

**Національна академія наук України
Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова**

**НАЙВАЖЛИВІШІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ
ІНСТИТУТУ ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ
ІМ. М.М. БОГОЛЮБОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ
АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
У 2023 РОЦІ**

**TOPMOST SCIENTIFIC RESULTS 2023
OF THE BOGOLYUBOV INSTITUTE
FOR THEORETICAL PHYSICS
OF THE NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF UKRAINE**

Київ 2024

Фізика високих енергій	3
Теорія ядра та ядерних реакцій	5
Математичні методи в теоретичній фізиці	6
Нанофізика, фізика низьковимірних систем	8
Фізика м'якої речовини	11
Астрофізика та космологія	13
Квантова оптика	15
Фізика плазми	15
Математичне моделювання	15
Комп'ютерне забезпечення наукових досліджень	16
Кафедра теоретичної і математичної фізики	17
Наукові публікації.....	19
Конференції та семінари.....	19
Нагороди та відзнаки	20

CONTENTS

High energy physics	22
Theory of nuclei and nuclear reactions	24
Mathematical methods in theoretical physics	25
Nanophysics, physics of low-dimensional systems	27
Soft matter physics	29
Astrophysics and cosmology	32
Quantum optics	33
Plasma physics	34
Mathematical modeling	34
Computer supply of scientific research	35
Department of Theoretical and Mathematical Physics.....	35
Scientific publications.....	37
Conferences & Seminars	38
Prizes and Awards.....	38

ФІЗИКА ВИСОКИХ ЕНЕРГІЙ

З використанням методу молекулярної динаміки досліджено вплив змішаної фази рідина-газ на флуктуації числа частинок. Метастабільну область змішаної фази змодельовано як систему невзаємодійних кластерів. Виявлено великі флуктуації в області спінодальної нестабільності. (М.І. Горенштейн, Р.В. Побережнюк, О.В. Савчук)

- Kuznietsov, V.A.; Savchuk, O.; Poberezhnyuk, R.V.; Vovchenko, V.; Gorenstein, M.I.; Stoecker, H., 2023. Molecular dynamics analysis of particle number fluctuations in the mixed phase of a first-order phase transition. *Phys. Rev. C* **107**, 055206. doi.org/10.1103/PhysRevC.107.055206

В простій аналітично розв'язуваній моделі системи теплового розширення досліджено двобозонні кореляції імпульсу за фіксованого обмеження числа частинок в протон-протонних зіткненнях за енергій, характерних для Великого адронного колайдера. Показано, що збільшення швидкості розширення, а також збільшення множинності частинок посилює внесок основного стану в імпульсні спектри частинок і призводить до пригнічення кореляції імпульсу Бозе-Айнштейна. Ці висновки безпосередньо пов'язані з нещодавно виявленою в експерименті залежністю кореляції імпульсу Бозе-Айнштейна від множинності. (Ю.М. Синюков, С.В. Аккелін, М.Д. Аджимамбетов)

- Adzhymambetov, M.D.; Akkelin, S.V.; Sinyukov, Yu.M., 2023. Quantum local-equilibrium state with fixed multiplicity constraint and Bose-Einstein momentum correlations. *Phys. Rev. D* **108**, 096030. doi.org/10.48550/arXiv.2307.16633

Отримано точний розв'язок для широкого класу моделей петель Полякова на ґратці у довільній розмірності з калібрувальними групами $U(N)$ і $SU(N)$ в границі, коли число кольорів (N) та кількість ароматів кварків (N_f) прямують до нескінченності. Отримано аналітичні вирази для екранувальних, хромоелектричних та хромомagnetних мас глюонів у фазі деконфайнменту. Встановлено, що у певній області параметрів у фазі деконфайнменту кореляційні функції мають експоненційний спад, змодульований осциляційними функціями. Це означає, що хромоелектричні маси є комплексними. (О.А. Борисенко, В.О. Челноков, С.М. Волошин)

- Alles, B.; Borisenko, O.; Papa, A., and Voloshyn, S., 2023. Lattice gauge theories in the strong coupling and static limits as a sign-problem-free Ising model. *Phys. Rev. D* **108**, 054505. doi.org/10.1103/PhysRevD.108.054505

Сформульовано модель зірки як системи пі-мезонів у стані бозе-конденсату. Обчислено співвідношення маса-радіус для пі-мезонної частини та параметри її лептонного оточення. (М.І. Горенштейн, О.В. Савчук).

- Stashko, O.S.; Savchuk, O.V.; Gorenstein, M.I. et al, 2023. Pion stars embedded in neutrino clouds. *Phys. Rev. D* **107**, 114025. doi.org/10.1103/PhysRevD.107.114025

Побудовано дуальне представлення для $SU(N)$ калібрувальних теорій з динамічними кварками. Це представлення було використано для числового Монте-Карловського моделювання ефективної моделі петель Полякова за кінцевої баріонної густини. Обчислено різні локальні спостережувані, такі як густина енергії, баріонна густина, кварковий конденсат, та детально описано фазову діаграму моделі. (О.А. Борисенко, С.М. Волошин).

- Alles, B.; Borisenko, O.; Papa, A., and Voloshyn, S., 2023. Lattice gauge theories in the strong coupling and static limits as a sign-problem-free Ising model. *Phys. Rev. D* **108**, 054505. doi.org/10.1103/PhysRevD.108.054505

Детально розглянуто два загадкові фемтоскопічні спостереження у зіткненнях ультрарелятивістських важких іонів. По-перше, це близькість максимальних часів емісії піонів за абсолютно різних енергій зіткнень: від найвищих енергій RHIC до верхніх енергій LHC. Інший парадоксальний ефект полягає в тому, що, незважаючи на досить велику тривалість пост-гідродинамічної каскадної стадії, спостережувані часи максимальної емісії є близькими до часів партикалізації – перетворення кварк-глюонної рідини в адрони. Детальний аналіз особливостей гідродинамічної еволюції системи за різних енергій зіткнювальних ядер і структури емісійної функції піонів та каонів на адронній стадії проливає світло на ці парадоксальні результати. (Ю.М. Синюков, В.М. Шаповал, М.Д. Аджимамбетов).

- Sinyukov, Yuri; Shapoval, Volodymyr; Adzhymambetov, Musfer; 2023. Space–Time Structure of Particle Emission and Femtoscopy Scales in Ultrarelativistic Heavy-Ion Collisions. *Universe* **9**(10), 433. doi.org/10.3390/universe9100433

Використовуючи формалізм континуального інтегралу в теорії поля за скінченної температури, визначено стійкі векторний і аксіальний струми, що генеруються в квантових хіральных ферміонних системах. Розглянуто роль явного порушення хіральної симетрії, викликаного масою ферміонів. Для квантових ферміонних систем за наявності довільного фонового гладенького магнетного поля показано, що хіральний магнетний ефект втілюється практично на тому ж рівні, що й ефект хірального розділення. Обидва ефекти залишаються незмінними внаслідок порушення хіральної симетрії масою. (чл.-кор. НАН України [Ю.О. Ситенко])

- Sitenko Y.A., 2023. Path integral formalism for finite-temperature field theory and generation of chiral currents. *Prepr. arXiv:2303.02145[hep-th]*, 27 p. doi.org/10.48550/arXiv.2303.02145

Вивчено вплив взаємодій притягування та відштовхування на термодинамічні властивості системи без-частинок, зокрема на можливість утворення бозе-конденсату. Показано, що за «слабкого» притягання бозонна система має фазовий перехід другого роду, а за «сильного» притягання система утворює бозе-конденсат під час фазового переходу першого роду. Зроблено висновок, що такі стани конденсату не можуть бути описані великим канонічним ансамблем, де певній ненульовій величині заряду відповідає ненульова величина хімічного потенціалу. Коли система перебуває у фазі конденсату, неможливість використання хімічного потенціалу як вільної термодинамічної змінної пояснюється тим, що хімічний потенціал має бути записаний в умові утворення конденсату, і тому його значення фіксовані. (Д.В. Анчишкін, Д.В. Журавель)

- Anchishkin, D.; Gnatovskyy, V.; Zhuravel, D.; Karpenko, V.; Mishustin, I.; Stoecker, H., 2023. Phase Transitions in the Interacting Relativistic Boson Systems. *Universe* 9, 411. doi.org/10.3390/universe9090411

ТЕОРІЯ ЯДРА ТА ЯДЕРНИХ РЕАКЦІЙ

Запропоновано новий базис для варіаційних розрахунків зв'язаних станів системи декількох частинок. Для системи N частинок із парними потенціалами взаємодії в явному вигляді отримано матричні елементи гамільтоніана системи. Розглянуто також модифікований базис, інваріантний відносно просторових трансляцій. Для прикладу розглянуто ядро ^{12}C як систему трьох частинок і досліджено збіжність методу. (Б.Є. Гринюк)

- Gryniuk, O.B.; Grinyuk, B.E., 2023. Universal coordinate Gaussian basis for calculations of the bound states of a few-particle systems. *Ukr. J. Phys.* **68** (9), 587. doi.org/10.15407/ujpe68.9.587

В рамках мікроскопічної багатокластерної та багатоканальної моделі проведено теоретичний аналіз низки ядерних реакцій, які мають відношення до космологічної проблеми літія та для яких нещодавно отримані нові експериментальні дані. Зокрема, були розглянуті ядерні реакції, які генеруються при зіткненні дейтронів із ядрами ${}^7\text{Li}$ та ${}^7\text{Be}$. Розрахунки були проведені в рамках алгебраїчної версії методу резонуючих груп, в якій використовуються реалістичні хвильові функції ядер як у вхідному, так і у вихідних каналах розглянутих ядерних реакцій. Встановлено, що реакції переважно відбуваються у тих станах, у яких можливе лобове зіткнення ядер $d+{}^7\text{Li}$ та $d+{}^7\text{Be}$. Показано, що розраховані астрофізичні S-фактори реакцій достатньо добре узгоджуються із існуючими експериментальними даними, та прогнозують їх поведінку в області енергій, які домінували у перші секунди нашого Всесвіту, коли почався перший період синтезу легких ядер. (В.С. Василевський, Ю.А. Лашко, В.І. Жаба)

- Lashko, Y., Vasilevsky, V. & Zhaba, V. Many-Channel Microscopic Model for Resonance Structure in ${}^9\text{Be}$ and ${}^9\text{B}$: Astrophysical Insights. *Few-Body Syst* **65**, 14 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00601-024-01881-w>

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ В ТЕОРЕТИЧНІЙ ФІЗИЦІ

Досліджено наслідки нового μ -деформованого узагальнення алгебри Гайзенберга для операторів координати та імпульсу, одержаного з бозе-конденсатної моделі темної матерії з умови узгодження двох μ -деформованих аналогів рівняння Лейна-Емдена з однаковим розв'язком, який дає покращений опис профіля густини. Виведено узагальнене співвідношення невизначеностей для μ -деформованої алгебри, яке за $\mu=0$ переходить у відоме, і показано, що воно залежить від станів системи та приводить до четвірки максимальних і мінімальних довжин та імпульсів. Їхні значення, а також флуктуацію температури, отримано для гало темної матерії низки карликових галактик. (О.М. Гаврилик, А.В. Назаренко)

- Gavrilik, A.M.; Kachurik I.I.; Nazarenko, A.V., 2023. New deformed Heisenberg algebra from the μ -deformed model of dark matter. *Frontiers in Astron. & Space Sciences* **10**, 1133976 (10 pages). doi.org/10.3389/fspas.2023.1133976

В рамках моделі ультралегкої аксіоноподібної темної матерії з періодичною самодією виявлено існування розрідженої і густої фаз конденсату Бозе-Айнштайна, описуючи ядро гало темної матерії карликових галактик. Це пов'язано з двома незалежними розв'язками рівняння Гросса-Пітаєвського за однакових параметрів моделі. На основі теорії резонансу Фешбаха для квантово-механічного розсіяння пари з двома каналами (закритим і відкритим) описано довговічний двочастинковий композит – дімер – з часом життя у мільйони років, що дає йому змогу брати участь у формуванні структур темної матерії. Врахування додаткового (відкритого) каналу пояснює емпірично відмінні значення довжини розсіяння в темній матерії різних галактик, але потребує додаткового вивчення внутрішньої структури частинок темної матерії. (А.В. Назаренко, О.М. Гаврилик)

- Gavrilik, A.M.; Nazarenko, A.V., 2023. Axionlike Dark Matter Model Involving Two-Phase Structure and Two-Particle Composites (Dimers). *Phys. Rev. D* **108**(12), 123030. doi.org/10.1103/PhysRevD.108.123030

Описано залежність тризонної структури, що складається з плоскої та двох дисперсійних (верхньої і нижньої) зон для одновимірного гамільтоніану з псевдоспіном 1 та трикомпонентним потенціалом від конфігурації цих компонент, кожна з яких є сталою величиною. У випадку, коли компоненти даного потенціалу мають прямокутну форму, доведено, що дискретний спектр зв'язаних станів вирішальним чином залежить від конфігурації прямокутних компонент. Показано, що даний спектр може бути одним із чотирьох характерних типів, які кардинально відрізняються. Для кожного типу побудовано точкові взаємодії, заданими відповідними матрицями зв'язку. (чл.-кор. НАН України В.П. Гусинін, О.В. Золотарюк, Я.О. Золотарюк)

- Zolotaryuk, A.V.; Zolotaryuk, Y.; Gusynin, V.P., 2023. Bound states and point interactions of the one-dimensional pseudospin-one Hamiltonian. *J. Phys. A: Math. Theor.* **56**, 485303. <https://doi.org/10.1088/1751-8121/ad075e>

Отримано точні аналітичні вирази для асимптотики кореляційної функції моделі еніонів на великих відстанях та часах в простороподібній та часоподібній областях. Виявлено, що в

часоподібній області кривина спектру відіграє суттєву роль і змінює асимптотичну поведінку з чистого експоненційного затухання на експоненційне затухання, модифіковане степеневим префактором. (О. Гамаюн, М.З. Іоргов, Ю.В. Журавльов)

- Zhuravlev, Yu.; Naichuk, E.; Iorgov, N.; Gamayun, O., 2022. Large-time and long-distance asymptotics of the thermal correlators of the impenetrable anyonic lattice gas. *Phys.Rev. B* **105**, 085145. doi.org/10.1103/PhysRevB.105.085145

Для еліптичних моделей типу Годена у зовнішньому магнетному полі асоційованих з некососиметричними еліптичними r -матрицями побудовано модифікований анзац Бете. В термінах розв'язків модифікованих рівнянь Бете знайдено спектр відповідних гамільтоніанів моделей типу Годена. Отримані результати застосовані до діагоналізації квантових гамільтоніанів анізотропної дзиги Ейлера, дзиги Жуковського-Вольтера, дзиги Стеклова і Рубановського а також ферміонного гамільтоніана узагальненої моделі БКШ-Річардсона. (Т.В. Скрипник)

- Skrypnyk, T., 2023. Elliptic Gaudin-type model in an external magnetic field and modified algebraic Bethe ansatz. *Nuclear Phys. B* **988**, 116102. doi.org/10.1016/j.nuclphysb.2023.116102

Запропоновано підхід до геометричного опису елементарних частинок. Пояснено природу суперсиметрії та запропоновано механізм спонтанного порушення симетрії системи з різними ступенями вільності. Такий підхід повніше відображує головну ідею геометризації взаємодії, що є основою теорії поля. (акад. НАН України Б.І. Лев)

- Lev, B., 2023. Supersymmetry in the Geometric Representation of the Early Universe Wave Function. *Journal of Modern Physics* **14**(6), 777-789. [DOI: 10.4236/jmp.2023.146044](https://doi.org/10.4236/jmp.2023.146044)
- Lev, B.I., 2023. Clifford Algebra, Geometrization of Interaction and Wave Function Presentation. In book *Research and Applications Towards Mathematics and Computer Science, Vol. 4*, pages 131-162. eBook ISBN: 978-81-19491-73-5. doi.org/10.9734/bpi/ratmcs/v4/19749D

НАНОФІЗИКА, ФІЗИКА НИЗЬКОВИМІРНИХ СИСТЕМ

Формалізм редукованої квантової електродинаміки узагальнено на випадок гетероструктур, що складаються з кількох атомних шарів, і сформульовано відповідну ефективну (2+1)-вимірну калібрувальну теорію. Ця теорія описує динаміку заряджених ферміонів в N

площинах і містить N векторних полів з дією Максвелла, модифікованою нелокальними формфакторами. З урахуванням поляризаційної функції отримано явні формули для екранованої електромагнетної взаємодії у випадку двох і трьох шарів. Для гетероструктури з двома шарами досліджено генерацію динамічної щільності екситонного типу в енергетичному спектрі квазічастинкових збуджень. Виявлено, що додаткове екранування за рахунок другого шару збільшує значення критичної константи зв'язку для генерації щільності порівняно з відповідною константою зв'язку в графені. (член-кореспондент НАН України В.П. Гусинін, Е.В. Горбар)

- Gorbar, E.V.; Gusynin, V.P.; Parymuda, M.R., 2023. Reduced QED with Few Planes and Fermion Gap Generation. *Entropy* **25**(9), 1317-1332. <https://doi.org/10.3390/e25091317>

Наведено залежності термодинамічних параметрів сильно нерівноважної системи від показників нерівноважності в когерентно скорельованих станах. Зроблено оцінки діелектричної проникності в нерівноважній системі та режимів плазмо-акустичних коливань. Зроблено оцінку температури надпровідного переходу в нерівноважних умовах і показано, що температура надпровідного переходу може наближатися до граничного значення, що відповідає кванту з власною плазмовою частотою середовища. (С.П. Кручинін)

- Kruchinin, S.P.; Eglitis R.I.; Novikov, V.E.; Oleś, A.M.; Wirth, S., 2023. Control of Strongly Nonequilibrium Coherently Correlated States and Superconducting Transition Temperature. *Symmetry* **15**(9), 1732. doi.org/10.3390/sym15091732

Показано, що введений раніше новий інваріант рівняння Дірака з кулонівським потенціалом, доповнюючи інваріанти Дірака та Джонсона-Ліппмана, утворює з ними алгебру, що уможливило розв'язати це рівняння алгебричним методом. Встановлено, що різні розв'язки рівняння є різними представленнями алгебри спінових інваріантів. На основі теоретико-групового підходу з використанням цієї алгебри встановлено зв'язок між різними представленнями і одержано всі властивості загального розв'язку рівняння Дірака суто алгебричним шляхом. Вказано приховану $SU(2)$ -симетрію – інваріантність відносно повороту в гільбертовому просторі усіх власних станів рівняння Дірака. (Л.С. Брижик, О.О. Єремко, акад. НАН України В.М. Локтев)

- Eremko, A.; Brizhik, L.; Loktev, V., 2023. Algebra of the spinor invariants and the relativistic hydrogen atom. *Annals of Physics* **451**, 169266. doi.org/10.1016/j.aop.2023.169266

Досліджено інтегровну нелінійну динамічну систему внутрішньовузлових збуджень та коливань ґратки з калібрувально подібним механізмом взаємодії між підсистемами на регулярному одновимірному ланцюжку. Показано, що в залежності від співвідношення між двома фізично відмінними просторовими масштабними параметрами система здатна демонструвати три якісно відмінні режими динамічної поведінки, а саме – монопольний режим, дипольний режим та пороговий режим, в якому одна з псевдоекситонних компонент зникає, а інша перетворюється на псевдоекситонну беззарядову моду. (О.О. Вахненко)

- Vakhnenko, O.O.; Vakhnenko, V.O., 2023. Dipole–monopole criticality and chargeless half mode in an integrable gauge-coupled pseudoexciton–phonon system on a regular one-dimensional lattice. *Phys. Rev. E* **108**(02), 024223 (8 pages). doi.org/10.1103/PhysRevE.108.024223

У рамках формалізму функцій Гріна знайдено, проаналізовано та порівняно π -електронні спектри олігомерів поліпарафенілену та полінафталену, що є базовими одиницями для побудови кріслоподібних та хіральних $(2m, m)$ нанострічок довільної ширини. Зокрема, показано, що спектр полінафталену, на відміну від поліпарафенілену, включає локалізовані стани. (Л.І. Малишева)

- Malysheva, L., 2023. Electronic structure of conjugated oligomers that are building blocks for achiral and chiral graphene nanoribbons. *Chem. Phys. Lett.* **836**, 141048. doi.org/10.1016/j.cplett.2023.141048

Отримано спектр спінових хвиль, що розповсюджуються уздовж скирміонної струни в присутності спін-поляризованого струму, що тече уздовж цієї струни. Показано, що наявність спін-поляризованого струму призводить до нестійкості скирміонної струни. Для ідеального магнетика нескінченно великих розмірів ефект появи нестійкості є безпороговим і виникає для як завгодно малого струму. (В.П. Кравчук)

- Okumura S., Kravchuk V.P., Garst M., 2023. Instability of Magnetic Skyrmion Strings Induced by Longitudinal Spin Currents. *Phys. Rev. Lett.* **131**, 066702. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.131.066702>

ФІЗИКА М'ЯКОЇ РЕЧОВИНИ

Досліджено механізм кінетичної кооперативності мономерних ферментів. Встановлено строгі критерії позитивної кооперативності та її сигмоїдної версії. Показано, що ступінь кооперативності особливо чутливий до швидкостей та напрямку обміну між конформаційними станами вільного ферменту. Проте жодної потреби «кінетичного резонансу», заявленої нещодавно, виявлено не було. Загалом, моделі з дискретними конформаційними станами дають якісне розуміння природи кінетичної кооперативності, проте навряд чи придатні для кількісного опису реальних ензиматичних реакцій ферментів, що показано у випадку глюкокінази. (Л.М. Христофоров)

- Christophorov, L.N., 2023. On the minimal model of kinetic cooperativity. The case of glucokinase. *Ukr. J. Phys.* **68**(10), 684. doi.org/10.15407/ujpe68.10.684

В рамках методу молекулярної динаміки досліджено конформаційний простір молекул природних поліамінів, зокрема спермідину³⁺, що взаємодіють з подвійною спіраллю ДНК. Показано, що усі можливі конформації молекули спермідину³⁺ (понад 2000) можна класифікувати за сімома конформаційними модами. Виявлено, що на відносну популяцію конформаційних станів поліамінів сильно впливає ДНК, а саме дві з семи конформаційних мод молекули спермідину³⁺ проявляються лише у комплексі з ДНК. Під час взаємодії з ДНК молекула спермідину³⁺ може суттєво вигинатися, індукуючи локальні конформаційні зміни в подвійній спіралі. Одержані результати є важливими для розуміння ролі природних поліамінів у механізмах біологічного функціонування ДНК. (С.М. Перепелиця)

- Perepelytsya S., Vasiliu T., Laaksonen A., Engelbrecht L., Brancato G., Mocci F., 2023. Conformational flexibility of spermidine³⁺ interacting with DNA double helix. *Journal of Molecular Liquids* **389**, 122828. doi.org/10.1016/j.molliq.2023.122828

Отримано нормальні коливання внутрішніх ступенів вільності (моди Гігса та Голдстоуна) тризонних надпровідників з урахуванням як внутрішнього ефекту близькості, так і міжградієнтної взаємодії. Отримано спектр синфазних коливань Гігса, та показано, що вони на відміну від коливань в однозонних надпровідниках можуть бути стабільними. (К.В. Григоришин)

- Grigorishin, K.V. 2023. Collective excitations in three-band superconductors. *Condensed Matter Physics* **26**(2), 23702: 1–21. doi.org/10.5488/CMP.26.23702

Одержано нову формулу для концентрації запаху, за якої підвищення селективності ольфакторного рецепторного нейрона за рахунок флуктуацій буде найвищим.

Аналітично описано вплив гальмівного аутапсу на активність нейронів. Сформульовано умови для набору неадаптивних моделей імпульсних нейронів із затриманим гальмівним зворотнім зв'язком замість розгляду конкретної нейронної моделі. Нейрон стимулюється стохастичним точковим процесом відновлення збуджувальних імпульсів. Функція густини ймовірності (PDF) $p(t)$ вихідних інтервалів між спайками (ISI) такого нейрона визначається точно без будь-яких наближень. Вона виражається через ISIs PDF для вхідного потоку відновлення та ISIs PDF для того самого нейрона без будь-якого зворотнього зв'язку. Отримані результати застосовано до підмножини нейронних моделей з порогом 2, коли часові інтервали між вхідними імпульсами розподілені відповідно до розподілу Ерланга-2. У цьому випадку явно знайдено незалежну від моделі початкову частину ISI PDF $p(t)$, визначену в деякому початковому інтервалі $[0; T_2]$ значень ISI. (О.В. Щур, О.К. Видибіда)

- Shchur, O.V.; Vidybida, A.K., 2023. Distribution of Interspike Intervals of a Neuron with Inhibitory Autapse Stimulated with a Renewal Process. *Fluctuation and Noise Letters* **22**(01), 2350003. doi.org/10.1142/S0219477523500037

Проведено комп'ютерне моделювання в рамках підходу, заснованому на зворотньому відстежуванні пробних частинок плазми для моделювання взаємодії супутника Ганімеда з потоком плазми в магнетосфері Юпітера та випадіння іонів на поверхні Ганімеда. Отримано карти випадіння іонів H^+ , O^+ , S^{+++} на поверхні, що відповідають різним енергіям частинок. Показано існування екранованої екваторіальної області на Ганімеді. За низьких енергій частинок магнетосфера Ганімеда може частково захищати поверхню на екваторі від ударних іонів і, таким чином, відхиляти їх до полюсів. В цілому полярні області є доступнішими для впливу частинок, оскільки на полюсах супутника є відкриті силові лінії магнетного поля. (А.П. Фоміна)

- Khelemelia, O.V.; Fomina, A.P.; Novak, O.P.; Kholodov, R.I., 2023. Modeling the interaction of Jupiter's magnetospheric plasma ions with satellite. *Problems of Atomic Science and Technology* № **4(146)**, 117-120. doi.org/10.46813/2023-146-117

Розглянуто модель впливу плазмових ефектів на утворення вихорів поблизу полюсів планет. Плазмовий потік контролюється магнетним полем і впливає в основному на полюси планет за силовими лініями магнетного поля, що сходяться, внаслідок чого електронний потік стискається. Виникає відносна поперечна поляризація потоків іонів та електронів за схрещеної конфігурації електричного поперечного і поздовжнього/вертикального магнетних полів. Досліджено вплив відносного дрейфу та нерівноважностей на утворення вихорів. Досліджено механізм формування вихорових структур на прикладі юпітеріанських авроральних процесів, зокрема в рамках взаємодії Іо–Юпітер. Описано динаміку вихорів в конфігурації електричного та магнетного полів. Показано залежність руху вихорів від виникнення збурень електронної густини. (А.П. Фоміна)

- Maslov, V.I.; Cassé, M.; Cheremnykh, O.K.; Fomina, A.P.; Grasso, D.; Kholodov, R.I.; Novak, O.P.; Ovsiannikov, R.T., 2023. Structures of vortexes near the poles of planets of the solar system. *Problems of Atomic Science and Technology*, № 4(146), 113-116. doi.org/10.46813/2023-146-113

Проведено аналіз кривих Бетті в залежності від червоного зміщення. Показано, що відстань Вассерштайна між діаграмами персистентності для одновимірних гомологій може бути використана для оцінки різниці в σ_8 між двома симуляціями Всесвіту. Досліджено залежність форми кривих Бетті від червоного зміщення. (В.Б. Тимчишин)

- Tsizh, M.; Tymchyshyn, V.; Vazza, F., 2023. Wasserstein distance as a new tool for discriminating cosmologies through the topology of large-scale structure. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 522(2), 2697-2706. <https://doi.org/10.1093/mnras/stad1121>

АСТРОФІЗИКА ТА КОСМОЛОГІЯ

Досліджено властивості випромінювання в лінії Лайман-альфа водню в дев'яти близьких галактиках з найменшим відомим вмістом хімічних елементів, важчих за гелій за даними спостережень на Космічному телескопі Хаббла. Ці галактики вважаються найкращими локальними аналогами карликових галактик, які існували у ранньому Всесвіті в епоху вторинної іонізації, коли його вік становив менше 10 відсотків від теперішнього віку. У семи з дев'яти досліджуваних галактик спостерігається сильна і вузька емісійна лінія Лайман-альфа, що ймовірно свідчить про велику втрату іонізованого випромінювання,

яке виходить за межі цих галактик у міжгалактичнє середовище та спричиняє його йонізацію. Результати цього дослідження є вагомим аргументом на користь того, що карликові галактики з активним зореутворенням були головним джерелом вторинної іонізації Всесвіту. (акад. НАН України Ю.І. Ізотов, Н.Г. Гусєва)

- Izotov, Y.I.; Thuan, T.X.; Guseva, N.G.; Schaerer, D.; Worseck, G.; Verhamme, A., 2024. Ly α emission in low-redshift most metal-deficient compact star-forming galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **527**, 281–297. doi.org/10.1093/mnras/stad3151

Показано, що великий клас модифікованих теорій гравітації з лагранжіаном $f(R)$ відповідає моделям скалярного поля з потенціалами типу пагорба або плато в системі Айнштайна. У таких моделях гравітація може асимптотично зникати за нескінченних або великих кінцевих значень скалярної кривини. Всесвіт, що розвивається в бік нульової кривини, є всесвітом, що відповідає спостережному Всесвіту, що розвивається в бік асимптотично зникної гравітації, або зіткнеться з сингулярністю “Великого розриву”, або перебуватиме вічно в режимі інфляції. (Ю.В. Штанов)

- Shtanov, Y.; Sahni, V.; Mishra, S.S., 2023. Tabletop potentials for inflation from $f(R)$ gravity. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* **03**, article id. 023 (31 pages). doi.org/10.1088/1475-7516/2023/03/023

Сучасну проблему із визначенням сталої Габбла, «третю» з історичної точки зору, проаналізовано в рамках квантового космологічного підходу, що ґрунтується на квантовому формалізмі потенціалу Бома. Встановлено, що у виразі для повної густини енергії з'являється доданок, який вводить новий елемент у стандартну космологічну модель. Додаткова компонента густини енергії, яка має квантове походження, може діяти подібно до ранньої темної енергії, змінюючи швидкість раннього розширення всесвіту до рекомбінації, залишаючи його пізню еволюцію незмінною. Характерною рисою запропонованої космологічної моделі є наявність у ній «періоду відпочинку» (подібно до моделей Леметра та Едингтона-Леметра) в епоху рівності внесків матерії та випромінювання, під час якого зміна масштабного фактора уповільнюється. (В.Є. Кузьмичов, В.В. Кузьмичов)

- Kuzmichev, V.E.; Kuzmichev, V.V., 2024. The Hubble tension from the standpoint of quantum cosmology. *Eur. Phys. J. C* **84**, 121. <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-12490-6>

КВАНТОВА ОПТИКА

Побудовано теорію фотодетектування для моди резонатора за допомогою джозефсонівського фотопомножувача. Показано, що такий пристрій має високу ступінь розрізнення між числами фотонів, що відкриває шляхи використання його в новітніх квантових технологіях. (Є.В. Столяров, А.О. Семенов)

- Semenov, A.A.; Samelin, J.; Boldt, Ch.; Schünemann, M.; Reiher, C.; Vogel, W.; Hage, B., 2024. Photocounting measurements with dead time and afterpulses in the continuous-wave regime. *Phys. Rev. A* **109**, 013701. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.109.013701>
- E. Stolyarov, V.; Kliushnichenko, O.V.; Kovtoniuk, V.S.; Semenov, A.A., 2023. Photon-number resolution with microwave Josephson photomultipliers. *Phys. Rev. A* (Accepted to publication). doi.org/10.48550/arXiv.2310.05604

ФІЗИКА ПЛАЗМИ

Показано, що внаслідок фазової синхронізації заряджених частинок і хвиль особливістю релятивістської динаміки частинок за циклотронних резонансів є ступінчаста залежність енергії та імпульсу від часу. Отримано аналітичні вирази для релятивістського циклотронного резонансу і описано ефекти, які раніше були виявлені в числовому експерименті. Зокрема, визначено часову ширину сходинок, динаміку частинок на сходинах та моменти випадкових стрибків частинок з однієї сходинки на іншу. Аналіз отриманих результатів вказує на принципову можливість прискорення електронів поперечними електромагнетними хвилями у вакуумі без зовнішнього магнетного поля. (акад. НАН України А.Г. Загородній)

- Buts, V.A.; Zagorodny, A.G., 2023. Features of New Cyclotron Resonances, as well as Conditions for Resonant Acceleration of Charged Particles in a Vacuum without a Magnetic Field. *Problems of Atomic Science and Technology*, №4(146), 3-7. doi.org/10.46813/2023-146-003
- Buts, V.A.; Zagorodny, A.G., 2023. New resonances in wave-particle interactions. *Physics of Plasmas* **30**(8), 082301. doi.org/10.1063/5.0143202

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Розроблено новий математичний метод побудови еквівалентних мартингальних мір до вихідної міри для еволюції ризикових активів, що мають пам'ять та враховують явище кластеризації. Встановлено теорему про інтегральне подання для них за множиною точкових

мартингальних мір. Знайдено формули для справедливої ціни супергеджа для опціонів пут та кол. Доведено теорему про інваріантність множини еквівалентних мартингальних мір стосовно певного класу перетворень, що дає можливість будувати моделі фінансових ринків. (М.С. Гончар)

- Gonchar, N.S., 2023. Risk Hedging in Financial Market. *London Journal of Research in Science: Natural and Formal* **23**(4), Compilation 10, 18-106. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Сформульовано принципи сталого економічного розвитку економічних систем на макроекономічному рівні. Встановлено теорему про необхідні та достатні умови функціонування економічних систем зі строго додатною доданою вартістю для моделі виробництва “витрати – випуск”. Знайдено формулу для ймовірності функціонування економічних систем зі строго додатною доданою вартістю для моделі виробництва “витрати – випуск”. (М.С. Гончар)

- Gonchar, N.S., 2023. Mathematical Foundations of Sustainable Economy Development. *Advances in Pure Mathematics* **13**, 369-401. doi.org/10.4236/apm.2023.136022

КОМП'ЮТЕРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Найважливішим результатом виконання проекту «Підтримка Базового координаційного центру та Регіонального операційного центру грид в Інституті теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України та розробка грид-хмарних сервісів для забезпечення їх надійного функціонування» є забезпечення надійної роботи обчислювального та хмарного кластерів в Центрі колективного користування «Ресурсний центр для грид- та хмарних технологій» в Інституті теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України. На хмарному сайті UA-VITP оновлено програмне забезпечення OpenStack; введено в експлуатацію хмарний кластер для підтримки користувачів і включено його в європейську хмарну інфраструктуру за підтримки Європейської хмари відкритої науки.

В рамках наукового проекту «Створення репозитарію відкритих даних» інстальовано та підготовано для тестової експлуатації репозитарію відкриті дані НАН України DataverseUA. В репозитарії розміщено набори даних у відповідності до засадничих принципів

FAIR, підготовлено методичні матеріали для навчання користувачів та нормативні документи для функціонування репозитарію. (С.Я. Свістунов, Ю.В. Гончар, В.В. Пелих)

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧНОЇ І МАТЕМАТИЧНОЇ ФІЗИКИ

Діяльність Кафедри теоретичної та математичної фізики (ТМФ) Київського академічного університету (КАУ) від початку її створення (2017) при Інституті теоретичної фізики (ІТФ) ім. М.М. Боголюбова Національної академії наук України спрямована на забезпечення навчання магістрів за науково-освітньою програмою «Теоретична та математична фізика», зокрема спецкурсами з новітніх напрямів фізики конденсованого стану, квантової оптики та квантової інформації, фізики високих енергій та інтегровних квантових систем, а також на підготовку студентів-теоретиків до вступу в магістратуру КАУ.

Працівники кафедри спільно з Науково-освітнім центром ІТФ та із залученням інших кафедр КАУ організовують щорічні літні та зимові школи з новітніх проблем теоретичної фізики для студентів та аспірантів, влаштовують факультативи з фізики та математики для студентів 1-го і 2-го курсів фізичних та математичних факультетів київських університетів. Зокрема, в 2023 році проведено такі заходи.

1. 27.11.2023. Цикл лекцій «Математичні основи машинного навчання» (онлайн). Лектори: Віталій Тимчишин, к.ф.-м.н., молодший науковий співробітник КАУ, молодший науковий співробітник ІТФ ім. М.М. Боголюбова НАН України.

2. 18.10.2023 – 20.12.2023. Цикл семінарів «Інстантони в калібрувальних теоріях та інтегровні системи». Лектори: Гамаюн Олександр, канд.фіз.-мат.наук, Гавриленко Павло, PhD. Організатори: OpenBITP, КАУ,

<https://www.youtube.com/watch?v=fE7wtGl9tfs&list=PLhljrtxvDhVhrRrU8FWFHiWTq60oBsAMo&index=8>

3. 04.05.2023 – 01.06.2023. Цикл семінарів «Планарні мережі, кластерні алгебри та рівняння q -Пенлеве». Лектор: Семенякін Миколай, PhD. Організатори: OpenBITP, КАУ,

<https://www.youtube.com/watch?v=5LqMhVnqbV8&list=PLhljrtxvDhVhrRrU8FWFHiWTq60oBsAMo&index=1>

4. 30.11.2023 – 01.11.2023. Цикл лекцій «Інструментарій машинного навчання» (онлайн). Лектори: Віталій Тимчишин, к.ф.-м.н., молодший науковий співробітник КАУ, молодший науковий співробітник ІТФ ім. М.М. Боголюбова НАН України.

5. 11.07.2013 – 13.07.2023. German-Ukrainian Mini-lecture-course “Basic Algorithms for Machine Learning”. Lecturer: Prof. Dr. Zohar Nussinov, Washington University, St. Louis, USA. Організатори: КАУ, ІТФ ім. М.М. Боголюбова НАН України.

6. 26.06.2023 – 30.06.2023. Літня школа з квантового машинного навчання. Організатори: КАУ, Трінті-коледж, Дублін, Ірландія, ІТФ ім. М.М. Боголюбова НАН України та Інститут математики НАН України.

7. 09.06.2023. Quantum Seminar «Optics and neural networks working together». Lecturer: Prof. Alex Lvovsky (University of Oxford, UK). Організатори: КАУ, ІТФ ім. М.М. Боголюбова НАН України.

8. 17.05.2023 – 19.05.2023. Студентська наукова школа-семінар «Комп’ютерна фізика ДНК». Організатори: ІТФ ім.М.М.Боголюбова НАН України і Кафедра теоретичної та математичної фізики КАУ.

9. 24.11.2023. Науковий Ідеатон «Наука: знайомство та практика досліджень». Організатори: КАУ, ІТФ ім. М.М.Боголюбова НАН України. В рамках заходу відбулися вебінари:

- «Дослідження нових матеріалів для адитивних технологій (3Д принтінг)», лектор – доктор тех.наук О. Згалат-Лозинський, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України;
- «Комп’ютерна біофізика: чи можна використовувати ДНК в літій-іонних акумуляторах?» лектор – доктор фіз.-мат. наук Сергій Перепелиця, ІТФ ім. М.М. Боголюбова НАН України.

10. 30.06.2013. Другий студентський науковий пікнік «Academ Open Air 2023». Організатори: КАУ, Інститут металофізики ім. В.Г. Курдюмова НАН України, ІТФ ім. М.М.Боголюбова НАН України, Інститут математики НАН України, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України.

11. 28.04.2023. Науково-популярний вебінар «Подвійна спіраль ДНК: від структури до нанобіотехнологій», лектор – доктор фіз.-мат. наук Сергій Перепелиця, ІТФ ім. М.М. Боголюбова НАН України. Організатори: Noosphere Engineering School, КАУ.

НАУКОВІ ПУБЛІКАЦІЇ

Монографії та підручники

1. Гусинін В.П., Горбар Е.В. **Вступ до квантової теорії калібрувальних полів**. Київ: Академперіодика, 2023, 488 с. doi.org/10.15407/akademperiodyka.487.488
2. Lev B.I. **Clifford Algebra, Geometrization of Interaction and Wave Function Presentation**, *chapter 11*. In book “Research and Applications Towards Mathematics and Computer Science”. eBook ISBN: 978-81-19491-73-5, 2023, vol. 4. doi.org/10.9734/bpi/ratmcs/v4/19749D
3. **Problems of theoretical physics. Scientific works**. Issue 5 (gen. ed. A.G. Zagorodny, N.F. Shulga, ed. issue 5. V.A. Buts) - Kharkiv: V.N. Karazin Kharkiv National University, 2023, 488 p. Ch. 1. Buts V.A., Zagorodny A.G. *Features of the dynamics of charged particles in electromagnetic fields*, pp. 16-102, Ch. 3. Slyusarenko O.Yu., Yu.V. Slyusarenko Yu.V., Zagorodny A.G. *The reduced description method in the kinetic theory of complex systems of identical particles*, pp. 183-268. https://www.researchgate.net/publication/376819035_PROBLEMS_OF_THEORETICAL_PHYSICS_5

Статей в журналах – 107:

українських – 23, іноземних – 84.

КОНФЕРЕНЦІЇ ТА СЕМІНАРИ

- Семінар “Проблеми теоретичної фізики”, присвячений пам’яті академіка Олексія Ситенка. Київ, 14 лютого 2023 р.
- Науковий семінар пам’яті П.І. Фоміна “Квантова теорія поля та космологія”. Київ, 4 липня 2023 р.
- Боголюбівські читання. Київ, 16-17 жовтня 2023 р.
- Семінар, присвячений пам’яті Миколи Івановича Григорчука, Київ, 14 листопада 2023 р.
- Засідання Київського біофізичного товариства. Київ, 7 грудня 2023 р.
- ХХІХ Давидовські читання з теоретичної фізики. Київ, 21 грудня 2023 р.

НАГОРОДИ ТА ВІДЗНАКИ ДЕРЖАВНІ НАГОРОДИ

Відзнака Головнокомандувача Збройних Сил України почесний нагрудний знак «Золотий Хрест»

провідний інженер Георгій Терсімонов

Премія імені М.М. Боголюбова Національної академії наук України

В.І. Герасименко (Інститут математики Національної академії наук України), **В.П. Гусинін** (Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова Національної академії наук України), А.А. Дороговцев (Інститут математики НАН України) За цикл праць «Еволюційні рівняння та їх застосування у квантових і стохастичних системах»

«За наукові досягнення»

чл.-кор. НАН України В.П. Гусинін,
д. ф-м.н., с.н.с. О.О. Єремко,
д. ф-м.н., с.н.с. О.В. Золотарюк

«За професійні здобутки»:

д. ф-м.н., с.н.с. М.З. Іоргов, к.ф.-м.н. Б.Є. Гринюк,
пр. редактор Л.І. Шмагайло

«За підготовку наукової зміни»

д. ф-м.н., проф. Є.С. Мартинов, д. ф-м.н., проф. О.К. Відибіда

Подяка Президії НАН України

к.ф.-м. н., с.н.с. А.С. Аккелін, к.ф.-м. н. М.І. Глушко, Л.О. Авраменко

Почесна Грамота Президії НАН України та ЦК профспілки

д. ф-м.н., с.н.с. О.А. Борисенко, д. ф-м.н., с.н.с. Ю.В. Скрипник,
д. ф-м.н., с.н.с. В.І. Тесленко, д. ф-м.н., ст. досл. Я.О. Золотарюк

**Нагороди
Інституту теоретичної фізики ім. М.М.Боголюбова
Національної академії наук України**

**Премія імені Олексія Ситенка
Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова
Національної академії наук України**

М.І. Горенштейн, Ю.М. Синюков, за цикл робіт “Флуктуації та кореляції в системі із сильною взаємодією”

**Премія імені Миколи Боголюбова для молодих вчених
Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова
Національної академії наук України**

А.В. Рудаковський, за цикл робіт “Нові обмеження на параметри темної матерії з астрофізичних і космологічних спостережень”

**Почесна грамота Інституту теоретичної фізики
ім. М.М. Боголюбова Національної академії наук України:**

*За вагомий особистий внесок в розвиток інституту та
з нагоди 75-річчя*

О.К. Відибіда

HIGH ENERGY PHYSICS

Using the method of molecular dynamics, the effect of the liquid-gas mixed phase on fluctuations in the number of particles was investigated. The metastable region of the mixed phase is modeled as a system of non-interacting clusters. Large fluctuations have been detected in the region of spinodal instability. (M.I. Gorenstein, R.V. Poberezhnyuk, O.V. Savchuk)

- Kuznietsov, V.A.; Savchuk, O.; Poberezhnyuk, R.V.; Vovchenko, V.; Gorenstein, M.I.; Stoecker, H., 2023. Molecular dynamics analysis of particle number fluctuations in the mixed phase of a first-order phase transition. *Phys. Rev. C* **107**, 055206. doi.org/10.1103/PhysRevC.107.055206

In a simple analytically solvable model of the thermal expansion system the two-boson momentum correlations were investigated with a fixed limitation of the particle number in proton-proton collisions at energies characteristic of the Large Hadron Collider. It is shown that an increase in the rate of expansion, as well as an increase in the multiplicity of particles, increases the contribution of the ground state to the momentum spectra of particles and leads to the suppression of the Bose-Einstein momentum correlation. These conclusions are directly related to the recently experimentally discovered dependence of the Bose-Einstein momentum correlation on the multiplicity. (Y.M. Sinyukov, M.D. Adzhimambetov, S.V. Akkelin)

- Adzhymambetov, M.D.; Akkelin, S.V.; Sinyukov, Yu.M., 2023. Quantum local-equilibrium state with fixed multiplicity constraint and Bose-Einstein momentum correlations. *Phys. Rev. D* **108**, 096030. doi.org/10.48550/arXiv.2307.16633

It is obtained an exact solution for a wide class of Polyakov loop models on a lattice in arbitrary dimensions with gauge groups $U(N)$ and $SU(N)$ in the limit when the number of colors (N) and the number of quark flavors (N_f) go to infinity. Analytical expressions for the shielding chromoelectric and chromomagnetic masses of gluons in the deconfinement phase have been obtained. It was found that in a certain range of parameters in the deconfinement phase, the correlation functions have an exponential decay modulated by the oscillatory functions. This means that the chromoelectric masses are complex. (O.A. Borisenko, V.O. Chelnokov, S.M. Voloshin)

- Alles, B.; Borisenko, O.; Papa, A., and Voloshyn, S., 2023. Lattice gauge theories in the strong coupling and static limits as a sign-problem-free Ising model. *Phys. Rev. D* **108**, 054505. doi.org/10.1103/PhysRevD.108.054505

A model of the star as a system of pi-mesons in the Bose condensate state is formulated. It is calculated mass-radius ratios for the pi-meson part and parameters of its lepton environment. (M.I. Gorenstein, O.V. Savchuk).

- Stashko, O.S.; Savchuk, O.V.; Gorenstein, M.I. et al, 2023. Pion stars embedded in neutrino clouds. *Phys. Rev. D* **107**, 114025. doi.org/10.1103/PhysRevD.107.114025

A dual representation for $SU(N)$ gauge theories with dynamical quarks is constructed. This representation has been used for numerical Monte Carlo simulations of the effective Polyakov loop model at finite baryon density. Various local observables such as energy density, baryon density, quark condensate have been calculated and the phase diagram of the model has been detailed. (O.A. Borisenko, S.M. Voloshin).

- Alles, B.; Borisenko, O.; Papa, A., and Voloshyn, S., 2023. Lattice gauge theories in the strong coupling and static limits as a sign-problem-free Ising model. *Phys. Rev. D* **108**, 054505. doi.org/10.1103/PhysRevD.108.054505

Two mysterious femtoscopic observations in collisions of ultrarelativistic heavy ions are considered in detail. First, it is the proximity of the maximum times of pion emission at completely different collision energies: from the highest energies of RHIC to the upper energies of LHC. Another paradoxical effect is that, despite the rather long duration of the post-hydrodynamic cascade stage, the observed times of maximum emission are close to the times of particleization – the transformation of the quark-gluon liquid into hadrons. A detailed analysis of the features of the hydrodynamic evolution of the system at different energies of the colliding nuclei and the structure of the emission function of pions and kaons in the hadronic stage elucidates these paradoxical results. (Y.M. Sinyukov, M.D. Adzhimambetov, V.M. Shapoval)

- Sinyukov, Yuri; Shapoval, Volodymyr; Adzhymambetov, Musfer; 2023. Space–Time Structure of Particle Emission and Femtoscopy Scales in Ultrarelativistic Heavy-Ion Collisions. *Universe* **9**(10), 433. doi.org/10.3390/universe9100433

Using the path integral formalism in field theory at finite temperature, steady vector and axial currents generated in quantum chiral fermionic systems were determined. The role of the explicit violation of chiral symmetry caused by the mass of fermions is considered. For quantum fermionic systems in the presence of an arbitrary background smooth magnetic field it is shown that the chiral magnetic effect manifests itself at

almost the same level as the effect of chiral separation. Both effects remain unchanged when chiral symmetry is broken by mass. (Cor.-member of the NAS of Ukraine Yu.A. Sitenko)

- Sitenko, Yu.A., 2023. Path integral formalism for finite-temperature field theory and generation of chiral currents. *Prepr. arXiv:2303.02145*[hep-th], 27 p. doi.org/10.48550/arXiv.2303.02145

The influence of attraction and repulsion interactions on the thermodynamic properties of the system of the Bose particles, in particular on the possibility of Bose condensate formation, was studied. It is shown that under “weak” attraction, the boson system has a phase transition of the second order, and under “strong” attraction, the system forms a Bose condensate during a phase transition of the first order. It was concluded that such condensate states cannot be described by a large canonical ensemble, where a certain non-zero value of charge corresponds to a non-zero value of the chemical potential. When the system is in the condensate phase, the impossibility to use the chemical potential as a free thermodynamic variable is explained by the fact that the chemical potential must be written in the condition of condensate formation, and therefore its values are fixed. (D. Anchishkin, D.V. Zhuravel)

- Anchishkin, D.; Gnatovskyy, V.; Zhuravel, D.; Karpenko, V.; Mishustin, I.; Stoecker, H., 2023. Phase Transitions in the Interacting Relativistic Boson Systems. *Universe* **9**, 411. doi.org/10.3390/universe9090411

THEORY OF NUCLEI AND NUCLEAR REACTIONS

A new basis for variational calculations of bound states of a system of several particles is proposed. For a system of N particles with pair interaction potentials the matrix elements of the Hamiltonian of the system are obtained in an explicit form. A modified basis invariant with respect to spatial translations is also considered. For example, the ^{12}C nucleus was considered as a three-particle system and the convergence of the method was investigated. (B.E. Grinyuk)

- Gryniuk, O.B.; Grinyuk, B.E., 2023. Universal coordinate Gaussian basis for calculations of the bound states of a few-particle systems. *Ukr. J. Phys.* **68** (9), 587. doi.org/10.15407/ujpe68.9.587

Within the framework of the microscopic multicluster and multichannel model, a theoretical analysis of a number of nuclear reactions

relevant to the lithium cosmological problem and for which new experimental data have recently been obtained has been carried out. In particular, the nuclear reactions generated by the collision of deuterons with ${}^7\text{Li}$ and ${}^7\text{Be}$ nuclei were considered. The calculations were carried out within the framework of the algebraic version of the resonant group method, which uses realistic wave functions of nuclei both in the input and output channels of the considered nuclear reactions. It was established that the reactions mainly occur in those states in which a head-on collision of $d+{}^7\text{Li}$ and $d+{}^7\text{Be}$ nuclei is possible. It is shown that the calculated astrophysical S-factors of the reactions agree quite well with the existing experimental data, and predict their behavior in the range of energies that dominated in the first seconds of our universe, when the first period of the synthesis of light nuclei began. (Yu.A. Lashko, V.S. Vasilevsky, V.I. Zhaba)

- Lashko, Y., Vasilevsky, V. & Zhaba, V., 2024. Many-Channel Microscopic Model for Resonance Structure in ${}^9\text{Be}$ and ${}^9\text{B}$: Astrophysical Insights. *Few-Body Syst* **65**, 14. <https://doi.org/10.1007/s00601-024-01881-w>

MATHEMATICAL METHODS IN THEORETICAL PHYSICS

The consequences of the new μ -deformed generalization of the Heisenberg algebra for the coordinate and momentum operators obtained from the Bose-condensate model of dark matter under the condition of matching two μ -deformed analogues of the Lane–Emden equation with the same solution, which provides an improved description of the density profile, are studied. A generalized uncertainty ratio for the μ -deformed algebra is derived, which becomes known for $\mu=0$, and it is shown that it depends on the states of the system and leads to a quartet of maximum and minimum lengths and momenta. Their values, as well as the temperature fluctuation, were obtained for the dark matter halo of a number of dwarf galaxies. (A.M. Gavrilik, A.V. Nazarenko)

- Gavrilik, A.M.; Kachurik I.I.; Nazarenko, A.V., 2023. New deformed Heisenberg algebra from the μ -deformed model of dark matter. *Frontiers in Astron. & Space Sciences* **10**, 1133976 (10 pages). doi.org/10.3389/fspas.2023.1133976

Within the framework of the model of ultralight axion-like dark matter with periodic self-activity the existence of rarefied and dense phases of the Bose–Einstein condensate was revealed, describing the core of the dark matter halo of dwarf galaxies. This is due to two independent solutions of

the Gross–Pitaevsky equation with the same model parameters. On the basis of the Feshbach resonance theory for quantum mechanical scattering of a pair with two channels (closed and open), a long-lived two-particle composite – a dimer – with a lifetime of millions of years is described, which enables it to participate in the formation of dark matter structures. Taking into account the additional (open) channel explains the empirically different values of the scattering length in the dark matter of different galaxies, but requires additional study of the internal structure of dark matter particles. (A.M. Gavrilik, A.V. Nazarenko)

- Gavrilik, A.M.; Nazarenko, A.V., 2023. Axionlike Dark Matter Model Involving Two-Phase Structure and Two-Particle Composites (Dimers). *Phys. Rev. D* **108**(12), 123030. doi.org/10.1103/PhysRevD.108.123030

It is described the dependence of the three-zone structure consisting of a plane and two dispersive (upper and lower) zones for a one-dimensional Hamiltonian with pseudospin 1 and a three-component potential on the configuration of these components, each of which is a constant value. In the case when the components of this potential have a rectangular shape, it is proved that the discrete spectrum of bound states depends crucially on the configuration of the rectangular components. It is shown that this spectrum can be one of four characteristic types that are fundamentally different. For each type, point-to-point interactions defined by the corresponding connection matrices are constructed. (Cor.-member of the NAS of Ukraine V.P. Gusynin, O.O. Zolotaryuk, Y.O. Zolotaryuk)

- Zolotaryuk, A.V.; Zolotaryuk, Y.; Gusynin, V.P., 2023. Bound states and point interactions of the one-dimensional pseudospin-one Hamiltonian. *J. Phys. A: Math. Theor.* **56**, 485303. <https://doi.org/10.1088/1751-8121/ad075e>

Exact analytical expressions for the asymptotics of the correlation function of the anion model at long distances and times in the space-like and time-like domains were obtained. It was found that in the time domain, the curvature of the spectrum plays a significant role and changes the asymptotic behavior from a pure exponential decay to an exponential decay modified by a power-law prefactor. (O. Gamayun, N. Iorgov, Yu. Zhuravlev)

- Zhuravlev, Yu.; Naichuk, E.; Iorgov, N.; Gamayun, O., 2022. Large-time and long-distance asymptotics of the thermal correlators of the impenetrable anyonic lattice gas. *Phys.Rev. B* **105**, 085145. doi.org/10.1103/PhysRevB.105.085145

A modified Bethe ansatz was constructed for Gaudin-type elliptic models in an external magnetic field associated with non-skewed elliptic r -matrices. In terms of the solutions of the modified Bethe equations, a spectrum of the corresponding Hamiltonians of Gaudin-type models was found. The obtained results are applied to the diagonalization of the quantum Hamiltonians of the anisotropic Euler spindle, the Zhukovsky-Wolter spindle, the Steklov and Rubanovsky spindle, as well as the fermionic Hamiltonian of the generalized BCS-Richardson model. (T.V. Skrypnyk)

- Skrypnyk, T., 2023. Elliptic Gaudin-type model in an external magnetic field and modified algebraic Bethe ansatz. *Nuclear Phys. B* **988**, 116102. doi.org/10.1016/j.nuclphysb.2023.116102

An approach to the geometric description of elementary particles is proposed. The nature of supersymmetry is explained and the mechanism of spontaneous symmetry breaking of a system with different degrees of freedom is proposed. This approach more fully reflects the main idea of geometrization of interaction, which is the basis of field theory. (Acad. of the NAS of Ukraine B.I. Lev)

- Lev, B., 2023. Supersymmetry in the Geometric Representation of the Early Universe Wave Function. *Journal of Modern Physics* **14**(6), 777-789. [DOI: 10.4236/jmp.2023.146044](https://doi.org/10.4236/jmp.2023.146044)
- Lev, B.I., 2023. Clifford Algebra, Geometrization of Interaction and Wave Function Presentation. In book *Research and Applications Towards Mathematics and Computer Science, Vol. 4*, pages 131-162. eBook ISBN: 978-81-19491-73-5. doi.org/10.9734/bpi/ratmcs/v4/19749D

NANOPHYSICS, PHYSICS OF LOW-DIMENSIONAL SYSTEMS

The formalism of reduced quantum electrodynamics is generalized to the case of heterostructures consisting of several atomic layers, and the corresponding effective (2+1)-dimensional gauge theory is formulated. This theory describes the dynamics of charged fermions in N planes and contains N vector fields with the Maxwell action modified by nonlocal form factors. Explicit formulas for the shielded electromagnetic interaction in the case of two and three layers are obtained taking into account the polarization function. For a heterostructure with two layers, the generation of a dynamic gap of the exciton type in the energy spectrum of quasi-particle excitations was investigated. It was found that the additional

shielding due to the second layer increases the value of the critical coupling constant for gap generation compared to the corresponding coupling constant in graphene. (Cor.-member of the NAS of Ukraine V.P. Gusynin, E.V. Gorbar)

- Gorbar, E.V.; Gusynin, V.P.; Parymuda, M.R., 2023. Reduced QED with Few Planes and Fermion Gap Generation. *Entropy* **25**(9), 1317-1332. <https://doi.org/10.3390/e25091317>

The dependence of the thermodynamic parameters of a strongly non-equilibrium system on the non-equilibrium indicators in coherently correlated states is given. The dielectric permittivity in the non-equilibrium system and the modes of plasma-acoustic oscillations are estimated. The temperature of the superconducting transition in non-equilibrium conditions is estimated and it is shown that the temperature of the superconducting transition can approach the limiting value corresponding to a quantum with the natural plasma frequency of the medium. (S.P. Kruchinin)

- Kruchinin, S.P.; Eglitis R.I.; Novikov, V.E.; Oleś, A.M.; Wirth, S., 2023. Control of Strongly Nonequilibrium Coherently Correlated States and Superconducting Transition Temperature. *Symmetry* **15**(9), 1732. doi.org/10.3390/sym15091732

It is shown that the previously introduced new invariant of the Dirac equation with the Coulomb potential, supplementing the Dirac and Johnson-Lippmann invariants, forms an algebra with them, which made it possible to solve this equation by an algebraic method. It is established that different solutions of the equation are different representations of the algebra of spinor invariants. On the basis of the group-theoretic approach using this algebra, the connection between different representations was established and all the properties of the general solution of the Dirac equation were obtained purely algebraically. The hidden SU(2)-symmetry is indicated – the rotation invariance in the Hilbert space of all eigenstates of the Dirac equation. (L.S. Brizhik, A.A. Eremko, Acad. of the NAS of Ukraine V.M. Loktev)

- Eremko, A.; Brizhik, L.; Loktev, V., 2023. Algebra of the spinor invariants and the relativistic hydrogen atom. *Annals of Physics* **451**, 169266. doi.org/10.1016/j.aop.2023.169266

An integrated nonlinear dynamic system of intranodal excitations and lattice oscillations with a calibration-like mechanism of interaction between subsystems on a regular one-dimensional chain has been studied. It is shown that, depending on the ratio between two physically different

spatial scale parameters, the system is able to demonstrate three qualitatively different modes of dynamic behavior, namely, the monopole mode, the dipole mode, and the threshold mode, in which one of the pseudo-exciton components disappears, and the other turns into a pseudo-exciton without charge fashion. (O.O. Vakhnenko)

- Vakhnenko, O.O.; Vakhnenko, V.O., 2023. Dipole–monopole criticality and chargeless half mode in an integrable gauge-coupled pseudoexciton–phonon system on a regular one-dimensional lattice. *Phys. Rev. E* **108**(02), 024223 (8 pages). doi.org/10.1103/PhysRevE.108.024223

Within the framework of the Green function formalism, the π -electron spectra of polyparaphenylene and polynaphthalene oligomers, which are the basic units for the construction of chair-like and chiral $(2m,m)$ nanoribbons of arbitrary width, have been found, analyzed and compared. In particular, it is shown that the spectrum of polynaphthalene, unlike polyparaphenylene, includes localized states. (L.I. Malysheva)

- Malysheva, L., 2023. Electronic structure of conjugated oligomers that are building blocks for achiral and chiral graphene nanoribbons. *Chem. Phys. Lett.* **836**, 141048. doi.org/10.1016/j.cplett.2023.141048

The spectrum of spin waves propagating along a skyrmion string in the presence of a spin-polarized current flowing along this string was obtained. It is shown that the presence of a spin-polarized current leads to the instability of the skyrmion string. For an ideal magnet of infinitely large dimensions, the effect of the appearance of instability is thresholdless and occurs for an arbitrarily small current. (V.P. Kravchuk)

- Okumura S., Kravchuk V.P., Garst M., 2023. Instability of Magnetic Skyrmion Strings Induced by Longitudinal Spin Currents. *Phys. Rev. Lett.* **131**, 066702. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.131.066702>

SOFT MATTER PHYSICS

The mechanism of kinetic cooperativity of monomeric enzymes was studied. Strict criteria for positive cooperativeness and its sigmoidal version have been established. It is shown that the degree of cooperativity is particularly sensitive to the rates and direction of exchange between the conformational states of the free enzyme. However, no need for “kinetic resonance”, declared recently, was found. In general, models with discrete conformational states provide a qualitative understanding of the nature of kinetic cooperativity, but

they are hardly suitable for the quantitative description of real enzymatic reactions of enzymes, as shown in the case of glucokinase. (L.N. Christophorov)

- Christophorov, L.N., 2023. On the minimal model of kinetic cooperativity. The case of glucokinase. *Ukr. J. Phys.* **68**(10), 684. doi.org/10.15407/ujpe68.10.684

Within the framework of the molecular dynamics simulations, the conformational space of natural polyamine molecules, interacting with the DNA double helix was studied. In particular, the system of DNA with spermidine³⁺ molecules has been analyzed. The results showed that conformations of the spermidine³⁺ molecule (over 2000) can be classified into seven conformational modes. DNA macromolecule strongly influence the relative population of conformational states of polyamines, in particular two of the seven conformational modes of the spermidine³⁺ molecule appear only in complex with DNA. Interacting with DNA, the spermidine³⁺ molecules can significantly bend, inducing local conformational changes in the double helix. The obtained results are important for understanding the role of natural polyamines in the mechanisms of DNA biological functioning. (S.M. Perepelytsya)

- Perepelytsya, S.; Vasiliu, T.; Laaksonen, A.; Engelbrecht, L.; Brancato, G.; Mocci, F., 2023. Conformational flexibility of spermidine³⁺ interacting with DNA double helix. *Journal of Molecular Liquids* **389**, 122828. doi.org/10.1016/j.molliq.2023.122828

Normal fluctuations of the internal degrees of freedom (Higgs and Goldstone modes) of three-band superconductors were obtained, taking into account both the internal proximity effect and the intergradient interaction. The spectrum of in-phase Higgs oscillations was obtained, and it was shown that, unlike oscillations in single-band superconductors, they can be stable (K.V. Grigorishin)

- Grigorishin, K.V., 2023. Collective excitations in three-band superconductors. *Condensed Matter Physics* **26**(2), 23702: 1–21. doi.org/10.5488/CMP.26.23702

A new formula for the concentration of the smell was obtained, in which the increase in the selectivity of the olfactory receptor neuron due to fluctuations will be the highest.

The influence of inhibitory autopsy on the activity of neurons is analytically described. Conditions are formulated for a set of non-adaptive models of impulse neurons with delayed inhibitory feedback, instead of considering a specific neuron model. The neuron is stimulated by a

stochastic point process of restoration of excitatory impulses. The probability density function (PDF) $p(t)$ of the output inter-spike intervals (ISIs) of such a neuron is determined exactly without any approximations. It is expressed in terms of the ISIs PDF for the recovery input and the ISIs PDF for the same neuron without any feedback. The obtained results are applied to a subset of neural models with a threshold of 2, when the time intervals between input pulses are distributed according to the Erlang-2 distribution. In this case, we have clearly found the model-independent initial part of the ISI PDF $p(t)$, defined in some initial interval $[0;T_2]$ of ISI values. (A.K. Vidybida, O.V. Shchur)

- Shchur, O.V.; Vidybida, A.K., 2023. Distribution of Interspike Intervals of a Neuron with Inhibitory Autapse Stimulated with a Renewal Process. *Fluctuation and Noise Letters* **22**(01), 2350003. doi.org/10.1142/S0219477523500037

Computer simulations and an approach based on the backtracking of sample plasma particles were used to simulate the interaction of the Ganymede satellite with the plasma flow in the Jupiter magnetosphere and ion precipitation on the surface of Ganymede. Maps of H^+ , O^+ , S^{+++} ion deposition on the surface corresponding to different particle energies were obtained. The existence of a shielded equatorial region on Ganymede is shown. At low particle energies, Ganymede's magnetosphere can partially shield the equatorial surface from impacting ions and thus deflect them toward the poles. In general, the polar regions are more accessible to the influence of particles, since there are open lines of force of the magnetic field at the poles of the satellite. (A.P. Fomina)

- Khelemelia, O.V.; Fomina, A.P.; Novak, O.P.; Kholodov, R.I., 2023. Modeling the interaction of Jupiter's magnetospheric plasma ions with satellite. *Problems of Atomic Science and Technology* № **4(146)**, 117-120. doi.org/10.46813/2023-146-117

The model of the influence of plasma effects on the formation of vortices near the poles of the planets is considered. The plasma flow is controlled by the magnetic field and affects mainly the poles of the planets along the converging lines of force of the magnetic field. At the same time, the electron flow is compressed. There is a relative transverse polarization of ion and electron flows, with a crossed configuration of electric transverse and longitudinal/vertical magnetic fields. It was studied how relative drift and imbalances affect the formation of vortices. The mechanism of the formation of vortex structures was studied using the example of Jupiterian auroral processes, in particular, within the

framework of the interaction between Io and Jupiter. The dynamics of vortices in the configuration of electric and magnetic fields is described. It is shown how the movement of vortices depends on the occurrence of electron density disturbances. (A.P. Fomina)

- Maslov, V.I.; Cassé, M.; Cheremnykh, O.K.; Fomina, A.P.; Grasso, D.; Kholodov, R.I.; Novak, O.P.; Ovsianikov, R.T., 2023. Structures of vortexes near the poles of planets of the solar system. *Problems of Atomic Science and Technology*, № 4(146), 113-116. doi.org/10.46813/2023-146-113

An analysis of Betti curves was carried out depending on the redshift. It is shown that the Wasserstein distance between persistence diagrams for one-dimensional homologies can be used to estimate the difference in σ_8 between two universe simulations. The dependence of the shape of Betti curves on redshift was studied. (V.B. Tymchyshyn)

- Tsizh, M.; Tymchyshyn, V.; Vazza, F., 2023. Wasserstein distance as a new tool for discriminating cosmologies through the topology of large-scale structure. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 522(2), 2697-2706. <https://doi.org/10.1093/mnras/stad1121>

ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY

The properties of the radiation in the Lyman-alpha line of hydrogen in nine nearby galaxies with the lowest known content of chemical elements heavier than helium according to Hubble Space Telescope observations were studied. These galaxies are considered the best local analogues of the dwarf galaxies that existed in the early universe during the secondary ionization epoch, when its age was less than 10 percent of its present age. In seven of the nine studied galaxies, a strong and narrow Lyman-alpha emission line is observed, that probably indicates a large loss of ionizing radiation, which goes beyond the boundaries of these galaxies into the intergalactic medium and causes its ionization. The results of this study are a strong argument in favor of the fact that dwarf galaxies with active star formation were the main source of secondary ionization of the Universe. (Acad. of the NAS of Ukraine Y.I. Izotov, N.G. Guseva)

- Izotov, Y.I.; Thuan, T.X.; Guseva, N.G.; Schaerer, D.; Worseck, G.; Verhamme, A., 2024. Ly α emission in low-redshift most metal-deficient compact star-forming galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 527, 281–297. doi.org/10.1093/mnras/stad3151

It is shown that a large class of modified gravity theories with the Lagrangian $f(R)$ corresponds to scalar field models with hill or plateau type potentials in the Einstein system. In such models, gravity can asymptotically disappear for infinite or large finite values of the scalar curvature. A universe evolving toward zero curvature is the universe corresponding to an observable universe evolving toward asymptotically vanishing gravity, which will either encounter the Big Dipper singularity or be eternally inflating. (Yu.V. Shtanov)

- Shtanov, Y.; Sahni, V.; Mishra, S.S., 2023. Tabletop potentials for inflation from $f(R)$ gravity. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* **03**, article id. 023 (31 pages). doi.org/10.1088/1475-7516/2023/03/023

The modern problem with the definition of the Hubble constant, the “third” one from a historical point of view, is analyzed within the framework of a quantum cosmological approach based on the quantum formalism of the Bohm potential. It is established that a term appears in the expression for the total energy density, which introduces a new element into the standard cosmological model. An additional component of the energy density, which is of quantum origin, may act similarly to early dark energy, changing the rate of the early expansion of the universe before recombination, leaving its late evolution unchanged. A characteristic feature of the proposed cosmological model is the presence in it of a “rest period” (similar to the Lemaitre and Eddington-Lemaitre models) in the era of equal contributions of matter and radiation, during which the change in the scale factor slows down. (V.E. Kuzmichev, V.V. Kuzmichev)

- Kuzmichev, V.E.; Kuzmichev, V.V., 2024. The Hubble tension from the standpoint of quantum cosmology. *Eur. Phys. J. C* **84**, 121. <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-12490-6>

QUANTUM OPTICS

The theory of photodetection for the resonator mode using a Josephson photomultiplier is constructed. It has been demonstrated that such a device has a high degree of discrimination between the numbers of photons, which opens up ways of using it in the latest quantum technologies. (A.A. Semenov, E.V. Stolyarov).

- Semenov, A.A.; Samelin, J.; Boldt, Ch.; Schünemann, M.; Reiher, C.; Vogel, W.; Hage, B., 2024. Photocounting measurements with dead time and afterpulses in the continuous-wave regime. *Phys. Rev. A* **109**, 013701. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.109.013701>

- E. Stolyarov, V.; Kliushnichenko, O.V.; Kovtoniuk, V.S.; Semenov, A.A., 2023. Photon-number resolution with microwave Josephson photomultipliers. *Phys. Rev. A* (Accepted to publication). doi.org/10.48550/arXiv.2310.05604

PLASMA PHYSICS

The kinetic theory of large-scale electric fluctuations in a collisional weakly ionized dusty plasma is formulated with due regard to the grain charging dynamics. The dependencies of the charging frequencies and effective collision frequencies for electrons and ions on dusty plasma parameters are studied in detail. To describe resonant properties of collective fluctuations, the analysis of the ion-acoustic wave spectrum in dusty plasmas is presented for a wide range of ion collisions for both non-isothermal and isothermal plasmas. The electron density correlation spectra are calculated for various values of the grain density, grain size, and ion collisionality. (Acad. of the NAS of Ukraine A.G. Zagorodny)

- Buts, V.A.; Zagorodny, A.G., 2023. Features of New Cyclotron Resonances, as well as Conditions for Resonant Acceleration of Charged Particles in a Vacuum without a Magnetic Field. *Problems of Atomic Science and Technology*, №4(146), 3-7. doi.org/10.46813/2023-146-003
- Buts, V.A.; Zagorodny, A.G., 2023. New resonances in wave-particle interactions. *Physics of Plasmas* **30**(8), 082301. doi.org/10.1063/5.0143202

MATHEMATICAL MODELING

A new mathematical method of constructing equivalent martingale measures to the original measure for the evolution of risk assets that has memory and takes into account the phenomenon of clustering has been developed. A theorem on the integral representation for them in terms of a set of point martingale measures is established. It was found the formulas for the fair price of the superhedge for put and call options. The theorem on the invariance of a set of equivalent martingale measures with respect to a certain class of transformations is proved, that makes it possible to build models of financial markets. (N.S. Gonchar)

- Gonchar, N.S., 2023. Risk Hedging in Financial Market. *London Journal of Research in Science: Natural and Formal* **23**(4), Compilation 10, 18-106. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

The principles of sustainable economic development of economic systems at the macroeconomic level are formulated. The theorem on the necessary and sufficient conditions for the functioning of economic

systems with strictly positive added value for the production model “expenditure – output” has been established. A formula for the probability of functioning of economic systems with strictly positive added value for the production model “costs – output” has been found. (N.S. Gonchar)

- Gonchar, N.S., 2023. Mathematical Foundations of Sustainable Economy Development. *Advances in Pure Mathematics* **13**, 369-401. doi.org/10.4236/apm.2023.136022

COMPUTER SUPPLY OF SCIENTIFIC RESEARCH

The reliable operation of computing and cloud clusters in the Center for Collective Use “Resource Center for Grid and Cloud Technologies” at the Bogolyubov Institute of Theoretical Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine has been provided within the project “Support of the Basic Coordination Center and the Regional Grid Operation Center at the Bogolyubov Institute of Theoretical Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine and the development of grid-cloud services to ensure their reliable functioning”. The OpenStack software has been updated on the UA-BITP cloud site; a cloud cluster for user support was put into operation and included in the European cloud infrastructure with the support of the European Open Science Cloud.

In the framework of the scientific project “Creating an Open Data Repository” the open data of the National Academy of Sciences of Ukraine, DataverseUA, has been installed and prepared for test operation of the repository. The repository contains data sets in accordance with FAIR principles. Moreover, it is prepared the methodological materials for user training as well as regulatory documents for the functioning of the repository. (S.Ya. Svistunov, Yu.V. Gonchar, V.V. Pelykh)

DEPARTMENT OF THEORETICAL AND MATHEMATICAL PHYSICS

The Department of Theoretical and Mathematical Physics (TMP) of Kiev Academic University (KAU) from the beginning of its creation in 2017 at the Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine (BITP) provides magister studies under the scientific and educational program “Theoretical and Mathematical Physics” within specific courses on condensed-matter physics, quantum

optics and quantum information, high-energy physics, and integrable quantum systems, as well as the training of students-physicists to continue their studies to get master's degree at the KAU.

The TMP Department and the BITP Center involving other KAU departments organize annual Summer and Winter schools on the newest problems of theoretical physics for students and postgraduate students, provide special subjects in physics and mathematics for the first-year and second-year students of physical and mathematical departments of Kiev universities.

In particular, the following events have been organized in 2023.

1. 27.11.2023. Series of lectures “Mathematical Foundations of Machine Learning” (online). Lecturer: V. Tymchyshyn, PhD, junior research fellow of KAU and BITP.

2. 18.10.2023 – 20.12.2023. Series of lectures “Instantons in Gauge Theories and Integrable Systems”. Lecturers: O. Gamayun, PhD; P. Gavrylenko, PhD. Organizers: OpenBITP, KAU

(<https://www.youtube.com/watch?v=fE7wtGl9tfs&list=PLhljrtxvDhVhrRrU8FWFHiWTq60oBsAMo&index=8>)

3. 04.05.2023 – 01.06.2023. Series of lectures “Planar Networks, Cluster Algebras and Equations q-Penlevé”. Lecturer: M. Semeniakin, PhD. Organizers: OpenBITP, KAU

(<https://www.youtube.com/watch?v=5LqMhVnqbV8&list=PLhljrtxvDhVhrRrU8FWFHiWTq60oBsAMo&index=1>)

4. 30.11.2023 – 01.11.2023. Series of lectures «Tools of Machine Learning» (online). Lecturer: V. Tymchyshyn, PhD, junior research fellow of KAU and BITP.

5. 11.07.2013 – 13.07.2023. German-Ukrainian Mini-lecture-course “Basic Algorithms for Machine Learning”. Lecturer: Prof. Dr. Zohar Nussinov, Washington University, St. Louis, USA. Organizers: KAU and BITP.

6. 26.06.2023 – 30.06.2023. Summer School on Quantum Machine Learning. Organizers: KAU, Trinity Colledge Dublin, Ireland, BITP and Institute of Mathematics of NANU.

7. 09.06.2023. Quantum Seminar “Optics and Neural Networks Working Together”. Lecturer: Prof. Alex Lvovsky (University of Oxford, UK). Organizers: KAU and BITP.

8. 17.05.2023 – 19.05.2023. Student Scientific School-Seminar “Computer Physics of DNA”. Organizers: BITP and TMP of KAU.

9. 24.11.2023. Scientific Ideaton “Science: Acquaintance and Research Practice”. Organizers: KAU and BITP. The following webinars within this event have been held:

- “Research of New Materials for Additive Technologies (3D printing)”. Lecturer: O. Zgalat-Lozinskyi, Dr., Frantsevich Institute for Problems of Materials, NASU.
- “Computational Biophysics: Can DNA be used in Lithium-Ion Batteries?”. Lecturer: S. Perepelytsya, Dr., BITP.

10. 30.06.2013. The Second Student Scientific Picnic “Academ Open Air 2023”. Organizers: KAU, BITP, G. V. Kurdyumov Institute for Metal Physics of NASU, Institute of Mathematics of NASU, Frantsevich Institute for Problems of Materials, NASU.

11. 28.04.2023. Popular Science Webinar “The DNA Double Helix: from Structure to Nanobiotechnology” Lector: S. Perepelytsya, Doctor of phys.-math. sci., BITP. Organizers: Noosphere Engineering School, KAU.

SCIENTIFIC PUBLICATIONS

Books

1. Гусинін В.П., Горбар Е.В. **Вступ до квантової теорії калібрувальних полів** // Київ: Академперіодика, 2023, 488 с. doi.org/10.15407/akademperiodyka.487.488
2. Lev B.I. **Clifford Algebra, Geometrization of Interaction and Wave Function Presentation. Chapter 11.** In: Research and Applications Towards Mathematics and Computer Science, vol. 4, 131-162, 2023, doi.org/10.9734/bpi/ratmcs/v4/19749D
3. **Problems of theoretical physics. Scientific works.** Issue 5 (gen. ed. A.G. Zagorodny, N.F. Shulga, ed. issue 5. V.A. Buts) - Kharkiv: V.N. Karazin Kharkiv National University, 2023, 488 p. Ch. 1. Buts V.A., Zagorodny A.G. *Features of the dynamics of charged particles in electromagnetic fields*, pp. 16-102, Ch. 3. Slyusarenko O.Yu., Yu.V. Slyusarenko Yu.V., Zagorodny A.G. *The reduced description method in the kinetic theory of complex systems of identical particles*, pp. 183-268. https://www.researchgate.net/publication/376819035_PROBLEMS_OF_THEORETICAL_PHYSICS_5

Papers in Journals: 107:

Ukrainian journals – 23, International journals – 84.

CONFERENCES & SEMINARS

- Seminar "Problems of theoretical physics", dedicated to the memory of Academician Oleksiy Sitenko. Kyiv, February 14, 2023.
- P.I. Fomin Memory Seminar "Quantum Field Theory and Cosmology". Kyiv, July 4, 2023.
- Bogolyubov Readings. Kyiv, October 16-17, 2023.
- M.I. Grygorchuk Memory Seminar. Kyiv, November 14, 2023.
- Meeting of the Kyiv Biophysical Society. Kyiv, December 7, 2023.
- XXIX Davydov Readings. Kyiv, December 22, 2023.

PRIZES AND AWARDS

STATE AWARDS

Honorary Breast Badge of the Commander-in-Chief of the Armed Forces of Ukraine – "Golden Cross"

Georgy Tersimonov, Leading Engineer

M.M. Bogolyubov Prize of the National Academy of Sciences of Ukraine

V.I. Gerasimenko (Institute of Mathematics of the National Academy of Science of Ukraine), **V.P. Gusynin** (Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of the National Academy of Science of Ukraine), A.A. Dorogovtsev (Institute of Mathematics of the National Academy of Science of Ukraine) for the series of works *За цикл праць «Evolutionary equations and their application in quantum and stochastic systems»*

Honor "For scientific achievements"

V.P. Gusynin, Correspondent Member of NASU, A.A. Eremko, Dr., A.V. Zolotaryuk, Dr.

Honor "For professional achievements"

N.Z. Iorgov, Dr., B.E. Grinyuk, PhD, L.I. Shmaghailo, Leading Editor

Honor "For the training of young scientists"

Ye.S. Martynov, Dr. O.K. Vidybida, Dr.

*Thanks from the Presidium of the National Academy of Sciences of
Ukraine*

S.V. Akkelin, PhD, M.I. Glushko, PhD, L.O. Avramenko

*Honorary Diploma from the Presidium of the National Academy of
Sciences of Ukraine and the Trade Union Central Committee*

O.A. Borisenko, Dr., YU.V. Skrypnyk, Dr., V.I. Teslenko, Dr.,
YA.O. Zolotaryuk, Dr.

AWARDS

**of the Bogolyubov Institute for Theoretical Physics
of the National Academy of Sciences of Ukraine**

Oleksiy Sytenko Prize

**of the Bogolyubov Institute for Theoretical Physics
of the National Academy of Sciences of Ukraine**

M.I. Gorenstein, Yu.M.Sinyukov, for the series of works “Fluctuations and correlations in strongly interacting systems”

**Bogolyubov Prize for Young Scientistis
of the Bogolyubov Institute for Theoretical Physics
of the National Academy of Sciences of Ukraine**

A.V. Rudakovskiyi for the series of works “New constraints on dark matter parameters from astrophysical and cosmological observations”

Редактори
З.І. Вахненко, С.М. Перепелиця