

**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 2022 РОЦІ**

**TOPMOST SCIENTIFIC RESULTS 2022  
OF THE BOGOLYUBOV INSTITUTE  
FOR THEORETICAL PHYSICS  
OF THE NATIONAL ACADEMY  
OF SCIENCES OF UKRAINE**

**Київ 2023**

## ЗМІСТ

Фізика високих енергій .....	3
Теорія ядра та ядерних реакцій .....	4
Математичні методи в теоретичній фізиці .....	6
Нанофізика, фізика низьковимірних систем .....	6
Фізика м'якої речовини .....	10
Астрофізика та космологія .....	12
Квантова оптика .....	13
Фізика плазми .....	14
Математичне моделювання .....	14
Комп'ютерне забезпечення наукових досліджень .....	14
Кафедра теоретичної і математичної фізики .....	15
Наукові публікації.....	16
Конференції та семінари.....	16
Нагороди та відзнаки .....	17

## CONTENTS

High energy physics .....	20
Theory of nuclei and nuclear reactions .....	21
Mathematical methods in theoretical physics .....	22
Nanophysics, physics of low-dimensional systems .....	23
Soft matter physics .....	26
Astrophysics and cosmology .....	28
Quantum optics .....	30
Plasma physics .....	30
Mathematical modeling .....	30
Computer supply of scientific research .....	31
Department of Theoretical and Mathematical Physics.....	31
Scientific publications.....	32
Conferences & Seminars .....	33
Prizes and Awards.....	33

## ФІЗИКА ВИСОКИХ ЕНЕРГІЙ

Досліджено властивості системи бозонів в рамках моделі середнього поля. В цій системі спостерігаються два критичних явища: фазовий перехід першого роду рідина-газ і конденсацію Бозе-Айнштейна. Залежно від параметрів потенціалу середнього поля в системі існують два типи критичних точок, які належать до різних класів універсальності з різними наборами критичних показників. Запропонована теорія застосована для вивчення піонної та  $\alpha$ -матерії (М.І. Горенштейн, В.О. Кузнєцов, О.В. Савчук)

- Kuznietsov, V., Savchuk, O., Stashko, O. and Gorenstein, M.I., 2022. Critical point influenced by Bose-Einstein condensation. *Phys. Rev. C* **106**, 034319. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.106.034319>

Двобозонні кореляції імпульсу при фіксованому обмеженні числа частинок в протон-протонних зіткненнях за енергій ЛНС досліджено в простій аналітично розв'язуваній моделі системи теплового розширення. Показано, що збільшення швидкості розширення і 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 від множинності кореляції імпульсу Бозе-Айнштейна в подіях  $p+p$ -зіткнень з високою множинністю на ЛНС. (Ю.М. Синюков, М.Д. Аджимамбетов, С.В. Аккелін)

- Adzhymambetov, M.D., Akkelin, S.V., Sinyukov, Yu.M., 2022. Fixed particle number constraint in a simple model of a thermal expanding system and pp collisions at the LHC. *Phys. Rev. D* **105**, 096035. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.096035>

Отримано точний розв'язок для широкого класу моделей петель Полякова на ґратці у довільній розмірності з  $U(N)$  і  $SU(N)$  калібрувальними групами в границі коли  $N$  та  $N_f$  прямують до нескінченності, де  $N$  – число кольорів, а  $N_f$  – кількість ароматів кварків. Це дало змогу отримати аналітичні вирази для екранувальних хромо-електричних та хромо-магнетних мас глюонів у фазі деконфайнменту. Встановлено також, що у певній області параметрів у фазі деконфайнменту кореляційні функції характеризуються експоненційним спаданням, модульованим осциляціями. Це означає, що хромо-електричні маси є комплексними. (О.А. Борисенко, В.О. Челноков, С.М. Волошин)

- Borisenko, O., Chelnokov, V., Voloshin, S., 2022. The Polyakov loop models in the large  $N$  limit: Phase diagram at finite density. *Phys. Rev. D* **105**, 014501. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.014501>

Побудовано модель вершини взаємодії трьох фруассаронів, яка забезпечує малі поправки до початкового рівняння Дайсона-Швінгера й уможливорює розв'язати задачу порушення унітарності в дифракційному народженні багатьох масивних струменів адронів (задача Фінкельштейна-Кайанті). (Є.С. Мартинов, Г.С. Терсімонов)

- Martynov, E., Tersimonov, G., 2022. Froissaron and the problem of unitarity in the hadron diffraction processes. *Phys. Rev. D* **105**, 074010. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.074010>

Досліджено вплив топологічного дефекту у вигляді вихора Абрикосова-Нільсена-Олесена, відомого в космології і астрофізиці як космічна струна, на квантові системи. Показано, що магнетне поле індукується в основному стані релятивістської бозонної матерії, що оточує космічну струну. Визначено залежність повного індукованого в основному стані магнетного потоку від потоку та натягу струни, так само як і від поперечного розміру струни. (чл.-кор. НАН України Ю.О. Ситенко)

- Sitenko, Yu.A., Gorkavenko, V.M. and Tsarenkova, M.S., 2022. Magnetic flux in the vacuum of quantum bosonic matter in the cosmic string background. *Phys. Rev. D* **106**, No. 10, 105010. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.106.105010>

З використанням інтегрального перетворення Меліна спрощено рівняння Тер-Мартіросяна–Скорнякова. Отримано аналітичний вираз для випадку трьох частинок, які мають негативну енергію. На основі аналітичного розв'язку рівняння Ліпмана-Швінгера знайдено кулонівську матрицю переходу двочастинкової системи з відштовхувальним потенціалом (В.Ф. Харченко)

- Kharchenko, V.F., 2022. On the analytical solving of Ter Martirosian-Skornyakov equation for three particles at negative energies. *Ukr. J. Phys.* **67**(8), 559-560. <https://doi.org/10.15407/ujpe67.8.559>

## ТЕОРІЯ ЯДРА ТА ЯДЕРНИХ РЕАКЦІЙ

За допомогою варіаційного принципу з використанням кореляційних факторів Ястрова у хвильовій функції встановлено достатній критерій можливості ефекту просторового колапсу в нескінченній системі бозе-частинок. На основі отриманого критерію показано, що в гіпотетичній

ядерній матерії, якби вона складалася з  $\alpha$ -частинок, відбувся би просторовий колапс у припущенні будь-яких потенціалів  $\alpha\alpha$ -взаємодії з відомого набору варіантів Алі-Бодмера. (Б.Є. Гринюк)

- Grinyuk, V. E., 2022. Can nuclear matter consist of  $\alpha$ -particles? *Ukr. J. Phys.* **67**(1), 17-21. <https://doi.org/10.15407/ujpe67.1.17>

Досліджено структурні функції першого збудженого стану дзеркальних ядер  $^{14}\text{C}$  і  $^{14}\text{O}$  в рамках п'ятикластерної моделі (три  $\alpha$ -частинки плюс два додаткові нуклони) на основі варіаційних розрахунків з використанням гаусоїдних базисів. Показано, що перший збуджений  $0^+$  стан у порівнянні з основним станом обумовлений зміною просторової структури двонуклонної підсистеми, що рухається в полі кластера  $^{12}\text{C}$ . Обчислено середньоквадратичні радіуси і відносні відстані між частинками, досліджено розподіли густини і електричні формфактори (і пружні, і перехідні). Знайдено парні кореляційні функції та імпульсні розподіли частинок для збудженого стану цих ядер. Для всіх отриманих структурних функцій проведено порівняння з відповідними функціями основного стану. Виявлено дві основні конфігурації в основному і збудженому станах ядер  $^{14}\text{C}$  і  $^{14}\text{O}$ . (В.С. Василевський, Д.В. П'ятницький, Б.Є. Гринюк)

- Grinyuk, V.E., Piatnytskyi, D.V., Vasilevsky, V.S., 2022. The lowest excited states of  $^{14}\text{C}$  and  $^{14}\text{O}$  nuclei within a five-cluster model. *Nuclear Physics A* **1030**, 122588. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2022.122588>

В рамках квантово-статистичної моделі середнього поля досліджено термодинамічні властивості системи взаємодійних скалярних бозонів за кінцевих температур. Показано, що при збереженні ізотопічного спіну (заряду) в релятивістській системі частинок-античастинок, починаючи з нульових температур, існує бозе-конденсат. Конденсат утворюється лише для однієї компоненти системи, яка має більшу густину частинок. (Д.В. Анчишкін, Д.В. Журавель)

- Anchishkin, D., Gnatovskyy, V., Zhuravel D. and Karpenko, V., 2022. Selfinteracting particle-antiparticle system of bosons. *Phys. Rev. C* **105**, 045205. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.105.045205>

## МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ В ТЕОРЕТИЧНІЙ ФІЗИЦІ

Отримано новий інтегрований ферміонний гамільтоніан типу БКШ-Річардсона, що є анізотропною деформацією моделі Річардсона, та знайдено його спектр методом модифікованого анзацу Бете. (Т.В. Скрипник)

- Skrypnyk, T., 2022. Anisotropic BCS-Richardson model and algebraic Bethe ansatz. *Nucl. Phys. B* **975**, 115679. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysb.2022.115679>

## НАНОФІЗИКА, ФІЗИКА НИЗЬКОВИМІРНИХ СИСТЕМ

Розроблено два підходи для вивчення зв'язаних станів одновимірного рівняння Дірака з потенціалом, що складається з кількох дельта-подібних центрів. Один з них ґрунтується на методі функцій Гріна. Другий підхід оснований на перемноженні матриць зв'язку окремих дельта-центрів та матриць, що описують вільне поширення частинок між сусідніми центрами. У рамках обох підходів отримано трансцендентні рівняння для енергій зв'язаних станів, розв'язки яких залежать від сили дельта-потенціалів та відстані між ними. Проаналізовано принцип адитивності сил потенціалів у границях, коли дельта-подібні центри зливаються в одній точці або розходяться на безмежність. (О.В. Золотарюк, чл.-кор. НАН України В.П. Гусинін, Я.О. Золотарюк)

- Gusynin, V.P., Sobol, O.O., Zolotaryuk, A.V. and Zolotaryuk, Y., 2022 Bound states of a one-dimensional Dirac equation with multiple delta-potentials. *Low Temp. Phys.* **48**, No. 12, 1157–1168. <https://doi.org/10.1063/10.0015111>

Розроблено підхід для розрахунку поздовжньої та холівської провідностей систем з довільним псевдоспіном і дисперсією квазічастинок. Провідності представлено через корелятори швидкостей квазічастинок, які також описують явище тремтливого руху. Цей метод застосовано для обчислення оптичної провідності напівдіраківської моделі з анізотропною дисперсією квазічастинок, де виявлено внески сингулярностей ван Хова і діраківських конусів. Досліджено дайс-модель, що має квазічастинки з псевдоспіном одиниця. Показано, що за наявності щілини в енергетичному спектрі оптичні переходи мають місце між дисперсійною і плоскою зонами, тоді як прямі переходи між дисперсійними зонами відсутні. (чл.-кор. НАН України В.П. Гусинін)

- Oriekhov, D.O. and Gusynin, V.P., 2022. Optical conductivity of semi-Dirac and pseudospin-1 models: Zitterbewegung approach. *Phys. Rev. B.* **106**, 115143. <https://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.106.115143>

Знайдено новий інваріант рівняння Дірака з кулонівським потенціалом і показано, що він доповнює інваріанти Дірака та Джонсона-Ліппмана та утворює з ними алгебру, а різні розв'язки рівняння є різними представленнями цієї алгебри. На основі теоретико-групового підходу з використанням алгебри спінових інваріантів встановлено зв'язок між різними представленнями. Суто алгебраїчним шляхом отримано точний загальний розв'язок рівняння Дірака та проаналізовано всі його характерні властивості. В рамках такого підходу показано, що головне квантове число є фундаментальною характеристикою атома водню, а не простою комбінацією інших квантових чисел, що її отримують під час безпосереднього знаходження власних функцій. (Л.С. Брижик, О.О. Єремко, акад. НАН України В.М. Локтев)

- Eremko, A.A., Brizhik, L.S., Loktev, V.M., 2022. Spin relevant invariants and the general solution of the Dirac equation for the Coulomb field. *Ann. of Phys.* **439**, 168786 (20 pp). <https://doi.org/10.1016/j.aop.2022.168786>

Досліджено колапс рівнів Ландау для конфігурації магнетного та електричного полів, де постійне електричне поле направлено радіально в площині. Рівняння Дірака для цієї конфігурації не має аналітичного розв'язку в термінах відомих спеціальних функцій. Наші результати отримано з використанням як наближення ВКБ, так і точної діагоналізації та методу стрільби. Показано, що колапс відбувається для додатних значень квантових чисел повного кутового моменту, при цьому дірочні (електронні) рівні Ландау колапсують, коли електричне поле досягає значень  $\pm E_c/2$ , де  $E_c$  – критичне поле, в якому відбувається колапс в схрещених однорідних полях: магнетному та електричних. У випадку графену зі щільною колапс рівнів Ландау має ряд додатних особливостей. (І.О. Німий, С.Г. Шарапов, чл.-кор. НАН України В.П. Гусинін)

- Nimyi, I.O., Konye, V., Sharapov, S.G., Gusynin, V.P., 2022. Landau level collapse in graphene in the presence of in-plane radial electric and perpendicular magnetic fields. *Phys. Rev. B* **106**, 085401. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.106.085401>; <https://arxiv.org/abs/2205.13491>

Досліджено одновимірну нелінійну динамічну систему внутрішньовузлових збуджень та коливань ґратки з калібрувально подібним механізмом взаємодії між підсистемами. Система допускає напівдискретне представлення нульової кривини і тому є інтегрованою в сенсі Лакса. Спираючись на доречно розвинену техніку одягання, основу на перетворенні Дарбу–Беклунда, побудовано та детально проаналізовано чотирикомпонентний аналітичний розв’язок системи. Внаслідок взаємного впливу між екситонною та фононною підсистемами фізично вмотивований розв’язок постає у вигляді суттєво нелінійної суперпозиції двох принципово відмінних типів мандрівних хвиль. Зміна взаємовідношення між двома характерними просторовими масштабами, стосовними до цих мандрівних хвиль, спричинює критичність динаміки системи та приводить до дипольно–монопольного переходу у просторовому розподілі внутрішньовузлових збуджень. Графічно проілюстровано докритичний та надкритичний режими динаміки системи. (О.О Вахненко)

- Vakhnenko, O.O., 2022. Nonlinear dynamics of an integrable gauge-coupled exciton-phonon system on a regular one-dimensional lattice. *Low. Temp. Phys.* **48** (3), 239-245. <https://doi.org/10.1063/10.0009543>

З урахуванням того, що переходи між станами молекулярного з’єднання відбуваються на фоні набагато швидших релаксаційних процесів у молекулярних термах та зонах провідності електродів, отримано кінетичні рівняння для інтегральних заселеностей молекулярних термів, а також вирази для залежності від часу електронного струму та потужності випромінювання молекули флуорофора. Продемонстровано часовий процес реорганізації трансмісійних каналів у залежності від величини та полярності напруги на заслоні та зовнішнього освітлення. Отримано залежність загальних швидкостей від частинних швидкостей, що характеризують перезарядження молекули, а також випромінювальні та невипромінювальні переходи в молекулі. Оцінки показують, що в транзисторі на основі ZnPc характеристичний час переходу складає 10-100 пс за умови, що струм залишається у діапазоні 0.1-10 нА. (чл.-кор. НАН України Е.Г. Петров, Є.В. Шевченко)

- Petrov, E.G., Shevchenko, Ye.V., Gorbach, V.V., Lyubchik, S., Lyubchik, Andriy, 2022. Features of gate-tunable and photon-field-controlled optoelectronic stationary and transient processes in a molecular junction: Application to a ZnPc-based transistor. *AIP Advances* **12**, 105020 (16 pp). <https://doi.org/10.1063/5.0119257>



За допомогою розв'язку рівняння Шредінгера з гамільтоніаном типу Хюккеля для вуглецевих нанотрубок  $(2m,m)$  одержано аналітичні вирази хвильових функцій в рамках моделі сильного зв'язку та проаналізовано взаємозв'язок між коефіцієнтом проходження та зонною структурою хіральних та ахіральних вуглецевих нанотрубок. Визначено вплив хіральності на коефіцієнт проходження електронів через систему з потенціалом у вигляді сходинки та показано, що  $(2m,m)$ -нанотрубки із середнім хіральним кутом виявляють проміжні транспортні властивості порівняно з ахіральними та зигзагоподібними нанотрубками. (Л.І. Малишева)

- Malysheva, L., 2022. Effects of chirality in the electron transmission through step-like potential in zigzag, armchair, and  $(2m,m)$  carbon nanotubes. *Low Temp. Phys.* **48**, 907. <https://doi.org/10.1063/10.0014581>

Введено ефективні форм-фактори для ферміонів на одновимірній ґратці з довільними зсувами фаз. Вивчено тау-функції, визначені як ряди цих форм-факторів. З одного боку, проведено точне підсумовування, і тау-функції в термодинамічній границі представлено як детермінанти Фредгольма. З іншого боку, прості вирази форм-факторів дали змогу представити відповідні ряди як інтеграли елементарних функцій. За допомогою цього підходу отримано нове виведення формул для асимптотик статичних кореляційних функцій квантового ХУ-ланцюжка за ненульової температури. (О. Гамаюн, М.З. Іоргов, Ю.С. Журавльов)

- Gamayun, O., Iorgov, N., Zhuravlev, Yu., 2021. Effective free-fermionic form factors and the XY spin chain. *SciPost Phys.* **10**, 070. <https://doi.org/10.21468/SciPostPhys.10.3.070>

Знайдено і досліджено новий клас топологічно-нетривіальних розв'язків рівнянь Ландау-Ліфшиця у вигляді гвинтових дислокацій, що реалізуються в гелікоїдній фазі кубічних хіральних магнетиків. Знайдено тип дислокацій, який під дією зовнішнього магнетного поля неперервним чином деформується в скірміонну струну. (В.П. Кравчук)

- Azhar, M., Kravchuk V.P., Screw M.G., 2022. Dislocations in chiral magnets. *Phys. Rev. Lett.* **128**, 157204. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.128.157204>

## ФІЗИКА М'ЯКОЇ РЕЧОВИНИ

Методом теорії функціоналу густини в присутності фізіологічного середовища визначено структуру та енергії утворення молекулярних комплексів атомних груп нуклеїнових основ макромолекули ДНК з молекулами пероксиду водню та води. Показано, що пероксид водню утворює стійкі комплекси з атомними групами ДНК, блокуючи центри специфічного впізнавання макромолекули. (Д.В. П'ятницький, С.Н. Волков)

- Piatnytskyi, D.V., Volkov, S.N., 2023. Complexes of hydrogen peroxide molecules with DNA nucleic bases. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics* 1-6. <https://doi.org/10.1080/07391102.2023.2193986>

Побудовано модель деформації подвійної спіралі для опису змін структури макромолекули. Крім еластичних компонентів (згинання, скручування, розтяг), представлена модель містить в собі конформаційні перебудови макромолекули, а також описує взаємозв'язок зовнішніх та внутрішніх ступенів вільності структури ДНК. Визначені форма та енергія сайтів деформації ДНК дають змогу запропонувати ймовірний механізм розпізнавання ключових послідовностей ДНК через їх деформацію, а також пояснити високу точність процесів відтворення генетичної інформації в біологічній клітині. (П.П. Каневська, С.Н. Волков)

- Kanevska, P.P., Volkov, S.N., 2022. Conformation impact in the deformation of DNA TATA-box. *Low Temperature Physics*, **48**, 4, 311-318. <https://doi.org/10.1063/10.0009735>

Проведено молекулярно-динамічне дослідження для систем з двома макромолекулами ДНК в середовищі з молекулами природних поліамінів, що завжди містяться в клітинах живих організмів. Показано, що динаміка поліамінів сильно залежить від відстані, що розділяє макромолекули ДНК: на малій відстані (біля 20 Å) в міжспіральній області вони ефективно зв'язуються з ДНК, а на великій стають мобільнішими і переміщуються від одного місця зв'язування до іншого. В областях ДНК-ДНК контактів молекули поліамінів утворюють поперечні зшивки. Локалізація поліамінів на ДНК залежить від послідовності пар нуклеотидів, що вказує на регульоване формування міжспіральних зшивок. (С.М. Перепелиця)

- Vasiliu, T., Mocci, F., Laaksonen, A., Engelbrecht, L. and Perepelytsya, S., 2022. Caging polycations: Effect of increasing confinement on the modes of interaction of spermidine<sup>3+</sup> with DNA double helices. *Frontiers in Chemistry* **10**, 836994 <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.836994>

Досліджено вплив пуассонівського самовертання (resetting) на випадкові блукання вузлами одновимірної ґратки в найбільш загальному випадку, тобто для довільних значень кількості вузлів, частоти стрибків між сусідами, розташування початкового вузла та вузла самовертання, а також довільних граничних умов (термінальних витоків). Обчислено всі основні спостережні процеси (умовні та безумовні середні часи першого досягнення/виходу, їхні коефіцієнти варіації, ймовірності «успіху/невдачі»). Описано ефекти оптимізації самовертанням ймовірностей бажаного завершення процесу, відповідних середніх часів та їхніх флуктуацій, а також вирішальну роль у цьому взаємного розташування початкового та самовертального вузлів. Вказано можливі шляхи керування конформаційно розгалуженими багатостадійними біохімічними реакціями. (Л.М. Христофоров)

- Christophorov, L.N., 2022. Resetting random walks in one-dimensional lattices with sinks. *J. Phys. A: Math. Theor.* **55**, 155006 (16pp). <https://doi.org/10.1088/1751-8121/ac5a21>

Отримано нову формулу для оцінки селективності ольфакторного рецепторного нейрона через селективність його рецепторних білків з урахуванням теплових флуктуацій. (О.К. Відибіда)

- Vidybida, A., 2022. Harnessing thermal fluctuations for selectivity gain. *2022 IEEE International Symposium on Olfaction and Electronic Nose (ISOEN)*, 1-3 <https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.09254>

Використовуючи класичні методи синергетики проведено моделювання метаболічного процесу бактерії – відкритої нелінійної дисипативної системи, далекої від рівноваги. Розраховано розподіл густини точок перетину траєкторією комірки фазового простору з максимумом інваріантної міри та збіжність за часом її середнього значення. Показано, що величина інваріантної міри може бути характеристикою перехідного процесу адаптації метаболізму клітини до змін у навколишньому середовищі. (В.Й. Грицай)

- Grytsay, V., 2022. Characteristics of the invariant measure of the strange attractor of the bacteria mathematical model. *Ukr. J. Phys.* **67**(6), 443-447. <https://doi.org/10.15407/ujpe67.6.443>

## АСТРОФІЗИКА ТА КОСМОЛОГІЯ

За даними перших спостережень галактик у ранньому Всесвіті на найбільшому 6-метровому космічному телескопі ім. Джеймса Вебба визначено хімічний склад галактик в епоху вторинної іонізації на великих червоних зміщеннях 6.7 – 8.4, коли вік Всесвіту становив менше 1 млрд. років. Знайдено, що досліджувані галактики мають хімічний склад, подібний до хімічного складу сучасних галактик. Це свідчить про швидку хімічну еволюцію молодих галактик протягом короткого часу у декілька десятків мільйонів років, внаслідок чого галактики швидко «забували» про фізичні умови, які існували при їх утворенні. (акад. НАН України Ю.І. Ізотов, Н.Г. Гусева)

- Schaerer, D., Marques-Chaves, R., Barrufet, L., Oesch, P., Izotov, Y. I., Naidu, R., Guseva, N. G., Brammer, G., 2022. First look with JWST spectroscopy: Resemblance among  $z\sim 8$  galaxies and local analogs. *Astronomy and Astrophysics* **665**, L4. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202244556>

Висвітлено питання про відповідність конформних систем Йордана та Айнштейна у Стандартній моделі, що взаємодіє з модифікованою гравітацією з дією  $f(R)$ . Залежність від скалярона вакуумного середнього поля Хіггса та константи сильної взаємодії приводить до універсального перенормування мас усіх частинок в системі Айнштейна. Проаналізовано можливі потенційно спостережні ефекти в такій теорії, де модифікована гравітація відіграє роль темної матерії. (Ю.В. Штанов)

- Shtanov, Y., 2022. On the conformal frames in  $f(R)$  gravity. *Universe* **8**, Issue 2, article id. 69. <https://doi.org/10.3390/universe8020069>

Розвинуто новий підхід на основі нерівноважного статистичного оператора, який дає змогу врахувати неоднорідний розподіл частинок і забезпечує отримання всіх термодинамічних співвідношень самогравітаційних систем. Рівняння, що відповідають екстремуму статистичної суми, повністю відтворюють відомі рівняння загальної теорії відносності. Дано відповідь на питання, як статистичними методами опису поведінки системи в класичному випадку можна обґрунтувати загальні релятивістські рівняння. (акад. НАН України Б.І.Лев, акад. НАН України А.Г. Загородній)

- Lev, B.I., Zagorodny, A.G., 2022. Thermodynamic-induced geometry of self-gravitating systems. *Ann. Math. Phys.* **5**(2), 130-134. <https://dx.doi.org/10.17352/amp>

Для опису фазових переходів у конденсованих середовищах і космологічних моделях застосовано два основних принципи термодинаміки: зростання ентропії та зменшення енергії основного стану. Під час спонтанного народження скалярного поля, яке виконує роль параметра порядку, енергія основного стану стає меншою, ніж енергія основного стану за відсутності такого поля. Взявши до уваги самоузгоджену взаємодію цього скалярного поля з флуктуаціями полів іншої природи та використовуючи принципи, означені вище, можна описати фазовий перехід та знайти умови такого переходу в термінах характеристик флуктуацій і параметра зв'язку. Ці принципи використовують для виявлення ймовірних фазових переходів у конденсованих середовищах та космології. (акад. НАН України Б.І. Лев, акад. НАН України А.Г. Загородній)

- Lev, B.I., Zagorodny, A.G., 2022. Some peculiarities of noise-induced phase transition. *Low Temp. Phys.* **48**, 949–955. <https://doi.org/10.1063/10.0014595>

В моделі темної матерії на основі рівняння Гросса–Пітаєвського для конденсату Бозе–Ейнштейна з тричастинковою взаємодією показано, що за нульової температури дво- і тричастинкові кореляції локальної густини (середні від добутків густини) свідчать про фазовий перехід першого роду і зводяться до добутку одночастинкових середніх, як в ідеальному газі, при збільшенні тиску. Нестійкість дво- і тричастинкових комплексів у часі якісно описана квантовими хаотичними блуканнями між зв'язаними і незв'язаним станами. Показано, що рівняння хімічної кінетики також допускають існування комплексів, утворених з частинок темної матерії з великою довжиною розсіяння. (О.М. Гаврилик, А.В. Назаренко)

- Gavrilik, A.M., Nazarenko, A.V., 2022. Bose–Einstein condensate dark matter that involves composites. *Universe* **8**(3), 187. <https://doi.org/10.3390/universe8030187>

## КВАНТОВА ОПТИКА

Отримано аналог нерівностей Белла для неklasичних кореляцій полів випромінювання. Такі кореляції не можуть бути симульовані за допомогою статистичної суміші класичних полів. На конкретних прикладах показано, що такі кореляції можуть спостерігатися навіть у випадках, коли локальний реалізм не порушується. (А.О. Семенов)

- Kovtoniuk, V. S., Yeremenko, I. S., Ryl, S., Vogel, W. and Semenov, A. A., 2022. Nonclassical correlations of radiation in relation to Bell nonlocality. *Phys. Rev. A* **105**, 063722. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.105.063722>

## ФІЗИКА ПЛАЗМИ

Дано розгорнуте формулювання теорії великомасштабних флуктуацій в запорошеній слабкоіонізованій плазмі з урахуванням процесів заряджання порошинок. Детально досліджено залежності частот заряджання та ефективних частот зіткнень електронів та іонів від параметрів запорошеної плазми. Як приклад застосування теорії до опису резонансних властивостей колективних флуктуацій наведено аналіз спектру іонно-акустичної хвилі в запорошеній плазмі в широкому діапазоні частот зіткнень іонів як для неізотермічної, так і для ізотермічної плазми. Розраховано кореляційні спектри електронної густини для різних значень густини порошинок, їхнього розміру та частоти іонних зіткнень. (акад. НАН України А.Г. Загородній)

- Zagorodny, A.G., Momot, A.I. Chapter: *Large-Scale Fluctuations in Collisional Dusty Plasmas with Regard to Grain Charging Processes* in: *Nonequilibrium Thermodynamics and Fluctuation Kinetics: Modern Trends and Open Questions*. (Ed. Leon Brenig, Nikolai Brilliantov, Mustapha Tlidi), Springer, 2022. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-04458-8>

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Побудовано математичну модель міжнародної торгівлі та розроблено алгоритми її дослідження. Дано опис усіх рівноважних станів системи рівнянь, що описують міжнародну торгівлю. На цій основі дано повний аналіз торгівлі між країнами великої дватцятки. (М.С. Гончар, О.П. Довжик, А.С. Жохін, В.Г. Козирський, А.П. Махорт)

- Gonchar, N.S., Dovzhyk, O.P., Zhokhin, A.S., Kozyrski, W.H., & Makhort, A.P., 2022. International trade and global economy. *Modern Economy* **13**, 901-943. <https://doi.org/10.4236/me.2022.136049>

## КОМП'ЮТЕРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проведено низку заходів, спрямованих на забезпечення надійної роботи обчислювального та хмарного кластерів в Центрі колективного користування «Ресурсний центр для грид- та хмарних технологій» впродовж воєнного стану.

В рамках програми Horizon 2020, як і в попередні роки, у співпраці з робочими групами федерації EGI виконано значний обсяг робіт, метою яких є впровадження і активне використання доступних

засобів і сервісів Європейської хмари відкритої науки (EOSC) в науковій і освітній діяльності. Крім того, триває постійний супровід інших програм і проєктів задля забезпечення безперервності наукових досліджень в Україні. (С.Я. Свістунов)

## **КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧНОЇ І МАТЕМАТИЧНОЇ ФІЗИКИ**

2017 року при Інституті теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова Національної академії наук України (ІТФ) створено Кафедру теоретичної та математичної фізики (ТМФ) Київського академічного університету (КАУ). Становлення кафедри ТМФ КАУ відбувалося на засадничих принципах, запроваджених Науково-освітнім центром ІТФ, що був створений в 2000 році для якнайширшого залучення талановитої молоді до наукової роботи. Спільна діяльність кафедри ТМФ з Центром полягає у забезпеченні неперервної науково-освітньої роботи наукових співробітників ІТФ зі школярами провідних фізико-математичних ліцеїв, студентами кафедр природничих факультетів університетів, аспірантами інститутів та університетів, які зацікавлені у вивченні теоретичної і математичної фізики.

Діяльність кафедри ТМФ КАУ 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 інтегрованих 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 організують 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 2022 році проведено Зимову студентську школу «Основи теоретичної фізики» (11–21.01.2022). На ній для студентів молодших курсів прочитано науково-популярні онлайн-лекції з гамільтонової механіки та вступу до квантової механіки (див. <https://kau.org.ua/news/massmedia/691-1101-21012022-zymova-studentska-shkola-osnovy-teoretychnoi-fizyky>).

## НАУКОВІ ПУБЛІКАЦІЇ

### Монографії та підручники

- Zagorodny, A.G., Momot, A.I. Chapter: Large-Scale Fluctuations in Collisional Dusty Plasmas with Regard to Grain Charging Processes in: *Nonequilibrium Thermodynamics and Fluctuation Kinetics: Modern Trends and Open Questions*. (Ed. Leon Brenig, Nikolai Brilliantov, Mustapha Tlidi), Springer, 2022.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-04458-8>
- Киридон А., Аніщенко О., Арістова А., Биков В., Білецький В., Бойко О., Вербич Н., Вечерський В., Вітенко М., Гаврилишин П., Гайко Г., Гірік С., Горбачук В., Гришанова І., Доброносова Ю., Єнін М., Зав'ялова Л., Задорожня І., Калакура Я., Карась Г., Ковальчук О., Козловець М., Коляструк О., Косяк С., Кравчук О., Кушнір Л., Кушнір Л., Лупаренко Л., Маврін О., Остащук І., Пінчук О., к. пед. н., Пітеніна В., Прийма С., Рибачок Д., Рогушина Ю., Торопчинова К., Троян С., Федотова О., Фесенко М., Чорна М. *Українська енциклопедистика як складник інформаційного спротиву*: кол. моногр. (Заг. ред. проф. А. Киридон). Київ: ДНУ «Енциклопедичне видавництво», 2022, 368с. ISBN 978-966-97385-8-5
- Kryachko E.S., Quantum Chemical Reactivity, Mutations and Reality, Chapter 18, 36 pp. In: *Chemical Reactivity, Volume 2: Approaches and Applications*. (Ed. S. Kaya, L. von Szentpaly, G. Serdaroglu, and L. Guo), Elsevier 2023.

**Статей в журналах – 137:**

українських – 29, іноземних – 108.

### КОНФЕРЕНЦІЇ ТА СЕМІНАРИ

- Меморіальний семінар на пошану Юрія Гайдідея. Київ, 2-3 лютого 2022 р.
- Семінар «Проблеми теоретичної фізики», присвячений пам'яті О.Г. Ситенка. Київ, 12 лютого 2022 р.
- Боголюбівські читання. Київ, 13-17 жовтня 2022 р.
- XIII Конференція молодих вчених “Проблеми теоретичної фізики”. Київ, 21 грудня 2022 р.  
<http://confyoung.bitp.kiev.ua/>
- XXVIII Давидовські читання з теоретичної фізики. Київ, 26 грудня 2022 р.



## **НАГОРОДИ ТА ВІДЗНАКИ**

### **ДЕРЖАВНІ НАГОРОДИ**

**Орден “За заслуги” III ступеня**

В.П. Гусинін

### **ВІДЗНАКИ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ**

*За наукові досягнення*

Б.І. Лев

*За професійні здобутки*

О.О. Вахненко, З.І. Вахненко, Н.Г. Гусєва

*За підготовку наукової зміни*

Л.С. Брижик, О.М. Гаврилик, М.І. Горенштейн,  
Ю.І. Ізотов, Ю.М. Синюков

### **Почесна Грамота Президії Національної академії наук України та ЦК профспілки**

М.І. Глушко, В.Г. Козирський, А.О. Семенов

**Подяка Президії**

**Національної академії наук України**

В.О. Бабенко, М.М. Петров, В.Ф. Харченко

**Премія імені Г.А. Гамова**

**Національної академії наук України**

О.І. Жук (Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова),  
В.І. Жданов (Київський національний університет імені Тараса  
Шевченка), **Ю.В. Штанов** (Інститут теоретичної фізики ім.  
М.М. Боголюбова Національної академії наук України) за розвиток  
теоретико-польових моделей астрофізичних і космологічних систем

**Премія імені О.С. Давидова  
Національної академії наук України**

**С.Н. Волков** (Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова Національної академії наук України), **С.М. Перепелиця** (Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова Національної академії наук України), **Г.В. Шестопалова** (Інститут радіофізики і електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України) за вивчення механізмів утворення комплексів біологічно активних молекул з молекулами ДНК та білків

**Відзнака Американського фізичного товариства  
*Видатний рецензент***

**В.П. Гусинін**

**Членство в Міжнародному товаристві сталого розвитку (ISDS)**

**М.С. Гончар**

**Нагороди**

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

**Боголюбовська премія**

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

**Л.С. Брижик, О.О. Єремко, за цикл робіт “Точний загальний розв’язок рівняння Дірака з кулонівським потенціалом”**

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

**М.Д. Аджимамбетов, Г.С. Терсімонов, за цикл робіт “Дослідження взаємодії у зіткненнях адронів та ядер”**

**Звання Почесний професор інституту  
Є.С. Мартинов, В.Ф. Харченко**

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

***За захист Вітчизни в лавах Збройних Сил України***

**І.А. Гольцов, Г.С. Терсімонов**

***За активну участь у волонтерському русі***

***на підтримку Збройних Сил України***

**Л.О. Авраменко, О.В. Угрюмова, І.М. Герасименко, А.С. Жохін,  
Т.Г. Бубон, Л.М. Лупеха, Л.І. Шмагайло, Т.В. Іванчук, М.І. Глушко,  
М.З. Іоргов, Н.П. Кузьменко, С.І. Баженова**

***За проявлену ініціативу та проведену роботу в забезпеченні  
матеріальної підтримки молодих вчених інституту в умовах***

***воєнного стану***

**М.І. Горенштейн**

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

**Ю.М. Синюков**

## HIGH ENERGY PHYSICS

A system of bosons studied within the mean-field framework has two fascinating phenomena: a liquid-gas first order phase transition and Bose-Einstein condensation. Depending on the mean-field potential parameters one can observe two types of critical points (CP), that belong to different universality classes with distinct sets of critical exponents. As examples the pion and  $\alpha$  matter are considered (M.I. Gorenstein, V. Kuznietsov, O. Savchuk)

- Kuznietsov, V., Savchuk, O., Stashko, O., and Gorenstein, M.I., 2022. Critical point influenced by Bose-Einstein condensation. *Phys. Rev. C* **106**, 034319. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.106.034319>

Two-boson momentum correlations at fixed particle number constraint are studied in a simple analytically solvable model of a thermal expanding system. It was shown that the increase of expansion rate, as well as increase of particle multiplicity, enhances the ground-state contribution to particle momentum spectra and leads to suppression of the Bose-Einstein momentum correlations. The relations of these findings to the multiplicity-dependent measurements of the Bose-Einstein momentum correlations in high-multiplicity  $p+p$  collision events at the LHC are discussed. (Yu.M. Sinyukov, M.D. Adzhymambetov, S.V. Akkelin)

- Adzhymambetov, M.D., Akkelin, S.V., Sinyukov, Yu.M., 2022. Fixed particle number constraint in a simple model of a thermal expanding system and pp collisions at the LHC. *Phys. Rev. D* **105**, 096035. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.096035>

An exact solution is obtained for a wide class of Polyakov loop models on a lattice in arbitrary dimension with  $U(N)$  and  $SU(N)$  gauge groups in the limit when  $N$  and  $N_f$  go to infinity, where  $N$  is the number of colors, and  $N_f$  is the number of quark flavors. This made it possible to obtain analytical expressions for screening chromo-electric and chromo-magnetic masses of gluons in the deconfinement phase. It was also established that in a certain region of parameters in the deconfinement phase the exponential decay of correlation functions is modulated by an oscillating function. This means that the chromo-electric masses are complex. (O. Borisenko, V. Chelnokov, S. Voloshin)

- Borisenko, O., Chelnokov, V., Voloshin, S., 2022. The Polyakov loop models in the large  $N$  limit: Phase diagram at finite density. *Phys. Rev. D* **105**, 014501. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.014501>

A model of the vertex of three-Froissaron interaction has been constructed, which provides small corrections to the original Dyson-Schwinger equation and allows to solve the problem of breaking unitarity in the diffraction production of many massive hadron beams (the Finkelstein-Kajanti problem). (E. Martynov, G. Tersimonov)

- Martynov, E., Tersimonov, G., 2022. Froissaron and the problem of unitarity in the hadron diffraction processes. *Phys. Rev. D* **105**, 074010. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.074010>

The influence of a topological defect in the form of the Abrikosov-Nielsen-Olesen vortex that is known in cosmology and astrophysics as a cosmic string on quantum systems has been studied. A magnetic field is found to be induced in the ground state of relativistic quantum bosonic matter surrounding the cosmic string. The dependence of the total induced ground state magnetic flux on the string flux and tension, as well as on the transverse size of the string, is determined. (Cor.-member of the NAS of Ukraine Yu. A. Sitenko)

- Sitenko, Yu.A., Gorkavenko, V.M. and Tsarenkova, M.S., 2022. Magnetic flux in the vacuum of quantum bosonic matter in the cosmic string background. *Phys. Rev. D* **106**(10), 105010 (20pp.). <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.106.105010>

The Ter-Martirosyan–Skorniyakov equation is simplified using the Mellin integral transformation. An analytical expression for the case of three particles with negative energy is obtained. Based on the analytical solution of the Lippmann-Schwinger equation the Coulomb transition matrix of a two-particle system with a repulsive potential is obtained. (V.F. Kharchenko)

- Kharchenko, V.F., 2022. On the analytical solving of Ter Martirosian-Skorniyakov equation for three particles at negative energies. *Ukr. J. Phys.* **67**(8), 559-560. <https://doi.org/10.15407/ujpe67.8.559>

## **THEORY OF NUCLEI AND NUCLEAR REACTIONS**

A sufficient criterion for a possibility of the spatial collapse effect in an infinite system of Bose particles is established on the basis of the variational principle by means of Jastrow correlation factors in the wave function. Using the obtained criterion, we show that in hypothetical nuclear matter, if it consisted of  $\alpha$ -particles, a spatial collapse would take place under the assumption of any  $\alpha\alpha$ -interaction potential from the known set of Ali-Bodmer ones. (B.E. Grinyuk)

- Grinyuk, B. E., 2022. Can nuclear matter consist of  $\alpha$ -particles? *Ukr. J. Phys.* **67**(1), 17-21. <https://doi.org/10.15407/ujpe67.1.17>

The structure functions of the first excited state of mirror nuclei  $^{14}\text{C}$  and  $^{14}\text{O}$  are studied within the five-cluster model (three  $\alpha$ -particles plus two extra nucleons) on the ground of variational calculations with the use of Gaussian bases. It is shown that the first excited  $0^+$  state as compared to the ground state reveals itself in a change of the spatial structure of the two-nucleon subsystem moving in the field of the  $^{12}\text{C}$  cluster. Root mean square radii and relative distances between particles are calculated. Density distributions and electric form factors (both elastic and transition ones) are studied. Pair correlation functions and momentum distributions of particles for the excited state of these nuclei are found. For all the obtained structure functions, a comparison is carried out with the corresponding functions of the ground state. Two main configurations in the ground state and excited one of  $^{14}\text{C}$  and  $^{14}\text{O}$  nuclei are revealed. (V.S. Vasilevsky, D.V. Piatnytskyi, B.E. Grinyuk)

- Grinyuk, B.E., Piatnytskyi, D.V., Vasilevsky, V.S., 2022. The lowest excited states of  $^{14}\text{C}$  and  $^{14}\text{O}$  nuclei within a five-cluster model. *Nuclear Physics A* **1030**, 122588. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2022.122588>

The thermodynamic properties of a system of interacting scalar bosons at finite temperatures were investigated within the framework of the mean field quantum-statistical model. It is shown that, starting from zero temperatures, there is a Bose condensate in the relativistic system of particles-antiparticles when the isotopic spin (charge) is conserved. Only one component of the system, which has a higher particle density, develops the condensate states. (D. Anchishkin, D. Zhuravel)

- Anchishkin, D., Gnatovskyy, V., Zhuravel D. and Karpenko, V., 2022. Selfinteracting particle-antiparticle system of bosons. *Phys. Rev. C* **105**, 045205. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.105.045205>

## MATHEMATICAL METHODS IN THEORETICAL PHYSICS

We have obtained a new integrable fermion hamiltonian of the BCS-Richardson type that is an anisotropic deformation of the famous fermion hamiltonian of Richardson, and have found its spectra by means of the modified Bethe ansatz. (T.V. Skrypnyk)

- Skrypnyk, T., 2022. Anisotropic BCS-Richardson model and algebraic Bethe ansatz. *Nucl. Phys. B* **975**, 115679. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysb.2022.115679>

## NANOPHYSICS, PHYSICS OF LOW-DIMENSIONAL SYSTEMS

Two approaches have been developed for the study of the bound states of a one-dimensional Dirac equation with the potential consisting of multiple delta-function centers. The first approach uses the Green's function method. The second one is based on multiplying the one-center connection matrices and the free transfer matrices between neighbor centers. Within both these approaches, the transcendental equations for bound state energies are derived, the solutions to which depend on the strength of delta-centers and the distance between them. The principle of strength additivity is analyzed in the limits as the delta-centers merge at a single point or diverge to infinity. (A.V. Zolotaryuk, Cor.-member of the NAS of Ukraine V.P. Gusynin, O.O. Sobol, and Y. Zolotaryuk)

- Gusynin, V.P., Sobol, O.O., Zolotaryuk, A.V., and Zolotaryuk, Y., 2022 Bound states of a one-dimensional Dirac equation with multiple delta-potentials. *Low Temp. Phys.* **48**, No. 12, 1157–1168. <https://doi.org/10.1063/10.0015111>

We develop an approach to calculate the optical and Hall conductivities for models with arbitrary pseudospin and quasiparticle dispersion. The method is based on the evaluation of quasiparticle velocity correlators that also describe the phenomenon of Zitterbewegung. For the semi-Dirac model the obtained expressions allow us to analyze the role of spectrum anisotropy, Van Hove singularities, and Dirac cones in longitudinal conductivity. For the dice model we emphasize the role of the spectral gap, which defines frequency thresholds related to transitions to and from a flat band. (Cor.-member of the NAS of Ukraine V. P. Gusynin)

- Oriekhov, D.O. and Gusynin, V.P., 2022. Optical conductivity of semi-Dirac and pseudospin-1 models: Zitterbewegung approach. *Phys. Rev. B.* **106**, 115143. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.106.115143>

The new invariant of the Dirac equation with the Coulomb potential is found. It supplements Dirac and Johnson-Lippman invariants, so that they together form algebra. It is shown that various solutions of the equation are various representations of this algebra. In frame of the group theory using the algebra of the spinor invariants the relation between different representations is found. The general solution of the Dirac equation is found within the algebraic approach. It is shown that the principal quantum number is not a mere combination of other quantum numbers, as it follows from the direct solving of the equation, but is a fundamental characteristic of the hydrogen atom. (L. Brizhik, A.A. Eremko, Acad. of the NAS of Ukraine V.M Loktev)

- Eremko, A.A., Brizhik, L.S., Loktev, V.M., 2022. Spin relevant invariants and the general solution of the Dirac equation for the Coulomb field. *Ann. of Phys.* **439**, 168786 (20 pp). <https://doi.org/10.1016/j.aop.2022.168786>

It is known that in two-dimensional relativistic Dirac systems placed in orthogonal uniform magnetic and electric fields, the Landau levels collapse as the applied in-plane electric field reaches a critical value  $\pm E_c$ . We study this phenomenon for a distinct field configuration with in-plane constant radial electric field. The Dirac equation for this configuration does not allow analytical solutions in terms of known special functions. The results are obtained by using both the WKB approximation and the exact diagonalization and shooting methods. It is shown that the collapse occurs for positive values of the total angular momentum quantum number, the hole (electron)-like Landau levels collapse as the electric field reaches the value  $\pm E_c/2$ . The investigation of the Landau level collapse in the case of gapped graphene shows a number of distinctive features in comparison with the gapless case. (I.O. Nimyi, S.G. Sharapov, Co-member of the NAS of Ukraine V.P. Gusynin)

- Nimyi, I.O., Konye, V., Sharapov, S.G., Gusynin, V.P., 2022. Landau level collapse in graphene in the presence of in-plane radial electric and perpendicular magnetic fields. *Phys. Rev. B* **106**, 085401; <https://arxiv.org/abs/2205.13491>, <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.106.085401>;

A one-dimensional nonlinear dynamical system of intra-site excitations and lattice vibrations coupled via gauge-like mechanism is studied. The system admits the semi-discrete zero-curvature representation and therefore it proves to be integrable in the Lax sense. Relying upon an appropriately developed Darboux–Bäcklund dressing technique the explicit four-component analytical solution to the system is found and analyzed in details. Due to mutual influence between the interacting subsystems the physically meaningful solution arises as the essentially nonlinear superposition of two principally distinct types of traveling waves. The interplay between the two typical spatial scales relevant to these traveling waves causes the criticality of system's dynamics manifested as the dipole–monopole transition in the spatial distribution of intra-site excitations. The under-critical and over-critical regimes of system's dynamics are comprehensively illustrated graphically. (O.O. Vakhnenko)

- Vakhnenko, O.O., 2022. Nonlinear dynamics of an integrable gauge-coupled exciton-phonon system on a regular one-dimensional lattice. *Low. Temp. Phys.* **48** (3), 239-245. <https://doi.org/10.1063/10.0009543>



Taking into account the fact that the transitions between the states of the molecular junction are carried out against the background of much faster relaxation processes in the molecular terms and the conduction bands of the electrodes, kinetic equations for integral occupancies of the molecular terms, as well as expressions for the time-dependent electronic current and radiation power of the fluorophore molecule are obtained. It is demonstrated the temporary process of the reorganization of the transmission channels dependently on the magnitude and polarity of the gate voltage as well as an external optical field. The dependence of the overall rates on the elementary rates characterizing the recharge of the molecule, as well as radiation and nonradiative transitions in the molecule, is obtained. Estimates show that in a ZnPc-based transistor, the characteristic transition time is 10-100 ps if the current is in the range of 0.1-10 nA. (Cor. Member of NAS of Ukraine E.G. Petrov, Ye.V. Shevchenko)

- Petrov, E.G., Shevchenko, Ye.V., Gorbach, V.V., Lyubchik, S., Lyubchik, Andriy, 2022. Features of gate-tunable and photon-field-controlled optoelectronic stationary and transient processes in a molecular junction: Application to a ZnPc-based transistor. *AIP Advances* **12**, 105020 (16 pp). <https://doi.org/10.1063/5.0119257> (Q2)

Using the solution of the Schrödinger equation with the Hückel-type Hamiltonian for carbon nanotubes ( $2m,m$ ), analytical expressions for wave functions were obtained within the framework of the tight-binding model. The relationship between the transmission coefficient and the band structure of chiral and achiral carbon nanotubes was analyzed. The influence of chirality on the coefficient of electron transmission through a system with a step-like potential is determined and it is shown that ( $2m,m$ ) nanotubes with an average chiral angle exhibit intermediate transport properties compared to achiral (armchair and zigzag) nanotubes. (L. Malysheva)

- Malysheva, L., 2022. Effects of chirality in the electron transmission through step-like potential in zigzag, armchair, and ( $2m,m$ ) carbon nanotubes. *Low Temp. Phys.* **48**, 907. <https://doi.org/10.1063/10.0014581>

Effective form factors for one-dimensional lattice fermions with arbitrary phase shifts were introduced. Tau-functions defined as series of these form factors were studied. On the one hand, the exact summation was performed and tau-functions as Fredholm determinants in the thermodynamic limit were presented. On the other hand, simple expressions of form factors allow to present the corresponding series as integrals of elementary functions. By means of this approach the

asymptotics of static correlation functions of the XY quantum chain at finite temperature were rederived. (O. Gamayun, N. Iorgov, Yu. Zhuravlev)

- Gamayun, O., Iorgov, N., Zhuravlev, Yu., 2021. Effective free-fermionic form factors and the XY spin chain. *SciPost Phys.* **10**, 070. <https://doi.org/10.21468/SciPostPhys.10.3.070>

A new class of topologically non-trivial solutions of the Landau-Lifshitz equation in the form of screw dislocations was found and investigated. The screw dislocations are realized in a helical phase of the cubic chiral magnets. A type of dislocation was found, that is continuously deformed into a skyrmion string under the action of an external magnetic field. (V.P. Kravchuk)

- Azhar, M., Kravchuk V.P., Screw M.G. Dislocations in Chiral Magnets *Phys. Rev. Lett.* **128**, 157204. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.128.157204>

## SOFT MATTER PHYSICS

The structure and energy of molecular complexes of the DNA nucleic bases with hydrogen peroxide and water molecules were determined using density functional theory method. It is shown that hydrogen peroxide can form stable complexes with DNA atomic groups, blocking the centers of specific recognition of the macromolecule. (D.V. Piatnytskyi, S.N. Volkov)

- Piatnytskyi, D.V., Volkov, S.N., 2023. Complexes of hydrogen peroxide molecules with DNA nucleic bases. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics* 1-6. <https://doi.org/10.1080/07391102.2023.2193986>

A model of double helix deformation was built to describe changes in the macromolecule structure. In addition to elastic components (bending, twisting, stretching), the presented model includes conformational rearrangements of the macromolecule, as well as describes the relationship between the external and internal degrees of freedom of the DNA structure. The obtained shapes, values and energy of the DNA deformation sites allow us to propose a probable mechanism of recognition of key DNA sequences due to their deformation, as well as to explain the high accuracy of genetic information reproduction processes. (P.P. Kanevska, S.N. Volkov)

- Kanevska, P.P., Volkov, S.N., 2022. Conformation impact in the deformation of DNA TATA-box. *Low Temp. Phys.* **48**(4), 311-318. <https://doi.org/10.1063/10.0009735>

A molecular dynamic study has been carried out for the systems of two DNA macromolecules surrounded by the molecules of natural polyamines that are always contained in the cells of living organisms. The results have shown that the dynamics of polyamines strongly depends on the distance separating different DNA macromolecules: at a small distance (about 20 Å), in the interhelical region they effectively bind to DNA, and as the distance increases, they become more mobile and move from one place linking to another. In the regions of DNA-DNA contacts, the polyamine molecules form cross-links. The localization of polyamines on DNA depends on the sequence of nucleotides, which indicates the regulated formation of interhelical cross-links. (S. Perepelytsya)

- Vasiliu, T., Mocci, F., Laaksonen, A., Engelbrecht, L. and Perepelytsya, S., 2022. Caging polycations: Effect of increasing confinement on the modes of interaction of spermidine<sup>3+</sup> with DNA double helices. *Frontiers in Chemistry* **10**, 836994. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.836994>

The influence of poissonian resetting on random walks in a one-dimensional lattice is studied in the most general case, i.e. for any values of the number of nodes, the frequency of jumps between neighbours, as well as for any boundary conditions (terminal sinks) or resetting and starting node placements. The main observables of the process (conditional and unconditional mean first passage/exit times, their coefficients of variation, splitting probabilities) are calculated. The effects of resetting-induced optimization of the anticipated outcome probabilities and corresponding mean times and their fluctuations are described. The crucial role of resetting and starting node placements for these effects is revealed. Possible ways of controlling conformationally splitted multi-step biochemical reactions are indicated. (L.N. Christophorov)

- Christophorov, L.N., 2022. Resetting random walks in one-dimensional lattices with sinks. *J. Phys. A: Math. Theor.* **55**, 155006 (16pp). <https://doi.org/10.1088/1751-8121/ac5a21>

A new formula is obtained for estimating the selectivity of an olfactory receptor neuron in terms of the selectivity of its receptor proteins with thermal fluctuations taken into account. (A. Vidybida)

- Vidybida, A., 2022. Harnessing thermal fluctuations for selectivity gain. *2022 IEEE International Symposium on Olfaction and Electronic Nose (ISOEN)*, 1-3. <https://doi.org/10.1109/ISOEN54820.2022.9789678>

The bacteria metabolic process of open nonlinear dissipative system far from equilibrium point is modelled using classical methods of synergetics. The distribution of point density of trajectory intersection

of phase space cells with maximum invariant measure and convergence in time of its average value was obtained. It is shown that the value of an invariant measure can be a characteristic of the transitional process of adaptation of cell metabolic process to change outside environment. (V.H. Grytsay)

- Grytsay, V., 2022. Characteristics of the invariant measure of the strange attractor of the bacteria mathematical model. *Ukr. J. Phys.* **67**(6), 443-447. <https://doi.org/10.15407/ujpe67.6.443>

## ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY

Using data of the first observations of galaxies in the early Universe on the largest 6-meter James Webb space telescope determined the chemical composition of galaxies in the epoch of secondary ionization at high redshifts 6.7 - 8.4, when the age of the universe was less than 1 billion years. It was found that the studied galaxies have a chemical composition similar to the chemical composition of present-day galaxies. This implies the rapid chemical evolution of young galaxies over a short period of several tens of millions of years. As a result, galaxies quickly “forgot” about the physical conditions that existed during their formation. (Acad. of the NAS of Ukraine Y.I. Izotov, N.G. Guseva)

- Schaerer, D., Marques-Chaves, R., Barrufet, L., Oesch, P., Izotov, Y.I., Naidu, R., Guseva, N.G., Brammer, G., 2022. First look with JWST spectroscopy: Resemblance among  $z\sim 8$  galaxies and local analogs. *Astronomy and Astrophysics* **665**, L4. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202244556>

We have elucidated the issue of the correspondence between the Jordan and Einstein conformal frames in the Standard Model interacting with modified gravity with action  $f(R)$ . The scalaron-dependence of the vacuum Higgs-field expectation value and of the constant of strong interaction leads to a universal renormalization of masses of all particles in the Einstein system. We have analyzed possible potentially observable effects in such a theory, in which modified gravity plays the role of dark matter. (Yu.V. Shtanov)

- Shtanov, Y., 2022. On the conformal frames in  $f(R)$  gravity. *Universe* **8**, Issue 2, article id. 69. <https://doi.org/10.3390/universe8020069>

A new approach based on the nonequilibrium statistical operator is presented that makes it possible to consider the inhomogeneous particle distribution and provides obtaining all thermodynamic relations of self-gravitating systems. The equations corresponding to the extremum of the partition function completely reproduce the well-known equations of the

general theory of relativity. The answer to the question of how it is possible to substantiate the general relativistic equations in terms of the statistical methods for the description of the behavior of the system in the classical case is given. (Acad. of the NAS of Ukraine B.I. Lev, Acad. of the NAS of Ukraine A.G. Zagorodny)

- Lev, B.I., Zagorodny, A.G., 2022. Thermodynamic-induced geometry of self-gravitating systems. *Ann. Math. Phys.* **5**(2), 130-134. <https://doi.org/10.17352/amp.000052>

Two fundamental evolutionary principles, namely the H-theorem and the least-energy principle, are applied to describe the phase transition in condensed environments and cosmological models. In the presence of a spontaneously induced scalar field, which can be treated as an order parameter, the energy of the ground state is lower than the ground state energy without such a field. Considering the self-consistent interaction of the scalar field with the fluctuations of the fields of other nature and the principles mentioned above, it is possible to show the possibility of the phase transition and to find the conditions for such transition in terms of fluctuation characteristics and coupling parameter. These principles are employed to reveal probable phase transitions in condensed matter physics and cosmology. (Acad. of the NAS of Ukraine B.I. Lev, Acad. of the NAS of Ukraine A.G. Zagorodny)

- Lev, B.I., Zagorodny, A.G., 2022. Some peculiarities of noise-induced phase transition. *Low Temp. Phys.* **48**, 949–955. <https://doi.org/10.1063/10.0014595>

Within the dark matter model based on the Gross–Pitaevski equation for a Bose–Einstein condensate with three-particle interaction, it is shown that at zero temperature the two- and three-particle correlations of the local density (averages of density products) indicate a first-order phase transition and reduce to the product of single-particle averages, as in an ideal gas, with increasing pressure. The time instability of two- and three-particle complexes is qualitatively described by quantum random walks between bound and unbound states. It is shown that the equations of chemical kinetics also admit the existence of complexes formed by dark matter particles with a long scattering length. (A.M. Gavrilik, A.V. Nazarenko)

- Gavrilik, A.M., Nazarenko, A.V., 2022. Bose–Einstein condensate dark matter that involves composites. *Universe* **8**(3), 187. <https://doi.org/10.3390/universe8030187>

## QUANTUM OPTICS

An analog of Bell inequality for nonclassical correlations of radiation fields has been obtained. Such correlations cannot be simulated as a statistical mixture of classical fields. It has been shown that such correlations can be observed even in scenarios when local realism is not violated (A.A. Semenov).

- Kovtoniuk, V. S., Yeremenko, I. S., Ryl, S., Vogel, W. and Semenov, A. A., 2022. Nonclassical correlations of radiation in relation to Bell nonlocality. *Phys. Rev. A* **105**, 063722. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.105.063722>

## 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)

- A.G. Zagorodny, A.I. Momot. Chapter: *Large-Scale Fluctuations in Collisional Dusty Plasmas with Regard to Grain Charging Processes* in: *Nonequilibrium Thermodynamics and Fluctuation Kinetics: Modern Trends and Open Questions*. (Ed. Leon Brenig, Nikolai Brilliantov, Mustapha Tlidi), Springer, 2022. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-04458-8>.

## MATHEMATICAL MODELING

A mathematical model of international trade was built and algorithms for its research were developed. A description of all equilibrium states of the set of equations describing international trade is given. On this basis a complete analysis of trade between the G20 countries is given. (N.S. Gonchar, O.P. Dovzhyk, A.S. Zhokhin, W.H. Kozyrski, A.P. Makhort)

- Gonchar, N.S., Dovzhyk, O.P., Zhokhin, A.S., Kozyrski, W.H., & Makhort, A.P., 2022. International Trade and Global Economy. *Modern Economy* **13**, 901-943. <https://doi.org/10.4236/me.2022.136049>

## **COMPUTER SUPPLY OF SCIENTIFIC RESEARCH**

Numerous precautionary measures directed at the support of the reliable operation of HPC and cloud clusters in the Center of common usage “Resource Center for Grid and Cloud Technologies” during the wartime have been taken.

A significant amount of work, whose purpose is an implementation and active use of the available EOSC (European Open Science Cloud) resources and services in scientific and educational activities, has been done in cooperation with the working groups of the European Grid Infrastructure (EGI) Foundation within the Horizon 2020 Program. Moreover, other research programs and projects are constantly supported to ensure the continuity of studies in Ukraine.

## **DEPARTMENT OF THEORETICAL AND MATHEMATICAL PHYSICS**

In 2017 the Department of Theoretical and Mathematical Physics (TMP) of Kiev Academic University (KAU) was established at the Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine (BITP). The TMP Department has been formed on the basic principles formulated by the Research and Education Center, founded in the BITP in 2000 to involve talented young people to the research work. The common activity of the TMP department with the Center consists in providing the continuous educational work of the BITP researchers with schoolchildren of leading physical and mathematical schools, students of physical faculties of universities and postgraduate students at the institutes and universities that are interested in studying theoretical and mathematical physics.

The TMP department 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 Winter Student School “Theoretical Physics

Fundamentals” took place on January 11-21, 2022 at the Bogolyubov Institute. The framework of the School included on-line scientific popular lectures concerning Hamilton Mechanics and Introduction to Quantum Mechanics for junior students (<https://kau.org.ua/news/massmedia/691-1101-21012022-zymova-studentska-shkola-osnovy-teoretychnoi-fizyky>).

## SCIENTIFIC PUBLICATIONS

### Books

- Zagorodny, A.G., Momot, A.I. Chapter: Large-Scale Fluctuations in Collisional Dusty Plasmas with Regard to Grain Charging Processes in: *Nonequilibrium Thermodynamics and Fluctuation Kinetics: Modern Trends and Open Questions*. (Ed. Leon Brenig, Nikolai Brilliantov, Mustapha Tlidi), Springer, 2022. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-04458-8>
- Киридон А., Аніщенко О., Арістова А., Биков В., Білецький В., Бойко О., Вербич Н., Вечерський В., Вітенко М., Гаврилишин П., Гайко Г., Гірік С., Горбачук В., Гришанова І., Доброносова Ю., Єнін М., Зав'ялова Л., Задорожня І., Калакура Я., Карась Г., Ковальчук О., Козловець М., Коляструк О., Косяк С., Кравчук О., Кушнір Л., Кушнір Л., Лупаренко Л., Маврін О., Остащук І., Пінчук О., Пітеніна В., Прийма С., Рибачок Д., Рогушина Ю., Торопчинова К., Троян С., Федотова О., Фесенко М., Чорна М. *Українська енциклопедистика як складник інформаційного спротиву*: (Заг. ред. проф. А. Киридон). Київ: ДНУ «Енциклопедичне видавництво», 2022, 368с. ISBN 978-966-97385-8-5
- Kryachko E.S., Quantum Chemical Reactivity, Mutations and Reality, Chapter 18, 36 pp. In: *Chemical Reactivity, Volume 2: Approaches and Applications*. (Ed. S. Kaya, L. von Szentpaly, G. Serdaroglu, and L. Guo), Elsevier 2023.

### Papers in Journals: 137:

Ukrainian journals – 29, International journals – 108.



## CONFERENCES & SEMINARS

- Yuri Gaididei Memory Seminar. Kyiv, February 2-3, 2022.
- Seminar “Problems of Theoretical Physics” dedicated to the memory of A.G. Sitenko. Kyiv, February 12, 2022.
- Bogolyubov Readings. Kyiv, October 13-17, 2022.
- XIII Conference of Young Scientists “Problems of Theoretical Physics”. BITP, Kyiv, Dec 21, 2022. <http://confyoung.bitp.kiev.ua/>
- XXVIII Davydov Readings. Kyiv, December 26, 2022.

## PRIZES AND AWARDS

### STATE AWARDS

**Order of Merit III degree**

V.P. Gusynin

## AWARDS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE

### *For Scientific Achievements*

B.I. Lev

### *For Professional Achievements*

O.O. Vakhnenko, Z.I. Vakhnenko, N.G. Guseva

### *For Education of Young Scientists*

L.S. Brizhik, A.M. Gavrilik, M.I. Gorenstein,  
Yu. I. Izotov Ю.И. Изотов, Yu. M. Sinyukov

## **Certificate of Honor of the Presidium of the National Academy of Sciences of Ukraine and the Central Committee of the Trade Union**

M.I. Glushko, W.G. Kozyrski, A.O. Semenov

**Certificate of Gratitude of the Presidium  
of the National Academy of Sciences of Ukraine**

V.O. Babenko, M.M. Petrov, V.F. Kharchenko

**G.A. Gamow Prize  
of the National Academy of Sciences of Ukraine**

O.I. Zhuk (Odesa I.I. Mechnikov National University), V.I. Zhdanov (Taras Shevchenko National University of Kyiv), **Yu.V. Shtanov** (Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of the National Academy of Science of Ukraine) for the development of field-theoretical models of astrophysical and cosmological systems

**O.S. Davydov Prize  
of the National Academy of Sciences of Ukraine**

**S.N. Volkov** (Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of the National Academy of Science of Ukraine), **S.M. Perepelytsya** (Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of the National Academy of Science of Ukraine), G.V. Shestopalova (O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of the National Academy of Science of Ukraine) for studying the mechanisms of formation of complexes of biologically active molecules with DNA and proteins

**Award of the American Physical Society  
*Outstanding Reviewer***

V.P. Gusynin

**Membership in International Society for Development and  
Sustainability (ISDS)**

М.С. Гончар

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

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

L.S. Brizhik, A.A. Eremko, for the series of works “Exact general solution of the Dirac equation with the Coulomb potential”

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

M.D. Adzhymambetov, G.S. Tersimonov for the series of works “The study of interaction in collisions of hadrons and nuclei”

**Honorary Professor of the Institute**

E.S. Martynov, V.F. Kharchenko

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

*For the defense of the Ukrainian State in the Armed Forces of Ukraine*

I.A. Goltsov, G.S. Tersimonov

*For achievements in work and participation in the volunteer movement  
in support of the State's defense capabilities*

L.O. Avramenko, O.V. Ugryumova, I.N. Gerasimenko, A.S. Zhokhin,  
T.G. Bubon, L.M. Lupekha, L.I. Shmagailo, T.V. Ivanchuk, M.I. Glushko,  
M.Z. Iorgov, Y.P. Kuzmenko, S.I. Bazhenova

*For the initiative and the work done on the material support of the  
young scientists of the institute under martial law*

M.I. Gorenstein

*For a significant personal contribution to the development of the  
institute and on the occasion of the 75th anniversary*

Yu. M. Sinyukov

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