \int_C \frac{d\varepsilon}{2\pi} \text{Tr}\{G(\mathbf{r}, \mathbf{r}|\varepsilon)\}, \quad (1)$$

where $N = 4$, $G(\mathbf{r}, \mathbf{r}'|\varepsilon)$ is the electron Green's function in the Coulomb field [1], C is the integration contour. The integration contour depends on the position of the Fermi energy. In our case, the contour is chosen so that the Fermi energy is located at the center of the band gap. Using the representation (1), we analytically calculated the asymptotic behavior of the induced charge density at distances much less and much greater than the Compton wavelength λ of the electron in the material. At the distances $r \ll \lambda$ the induced charge density has the form:

$$\rho_{ind}(\mathbf{r}) = eN \left(A(\alpha)\delta(\mathbf{r}) + \frac{B(\alpha)}{\lambda^2} \left(\frac{r}{\lambda}\right)^{\gamma-1} + \frac{C(\alpha)}{\lambda^2} \right), \quad (2)$$

where $\alpha = eQ/(\hbar v_f)$ is the dimensionless coupling constant, $A(\alpha)$, $B(\alpha)$, $C(\alpha)$ are the calculated functions, $\gamma = \sqrt{1 - 4\alpha^2}$, v_f is the Fermi velocity in the material. One can see that the asymptotics contains an unusual contribution $r^{\gamma-1}$, which is related with the behavior of the Dirac wave function of the electron in the Coulomb field at small distances. The functions $A(\alpha)$, $B(\alpha)$, $C(\alpha)$ have a simple but cumbersome form, so they are not presented here. At distances $r \gg \lambda$ the induced charge density has a power-law asymptotic behavior $1/r^n$.

References

- [1] I. S. Terekhov, A. I. Milstein, V. N. Kotov, O. P. Sushkov, *Screening of Coulomb Impurities in Graphene*, Phys. Rev. Lett. **100**, 076803 (2008).

Краевые магنونные моды в скирмионных кристаллах

В.Е. Тимофеев^{1,2,3}, Д.Н. Аристов^{2,1,3}

¹СПбГУ, 199034, Россия, Санкт-Петербург

²НИЦ «КИ» ПИЯФ им. Б.П. Константинова, 188300, Россия, Гатчина

³ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021, Россия, Санкт-Петербург
victor.timofeev@spbu.ru

Магнитные скирмионы – топологически нетривиальные вихри локальной намагниченности. В ферромагнетиках с взаимодействием Дзялошинского-Мории скирмионы они упорядочиваются в решётки, т.н. скирмионные кристаллы (СкК). Элементарные возбуждения СкК могут быть классифицированы в терминах волн деформации формы отдельных скирмионов: эллиптическая мода, дыхательная мода и др. Некоторые зоны обладают нетривиальной кривизной Берри и отличными от нуля числами Черна, при этом зонная структура чувствительная к изменению внешнего магнитного поля [1]. Ранее нами было показано, что в зонной структуре происходит топологический переход: с ростом внешнего магнитного поля энергетическая щель между дыхательной модой и модой «вращения против часовой стрелки» закрывается, что сопровождается изменением числа Черна каждой из зон [2].

Исследуются локализованные возбуждения намагниченности, возникающие в неоднородном магнитном поле. Мы показываем, что в такой системе возникают киральные локализованные состояния, распространяющиеся вдоль границы, затухающие внутрь областей. Анализ проводится в формализме стереографической проекции, когда компоненты локальной намагниченности переписываются через функцию комплексного переменного. В рамках пробного анзаца минимизируется классическая энергия, после чего исследуются нормальные моды инфинитезимальных динамических флуктуаций стереографического образа [1]. Работа поддержана Российским Научным Фондом, грант №20-12-00147-П.

Список литературы

- [1] V. E. Timofeev and D. N. Aristov, *Magnon band structure of skyrmion crystals and stereographic projection approach*. Phys. Rev. B, **105**, 024422 (2022)
- [2] V. E. Timofeev, Yu. V. Baramygina, D. N. Aristov, *Magnon topological transition in skyrmion crystal*. JETP Letters, **118**, 911-916 (2023)

Six-loop calculation of the tricritical exponents of the

$O(n)$ -symmetric $\varphi^4 + \varphi^6$ theory

L.Ts. Adzhemyan^{1,2}, M.V. Kompaniets^{1,2}, A.V. Trenogin¹

¹*Saint Petersburg State University, 7/9 Universitetskaya nab., St.*

Petersburg 199034, Russian Federation

²*Bogolyubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear*

Research, Dubna 141980, Russian Federation

lastpks@gmail.com

Tricritical behavior in systems with an n -component order parameter $\varphi = \{\varphi_a, a = 1, \dots, n\}$ is described by the action

$$S(\varphi) = \frac{1}{2} \partial_i \varphi_a \partial_i \varphi_a + \frac{\tau}{2} \varphi_a \varphi_a + \frac{\lambda}{4!} (\varphi_a \varphi_a)^2 + \frac{g}{6!} (\varphi_a \varphi_a)^3, \quad (1)$$

where the coefficients τ , λ and g are parameters of the model [1].

Six-loop calculation of the renormalization group functions in the model (1) was carried out in $d = 3 - \varepsilon$ dimensions using the dimensional regularization. The model was renormalized within the minimal subtraction scheme (MS) [1]. All diagrams, except seven diagrams, were calculated with G-functions [2]. For the remaining seven six-loop diagrams, the G-function approach allowed to reduce them to one two-loop and six three-loop diagrams, which were computed numerically using the Sector Decomposition method [3]. The results obtained differ from those previously known [4].

The work is supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (agreement no. 075-15-2022-287).

References

- [1] A.N. Vasil'ev, *Quantum field renormalization group in critical behavior theory and stochastic dynamics*. Chapman and Hall/CRC (2004)
- [2] K.G. Chetyrkin and F.V. Tkachov, *New approach to evaluation of multiloop Feynman integrals: The Gegenbauer polynomial x -space technique*. Nucl. Phys. B, **174**, 345 – 377 (1980)
- [3] G. Heinrich, *Sector Decomposition*. Int. J. Mod. Phys. A, **23**, 1457 – 1486 (2008)
- [4] J.S. Hager, *Six-loop renormalization group functions of $O(n)$ -symmetric ϕ^6 -theory and ε -expansions of tricritical exponents up to ε^3* . J. Phys. A: Math. Gen., **35**, 2703 – 2711 (2002)

УСТОЙЧИВОСТЬ И ДИНАМИКА ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР В МАГНЕТИКАХ И ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ

В. М. Уздин, И. С. Лобанов

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

E-mail, v_uzdin@mail.ru

Топологические структуры в магнетиках и жидких кристаллах (ЖК) представляют большой интерес с точки зрения фундаментальной науки, поскольку здесь проявляются глубокие внутренние связи топологии и физики. Устойчивость таких систем, называемых топологическими солитонами, связывают с наличием топологических индексов, сохраняющихся при непрерывном изменении намагниченности/ЖК директора. Будет представлена теория, которая позволяет оценить эволюцию времен жизни состояний на дискретной решетке при уменьшении постоянной решетки и переходе к непрерывному пределу, когда должна проявляться топологическая защита [1].

В случае трехмерных топологических солитонов, в условиях ограниченной геометрии, будет показана важность граничных условий при описании равновесных свойств и взаимодействия между ними [2].

Для расчета динамики магнитных топологических систем будет получено обобщенное уравнение Тила, учитывающее заданный набор низкоэнергетических возбуждений равновесной магнитной структуры. Будет показана важность сохранения гамильтоновой формы уравнений движения. Для магнитного скирмиона радиус и спиральность оказываются канонически сопряженными переменными и только их одновременный учет позволяет воспроизвести основные особенности магнитной релаксации при включении (выключении) поля, сопровождающейся осцилляциями радиуса [3].

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-72-10028, <https://rscf.ru/en/project/23-72-10028/>

References

- [1] M.N. Potkina, I.S. Lobanov, H. Jonsson V.M. Uzdin *Stability of magnetic skyrmions: Systematic calculations of the effect of size from nanometer scale to microns*. Phys. Rev. B **107**, 184414 (2023)
- [2] I. M. Tambovtsev, I. S. Lobanov, A. D. Kiselev, V.M. Uzdin *Pair interaction of localized topological structures in confined chiral media*. Phys. Rev. E **108**, 024705 (2023)
- [3] И.С. Лобанов, В.М. Уздин *Динамика «дышащих» скирмионов*. Письма в ЖЭТФ, **119**, 775 (2024)

MONTE CARLO STUDY OF THE TWO-DIMENSIONAL MODEL OF SEMI-HARD-CORE BOSONS

V.A. Ulitko, Y.D. Panov

Ural Federal University, 620002 Ekaterinburg, Russia

vasiliy.ulitko@urfu.ru

We consider a model of charged semi-hard-core bosons [1] on a square lattice with a possible occupation number $n_i = 0, 1, 2$ at each node. The model Hamiltonian includes local (Δ) and interstitial (V) charge correlations and also transfer of boson pairs between neighboring nodes (t). In work [2] we used mean field approximation (MFA) method and showed that the following phase states can be realized: a charge ordering (CO), a superfluid phase (SF) and phase separation (PS).

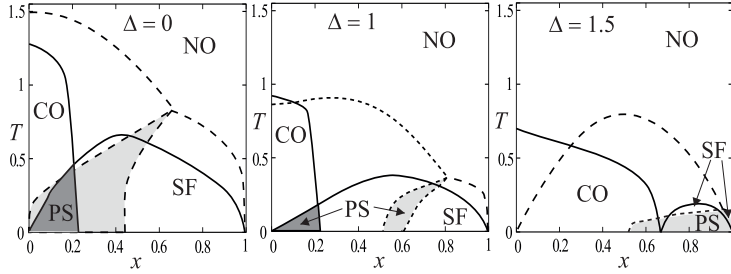


Figure 1: Temperature phase diagrams for the value $V/t = 0.75$. The dark (light) shaded area corresponds to the PS phase obtained by the SGF(MFA) method. The solid and dotted lines indicate the critical temperatures obtained by the SGF and MFA methods, respectively. Here x is the deviation of the boson concentration from half filling.

In this work phase diagrams of the model were obtained using the quantum Monte Carlo method (QMC). The general trend is the suppression of CO and SF phases with increasing Δ . Additionally, the proportion of the SF phase on the diagram is higher in the SGF method than in MFA. Meanwhile, the position of the tricritical point in SGF is always at lower values of x . We explain this by the fact that the consideration of quantum fluctuations reduces the kinetic energy of the system, making the SF phase more favorable.

References

- [1] A. S. Moskvina, *Pseudospin $S = 1$ formalism and skyrmion-like excitations in the three-body constrained extended Bose-Hubbard model*, Journal of Experimental and Theoretical Physics **V. 121**, 477(2015).
- [2] Yu. D. Panov, *Critical Temperatures of a Model Cuprate*, Physics of Metals and Metallography, **V. 120**, 1276(2019).

ОПИСАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЛЕКТИВНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ ЖИДКОСТИ ЮКАВЫ В РАМКАХ САМОСОГЛАСОВАННОЙ РЕЛАКСАЦИОННОЙ ТЕОРИИ

И.И. Файрушин¹, А.В. Мокшин¹

¹Казанский федеральный университет, Казань, Россия

fairushin_ilnaz@mail.ru, <https://kpfu.ru/>

Жидкость Юкавы является моделью, которая широко используется для описания различных физических объектов: от коллоидных растворов и пылевой плазмы до плазмы в устройствах по инерциальному термоядерному синтезу. Большое значение модель Юкавы имеет и для фундаментальной теории жидкого состояния вещества, поскольку межчастичное взаимодействие в этом случае описывается простым аналитическим выражением. Ключевыми параметрами данной системы являются параметры неидеальности и экранировки, которые определяют термодинамическое состояние системы. В последнее время наблюдается значительный интерес к вязкоупругому поведению системы Юкавы, обусловленное тем, что на микроскопических пространственных масштабах в коллективной динамике частиц могут проявляться поперечные колебательные процессы, которые являются типичными для твердых тел [1]. В настоящей работе развивается подход к описанию поперечных коллективных возбуждений и сдвиговой жесткости на основе самосогласованной релаксационной теории [2, 3]. В рамках данного подхода получены аналитические выражения для спектральной плотности поперечного потока и дисперсии поперечных коллективных возбуждений жидкости Юкавы. Результаты теоретических расчетов согласуются с данными моделирования методом молекулярной динамики.

References

- [1] А.В. Мокшин, Р.М. Хуснутдинов, Я.З. Вильф, Б.Н. Галимзянов *Квазитвердотельная микроскопическая динамика в равновесных классических жидкостях. Самосогласованная релаксационная теория*. ТМФ, **206**, 245, (2021)
- [2] A.V. Mokshin, I.I. Fairushin, I.M. Tkachenko *Self-consistent relaxation theory of collective ion dynamics in Yukawa one-component plasmas under intermediate screening regimes*. Phys. Rev. E, **105**, 025204 (2022)
- [3] I.I. Fairushin, A.V. Mokshin *Collective ion dynamics in Coulomb one-component plasmas within the self-consistent relaxation theory*. Phys. Rev. E, **108**, 015206 (2023)

INVESTIGATION OF THE STRUCTURE AND STABILITY OF BORON-CARBON CLUSTERS USING THE DFT METHOD

Maria Fedyaeva,^{1,2,*} Sergey Lepeshkin,^{1,2,3} and Artem R. Oganov²

¹ *Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences, Kosygina, 19, Moscow, 119991, Russia*

² *Skolkovo Institute of Science and Technology, Bolshoy Boulevard 30, bld. 1, Moscow 121205, Russia*

³ *Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, 53 Leninskii prosp., 119991 Moscow, Russia*

* femaal.femaal3@yandex.ru

Knowledge of ground state atomic configurations and the stability of B_nC_m clusters yields insights into the structural foundations and explains a wide range of facts about such interesting objects as boron-carbon nanoclusters, nanowires, films and crystals, which may be used as H_2 and N_2 gas nanosensors, quantum dots, thermoelectric energy converters, etc.. [1] Using evolutionary algorithm USPEX and ab initio calculations, the optimal atomic structures of boron-carbon clusters B_nC_m in wide range of compositions ($n, m = 0 - 12$) were predicted. We constructed a map based on our data to illustrate the structural differences among clusters. Furthermore, we investigated the stability of clusters using the following criteria: second-order energy difference (Δ^2E), fragmentation energy (E_{frag}). Based on these criteria, we constructed maps, which demonstrate the existence of the "ridges" and "islands" of stability, corresponding to the most stable "magic" clusters. For each of the clusters, we checked multiplicities up to 4 and identified that some of them in ground state have multiplicity 3. Using the obtained data, we constructed a map of magnetic moments for the clusters. We also determined HOMO-LUMO gaps for each of the clusters. We have found unique clusters that can serve as building blocks, as well as intermediates in the chemical reactions of synthesizing complex nano-sized B-C formations.

References

[1] S.J. Lu, *B8C10: A C_{2v} planar polycyclic structure bridged by the central strong CC bond and strengthened by the aromaticity*. Chemical Physics Letters, **801**, p.139715, 2022.

ПЛАВЛЕНИЕ ГРАФЕНА И СИЛИЦЕНА: СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ

Ю.Д. Фомин

Институт физики высоких давлений им. Л. Ф. Верещагина

fomin314@mail.ru

Графен и силицен представляют собой однослойные плёнки углерода и кремния соответственно. Температура плавления графена является чрезвычайно высокой, и на сегодняшний день была оценена только в рамках методов компьютерного моделирования. В некоторых работах температура плавления графена была оценена как 4500-4900 К [1,2], что сильно превышало температуру плавления графита в тех же моделях (3600 К) [3]. В настоящем докладе мы показываем, что в этих работах наблюдалась возгонка графена, а не плавление, а настоящая температура плавления графена, полученная методами компьютерного моделирования, совпадает с температурой плавления графита [4].

В тоже время тепловое разрушение силицена идёт по другому механизму, что приводит к тому, что тонкие плёнки силицена распадаются при более низких температурах, чем объёмный кремний [5].

В работе обсуждаются сходства и различия в возгонке графена и силицена и делаются выводы о природе этих сходств и различий [5].

[1] K.V. Zakharchenko, A. Fasolino, J.H. Los, M.I. Katsnelson, *J. Phys. Condens. Matter* 23, 202202-202206 (2011)

[2] J.H. Los, K.V. Zakharchenko, M.I. Katsnelson, Annalisa Fasolino, *Phys. Rev. B* 91, 045415-045421 (2015)

[3] N.D. Orekhov, V.V. Stegailov, *J. Phys. Conf. Ser.* 653 (2015), 012090-012100 (2015)

[4] Yu. D. Fomin and V. V. Brazhkin, *Carbon* 157, 767-778 (2020)

[5] Yu. D. Fomin, E. N. Tsiok and V. N. Ryzhov, arXiv:2309.01521

JOSEPHSON DIODE EFFECT IN ASYMMETRIC HIGHER-HARMONIC SQUID

Yakov Fominov¹

¹*L. D. Landau Institute for Theoretical Physics, Chernogolovka, Russia*

We theoretically investigate asymmetric two-junction SQUIDs with different current-phase relations in the two Josephson junctions, involving higher Josephson harmonics. Our main focus is on the “minimal model” with one junction in the SQUID loop possessing the sinusoidal current-phase relation and the other one featuring additional second harmonic. The current-voltage characteristic (CVC) turns out to be asymmetric, $I(-V) \neq -I(V)$. The asymmetry is due to the presence of the second harmonic and depends on the magnetic flux through the interferometer loop, vanishing only at special values of the flux such as integer or half-integer in the units of the flux quantum. The system thus demonstrates the flux-tunable Josephson diode effect (JDE), the simplest manifestations of which is the direction dependence of the critical current. We analyze asymmetry of the overall $I(V)$ shape both in the absence and in the presence of external ac irradiation. In the voltage-source case of external signal, the CVC demonstrates the Shapiro spikes. The integer spikes are asymmetric (manifestation of the JDE) while the half-integer spikes remain symmetric. In the current-source case, the CVC demonstrates the Shapiro steps. The JDE manifests itself in asymmetry of the overall CVC shape, including integer and half-integer steps.

[The work was supported by the Russian Science Foundation (Grant № 24-12-00357)]

References

- [1] Ya.V. Fominov and D.S. Mikhailov, Phys. Rev. B **106**, 134514 (2022).
- [2] G.S. Seleznev and Ya.V. Fominov, in preparation.

STUDY OF ADSORPTION OF RADIONUCLIDES FOR TRANSFER URANIUM ISOTOPES AND FOR PRODUCTION OF HIGH PURITY AMMONIUM SALTS

**Hajar Shiraliyeva Nohbala qizi,
Mirzayev Nijat Agil oglu**

Junior Researchers

Institute of Radiation Problems, Ministry of Science and Education of Azerbaijan,

Baku, AZ1143, Azerbaijan

xajar05@mail.ru

Numerous scientific studies are devoted to the development of complex technologies for soil and water purification, in addition to purification processes using adsorbents. The results of researches on the study of mechanisms and processes for cleaning contaminated environmental objects from radioactive waste have been published [1, 2]. The search for possible natural sources of radionuclides, or the study and development of effective methods for cleaning environmental objects and soil areas contaminated with radioactive emissions are an urgent task of radiation safety. Pre-sterilized dishes were used for soil and water sampling, transportation and storage. Evaporation of water samples and soil extracts from laboratory heat-resistant glass beakers was carried out on laboratory heaters. The measurements of the radioactive background were carried out by "Inspector-1000" (Canberra Co.) radiometer, "Radiagem 2000" (Canberra Co.) radiometer equipped with alpha, beta, gamma, neutron detectors, "ИСП-PM1401K-01 IP65" (Polimaster) dosimeter equipped with gamma and neutron counters and "GR-135 Plus" (Exploranium Co.) radiometer-dosimeter for isotope determination [2, 3]. Atomic absorption AA-6800 spectrometer (Shimadzu), SEM (scanning electron microscope, Carl Zeiss), X-ray fluorescence spectrometers were used to determine elements and their quantities in the mass of minerals, isolated by analytical-chemical procedures from soil and water samples. Uranium isotopes were transferred from soil samples to solutions.

The uranium isotopes activities in prepared aqueous solutions were 130, 131 and 6 Bq for U^{238} (99.24%), U^{234} (0.0054%), U^{235} (0.702%), respectively, which shows that soil samples taken from areas around springs contain uranium isotopes in similar proportions found in natural uranium deposits. The activity of U^{238} isotope (130 Bq) in water solutions after adsorption these isotopes on 100 g adsorbents used in our studies (granular elastomer DOWEX HCR S/S, activated carbon, expanded clay, pebble gravelly sand and granular anthracite masses) become 38, 65, 70, 76 and 86 Bq, respectively. The regularities of adsorption of radionuclides on adsorbent masses from water solutions can be used for cleaning process of the drain water of the physical stage of crude oil refining.

The adsorption trend of 60 elements (Th, U, etc. radionuclides) in aqueous solutions of the salts on Dowex 50w-x8 cation-exchange and Dowex 1-x8 anion-exchange granular elastomer adsorbents were studied in order to purify the salts purchased from the commercial network to suitable purity level for low-background measurements. The concentration of metal mixtures, as well as Th, U radionuclides in ammonium chloride and ammonium acetate salts synthesized by the developed method of production of pure substances was lower than the sensitivity of modern physico-chemical analysis methods. These salts are purer than their commercial analog. Ammonium salts for soldering of low-background measuring device schemes and for using in nuclear medicine were obtained from commercial available reagents with purification of trace amounts of radionuclides and other heavy metal mixtures by adsorption on DOWEX cation- and anion-exchange sorbents.

References

1. Y. Ji-Da, L. Hong-Shi, W. Zong-Mei, W. Xiao-Fei. Radioactivity level of the ambient environment of Anren bone-coal power station // *J. Environ. Radioactivity*. 2002, No.1, pp. 50-56.
2. Mammadov Kh. Effect of Natural Radionuclides on the Processes Occur in the Environmental Objects. Studying the Cleaning Methods of Water Contaminated with Organic Emissions and the Methods for Cleaning of Soil Contaminated with Heavy Metals and Radionuclides. *International Journal of Applied Chemistry*. DOI: 10.14445/23939133/IJAC-V7I1P105, 2020. V.7, No.01, pp.18-24.
3. Adsorption on the surface of a solid. Textbook /T.A.Yermakova, V.V.Akatyev, E.S.Dryuchkov and oth./, VolSU Publishing House, 2021, 32 p.

**DIELECTRIC ENVIRONMENT AND RYDBERG EXCITONS IN
ATOMICALLY THIN SEMICONDUCTORS**

Cam N. Hoang^{1,2}, Hieu T. Nguyen-Truong¹ and V.A. Osipov¹

¹ *Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear
Research, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia*

² *Institute of Physics, Vietnam Academy of Science and Technology, Dao Tan Str.
10, 11154 Hanoi, Vietnam*

cam@theor.jinr.ru

The dielectric environment contributes to electrostatic interaction in atomically thin (2D) semiconductors, rendering their excitons environmentally sensitive. With a general electron-hole interaction potential obtained by revisiting the electrostatics problem of a 2D semiconductor and its immediate surroundings, we establish a systematic relationship between 2D Rydberg exciton binding energies and radii and the environment's dielectric constants. Our results reproduce the observed dependence of 2D Rydberg exciton energies on the azimuthal quantum number with their arranged details and show reasonable agreement with experimental measurements. The model clarifies fundamental Rydberg exciton physics in 2D semiconductors and can be used for dielectric control of Rydberg exciton characteristics through dielectric engineering.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА САМОСБОРКУ ВОДНОГО РАСТВОРА ПАРАМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Е.Н. Циок, Е.А. Гайдук, Е.Е. Тареева, Ю.Д. Фомин, В.Н. Рыжов

Институт физики высоких давлений РАН, г. Москва, Россия

ena314@mail.ru

Представлены результаты компьютерного моделирования двумерных коллоидных систем, в которых перестраиваемые взаимодействия между частицами индуцируются и контролируются внешним вращающимся магнитным полем [1]. Эффективный потенциал взаимодействия кроме обычного парного потенциала включает также и трехчастичное взаимодействие частиц. Форма потенциала кардинально зависит от угла прецессии. При малых углах система ведет себя подобно двумерной системе с чисто отталкивательным потенциалом мягких дисков [2]. При больших углах – подобно обобщенной системе Леннард-Джонса с (nm)-потенциалом [2], причем наличие трехчастичной части потенциала приводит к понижению температуры критической точки газ-жидкость. При средних углах прецессии поля на фазовой диаграмме есть линии плавления треугольных кристаллов высокой и низкой плотности, причем кристалл низкой плотности во всей области его существования метастабилен. Стабильными при низкой плотности оказываются упорядоченные или хаотические нитевидные структуры. При более высокой плотности наблюдается сетчатая структура, в которой исходные нити образуют поперечные связи. При дальнейшем росте плотности в результате перехода 1-го рода сетчатая структура переходит в треугольный кристалл высокой плотности. Было обнаружено, что при спинодальном распаде треугольного кристалла низкой плотности получающаяся изотропная жидкость при дальнейшем нагреве образует разупорядоченные нитевидные структуры. Дальнейшее повышение температуры приводит к разрыву и испарению нитей.

References

- [1] К. А. Komarov, S. O. Yurchenko, *Colloids in rotating electric and magnetic fields: designing tunable interactions with spatial field hodographs*. *Soft Matter*, **16**, 8155 (2020)
- [2] В. Н. Рыжов, Е. А. Гайдук, Е. Е. Тареева, Ю. Д. Фомин, Е. Н. Циок, *Сценарии плавления двумерных систем – возможности компьютерного моделирования*, ЖЭТФ, **164**, 143–171 (2023).

HIGH SPIN POLARIZATION IN FULL HEUSLER CO₂MNZ (Z = SI, GA, GE, SN) ALLOYS

E. D. Chernov¹, A. V. Lukoyanov^{1,2}

¹*M.N. Mikheev Institute of Metal Physics, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, S. Kovalevskaya Str., 18, 620108 Ekaterinburg, Russia,*

²*Ural Federal University, Mira Str., 21, 620002 Ekaterinburg, Russia*

chernov_ed@imp.uran.ru

The full Co-based Heusler alloys are of particular interest because among them there can be found half-metallic ferromagnets (HMF), spin gapless semiconductors (SGS) [1], or topological semimetals (TSM) [2]. In our work, we carried out first-principles calculations of Co₂MnZ alloys for Z= Si, Ga, Ge, Sn on the basis of density functional theory (DFT), the exchange-correlation functional was chosen in the form of GGA PBE. And study the electronic structure, magnetic properties and spin polarization in the selected Co₂MnZ alloys. It was found that the Co₂MnGa alloy has the lowest spin polarization value about 51% and a total magnetic moment about 4.2 μ_B . For Z = Ge, Si and Sn, there is an increase of the total magnetic moment up to 5 μ_B . In the case of Co₂MnSn, the value of the total moment is equal to 5.1 μ_B – the largest among all the studied alloys. Co₂MnGe and Co₂MnSi have the highest spin polarization at the Fermi level, 92 and 99%, respectively, Co₂MnSn has 65% spin polarization. From these results, Co₂MnGe, Co₂MnSi and Co₂MnSn alloys are half-metallic ferromagnets and have potential for use in spintronics devices. This research was supported by Russian Science Foundation RSF # 22-42-02021.

References

- [1] K. Manna, Y. Sun, L. Muechler, J. Kübler, C. Felser *Heusler, Weyl and Berry*, Nat. Rev. Mater., **3**, 244 (2018).
- [2] S.-Y. Xu, I. Belopolski, N. Alidoust, M. Neupane, G. Bian, C. Zhang, et al. *Discovery of a Weyl fermion semimetal and topological Fermi arcs*, Science, **349**, 613 (2015).

МУАРОВЫЕ АЛМАЗОПОДОБНЫЕ ПСЕВДО-2D НИТРИДЫ: ИХ СТРУКТУРА И СВОЙСТВА.

Л.А. Чернозатонский

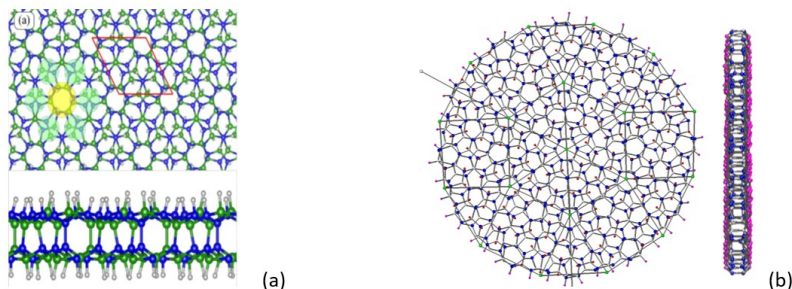
¹Инстит биохимической физики РАН, Москва, Россия

E-mail:chernol-43@mail.ru

Алмазоподобные нитридные 2D слоистые структуры - нитриданы представляют собой новые синтетические материалы (после наноалмазов, нанотрубок, моноатомных слоев, алмазов). Проведенные расчеты их структур показали возможность получить 2D широкозонные полупроводники с резонансными пиками в электронном и оптическом спектрах за счет муарового (а) строения сверхрешеток, включая квазикристалл (b) [1-3].

Они перспективны для создания 2D устройств с элементами резонансных поглощения и нелинейно-оптических эффектов.

Синтез нитриданов на основе муаровых 2D нитридов (MN, M=Al, B, Ga) представляется реализуем в ближайшие годы путем гидрирования или фторирования муаровых би-слоев методами синтеза известных алмазов.



References

- [1] L.A. Chernozatonskii, K.P. Katin, A.I. Kochaev, M.M. Maslov. *Moiré and non-twisted sp^3 -hybridized structures based on hexagonal boron nitride bilayers: Ab initio insight into infrared and Raman spectra, bands structures and mechanical properties*. Applied Surface Science, **606**, 154909 (2022)
- [2] L.A. Chernozatonskii, A.I. Kochaev, K.P. Katin, M.M. Maslov. *Moiré M-Nitridanes (M = Al, B, Ga) Analogues of Carbon Diamanes*. ACS Applied Electronic Materials **5**, 5677 (2023)
- [3] L.A. Chernozatonskii, A.I. Kochaev, *BN Diamane-like Quasicrystal Based on 30 Twisted H-BN Bilayers and Its Approximants: Features of the Atomic Structure and Electronic Properties*. Crystals **13**, 421(2023)

РАСПАД ВАКУУМА В СВЕРХКРИТИЧЕСКОМ КУЛОНОВСКОМ ПОЛЕ

В.М. Шабает ^{1,2}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет,

Университетская наб. 7/9, Санкт-Петербург

² ПИЯФ НИЦ "Курчатовский институт", Орлова роца 1, Гатчина,

Ленинградская область

v.shabaev@spbui.ru

Сверхкритическое кулоновское поле может быть создано в медленных столкновениях тяжелых ядер, если суммарный заряд сталкивающихся ядер превышает критическое значение, $Z_1 + Z_2 > Z_{cr} = 173$. Спонтанное рождение позитронов в таких столкновениях было независимо предсказано в работах [1-2]. В таком столкновении изначально нейтральный вакуум может самопроизвольно распасться на заряженный вакуум и два позитрона. Экспериментальное обнаружение спонтанного рождения позитронов стало бы прямым доказательством этого фундаментального явления. Однако спонтанное рождение позитронов сильно экранируется динамическим рождением позитронов, которое индуцируется быстро меняющимся во времени электрическим полем, создаваемым сталкивающимися ядрами. В течение трех десятилетий считалось, что распад вакуума можно наблюдать только в столкновениях с ядерным слипанием, когда ядра связываются на некоторое время из-за ядерных сил. Недавно [3-6] было показано, что вакуумный распад можно наблюдать без какого-либо слипания ядер. Результаты этого исследования будут представлены в докладе.

Исследование поддержано грантом РФФ (Грант No. 22-62-00004).

Список литературы

- [1] С.С. Герштейн, Я.Б. Зельдович, ЖЭТФ **57**, 654 (1969)
- [2] W. Pieper and W. Greiner, Z. Phys. **218**, 327 (1969)
- [3] I.A. Maltsev *et al.*, Phys. Rev. Lett. **123**, 113401 (2019)
- [4] R.V. Popov *et al.*, Phys. Rev. D **102**, 076005 (2020)
- [5] R.V. Popov *et al.*, Phys. Rev. D **107**, 116014 (2023)
- [6] N.K. Dulaev *et al.*, Phys. Rev. D **109**, 036008 (2024)

Common behavior of the scaled condensation energy for both high- T_c and conventional superconductors

V.R. Shaginyan¹

¹*Petersburg Nuclear Physics Institute, NRC Kurchatov Institute, Gatchina, 188300, Russia*
vrshag@thd.pnpi.spb.ru

It is generally accepted that conventional superconductors have nothing in common with unconventional superconductors, since unconventional superconductors are metals with flat bands in the absence of quasiparticles. On the other hand, experimental facts show that both types of superconductors have common properties, have quasiparticles and exhibit the common scaling behavior of the scaled condensation energy E_Δ/γ [1], here E_Δ is the condensation energy and γ is the Sommerfeld coefficient of electronic heat capacity. These facts pose a challenging puzzle for condensed matter researchers. As a result, an acute problem arises of revealing theoretically substantiating experimentally observed scaled condensation energy E_Δ/γ applicable to conventional and non-conventional superconductors [1]. Our theoretical consideration is based on the experimental paper that examines a representative subset of cuprates under optimal doping without any pseudogap [1]. For the first time, we have demonstrated that the universal scaling of the condensation energy $E_\Delta/\gamma = N(0)\Delta_1^2/\gamma$ applies equally to conventional and unconventional high- T_c superconductors. Our explanation is based on the general property of superconductors: Bogoliubov quasiparticles act in conventional and unconventional superconductors, while the corresponding band is only deformed by the unconventional superconducting state [2]. These observations suggest that the unconventional superconducting state can be considered BCS-like in some cases, as predicted in [3]. Our theoretical observations are in good agreement with experimental facts.

References

- [1] J.S. Kim, G.N. Tam, and G.R. Stewart, *Universal scaling law for the condensation energy across a broad range of superconductor classes*. Phys. Rev. B **92**, 224509 (2015).
- [2] V.R. Shaginyan, A.Z. Msezane, M.Ya. Amusia, and G.S. Japaridze, *Effect of superconductivity on the shape of flat bands*. EPL, **138**, 16004 (2022).
- [3] V.R. Shaginyan, M.Ya. Amusia, A.Z. Msezane, and K.G. Popov, *Scaling behavior of heavy-fermion metals*. Phys. Rep. **492**, 31 (2010).

РЕЗОНАНСНЫЕ, СИНХРОНИЗАЦИОННЫЕ И ХАОТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ ГИБРИДНЫХ СТРУКТУРАХ

Ю.М.Шукринов^{1,2}

¹ОИЯИ, Дубна, Россия,

²Университет Дубна, Дубна, Россия,

shukrinv@theor.jinr.ru

Исследования в области сверхпроводниковой спинтроники в последние годы интенсивно расширяются. Одними из наиболее привлекательных объектов для проведения данных исследований являются гибридные структуры сверхпроводников с магнетиками. В частности, возможность контролировать магнитную прецессию в ферромагнитном слое посредством сверхпроводящего тока, проходящего через структуру, а также магнитное воздействие на сверхпроводящий ток, открывают широкие перспективы для различных применений [1].

Нами представлены результаты исследований резонансных, синхронизационных и хаотических явлений в аномальных джозефсоновских структурах, в которых реализуется прямая связь сверхпроводящей разности фаз и намагниченности. Воздействие внешнего электромагнитного излучения приводит к ряду уникальных явлений, связанных с ферромагнитным резонансом и синхронизацией джозефсоновских и магнитных осцилляций в системе [2,3]. Сочетание джозефсоновского и киттелевского ферромагнитных резонансов с различными типами синхронизации делает физику данной системы чрезвычайно интересной и открывает ряд новых приложений. Представлены также результаты, демонстрирующие проявление хаотических явлений в данных структурах [4].

References

1. Ю. М. Шукринов. *Аномальный эффект Джозефсона. Успехи физических наук*, **65**, 345 (2022).
2. Yu. M. Shukrinov, E. Kovalenko, J. Tekic, K. Kulikov, and M. Nashaat. *Buzdin, Shapiro, and chimera steps in Φ_0 Josephson junctions*, Phys. Rev. B **109**, 024511 (2024)
3. M. Nashaat, E. Kovalenko, and Yu. M. Shukrinov. *Buzdin, Shapiro and Chimera Steps in ϕ_0 Josephson Junctions. II. Bifurcation, Switching, and Hysteresis*. Cond-mat arXiv: 2403.03621 (2024).
4. A. E. Botha, Yu. M. Shukrinov, J. Tekic and M. R. Kolahchi, *Chaotic dynamics from coupled magnetic monodomain and Josephson current*, Physical Review E **107**, 024205 (2023).

ГЛУБОКОЕ МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ, СТРУКТУРНАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ И ДИЗАЙН ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

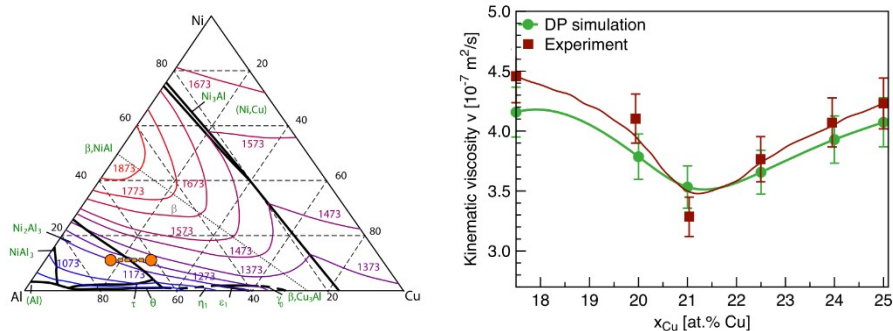
Н.М. Щелкачев¹, Р.Е. Рыльцев²

¹Институт Физики Высоких Давлений РАН, 108840, г.Москва

²Институт металлургии Уро РАН, 620016 г. Екатеринбург

E-mail: chtchelkatchev@hppi.troitsk.ru

Поиск взаимосвязей между элементным составом, структурой и макроскопическими характеристиками материалов является важнейшей задачей как для фундаментальных, так и для прикладных исследований. Большинство современных функциональных материалов на основе металлических сплавов — это многокомпонентные материалы, приобретающие свои физико-химические свойства за счет комплексного легирования большим числом элементов. Большое количество степеней свободы делает чисто экспериментальный процесс поиска оптимальных составов сплавов крайне трудоемким и энергозатратным. Традиционный метод исследования таких систем в значительной степени исчерпал свой ресурс и не отвечает современным требованиям. Поэтому важной задачей является разработка новых подходов к дизайну материалов с использованием передовых открытий, новых установленных физических закономерностей, новейших методик исследования вещества. Один из перспективных методов — многомасштабное моделирование, основанное на применении алгоритмов искусственного интеллекта. Полезная особенность этих подходов — это возможность детально исследовать широкие области термодинамических параметров, что важно для промышленности. Однако недавние исследования показали, что даже этот перспективный подход может быть неточным для расчета транспортных свойств или фазовых диаграмм некоторых металлических сплавов. Стратегия с использованием трансферного обучения и графовых нейросетей позволяет на порядок сократить объем обучающих данных по сравнению со стандартным подходом, и с низкими затратами переобучить межатомный нейросетевой потенциал на нестандартные обменно-корреляционные функционалы, такие, например, как r2SCAN и PBEsol. Например, расчет вязкости в многокомпонентных металлических расплавах представляет собой сложную задачу как для классических, так и для методов *ab initio*. Мы провели моделирование кинематической вязкости в тройных расплавах Al-Cu-Ni с использованием потенциалов глубоких нейронных сетей; отклонение от экспериментальных данных не превышает 12% и близко к интервалу неопределенности экспериментальных данных, см. рис. 1. Что еще более важно, наше моделирование воспроизводит минимальную концентрационную зависимость вязкости эвтектического состава. Таким образом, мы приходим к выводу, что МД-моделирование на основе потенциалов машинного обучения является как перспективным способом расчета вязкости, так и теоретическим способом определения эвтектических



составов.

Рис. 1. Фазовая диаграмма Al-Cu-Ni и кинематическая вязкость.

References

[1] N. Kondratyuk, R. Ryltsev, V. Ankudinov, N. Chtchelkatchev, *Journal of Molecular Liquids* **380**, 121751 (2023).

ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАМАГНЕТИЗМ В ЛЕГКО-ПЛОСКОСТНОМ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКЕ В НАКЛОННОМ ПОЛЕ

А.С. Щербаков¹, О.И. Утесов²

¹НИИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ, Гатчина

²Center for Theoretical Physics of Complex Systems, Institute for Basic Science
(IBS), Daejeon 34126, Republic of Korea

nanoscienceisart@gmail.com

utiosov@gmail.com

Соединения DTN [NiCl₂-4SC(NH₂)₂] и его допированный бромом (с заменой атомов хлора на атомы брома) аналог DTNX [1,2] изучались в течение последних нескольких десятилетий в основном в контексте квантовых фазовых переходов как в отсутствие беспорядка, так и при его наличии. Эти вещества можно рассматривать как слабосвязанные антиферромагнитные (АФ) цепочки со спином S=1 с сильной одноионной анизотропией типа легкая плоскость.

В нашей предыдущей работе [3] объяснялись немонотонная зависимость щели в спектре в упорядоченной фазе от величины внешнего магнитного поля и констант обменного взаимодействия в рамках обычного диаграммного стандартного 1/S разложения, где подчеркивалась важная роль сильных квантовых флуктуаций.

В настоящей статье мы продолжаем теоретическое обсуждение работы [3]. Здесь мы рассматриваем случай наклонного магнитного поля, исследовавшийся экспериментально [4]. Используя формализм Кубо для линейного отклика и 1/S разложение было показано, что индуцируемая наклонным полем поперечная компонента восприимчивости приобретает сингулярность вблизи частоты “Квазиголдтоуновскоого” магнона из-за сильных квантовых поправок, в первом порядке 1/S разложения. Это приводит к экспериментально наблюдаемой полевой зависимости щели в акустической ветви спектра. Показано, что оптическая ветвь вблизи центра упорядоченной фазы приобретает значительное затухание за счет двухмагнонных процессов. Таким образом, наша теория количественно поддерживает качественное обсуждение явления динамического диамагнетизма, наблюдаемое в экспериментах [3].

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых – кандидатов наук МК-1366.2021.1.2.

References

- [1] K. Yu. Povarov, E. Wulf, D. Hüvonen, J. Ollivier, A. Paduan-Filho, and A. Zheludev Phys. Rev. B 92, 024429, 2015
- [2] Zvyagin S. A. et al. Spin dynamics of NiCl₂-4SC(NH₂)₂ in the field-induced ordered phase Physical Review B. – 2008. – Т. 77. – №. 9. – С. 092413.
- [3] T. A. Soldatov, A. I. Smirnov, K. Yu. Povarov, A. Paduan-Filho, and A. Zheludev Phys. Rev. B 101, 104410
- [4] Sherbakov A. S., Utesov O. I. Magnon spectrum and electron spin resonance in antiferromagnet with large single-ion easy plane anisotropy Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2021. – Т. 518. – С. 167390.

Self-similar renormalization for nonlinear problems

V.I. Yukalov^{1,2} and E.P. Yukalova³

¹*Bogolubov Laboratory of Theoretical Physics,
Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 141980, Russia*

²*Instituto de Fisica de São Carlos, Universidade de São Paulo,
CP 369, São Carlos 13560-970, São Paulo, Brazil*

³*Laboratory of Information Technologies,
Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 141980, Russia*

A new method, called the method of self-similar approximants, and its recent developments are described. The method is based on the ideas of renormalization group theory and optimal control theory [1–6]. It allows for the effective extrapolation of asymptotic series in powers of small variables to the finite and even to infinite variables. The approach is proved to be regular. It is illustrated by several examples demonstrating good agreement with numerical calculations. The method is shown to provide accurate approximate solutions to complex nonlinear problems. In some cases, the method allows for the reconstruction of exact solutions on the basis of rather short perturbative series.

References

- [1] V.I. Yukalov and E.P. Yukalova, Phys. Lett. A **368**, 341–347 (2007).
- [2] V.I. Yukalov and S. Gluzman, Phys. Rev. D **91**, 125023 (2015).
- [3] V.I. Yukalov, Phys. Part. Nucl. **50**, 141–209 (2019).
- [4] V.I. Yukalov and E.P. Yukalova, Int. J. Mod. Phys. B **34** 2050208 (2020).
- [5] V.I. Yukalov and E.P. Yukalova, Phys. Rev. D **103**, 076019 (2021).
- [6] 6. V.I. Yukalov and E.P. Yukalova, Phys. Lett. A **425**, 127899 (2022).