

**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 2021 РОЦІ**

**TOPMOST SCIENTIFIC RESULTS 2021
OF THE BOGOLYUBOV INSTITUTE
FOR THEORETICAL PHYSICS
OF THE NATIONAL ACADEMY
OF SCIENCES OF UKRAINE**

Київ 2022

ЗМІСТ

Фізика високих енергій	3
Теорія ядра та ядерних реакцій	4
Математичні методи в теоретичній фізиці	5
Нанофізика, фізика низьковимірних систем	5
Фізика м'якої речовини	9
Астрофізика та космологія	10
Квантова оптика	11
Фізика плазми	12
Математичне моделювання	12
Комп'ютерне забезпечення наукових досліджень	12
Кафедра теоретичної і математичної фізики	13
Наукові публікації.....	14
Оцінка діяльності інституту.....	15
Конференції та семінари.....	15
Нагороди та відзнаки	16

CONTENTS

High energy physics	18
Theory of nuclei and nuclear reactions	19
Mathematical methods in theoretical physics	20
Nanophysics, physics of low-dimensional systems	20
Soft matter physics	24
Astrophysics and cosmology	25
Quantum optics	26
Plasma physics	26
Mathematical modeling	27
Computer supply of scientific researches	27
Department of Theoretical and Mathematical Physics.....	28
Scientific publications.....	28
Evaluation of the institute activities.....	29
Conferences & Seminars	30
Prizes and Awards.....	30

ФІЗИКА ВИСОКИХ ЕНЕРГІЙ

Виконано аналіз партонного розсіювання з урахуванням багатопартонних функцій розподілу. Досліджено властивості цих функцій. Отримані результати дають нову унікальну інформацію про структуру адронів та динаміку їхньої взаємодії. (чл.-кор. НАН України Г.М. Зінов'єв)

- G.M. Zinovjev, A.M. Snigirev. Multiparton distribution functions in quantum chromodynamics. *Phys. Usp.* **64**, 357 (2021).

Отримано рівняння стану взаємодійної системи пі-мезонів з конденсацією Бозе-Айнштайна та фазовим переходом першого роду. Запропоновано методи пошуку таких фізичних систем шляхом вимірювання флуктуацій електричного заряду. (М.І. Горенштейн, Р.В. Побережнюк, О.В. Савчук)

- R.V. Poberezhnyuk, O. Savchuk, M.I. Gorenstein, V. Vovchenko, H. Stoecker. Higher order conserved charge fluctuations inside the mixed phase. *Phys. Rev. C* **103**(2), 024912 (2021).

Досліджено двочастинкові кореляції імпульсів в системі N однакових бозонів на основі квантового канонічного ансамбля. Виявлено нові ефекти пов'язані з високотемпературною конденсацією Бозе-Айнштайна піонів в малих системах. (Ю.М. Синюков, М.Д. Аджимамбетов, С.В. Аккелін)

- M.D. Adzhymambetov, S.V. Akkelin, Yu.M. Sinyukov. Bose-Einstein momentum correlations at fixed multiplicities: Lessons from an exactly solvable thermal model for $\bar{p}p$ collisions at the LHC. *Phys. Rev. D* **103**, 116012 (2021).

Бозе-конденсатну модель темної матерії узагальнено з урахуванням двочастинкової та тричастинкової взаємодій. Підтверджено наявність нетривіальної двофазної структури і можливість фазового переходу першого роду в центральній частині гало темної матерії карликових галактик. Для однієї з карликових галактик отримано її ротаційні криві та ентропію двочастинної заплутаності в гало її темної матерії. (О.М. Гаврилик, А.В. Назаренко)

- A.M. Gavrilik, A.V. Nazarenko. Phases of the Bose–Einstein condensate dark matter model with both two- and three-particle interactions. *Universe* **7**(10), 359 (2021).

Розроблено теорію індукування магнетного поля у вакуумі квантованого ферміонного поля космічною струною з урахуванням її поперечних розмірів. Визначено залежність напруженості індукваного вакуумного магнетного поля від потоку та натягу струни, а також від її поперечного розміру та відстані до струни. (чл.-кор. НАН України Ю.О. Ситенко)

- Yu.A. Sitenko. Induced vacuum magnetic field in the comic string background. *Phys. Rev. D* **104**(4), 045013 (2021).

Вивчено умови, за яких квантова частинка може бути описана в термінах класичних величин. Досліджено хвильову функцію квантової частинки, скерованої у потенційне поле, в якому усі квантові ефекти зникають навіть у випадку ненульової константи Планка. Ця задача еквівалентна задачі про рух частинки у заломлювальному середовищі. У таких середовищах квантові частинки мають класичні імпульси, а їхні хвильові властивості описуються рівнянням хвильової оптики. В одновимірному випадку частинка не може потрапити до області, де показник заломлення прямує до нескінченності. У тривимірному просторі зі сферичною симетрією хвильові властивості визначаються функцією, що має резонанс із шириною порядку довжини хвилі де Бройля. (В.Є. Кузьмичов, В.В. Кузьмичов)

- V.E. Kuzmichev, V.V. Kuzmichev. Classical behavior of a quantum particle in a refringent medium. *American Journal of Physics* **89**(8), 793-798 (2021).

ТЕОРІЯ ЯДРА ТА ЯДЕРНИХ РЕАКЦІЙ

На основі варіаційного принципу показано, що умова просторового колапсу в неідеальному бозе-газі не пов'язана з величиною чи знаком двочастинкової довжини розсіяння, на відміну від результату, що впливає з рівняння Гроса-Пітаєвського, яке передбачає наявність колапсу в цій системі при від'ємній довжині розсіяння. (Б.Є. Гринюк, К.О. Бугаєв)

- B.E. Grinyuk, K.A. Bugaev. About conditions of spatial collapse in an infinite system of Bose particles. *УФЖ* **66**(12), 1024-1026 (2021).

Розвинуто трикластерну модель гіперядра ${}^9_{\Lambda}\text{Be}$, представлену двома альфа-частинками та Λ -гіпероном. Вхідні параметри моделі є такими, що забезпечують збіг з експериментальним значенням енергії зв'язку бінарної підсистеми ${}^5_{\Lambda}\text{He}$. Отримано узгодження енергій

збуджених станів ${}^9_{\Lambda}\text{Be}$ з експериментальними даними. (О.В. Нестеров, Ю.А. Лашко, В.С. Василевський)

- A.V. Nesterov, Yu.A. Lashko, V.S. Vasilevsky. Structure of the ground and excited states in ${}^9_{\Lambda}\text{Be}$ nucleus Nucl. Phys. A **1016**, 122325 (2021).

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ В ТЕОРЕТИЧНІЙ ФІЗИЦІ

В рамках загальної проблеми розділення змінних для інтегровних гамільтонових систем з $gl(n)$ -значними матрицями Лакса, що задовольняють квадратичні дужки Майє типу a-b-c-d, на основі компонент відповідних тензорів a-b-c-d сформульовано достатні умови, які гарантують, що функції відокремлювання Скляніна-Скотта-Гехтмана дійсно продукують канонічні координати. Для важливого підкласу класичних алгебр a-b-c-d, а саме класичних алгебр відбиття, за допомогою відповідних r-s-тензорів сформульовано достатні умови канонічності координат Скляніна-Скотта-Гехтмана. Для випадку тригонометричних $gl(n) \otimes gl(n)$ -значних тензорів a-b-c-d знайдено клас операторів Лакса. Отриманий для них набір канонічних координат є повним. (Т.В. Скрипник)

- T. Skrypnyk. Symmetric and asymmetric separation of variables for an integrable case of the complex Kirkhoff's problem. Journal of Geometry and Physics **172**, 104418 (2022).
- T. Skrypnyk. Separation of variables, quasi-trigonometric r-matrices and generalized Gaudin model. Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications (SIGMA) **17**, 069 (2021).

НАНОФІЗИКА, ФІЗИКА НИЗЬКОВИМІРНИХ СИСТЕМ

Для одновимірного рівняння Шредингера із кусково-сталім потенціалом виведено формули для даних розсіяння та дискретного спектру, для яких розроблено асимптотичний тримасштабний метод стискання системи до нульових розмірів. Показано, що межові умови на хвильові функції в точці сингулярності мають сенс тоді і лише тоді, коли можливе взаємне знищення розбіжностей у так званій матриці зв'язку. Виведено два типи трансцендентних рівнянь, розв'язки яких описують резонансні множини. (О.В.Золотарюк, Я.О. Золотарюк)

- A.V. Zolotaryuk, Y. Zolotaryuk. Scattering data and bound states in a squeezed double-layer structure. J. Phys. A: Math. Theor. **54**, 035201 (2021).

Для квазіодновимірного масиву джозефсонівських контактів, що складається з довільної кількості N рядів та нескінченної кількості колонок, шляхом аналітичних розрахунків знайдено плазмонний спектр як за наявності зовнішнього струму, так і без нього. Показано, що за відсутності струму енергетичний спектр містить N -разово вироджену плоску зону. Це виродження знімається при прикладенні струму до кожної колонки, тоді залишається лише одна плоска зона. (Д.В. Букатова, Я.О. Золотарюк)

- D. Bukatova, Y. Zolotaryuk. Flat and almost flat bands in the quasi-one-dimensional Josephson junction array. *J. Phys. Cond. Mat.* **34** (17), 175402 (2022).

Розвинуто метод алгебричного анзацу Бете для випадку некососиметричних $gl(n) \otimes gl(n)$ -значних класичних r -матриць зі спектральними параметрами. Досліджено приклади моделей типу Годена і типу БКШ, асоційовані з цими r -матрицями, отримано явно вектори Бете та спектр для відповідних квантових гамільтоніанів в термінах розв'язків рівнянь типу Бете. (Т.В. Скрипник)

- T. Skrypnyk. On a class of $gl(n) \otimes gl(n)$ -valued classical r -matrices and separation of variables. *JMP* **62**, 063508 (2021).
- T. Skrypnyk, N. Manojlovic. Twisted rational r -matrices and algebraic Bethe ansatz: Application to generalized Gaudin and Richardson models. *Nuclear Phys. B* **967**, 115424 (2021).

В дайс-моделі з локальною кулонівською взаємодією, яка має квазічастинкові збудження з псевдоспіном одиниця, досліджено генерацію щілини в енергетичному спектрі. Внаслідок наявності двох долин із виродженими електронними станами існує два основних типи щілин. Внутрішньодолинна і міждолинна щілина описує кореляції електронів і дірок в одній і різних долинах відповідно. Показано, що в той час як генерація внутрішньодолинної щілини відбувається лише в надкритичному режимі, міждолинна щілина генерується для як завгодно малої константи зв'язку. Фізичною причиною відсутності критичного значення константи зв'язку є каталіз генерації міждолинної щілини плоскою (бездисперсійною) енергетичною зоною в електронному спектрі дайс-моделі. Бездисперсійна зона має сингулярну густину станів, що значно підсилює генерацію щілини і призводить до великої міждолинної

щільності, пропорційної до площі зони Бріллюена. (чл.-кор. НАН України В.П. Гусинін, Е.В. Горбар)

- E.V. Gorbar, V.P. Gusynin, D.O. Oriekhov. Gap generation and flat band catalysis in dice model with local interaction. *Phys. Rev. B* **103**, 155155 (2021).

На основі самоузгодженого наближення Хартрі–Фока отримано нестационарне рівняння для одночастинкової хвильової функції, що описує конденсат Бозе-Айнштейна в розрідженому газі бозонів із нульовим спіном. Рівняння сформульовано для розрідженого газу бозонів у зовнішньому статичному полі, яке визначає основний стан. Отримане рівняння дає змогу правильно визначити енергію основного стану в стаціонарному випадку. (акад. НАН України А.Г. Загородній)

- V.B. Bobrov, S.A. Trigger, A.G. Zagorodny. Nonstationary equation for the one-particle wave function of the Bose–Einstein condensate. *Low Temperature Physics* **47**(4), 347–350 (2021).

Для рівняння Дірака з кулонівським потенціалом побудовано узагальнений спіновий інваріант, що визначає спіновий ступінь вільності. На його основі знайдено загальний розв’язок рівняння з повним набором квантових чисел, що характеризують електронні воднеподібні стани. Вперше розраховано розподіл середнього значення напрямку спіна у зв’язаних електронних станах і показано, що як розподіл заряду, так і напрям спіна істотно залежать від спінового інваріанта, що може бути виявлено експериментально. (акад. НАН України В.М. Локтєв, Л.С. Брижик, О.О. Єремко).

- A.A. Eremko, L.S. Brizhik, V.M. Loktev. Spin relevant invariants and the general solution of the Dirac equation for the Coulomb fields. *Annals of Physics* **439**, art. number 168786 (2022).

Досліджено аналітично та проілюстровано графічно нелінійну динаміку зв’язаних РТ-симетричних збуджень і Тода-подібних коливань на одновимірній ґратці. Показано, що нелінійна екситон-фононна взаємодія як ціле є інтегрованою в сенсі Лакса. Розвинуто техніку інтегрування Дарбу–Беклунда, прийнятну для генерування ушинкового розв’язку вищого рангу одяганням засівного розв’язку нижчого рангу. Знайдено нетривіальний аналітичний розв’язок, що описує перехід між монопольним та дипольним режимами просторового розподілу внутрішньовузлових збуджень. Встановлено, що критерій диполь-монопольного переходу пов’язаний зі зміною

взаємовідношення між параметром екситон-фононного зв'язку та параметром локалізації Годої моди. (О.О. Вахненко)

- O.O. Vakhnenko, A.P. Verchenko. Nonlinear system of \mathcal{PT} -symmetric excitations and Toda vibrations integrable by the Darboux-Bäcklund dressing method. Proc. R. Soc. A **477**(2256), 20210562 (2021).

На основі розв'язку рівняння Шредингера з гамільтоніаном типу Хюккеля для вуглецевих нанотрубок $(2m,m)$ одержано аналітичні вирази хвильових функцій у рамках моделі сильного зв'язку і проаналізовано взаємозв'язок між коефіцієнтом проходження та зонною структурою хіральних і ахіральних вуглецевих нанотрубок. Визначено вплив хіральності на коефіцієнт проходження електронів через систему з потенціалом у вигляді сходинки. Наведено інтервали значень параметрів системи, для яких можливе експериментальне спостереження впливу хіральності на транспортні характеристики вуглецевих нанотрубок. (Л.І. Малишева)

- L. Malysheva. Solution of the spectral problem for $(2m,m)$ carbon nanotubes by Green's function method. physica status solidi B **258**(11), 2100264 (2021).

Теоретично і експериментально досліджено спектри спінових хвиль скирміонних ґраток в багат шарових феромагнетних гетероструктурах. Показано, що наявна сильна диполь-дипольна взаємодія призводить до суттєвої зміни положення магнетонних мод, які мають ненульовий магнетний момент. Порівнюючи експериментально та теоретично отримані еволюції спектрів у магнетному полі, розраховано значення константи взаємодії Дзялошинського-Морія для гетероструктури Ir/Fr/Co/Pt. (В.П. Кравчук)

- V. Satywali, V.P. Kravchuk, L. Pan, M. Raju, S. He, F. Ma, A.P. Petrović, M. Garst, C. Panagopoulos. Microwave resonances of magnetic skyrmions in thin film multilayers. Nature Communications **12**, art. number 1909 (2021).

Досліджено електронні властивості графенових квантових точок. На основі рівняння Дірака-Вейля вивчено електронний спектр і густину електронних станів в графеновій квантовій точці. Показано, що густина електронних станів подібна до атомних орбіталей Бора. Результати добре узгоджуються з експериментом. (С.П. Кручинін)

- N.V. Grushevskaya, G.G. Krylov, S.P. Kruchinin, B. Vlahovic, S. Bellucci. Electronic properties and quasi-zero-energy states of graphene quantum dots. Phys. Rev. B **103**(23), 235102 (2021).

ФІЗИКА М'ЯКОЇ РЕЧОВИНИ

Побудовано теорію поведінки колоїдних частинок в деформованому пружному полі директора рідинного кристалу. Отримано загальний вираз власної енергії частинки в деформованому рідинному кристалі. Визначено силу, яка діє на окрему колоїдну частинку з боку пружного середовища при деформації поля директора. (акад. НАН України Б.І. Лев)

- O.M. Tovkach, S.B. Chernyshuk, B.I. Lev. Colloidal particles in confined and deformed nematic liquid crystals: Electrostatic analogy and its implications. In: *Soft Matter Systems for Biomedical Applications*. Springer Intern. Publ., Chapter 5, p. 113-160, 2022.

На основі методів нерівноважної статистичної механіки отримано грубозернисті кінетичні рівняння, що описують повільні процеси на тлі більш швидких. У молекулярних системах найшвидшими процесами є коливальна релаксація та стохастичні відхилення положення електронних енергетичних рівнів системи від стаціонарних положень. Описано кінетику одно- та двоелектронного перенесення по білкових ланцюжках, передачу триплетного збудження в пігментно-білковому комплексі, кінетику температурно-незалежної десенситизації больових рецепторів, та конформаційну регуляцію ферментативних реакцій. (Л.М. Христофоров, В.І. Тесленко, чл.-кор. НАН України Е.Г. Петров)

- L.N. Christophorov, V.I. Teslenko, E.G. Petrov. Features of kinetic and regulatory processes in biosystems. *Low Temp. Phys.* **47**, 273 (2021).

Досліджено перехідний процес виходу статистики імпульсації нейрона із затриманим зворотнім зв'язком, стимульованого процесом відновлення, на стаціонарний режим. Доведено єдиність такого стаціонарного режиму. (О.В. Щур, О.К. Вیدیбіда)

- A. Vidybida, O. Shchur. Moment-generating function of output stream of leaky integrate-and-fire neuron. *Ukr. J. Phys.* **66**(3), 254 (2021).

Знайдено нове, математично прозоре доведення можливості використання шуму адсорбції-десорбції для підвищення селективності електронного носу. (О.К. Вیدیбіда)

- A. Vidybida. Adsorption–desorption noise can be used for improving selectivity. *Sensors and Actuators A-physical* **107**(3), 233-237 (2003); arXiv: physics / 0212088v3 [physics.gen-ph], doi: 10.1016/S0924-4247(03)00355-8 (2021, доповнена версія).

Досліджено структуру та енергії утворення молекулярних комплексів атомних груп цукрово-фосфатного остова ДНК з молекулами перекису водню та води. За допомогою методу молекулярної механіки, підходів квантової хімії та наявності фізіологічного середовища розраховано енергії взаємодії та оптимізовано просторові конфігурації молекулярних комплексів пероксида з фосфатом остова ДНК. Проведені розрахунки показують, що за фізіологічних умов перекис водню може тривалий час перебувати поблизу фосфатних груп ДНК, блокуючи центри генетичної активності макромолекули. (Д.В. П'ятницький, О.О. Здоревський, С.Н. Волков)

- D.V. Piatnytskyi, O.O. Zdorevskyi, S.N. Volkov. Interaction of hydrogen peroxide molecules with non-specific DNA recognition sites. *Eur. Phys. J. D*, **75** (1), art. id 24 (2021).

Змодельовано утворення подвійної спіралі ДНК у водному розчині з молекулами пероксиду водню та протійонами Na^+ . Методом молекулярної механіки показано, що молекули пероксиду водню зв'язуються з атомами кисню фосфатних груп подвійної спіралі і таким чином заміщують молекули води гідратної оболонки макромолекули. Визначено три шари упорядкування пероксиду водню навколо фосфатних груп спіралі ДНК з центрами густини біля 2.6 і 3.3 ангстрем, а також широку полосу з центром біля 5-и ангстрем. Таким чином, молекула перекису водню, що взаємодіє з фосфатами, може пригнічувати утворення водневих зв'язків, необхідних для біологічного функціонування ДНК. (С.Н. Волков, С.М. Перепелиця)

- S.M. Perepelytsya, J. Ulicny, S.N. Volkov. Molecular dynamics study of the competitive binding of hydrogen peroxide and water molecules with DNA phosphate groups. *Eur. Biophys. J.* **50**(5), 759-770 (2021).

АСТРОФІЗИКА ТА КОСМОЛОГІЯ

Проведено аналіз власних спостережень на Космічному телескопі Хаббла дев'яти галактик із зореутворенням, котрі мають малі маси $M_{\star} < 10^8$ мас Сонця. Згідно з теоретичними передбаченнями частка іонізованого проміння, що виходить за межі галактики, збільшується із зменшенням її маси. Водночас встановлено, що всупереч цим передбаченням частка іонізованого проміння, яке виходить за межі

галактики та здатне іонізувати міжгалактичне середовище, не збільшується зі зменшенням маси галактики. (акад. НАН України Ю.І. Ізотов, Н.Г. Гусева)

- Y.I. Izotov, G. Worseck, D. Schaerer, N.G. Guseva, J. Chisholm, T.X. Thuan, K.J. Fricke. Lyman continuum leakage from low-mass galaxies with $M_* < 10^8 M_\odot$. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **503**(2), 1734–1752 (2021).

Запропоновано новий космологічний сценарій, у якому скалярон моделі гравітації $f(R)$ після електрослабкого переходу відіграє роль холодної темної матерії. Її поточна густина енергії в цьому сценарії збігається із спостережною величиною за значення маси скалярона $m \approx 4$ меВ. При цьому в неоднорідному Всесвіті автоматично генеруються збурення темної матерії адіабатичного типу. (Ю.В. Штанов)

- Yu. Shtanov. Light scalaron as dark matter. Phys. Lett. B **820**, 136469 (2021).

КВАНТОВА ОПТИКА

Встановлено фундаментальний зв'язок між некласичністю квантових станів в квантовій оптиці та порушенням принципів фізичної реальності Ейнштейна-Подольського-Розена-Белла. Це дало змогу сформулювати певний аналог нерівностей Белла. Їхнє порушення є достатньою умовою некласичності. Показано, що розроблена методика є ефективною для деяких практичних випадків, де інші методи не можуть бути застосовані. Наприклад, її можна використати для демонстрації некласичності статистики фотовідліків стану стисненого вакууму і до того ж проводити вимірювання з реалістичними детекторами, що характеризуються неідеальним розрізненням між числами фотонів. (А.О. Семенов)

- A.A. Semenov, A.B. Klimov. Dual form of the phase-space classical simulation problem in quantum optics. New J. Phys. **23**, 123046 (2021).

ФІЗИКА ПЛАЗМИ

Показано, що в загальному випадку умови циклотронних резонансів слід формулювати з урахуванням впливу інтенсивних електромагнетних полів на рух частинок. Причому, вплив таких ефектів тим значніший, чим більша напруженість поля хвилі. Ці ефекти приводять до появи якісно нових особливостей у динаміці частинок. До них можна віднести регуляризацію динаміки частинок. Так, зокрема, у часових залежностях імпульсів та енергії з'являється ступінчаста структура. (акад. НАН України А.Г. Загородній)

- V.A. Buts, A.G. Zagorodny. New cyclotron resonances and features of charged-particle dynamics in the presence of an intense electromagnetic wave. *Physics of Plasmas* **28**(2), 022311 (2021).

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

На дискретному ймовірнісному просторі описано клас еволюцій ризикових активів, для яких точкова мартингальна міра є єдиною можливою. У термінах еволюції ризикових активів дано необхідні та достатні умови, за яких точкова мартингальна міра є єдиною мірою такого типу для заданої еволюції ризикового активу. Встановлено формулу для справедливої ціни випадкового зобов'язання. Знайдено клас випадкових перетворень еволюції ризикових активів, за яких мартингальна міра є інваріантною стосовно цих перетворень. Запропоновано неарбітражну параметричну модель повного фінансового ринку. (М.С. Гончар)

- N.S. Gonchar. Non-arbitrage models of financial markets. *Global Journal of Science Frontier Research: A Physics and Space Science* **21**(4), Version 1.0. (2021).

КОМП'ЮТЕРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Забезпечено надійну роботу 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. Здійснено координацію та

планування стратегічної діяльності у співпраці з робочими групами федерації EGI щодо розповсюдження сервісів EOSC, реалізації доступу до хмарних сервісів в EOSC та роботи з навчання та підтримки користувачів сервісів EOSC. Хмарний сайт UA-BITP відповідає усім вимогам EGI Federal Cloud до хмарних ресурсів, його залучено до європейської інфраструктури з підтримки Європейської хмари відкритої науки. (С.Я. Свістунов)

- С.Я. Свістунов, П.І. Перконос, С.В. Субботін, Є.М. Твердохліб. На шляху до створення Української національної хмари відкритої науки. Проблеми програмування №3, 27–39 (2021); doi.org/10.15407/pp2021.03.027

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧНОЇ І МАТЕМАТИЧНОЇ ФІЗИКИ

З метою якнайширшого залучення талановитої молоді до наукової роботи в Інституті діє неструктурний підрозділ – Науково-освітній центр Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова Національної академії наук України (ІТФ). Центр спільно з кафедрою теоретичної та математичної фізики Київського академічного університету (КАУ) при ІТФ провадить неперервну систему освіти для обдарованої молоді, що складається з трьох взаємно пов'язаних ланок: освітньої роботи зі школярами провідних фізико-математичних ліцеїв, студентами кафедр природничих факультетів університетів, а також з аспірантами інституту та університетів – фахівцями з теоретичної та математичної фізики. Співпрацю з кафедрою КАУ спрямовано на підготовку студентів-теоретиків до вступу в магістратуру КАУ. Працівники кафедри теоретичної та математичної фізики КАУ спільно з Науково-освітнім центром ІТФ організували і провели низку заходів, зокрема 11-15.01.2021 – зимову студентську школу «Передові напрями фізики конденсованого стану» (<https://kau.org.ua/news/massmedia/551-wschoolcmd2021>).

НАУКОВІ ПУБЛІКАЦІЇ

Монографії та підручники

- E.V. Gorbar, V.A. Miransky, I.A. Shovkovy, P.O. Sukhachov. *Electronic Properties of Dirac and Weyl Semimetals*. World Scientific. – 2021. – 536 p., https://doi.org/10.1142/9789811207358_0001
- Sergei Kruchinin. *Modern Aspects of Superconductivity: Theory of Superconductivity*. 2nd Edition. – World Scientific. – 2021. – 308 p., <https://doi.org/10.1142/12215>
- Л. Ковальчук, Р. Олійников, Ю. Беспалов та ін. (За редакцією Р. Олійникова, О. Кузнецова, О. Лемешка). *Технології інформаційної безпеки в децентралізованих розподілених мережах*. Частина 1. – Харків, Видавництво «Форт». – 2021. – 300 с., ISBN 978-617-630-065-6.
- B.I. Lev and A.G. Zagorodny. *Applications of Field Theory Methods in Statistical Physics of Nonequilibrium Systems*. Singapore: World Scientific Publ. – 2021. – 341 p., <https://doi.org/10.1142/12091>
- O.M. Tovkach, S.B. Chernyshuk and B.I. Lev. *Colloidal Particles in Confined and Deformed Nematic Liquid Crystals: Electrostatic Analogy and Its Implications*. In: *Soft Matter Systems for Biomedical Applications*. Springer Proceedings in Physics (Eds. Leonid Bulavin, Nikolai Lebovka), vol. 266, Chapter 5. – Cham: Springer. – 2022. – P. 113-160, https://doi.org/10.1007/978-3-030-80924-9_5
- Leon de Villiers Engelbrecht, Francesca Mocci, Yonglei Wang, Sergiy Perepelytsya, Tudor Vasiliu, and Aatto Laaksonen. *Molecular Perspective on Solutions and Liquid Mixtures from Modelling and Experiment*. In: *Soft Matter Systems for Biomedical Applications*. Springer Proceedings in Physics (Eds. Leonid Bulavin, Nikolai Lebovka), vol. 266, Chapter 3. – Cham: Springer. – 2022. – P. 53-84, https://doi.org/10.1007/978-3-030-80924-9_3
- Francesca Mocci, Aatto Laaksonen, Leon Engelbrecht, Tudor Vasiliu, and Sergiy Perepelytsya. *DNA-Polyamine Interactions: Insight from Molecular Dynamics Simulations on the Sequence-Specific Binding of Spermidine³⁺*. In: *Soft Matter Systems for Biomedical Applications*. Springer Proceedings in Physics (Eds. Leonid Bulavin, Nikolai Lebovka), vol. 266, Chapter 6. – Cham: Springer. – 2022. – P. 163-192. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80924-9_6

- М.О. Азаренков, І.Б. Денисенко, А.Г. Загородній, А.І. Момот. Моделювання процесів у запоорошеній газорозрядній плазмі. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2021. – 244 с., <http://physics-technology.karazin.ua/resources/42c32e523f352dddf9f48298b5ed2b7.pdf>

Статей в журналах – 136: українських – 26, іноземних – 113.

ОЦІНКА ДІЯЛЬНОСТІ ІНСТИТУТУ

У 2021 р. була проведена атестація інституту за методикою оцінювання ефективності діяльності наукових установ НАН України, затвердженою Постановами Президії НАН України № 75 від 15.03.2017 р. та № 241 від 11.07.2018 р. За результатами оцінювання діяльності установи протягом 2016-2020 рр. усі відділи здобули найвищу категорію «А». Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова Національної академії наук України було віднесено до категорії «А».

В інституті здійснюється підготовка докторів філософії за спеціальністю 104 – «фізика і астрономія» в рамках освітньо-наукової програми «Теоретична фізика». Ця програма здобула акредитацію: сертифікат Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти № 2336 від 04.10.2021.

КОНФЕРЕНЦІЇ ТА СЕМІНАРИ

- Семінар «Проблеми теоретичної фізики» присвячений пам'яті О.Г. Ситенка. Київ, 18 лютого 2021 р.
- Боголюбовські читання з нагоди 30-ої річниці Незалежності України. Київ, 11-12 березня 2021 р.
- Семінар з фізики високих густин енергії, присвячений ювілею члена-кореспондента НАН України Геннадія Михайловича Зінов'єва. Київ, 26 квітня 2021 р.
- Науковий семінар «Проблеми математичної і теоретичної фізики» до 100-річчя від дня народження академіка НАН України О.С. Парасюка. Київ, 20 грудня 2021 р.
- XI Conference of Young Scientists “Problems of Theoretical Physics”. BITP, Kyiv, Dec 20-21, 2021. <http://confyoung.bitp.kiev.ua/>
- ХХVІІ ДАВИДОВСЬКІ ЧИТАННЯ з теоретичної фізики. Київ, 28 грудня 2021 р.

НАГОРОДИ ТА ВІДЗНАКИ

Почесна грамота Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова Національної академії наук України з нагоди 30-річчя Незалежності України:

*За досягнення у роботі та участь в захисті Української Держави
в лавах Збройних сил України*

В.В. Пелих, В.О. Шубний;

*За вагомий особистий внесок в теоретичну фізику, розвиток
міжнародного співробітництва та підняття престижу науки
України*

Л.С. Брижик, О.О. Вахненко, С.Н. Волков, О.М. Гаврилик,
М.І. Горенштейн, М.І. Григорчук, В.П. Гусинін, Л.Л. Єнковський,
Г.М. Зінов'єв, Я.О. Золотарюк, Ю.І. Ізотов, М.З. Іоргов, Ю.А. Лашко,
Б.І. Лев, В.М. Локтєв, Є.С. Мартинов, С.М. Перепелиця, Е.Г. Петров,
С.Я. Свістунов, А.О. Семенов, Ю.М. Синюков, Ю.О. Ситенко,
І.О. Стародуб, В.Ф. Харченко, С.Г. Шарапов, Ю.В. Штанов;

*За досягнення в роботі та вагомий внесок в розвиток історії науки
та культурної спадщини*

В.Г. Козирський, О.Д. Кочерга;

*За досягнення в роботі та участь у волонтерському русі
на підтримку обороноздатності Держави*

Л.О. Авраменко, О.А. Пушкаш;

*За досягнення у роботі та вагомий внесок в розвиток Українського
фізичного журналу*

Б.Є. Гринюк, А.С. Жохін, А.В. Назаренко, Л.І. Шмагайло;

*За досягнення у роботі та вагомий внесок в підготовку наукових
кадрів інституту*

В.Є. Кузьмичов, В.М. Шадура;

*За вагомий особистий внесок в супровід наукової роботи та
забезпечення фінансово-господарської діяльності інституту*

О.Є. Бордовський, Г.В. Ботвинко, З.І. Вахненко, Н.О. Ведмиденко,
М.І. Глушко, А.Т. Дивнич, Н.П. Кузьменко, А.Д. Кривошея,
Л.М. Лупеха, О.В. Новаковський, Т.М. Очкал, С.В. Савіцька,
О.С. Тарновський, О.В. Угрюмова, С.П. Філіпчук.

**Почесна грамота Інституту теоретичної фізики
ім. М.М. Боголюбова Національної академії наук України
за вагомий особистий внесок в розвиток інституту та
з нагоди 70-річчя**

М.І. Глушко.

Премія імені Остапа Парасюка

А.Г. Нікітін, О.М. Гаврилик за цикл робіт «Симерії та деформації в моделях сучасної квантової фізики».

Премія академій наук України, Білорусі і Молдови

Мирчи Базната (АН Молдови), Леонід Булавін (НАН України), Володимир Воронко (НАН України), Ласло Єнковський (НАН України), Ігор Жук (АН Білорусі), Дмитро Шолковий (АН Білорусі) за цикл праць «Исследование свойств ядерного вещества на ускорителях протонов и ядер».

**Визнання від Американського Оптичного Товариства (OSA)
вкладу в рецензування і публікацію статей**

М.І. Григорчук.

Почесне звання «Заслужений діяч науки і техніки України»

Г.М. Зінов'єв

Відзнаки НАН України

«За наукові здобутки»

Г.М. Зінов'єв

«За професійні здобутки»

Є.С. Крячко

«За підготовку наукової зміни»

С.Н. Волков, В.І. Засенко, Ю.О. Ситенко

Подяка Президії НАН України

А.П. Махорт, В.В. Дайлідоніс

Почесна Грамота Президії НАН України та ЦК профспілки

Д.В. Анчишкін, О.Є. Бордовський, В.П. Кухарук

HIGH ENERGY PHYSICS

The analysis of parton scattering is performed taking into account multiparton distribution functions. The properties of these functions are investigated. The obtained results provide new unique information about the structure of hadrons and the dynamics of their interaction. (Cor.-member of the NAS of Ukraine G.M. Zinoviev)

- G.M. Zinovjev, A.M. Snigirev. Multiparton distribution functions in quantum chromodynamics. *Phys. Usp.* **64**, 357 (2021).

The equation of state for the interacting pi-meson system that includes the Bose-Einstein condensation, and first order phase transition was obtained. The search for such physical systems by measuring the electric charge fluctuations was proposed. (M.I. Gorenstein, R.V. Poberezhnyuk, O.V. Savchuk)

- R.V. Poberezhnyuk, O. Savchuk, M.I. Gorenstein, V. Vovchenko, H. Stoecker. Higher order conserved charge fluctuations inside the mixed phase. *Phys. Rev. C* **103**(2), 024912 (2021).

Two-particle momentum correlations in the system of N identical bosons are studied on the basis of a quantum canonical ensemble. New effects related to high-temperature Bose-Einstein condensation of pions in small systems are identified. (Y.M. Sinyukov, M.D. Adzhimambetov, S.V. Akkelin)

- M.D. Adzhymambetov, S.V. Akkelin, Yu.M. Sinyukov. Bose-Einstein momentum correlations at fixed multiplicities: Lessons from an exactly solvable thermal model for $\overline{p}p$ collisions at the LHC. *Phys. Rev.* **D103**, 116012 (2021).

Bose-condensate dark matter model is extended by taking into account both two- and three-particle self-interactions. The existence of nontrivial two-phase structure and possibility of first order phase transition in the central part of the dark matter halo of dwarf galaxies is confirmed. For a particular dwarf galaxy, the rotation curves and the entropy of bipartite entanglement in the halo of its dark matter are obtained. (A.M. Gavrilik, A.V. Nazarenko)

- A.M. Gavrilik, A.V. Nazarenko. Phases of the Bose–Einstein condensate dark matter model with both two- and three-particle interactions. *Universe* **7**(10), 359 (2021).

A theory for the inducing of magnetic field in the vacuum of quantized fermion field in the background of a cosmic string of nonzero transverse size is elaborated. The dependence of the induced vacuum magnetic field strength on the string flux and tension, as well as on the transverse size of the string and on the distance from the string, is unambiguously determined. (Cor.-member of the NAS of Ukraine Yu.A. Sitenko)

- Yu.A. Sitenko. Induced vacuum magnetic field in the comic string background. *Phys. Rev. D* **104**(4), 045013 (2021).

Conditions under which a quantum particle can be described using classical quantities are studied. The wavefunction of a quantum particle submitted to a potential field for which all quantum effects vanish, even if Planck's constant is non negligible, is investigated. This problem is equivalent to the problem of the motion of a particle in a refringent medium. In these media, quantum particles have classical momenta, while their wave properties are described by the wave-optics equation. In the 1D case, the particle cannot be found in the region near the origin, since the index of refraction tends to infinity there. For the 3D case with central symmetry, the wave properties are determined by a function, that has a resonance of width of the order of the de Broglie wavelength. (V.E. Kuzmichev, V.V. Kuzmichev)

- V.E. Kuzmichev, V.V. Kuzmichev. Classical behavior of a quantum particle in a refringent medium. *American Journal of Physics* **89**(8), 793-798 (2021).

THEORY OF NUCLEI AND NUCLEAR REACTIONS

Using variational principle, we show that a condition of the spatial collapse in imperfect Bose gas is absolutely not determined either by the value or by the sign of the scattering length, in the contrary to the result following from the Gross-Pitaevskii equation, where the collapse is predicted at negative scattering length. (B.E. Grinyuk, K.A. Bugaev)

- B.E. Grinyuk, K.A. Bugaev. About conditions of spatial collapse in an infinite system of Bose particles. *УФЖ* **66**(12), 1024-1026 (2021).

A three-cluster model of the ${}^9_{\Lambda}\text{Be}$ hypernucleus composed of two alpha-particles and Λ -hyperon has been developed. Input parameters of the model reproduce the experimental binding energy of the binary subsystem ${}^5_{\Lambda}\text{He}$. A good agreement between the calculated energies of the excited

${}^9_{\Lambda}\text{Be}$ states and the available experimental data has been obtained.
(A.V. Nesterov, Yu.A. Lashko, V.S. Vasilevsky)

- A.V. Nesterov, Yu.A. Lashko, V.S. Vasilevsky. Structure of the ground and excited states in ${}^9_{\Lambda}\text{Be}$ nucleus Nucl. Phys. A **1016**, 122325 (2021).

MATHEMATICAL METHODS IN THEORETICAL PHYSICS

The problem of variables separation is explored for the classical integrable hamiltonian systems possessing $\mathfrak{gl}(n)$ -valued Lax matrices satisfying quadratic Maillet brackets with spectral-parameter dependent a-b-c-d tensors. In terms of the corresponding a-b-c-d tensors components a sufficient condition that guarantees, that the separating functions of Sklyanin, Scott and Gekhtman produce canonical coordinates, is formulated. In the important subclass of classical a-b-c-d algebras, namely the case of classical reflection equation algebras, the analogous sufficient condition is formulated using the corresponding r-s-matrices, what guarantees the canonicity of the constructed coordinates. For the case of $\mathfrak{gl}(n)\times\mathfrak{gl}(n)$ -valued trigonometric a-b-c-d tensors that satisfy the considered condition, we find a class of the Lax matrices for which the obtained set of canonical coordinates is complete. (T.V. Skrypnyk)

- T. Skrypnyk. Symmetric and asymmetric separation of variables for an integrable case of the complex Kirkhoff's problem. Journal of Geometry and Physics **172**, 104418 (2022).
- T. Skrypnyk. Separation of variables, quasi-trigonometric r-matrices and generalized Gaudin model. Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications (SIGMA) **17**, 069 (2021).

NANOPHYSICS, PHYSICS OF LOW-DIMENSIONAL SYSTEMS

Equations for the scattering data and discrete spectrum were obtained for the one-dimensional Schroedinger equation with the piecewise-constant potential. The asymptotical three-scale method of squeezing the system to zero width has been developed. It has been shown that the boundary conditions in the singular point make sense only when the mutual divergence cancellation in the connection matrix is possible. Two

types of the transcendental equations for the resonance sets have been derived. (O.O. Zolotaryuk, Y.O. Zolotaryuk)

- A.V. Zolotaryuk, Y. Zolotaryuk. Scattering data and bound states in a squeezed double-layer structure. *J. Phys. A: Math. Theor.* **54**, 035201 (2021).

The dispersion law for plasmons in the quasi-one-dimensional array of Josephson junctions, that consists of the finite number of rows N and the infinite numbers of columns, is derived. If external bias is absent then the spectrum has a N -fold degenerate flat band. The degeneracy is lifted when the external bias is applied and, as a result, only one flat branch remains. (D.V. Bukatova, Y.O. Zolotaryuk)

- D. Bukatova, Y. Zolotaryuk. Flat and almost flat bands in the quasi-one-dimensional Josephson junction array. *J. Phys. Cond. Mat.* **34** (17), 175402 (2022).

The method of the algebraic Bethe ansatz was developed for the case of certain non-skew-symmetric $\mathfrak{gl}(n) \otimes \mathfrak{gl}(n)$ -valued classical r-matrices with spectral parameters. The Gaudin and BCS-type models associated with these r-matrices have been constructed. The spectrum and the eigenvectors of the corresponding quantum Hamiltonians have been found in terms of solutions of the Bethe-type equations (T.V. Skrypnyk)

- T. Skrypnyk. On a class of $\mathfrak{gl}(n) \otimes \mathfrak{gl}(n)$ -valued classical r-matrices and separation of variables. *JMP* **62**, 063508 (2021).
- T. Skrypnyk, N. Manojlovic. Twisted rational r-matrices and algebraic Bethe ansatz: Application to generalized Gaudin and Richardson models. *Nuclear Phys. B* **967**, 115424 (2021).

The gap generation in the dice model with local four-fermion interaction is studied. Due to the presence of two valleys with degenerate electron states, there are two main types of gaps. The intra and intervalley gap describes the electron and hole pairing in the same and different valleys, respectively. We found that while the generation of the intravalley gap takes place only in the supercritical regime, the intervalley gap is generated for an arbitrary small coupling. The physical reason for the absence of the critical coupling is the catalysis of the intervalley gap generation by the flat band in the electron spectrum of the dice model. The dispersionless band has a singular density of states that strongly enhances the intervalley gap generation leading to an extremely large gap proportional to the area of the Brillouin zone. (Cor.-member of the NAS of Ukraine V.P. Gusynin, E.V. Gorbar)

- E.V. Gorbar, V.P. Gusynin, D.O. Oriekhov. Gap generation and flat band catalysis in dice model with local interaction. *Phys. Rev. B* **103**, 155155 (2021).

Based on the self-consistent Hartree–Fock approximation, the nonstationary equation is obtained for the one-particle wave function describing the Bose–Einstein condensate in a rarefied gas of spin-zero bosons. A rarefied gas of bosons is exposed to the static external field, which ensures its finite ground state. The derived equation allows one to correctly determine the ground state energy in the stationary case. (Acad. of the NAS of Ukraine A.G. Zagorodny)

- V.B. Bobrov, S.A. Trigger, A.G. Zagorodny. Nonstationary equation for the one-particle wave function of the Bose–Einstein condensate. *Low Temperature Physics* **47**(4), 347–350 (2021).

A new spin relevant invariant of the Dirac equation with the Coulomb potential is constructed. It does not commute with the known Dirac and Johnson-Lippman invariants and defines the spin degree of freedom. The general solution of the Dirac equation is found. It is described by the full set of quantum numbers which characterize hydrogen-like energy states. Spatial distribution of the charge density and spin orientation meanvalue are calculated and shown to depend significantly on the spin invariant. This can be manifested experimentally. (Acad. of the NAS of Ukraine V.M. Loktev, L. Brizhik, O. Eremko)

- A.A. Eremko, L.S. Brizhik, V.M. Loktev. Spin relevant invariants and the general solution of the Dirac equation for the Coulomb fields. *Annals of Physics* **439**, art. number 168786 (2022).

The nonlinear dynamics of coupled PT -symmetric excitations and Toda-like vibrations on a onedimensional lattice are studied analytically and elucidated graphically. The nonlinear exciton-phonon system as the whole is shown to be integrable in the Lax sense inasmuch as it admits the zero-curvature representation supported by the auxiliary linear problem of third order. Inspired by this fact, we have developed in detail the Darboux–Bäcklund integration technique appropriate to generate a higher-rank crop solution by dressing a lower-rank (supposedly known) seed solution. In the framework of this approach, we have found rather non-trivial four-component analytical solution exhibiting the crossover between the monopole and dipole regimes in the spatial distribution of intra-site excitations. This effect is inseparable from the pronounced mutual influence between the interacting subsystems in the form of specific

nonlinear superposition of two essentially distinct types of travelling waves. We have established the criterion of monopole-dipole transition based upon the interplay between the localization parameter of Toda mode and the intersubsystem coupling parameter. (O.O. Vakhnenko)

- O.O. Vakhnenko, A.P. Verchenko. Nonlinear system of \mathcal{PT} -symmetric excitations and Toda vibrations integrable by the Darboux-Bäcklund dressing method. Proc. R. Soc. A **477**(2256), 20210562 (2021).

Using solution of the Schroedinger equation with Hukkel type Hamiltonian for carbon nanotubes $(2m,m)$ the analytical expressions for the wavefunctions are obtained in the model of strong coupling. The relation between the transmission coefficient and band structure of chiral and non-chiral nanotubes is analyzed. It is found the impact of non-chirality on the transmission coefficient for electrons across the system with the step-like potential. Range of parameter values is given, at which experimental observation of chirality impact on transport characteristics of carbon nanotubes is obtained. (L.I. Malysheva)

- L. Malysheva. Solution of the spectral problem for $(2m,m)$ carbon nanotubes by Green's function method. physica status solidi B **258**(11), 2100264 (2021).

Spin waves of skyrmion lattices in many-layered ferromagnetic heterostructures are studied theoretically and experimentally. It is shown that strong dipole-dipole interaction leads to significant change of the positions of magnon modes which have non-zero magnetic moment. From the comparison of experimental and theoretical evolutions of spectra in the magnetic field Dzyaloshinsky-Morria coupling constant is calculated for the heterostructure Ir/Fr/Co/Pt. (V.P. Kravchuk)

- B. Satywali, V.P. Kravchuk, L. Pan, M. Raju, S. He, F. Ma, A.P. Petrović, M. Garst, C. Panagopoulos. Microwave resonances of magnetic skyrmions in thin film multilayers. Nature Communications **12**, art. number 1909 (2021).

The electronic properties of graphene quantum dots have been studied. The electronic spectrum and density of electronic states at the graphene quantum dot were studied using the Dirac-Weyl equation. It is shown that the density of electronic states is similar to the Bohr atomic orbitals and is in good agreement with the experiment. (S.P. Kruchinin)

- H.V. Grushevskaya, G.G. Krylov, S.P. Kruchinin, B. Vlahovic, S. Bellucci. Electronic properties and quasi-zero-energy states of graphene quantum dots. Phys. Rev. B **103**(23), 235102 (2021).

SOFT MATTER PHYSICS

The theory of the behavior of colloidal particles in the deformed elastic field of the liquid crystal is constructed. The general expression of the intrinsic energy of a particle in a deformed liquid crystal is obtained. The force acting on a single colloidal particle by the elastic medium in the deformation of the director's field is determined. (Acad. of the NAS of Ukraine B.I. Lev)

- O.M. Tovkach, S.B. Chernyshuk, B.I. Lev. Colloidal particles in confined and deformed nematic liquid crystals: Electrostatic analogy and its implications. In: *Soft Matter Systems for Biomedical Applications*. Springer Intern. Publ., Chapter 5, p. 113-160, 2022.

The methods of nonequilibrium statistical mechanics have been used to obtain the coarse-grained kinetic equations that enable description of the time behavior of slow processes occurring against the background of faster ones. Vibrational relaxation in electronic terms and stochastic deviations of the position of the electronic energy levels of the system from their stationary positions are considered as the most important fast processes. As an example, the kinetics of one- and two-electron transfer along protein chains, oxygen-mediated transmission of triplet excitation in a pigment-protein complex, kinetics of temperature-independent desensitization of pain receptors, as well as conformational regulation of enzymatic reactions are described. (L.N. Christophorov, V.I. Teslenko, Cor.-member of the NAS of Ukraine E.G. Petrov)

- L.N. Christophorov, V.I. Teslenko, E.G. Petrov. Features of kinetic and regulatory processes in biosystems. *Low Temp. Phys.* **47**, 273 (2021).

For a neuron with delayed inhibitory feedback, stimulated by a renewal stochastic process, convergence of the output interspike intervals statistics to a stationary mode, as well as the uniqueness of the final stationary mode are studied. (O.V. Shchur, A.K. Vidybida)

- A. Vidybida, O. Shchur. Moment-generating function of output stream of leaky integrate-and-fire neuron. *Ukr. J. Phys.* **66**(3), 254 (2021).

A new, mathematically transparent proof of the possibility of using adsorption-desorption noise to increase the selectivity of the electronic nose has been found. (A.K. Vidybida)

- A. Vidybida. Adsorption–desorption noise can be used for improving selectivity. *Sensors and Actuators A-physical* **107**(3), 233-237 (2003); arXiv: physics / 0212088v3 [physics.gen-ph], doi: 10.1016/S0924-4247(03)00355-8 (2021, new version).

The structure and energy formation of molecular complexes of DNA atomic groups of sugar-phosphate backbone with molecules of hydrogen peroxide and water are studied. Using the method of molecular mechanics, approaches of quantum chemistry and the presence of a physiological environment, the interaction energies are calculated and the spatial configurations of molecular complexes of peroxide with phosphate of DNA backbone are optimized. Calculations show that under physiological conditions, hydrogen peroxide can stay near phosphate groups of DNA for a long time, blocking the centers of genetic activity of the macromolecule. (D.V. Piatnytskyi, O.O. Zdorevskyi, S.N. Volkov)

- D.V. Piatnytskyi, O.O. Zdorevskyi, S.N. Volkov. Interaction of hydrogen peroxide molecules with non-specific DNA recognition sites. *Eur. Phys. J. D*, **75** (1), art. id 24 (2021).

The formation of a double helix of DNA in aqueous solution with hydrogen peroxide molecules and Na^+ counterions is modeled. Molecular mechanics shows that hydrogen peroxide molecules bind to the oxygen atoms of the phosphate groups of the double helix and thus replace the water molecules of the hydrated shell of the macromolecule. Three layers of hydrogen peroxide ordering around the phosphate groups of the DNA helix with centers of density around 2.6 and 3.3 angstroms, as well as a wide band with a center around 5 angstroms were determined. Thus, hydrogen peroxide molecules that interact with phosphates can inhibit the formation of hydrogen bonds necessary for the biological functioning of DNA. (S.N. Volkov, S.M. Perepelytsya)

- S.M. Perepelytsya, J. Ulicny, S.N. Volkov. Molecular dynamics study of the competitive binding of hydrogen peroxide and water molecules with DNA phosphate groups. *Eur. Biophys. J.* **50**(5), 759-770 (2021).

ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY

The observation with the Hubble Space Telescope of nine low-mass star-forming galaxies with stellar masses $M_{\star} < 10^8$ solar masses has been presented. According to theoretical predictions the escaping fraction of ionizing radiation should increase with decreasing galaxy stellar mass. However, contrary to these expectations, we find no increase of escape fraction of ionizing radiation capable of ionizing the intergalactic medium with decreasing galaxy stellar mass. (Acad. of the NAS of Ukraine Y.I. Izotov, N.G. Guseva)

- Y.I. Izotov, G. Worseck, D. Schaerer, N.G. Guseva, J. Chisholm, T.X. Thuan, K.J. Fricke. Lyman continuum leakage from low-mass galaxies with $M_* < 10^8 M_\odot$. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **503**(2), 1734–1752 (2021).

A new cosmological scenario is proposed in which the scalaron of $f(R)$ gravity after the electroweak crossover plays the role of dark matter. Its current energy density in this scenario matches the observed value for the scalaron mass $m \approx 4 \text{ meV}$. In this case, dark-matter perturbations of adiabatic type are automatically generated in an inhomogeneous universe. (Yu.V. Shtanov)

- Yu. Shtanov. Light scalaron as dark matter. *Phys. Lett. B* **820**, 136469 (2021).

QUANTUM OPTICS

A fundamental link between nonclassicality of quantum states in quantum optics and violations of Einstein-Podolsky-Rosen-Bell principles of physical reality is established. This leads to an analog of Bell inequalities. Their violation is a sufficient condition of nonclassicality. It is shown that this technique is effective in several practical scenarios, where other methods are not applicable. For example, it can be used to demonstrate nonclassicality of photocounting statistics for squeezed vacuum states. Measurements can be conducted with realistic detectors characterized by imperfect resolution between numbers of photons. (A.A. Semenov).

- A.A. Semenov, A.B. Klimov. Dual form of the phase-space classical simulation problem in quantum optics. *New J. Phys.* **23**, 123046 (2021).

PLASMA PHYSICS

It is shown that in the general case the conditions of cyclotron resonances should be formulated with regard to the influence of intense electromagnetic fields, if present, on the particle motion. Moreover, the greater is the wave field strength, the more significantly such effects are pronounced. These effects lead to the appearance of qualitatively new features in the particle dynamics. Such features include regularization of the particle dynamics, particularly a stepwise structure appears in the time dependencies of momenta and energy. (Acad. of the NAS of Ukraine A.G. Zagorodny)

- V.A. Buts, A.G. Zagorodny. New cyclotron resonances and features of charged-particle dynamics in the presence of an intense electromagnetic wave. *Physics of Plasmas* **28**(2), 022311 (2021).

MATHEMATICAL MODELING

The class of evolution of risky assets, for which a spot martingale measure is the only possible one, is described on a discrete probability space. In terms of the evolution of risk assets the necessary and sufficient conditions are given, under which the spot martingale measure is the only martingale measure for a given evolution of risk asset. A self-financing trading strategy is built for each contingent claim, according to which this contingent claim can be completely hedged. The formula for the fair price of a contingent claim is established. The latter is crucial in building non-arbitrage models of complete financial markets. (N.S. Gonchar)

- N.S. Gonchar. Non-arbitrage models of financial markets. *Global Journal of Science Frontier Research: A Physics and Space Science* **21**(4), Version 1.0. (2021).

COMPUTER SUPPLY OF SCIENTIFIC RESEARCHES

The reliable operation of HPC and cloud clusters in the Center for Common Usages “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. Support for EOSC services as well as the user training on access to cloud services in EOSC were provided in cooperation with the EGI Working groups on coordination and planning of strategic activities for the distribution of EOSC Services. The UA-BITP cloud cluster matches up all demands to cloud resources in the EGI Federal Cloud and is included into the European infrastructure for supporting the European Open Science Cloud. (S.Ya. Svistunov)

- С.Я. Свистунов, П.І. Перконос, С.В. Субботін, Є.М. Твердохліб. На шляху до створення Української національної хмари відкритої науки. *Проблеми програмування* №3, 27–39 (2021); doi.org/10.15407/pp2021.03.027

DEPARTMENT OF THEORETICAL AND MATHEMATICAL PHYSICS

The Research and Education Center is established as an unstructural subdivision at the BITP in order to involve the talented young people into research studies. The Center together with the Department of Theoretical and Mathematical Physics (TMP) of Kiev Academic University (KAU) affiliated to the BITP implements continuous system of education for the gifted youth. The education system consists of three interrelated parts: educational work with schoolchildren of leading physical and mathematical schools, students of physical faculties of universities and postgraduate students of the institutes and universities that conduct research on theoretical and mathematical physics. The collaboration with KAU department provides the theoretical student's training to continue their studies and get magister's degree at the KAU. The TMP academics and Center scientists organized and took part in some scientific events. In particular, the Winter Student School "Advanced Directions of Condensed Matter Physics" took place during January 11-15, 2021 at the Bogolyubov Institute (<https://kau.org.ua/news/massmedia/551-wschoolcmd2021>)

SCIENTIFIC PUBLICATIONS

Books

- E.V. Gorbar, V.A. Miransky, I.A. Shovkovy, P.O. Sukhachov. *Electronic Properties of Dirac and Weyl Semimetals*. World Scientific. – 2021. – 536 p., https://doi.org/10.1142/9789811207358_0001
- Sergei Kruchinin. *Modern Aspects of Superconductivity: Theory of Superconductivity*. 2nd Edition. – World Scientific. – 2021. – 308 p., <https://doi.org/10.1142/12215>
- Л. Ковальчук, Р. Олійников, Ю. Беспалов та ін. (За редакцією Р. Олійникова, О. Кузнецова, О. Лемешка). *Технології інформаційної безпеки в децентралізованих розподілених мережах*. Частина 1. – Харків, Видавництво «Форт». – 2021. – 300 с., ISBN 978-617-630-065-6.
- B.I. Lev and A.G. Zagorodny. *Applications of Field Theory Methods in Statistical Physics of Nonequilibrium Systems*. Singapore: World Scientific Publ. – 2021. – 341 p., <https://doi.org/10.1142/12091>

- O.M. Tovkach, S.B. Chernyshuk and B.I. Lev. *Colloidal Particles in Confined and Deformed Nematic Liquid Crystals: Electrostatic Analogy and Its Implications*. In: *Soft Matter Systems for Biomedical Applications*. Springer Proceedings in Physics (Eds. Leonid Bulavin, Nikolai Lebovka), vol. 266, Chapter 5. – Cham: Springer. – 2022. – P. 113-160, https://doi.org/10.1007/978-3-030-80924-9_5
- Leon de Villiers Engelbrecht, Francesca Mocci, Yonglei Wang, Sergiy Perepelytsya, Tudor Vasiliu, and Aatto Laaksonen. *Molecular Perspective on Solutions and Liquid Mixtures from Modelling and Experiment*. In: *Soft Matter Systems for Biomedical Applications*. Springer Proceedings in Physics (Eds. Leonid Bulavin, Nikolai Lebovka), vol. 266, Chapter 3. – Cham: Springer. – 2022. – P. 53-84, https://doi.org/10.1007/978-3-030-80924-9_3
- Francesca Mocci, Aatto Laaksonen, Leon Engelbrecht, Tudor Vasiliu, and Sergiy Perepelytsya. *DNA-Polyamine Interactions: Insight from Molecular Dynamics Simulations on the Sequence-Specific Binding of Spermidine³⁺*. In: *Soft Matter Systems for Biomedical Applications*. Springer Proceedings in Physics (Eds. Leonid Bulavin, Nikolai Lebovka), vol. 266, Chapter 6. – Cham: Springer. – 2022. – P. 163-192. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80924-9_6
- М.О. Азаренков, І.Б. Денисенко, А.Г. Загородній, А.І. Момот. Моделювання процесів у запоорошеній газорозрядній плазмі. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2021. – 244 с., <http://physics-technology.karazin.ua/resources/42c32e523f352dddf9f48298b5ed2b7.pdf>

Papers in Journals: 136:

Ukrainian journals – 26, International journals – 113.

EVALUATION OF THE INSTITUTE ACTIVITIES

In 2021 the attestation of the institute was carried out according to the method of evaluating the effectiveness of scientific institutions of the NAS of Ukraine, approved by the Presidium of the NAS of Ukraine. According to the results of the evaluation of the institute activities during 2016-2020 all departments achieved the highest category “A”. Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine was assigned to category "A".

The Ph.D. program “Theoretical Physics”, implemented at the institute within the specialty 104 – “Physics and Astronomy”, achieved accreditation: certificate of the National Agency for Higher Education Quality Assurance from 04.10.2021 №2336.

CONFERENCES & SEMINARS

- Seminar “Problems of Theoretical Physics” dedicated to the memory of A.G. Sitenko. Kyiv, February 18, 2021.
- Bogolyubov Readings dedicated to the 30th anniversary of Independence of Ukraine. Kyiv, March 11-12, 2021.
- Seminar on high-density energy physics dedicated to the anniversary of the Corresponding Member of the NAS of Ukraine Gennady Mykhailovych Zinovjev. Kyiv, April 26, 2021.
- Scientific seminar «Problems of theoretical and mathematical physics» dedicated to the 100th anniversary of Academician of the NAS of Ukraine O.S. Parasiuk. Kyiv, December 20, 2021.
- XI Conference of Young Scientists “Problems of Theoretical Physics”. BITP, Kyiv, Dec 20-21, 2021. <http://confyoung.bitp.kiev.ua/>
- XXVII Davydov Readings. Kyiv, December 28, 2021.

PRIZES AND AWARDS

Diploma of the Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine on the 30th anniversary of Independence of Ukraine:

For achievements in work and participation in the defense of the Ukrainian State in the Armed Forces of Ukraine

V.V. Pelykh, V.O. Shubnyi;

For significant personal contribution to theoretical physics, development of international cooperation and raising the prestige of science of Ukraine

L.S. Brizhik, O.O. Vakhnenko, S.N. Volkov, A.M. Gavrilik, M.I. Gorenstein, N.I. Grigorchuk, V.P. Gusynin, L.L. Jenkovsky, G.M. Zinovjev, Ya.O. Zolotaryuk, Yu.I. Izotov, N.Z. Iorgov, Yu.A. Lashko, B.I. Lev, V.M. Loktev, E.S. Martynov, S.M. Perepelytsya, E.G. Petrov, S.Ya. Svistunov, A.O. Semenov, Yu.M. Synyukov,

Yu.A. Sitenko, I.O. Starodub, V.F. Kharchenko, S.G. Sharapov,
Yu.V. Shtanov;

*For achievements in work and significant contribution to the development
of the history of science and cultural heritage*

W.H. Kozyrski, O.D. Kocherga;

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

L.O. Avramenko, O.A. Pushkash;

*For achievements in work and significant contribution to the development
of the Ukrainian Physical Journal*

B.E. Grinyuk, A.S. Zhokhin, A.V. Nazarenko, L.I. Shmagailo;

*For achievements in work and significant contribution to the training of
scientific personnel of the institute*

V.E. Kuzmichev, V.M. Shadura;

*For significant personal contribution to the support of scientific work and
ensuring the financial and economic activities of the institute*

O.Ye. Bordovskyi, G.F. Botvynko, Z.I. Vakhnenko, N.O. Vedmedenko,
M.I. Glushko, A.T. Dyvnych, N.P. Kuzmenko, A.D. Kryvosheya,
L.M. Lupekha, O.V. Novakovskiy, T.M. Ochkal, S.V. Savitska,
O.S. Tarnovskyi, O.V. Ugryumova, S.P. Filipchuk.

**Diploma of the Bogolyubov Institute for Theoretical Physics
of the National Academy of Sciences of Ukraine
for significant personal contribution to the development of the
institute and on the 70th anniversary**

M.I. Glushko.

**Ostap Parasyuk Prize
of the Bogolyubov Institute of Theoretical Physics
of the NAS of Ukraine**

A.G. Nikitin, A.N. Gavrilik for the series of works «Symmetries and
deformations in models of modern quantum physics».

Prize of the Academies of Sciences of Ukraine, Belarus and Moldova

Mirche Baznat (Academy of Sciences of Moldova), Leonid Bulavin (NAS of Ukraine), Volodymyr Voronko (NAS of Ukraine), Laslo Jenkovsky (NAS of Ukraine), Igor Zhuk (National Academy of Sciences of Belarus), Dmitrii Sholkovyi (National Academy of Sciences of Belarus) for the series of works «Investigation of the properties of nuclear matter at proton and nuclear accelerators».

Recognition from the American Optical Society (OSA) for its contribution to the review and publication of articles

N.I. Grigorchuk.

Honorary title

"Honored Worker of Science and Technology of Ukraine"

G.M. Zinovjev

Distinctions of the National Academy of Sciences of Ukraine

«For the scientific achievements»

G.M. Zinovjev

«For the professional achievements»

E.S. Kryachko

«For the training of scientific personnel»

S.N. Volkov, V.I. Zasenkov, Yu.A. Sitenko

Gratitude of the Presidium of the NAS of Ukraine

A.Ph. Makhort, V.V. Dailidinis

*Diploma of the Presidium of the NAS of Ukraine and the Central
Committee of the Trade Union*

D.V. Anchishkin, O.Ye. Bordovskyi, V.P. Kukharuk

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