

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

**НАЙВАЖЛИВІШІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ
ІНСТИТУТУ ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ
ІМ. М.М. БОГОЛЮБОВА НАН УКРАЇНИ
У 2017 РОЦІ**

**BRIEF REVIEW
OF TOPMOST SCIENTIFIC RESULTS
OBTAINED IN 2017 AT THE
BOGOLYUBOV INSTITUTE
FOR THEORETICAL PHYSICS**

Київ 2018

ЗМІСТ

Фундаментальні взаємодії та мікроскопічна будова речовини	3
Фізика твердого тіла.....	7
Нанофізика і нанотехнології.....	8
Фізика м'якої речовини.....	9
Астрофізика та космологія.....	12
Фізика плазмових процесів.....	13
Математичне моделювання.....	14
Комп'ютерне забезпечення наукових досліджень.....	15
Науково-освітній центр.....	15
Наукові публікації.....	16
Конференції.....	16

CONTENTS

Fundamental interactions and microscopic structure of matter.....	17
Solid state physics.....	21
Nanophysics and nanotechnologies.....	22
Soft matter physics.....	23
Astrophysics and cosmology.....	26
Physics of plasma processes.....	27
Mathematical modeling.....	28
Computer software research.....	28
Scientific and education center.....	28
Scientific publications.....	29
Conferences.....	30

ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ВЗАЄМОДІЇ ТА МІКРОСКОПІЧНА БУДОВА РЕЧОВИНИ

Запропоновано модель народження віртуальних фотонів, яка базується на ефекті синхротронного випромінювання, що виникає від взаємодії кварків з колективним кольоровим полем, що забезпечує конфайнмент. Виявлено, що інтенсивність такого випромінювання для гарячого середовища розміром 1-10 фермі (що якраз очікується в зіткненнях релятивістських іонів) є дуже близькою кількісно до звичайного об'ємного механізму народження фотонів та ді-лептонів за температур $T=200-300$ MeV. Найцікавішою рисою такого механізму є високий ступінь поляризації фотонів. Знайдено, що віртуальні фотони розвивають дуже помітну специфічну анізотропію за кутом розподілу лептонів по відношенню до тривимірного імпульсу пари. Показано, що таке випромінювання буде неізотропним для нецентральных зіткнень. Як результат, коефіцієнт еліптичної анізотропії для ді-лептонної пари буде також пропорційний до ексцентриситету створеної системи і може бути вимірний в експерименті. Така кутова анізотропія відсутня в механізмі Дрелла-Яна та інших "стандартних" об'ємометричних механізмах і могла би бути, якщо буде знайдена експериментально, вельми ефективним сигналом утворення кварк-глюонної плазми в релятивістських зіткненнях адронів та важких іонів. (чл.-кор. НАН України Г.М. Зінов'єв)

- *Goloviznin V., Snigirev A., Zinovjev G.* On the anisotropy of thermal di-leptons. arXiv:1711.05459 [hep-ph].

Проаналізовано найновітніші дані експерименту TOTEM за енергії 13 TeV разом з даними про повні перерізи та відношення реальної частини до уявної амплітуди пружного розсіяння протонів та антипротонів на протонах за енергій взаємодії, більших за 5 GeV. Наведено аргументи про те, що несподівано мале значення відношення 0.098 ± 0.01 , знайдене в експерименті TOTEM, свідчить однозначно про перше експериментальне підтвердження існування «одерона» в його так званому максимальному вигляді. (Є.С. Мартинов)

- *Martynov E., Nicolescu B.* Did TOTEM experiment discover the Odderon? arXiv:1711.03288v4 [hep-ph]

Розвинуто модель адрон-резонансного газу з включенням ефектів взаємодії між баріонами. В моделі проведено розрахунки флуктуації баріонного числа – кумулянти 3-го та 4-го порядку – при її застосуванні до центральних ядро-ядерних зіткнень. (М.І. Горенштейн)

- *Vovchenko V., Gorenstein M.I., Stoecker H.* Critical point of nuclear matter and beam energy dependence of net proton number fluctuations. arXiv: 1711.07260 [nucl-th]

На основі знайденого рівняння стану із індукованим поверхневим натягом, яке дає можливість вийти за межі наближення Ван дер Ваальса, досліджено термодинамічні властивості адронної матерії з високою надійністю в області хімічного фрізаута для температури $T=50-170$ MeV та баріонного хімічного потенціалу $\mu = 0-770$ MeV. З опису експериментальних адронних множинностей вперше було знайдено рівняння стану фази, що утворюється за енергій зіткнення ядер в системі центру мас $\sqrt{s} = 4.9-9.2$ GeV/нукл, та наведено вагомі аргументи на користь того, що це – фаза, в якій адрони є майже безмасові. Це може свідчити про те, що сучасні експериментальні дані підтверджують існування не критичної, а трикритичної точки в КХД матерії. (К.О. Бугаєв, В.В. Сагун, О.І. Іваницький, чл.-кор. НАН України Г.М. Зінов'єв)

- *Bugaev K. A., Sagun V. V., Ivanytskyi A. I., Yakimenko I. P., Nikonov E. G., Taranenko A.V. and Zinovyjev G. M.* Going beyond the second virial coefficient in the hadron resonance gas model, Nucl. Phys. A, **970**, 2018, 133-155.

Мезонні резонанси $K^*(892)$ з часом життя 4-5 фм/с використано як зонд для аналізу просторово-часової картини процесів ядро-ядерних зіткнень. Знайдено, що майже половина цих мезонів народжується в адронному середовищі і 70% продуктів їхнього розпаду взаємодіє із середовищем. Це свідчить про існування щільної адронної матерії з часом життя, не менше ніж 5 фм/с після закінчення процесу адронізації кварк-глюонної плазми. Числові розрахунки цієї картини в рамках інтегровної гідрокінетичної моделі приводять до результатів, що співпадають з даними експериментів на ЛНС. (Ю.М. Синюков, В.М. Шаповал)

- *Shapoval V.M., Braun-Munzinger P., Sinyukov Yu.M.* $K^*(892)$ and $\phi(1020)$ production and their decay into the hadronic medium at the Large Hadron Collider. Nucl. Phys. A, 2017, **968**, 391-402.

Показано, що неекспоненціальна форма дифракційного конуса, спостережена в пружному розсіянні протонів на прискорювачі ЛНС, є підтвердженням наявності у протонів піонної “шуби”, пов’язаної з аналітичними властивостями амплітуди розсіювання. (Л.Л. Єнковський)

- *Jenkowszky L. , Szanyi I. Tan Chung-I Shape of Proton and the Pion Cloud, arXiv:1710.10594*

Розглянуто квантові ефекти основного стану в діраківських матеріалах, двовимірні одношарові структури котрих згорнуті внаслідок дисклинації в наноконуси. Враховано ненульовий розмір дисклинації, а граничну умову на межі дисклинації вибрано такою, що забезпечує самоспряженість гамільтонового оператора Дірака-Вейля. У випадку вуглецевих, кремнієвих і германієвих наноконусів показано, що квантові ефекти основного стану не залежать від розміру дисклинації, та знайдено умови, коли вони не залежать від параметру граничної умови. (Ю.О. Ситенко)

- *Sitenko Yu.A., Gorkavenko V.M. Non-Euclidean geometry, nontrivial topology and quantum vacuum effects. arXiv:1711.00450*

На основі представлення Швінгера для кулонівської функції Гріна встановлено можливість аналітичного розв’язання рівняння Ліпмана-Швінгера для тривимірної кулонівської матриці переходу при від’мних енергіях як у випадку відштовхувальної взаємодії і цілочислового значення кулонівського параметра, так і у випадку відштовхувальної і притягальної взаємодій і напівцілих значень кулонівського параметра ($1/2$ і $-1/2$). (В.Ф. Харченко)

- *Kharchenko V.F. Solution of the Lippmann-Schwinger equation for a partial wave transition matrix with repulsive Coulomb interaction. UJP, 2017, 62, No 3, 263-270.*

В рамках мікроскопічної моделі, яка для опису відносного руху кластерів залучає гіперсферичні функції, розглянуто ряд трикластерних систем (^4He , ^7Li , ^7Be , ^8Be , ^{10}Be). Вибрано було такі трикластерні системи, які мають принаймі один бінарний канал. Метою даного дослідження було встановити, чи придатні гіпергармоніки для опису двочастинкових каналів і за яких умов, чи вони підходять лише для опису трикластерного континууму. Головний результат полягає в тому, що можна виявити двокластерну конфігурацію в хвильовій функції трикластерної системи псевдозв’язаного стану навіть з достатньо обмеженим набором

гіперсферичних функцій як за гіпермоментом, так і за гіперрадіальними збудженнями. Продемонстровано, що власні стани трикластерного гамільтоніану мають правильну асимптотичну поведінку як для зв'язаних станів, що лежать під двокластерним порогом, так і для станів двокластерного континууму. (Ю.А. Лашко, Г.Ф. Філіппов, В.С. Василевський)

- *Lashko Yu.A., Filippov G.F., Vasilevsky V.S.* Microscopic three-cluster model of ^{10}Be . Nucl. Phys. A, 2017, **958**, 78-100.
- *Vasilevsky V.S., Lashko Yu.A., Filippov G.F.* Two- and three-cluster decays of light nuclei with the hyperspherical harmonics. arXiv:nucl-th/1706.04172 (submitted to Phys. Rev. C).

На основі простої феноменологічної моделі за припущення однопіонного обмінного характеру ядерних сил, встановлено зв'язок між різними піон-нуклонними константами зв'язку, що характеризують нуклон-нуклонну взаємодію. Показано, що порушення зарядової незалежності піон-нуклонних констант зв'язку повністю обумовлено різницею мас зарядженого та нейтрального пі-мезонів і відмінністю маси протона від маси нейтрона. (В.О. Бабенко, М.М. Петров)

- *Бабенко В.А., Петров Н.М.* О связи между зарядовой и нейтральной константами пион-нуклонной связи в модели Юкавы. Письма в ЭЧАЯ, 2017, **14**, № 1, 26-39.

Бозе-конденсатні моделі темної матерії є досить популярними, однак мають і деякі недоліки. Ми розглядаємо модель μ -Бозе-газу, що є деформацією моделі Бозе-газу (БГ) з раціональним типом нелінійності і при $\mu=0$ переходить у модель БГ. В рамках термодинамічної геометрії моделі μ -БГ обчислено скалярну кривину і виявлено її сингулярність, що вказує на наявність конденсату в системі μ -бозонів. На основі цього факту та інших важливих властивостей μ -Бозе-газу, що дають певні переваги порівняно з моделлю БГ, запропоновано застосування μ -деформованої системи як моделі ефективного опису «темної матерії», яка оточує карликові галактики. (О.М. Гаврилик, І.І. Качурик, М.В. Хелашвілі, А. Назаренко)

- *Gavrilik A.M., Kachurik I.I., Khelashvili M.V., Nazarenko A.V.* The use of μ -Bose gas model for effective modeling of dark matter. arXiv:1709.05931

Для одновимірного рівняння Шредінгера, що описує тунелювання електронів через дво- або тришарову гетероструктуру, в одноточковому наближенні виявлено і детально описано ефект

розгалуження резонансних рівнів тунелювання на зліченні множини, які мають вигляд кривих або поверхонь в залежності від двох чи трьох шарів структури. (О.В. Золотарюк)

- *Zolotaryuk A.V.* Families of one-point interactions resulting from the squeezing limit of the sum of two- and three-delta-like potentials. *J. Phys. A: Math. Theor.*, 2017, **50**, 225303 (19pp).

Побудовано розв'язок для системи Фуджі-Сузукі-Цуди рангу N із n сингулярними точками через конформні блоки W_N -алгебри з центральним зарядом $c=N-1$. Ця конструкція використовує різні властивості конформних блоків W_N -алгебр. Хоча ці властивості є добре відомими, частину з них для $N>3$ ми довели вперше: (1) для довільного центрального заряду знайдено редукцію довільних триточкових конформних блоків до певного мінімального незалежного набору; (2) для $c=N-1$ знайдено правила відбору для триточкових конформних блоків, якщо одне з полів є виродженим; (3) доведено формулу для чотириточкових конформних блоків з одним напіввиродженим та одним виродженим полями через узагальнені гіпергеометричні функції. (П.Г. Гавриленко, М.З. Іоргов)

ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА

Показано, що характерною рисою двовимірних систем, які проходять N послідовних топологічних переходів Ліфшиця, є поява піків ентропії на частинку з квантованою амплітудою при низьких температурах. Отримано загальний вираз для ентропії як функції хімічного потенціалу, температури та амплітуди щілин у діраківських матеріалах. Всередині меншої зі щілин, залежність від хімічного потенціалу містить мінімум та пік поблизу точки Дірака. Запропоновано експериментальне вимірювання всіх цих особливостей в експериментах з модуляцією температури зразків (С.Г. Шарапов, чл.-кор. НАН України В.П. Гусинін)

- *Tsaran V.Yu., Kavokin A.V., Sharapov S.G., Varlamov A.A., Gusynin V.P.* Entropy spikes as a signature of Lifshitz transitions in the Dirac materials. *Scientific Reports*, 2017, **7**, 10271.

Показано, що коректне визначення електричного струму в хіральной кінетичній теорії для вейлівських матеріалів повинно включати доданок Черна-Саймонса, що робить теорію узгодженою з локальним збереженням електричного заряду в електромагнетному полі і псевдоелектромагнетному полі, індукованому деформаціями.

Досліджено частоти колективних мод у вейлівських матеріалах в цих полях. Встановлено, що хоча частота повздожньої колективної моди співпадає з ленгмюрівською частотою, ця мода є незвичайною тому, що характеризується осциляцією не тільки густини електричного струму, а також густини хірального струму. Осциляції густини хірального струму виникають внаслідок хірального ефекту розділення. Знайдено, що частоти поперечних мод розщеплюються в магнетному полі, і це дає можливість експериментального вимірювання частот плазмових коливань у вейлівських матеріалах. (Е.В. Горбар)

- *Gorbar E.V., Miransky V.A., Shovkovy I.A., Sukhachov P.O.* Consistent chiral kinetic theory in Weyl materials: chiral magnetic plasmons. *Phys. Rev. Lett.*, 2017, **118**, 127601.

Побудовано змішану систему початкових та проміжних польових функцій для інтегрованої нелінійної Шрьодінгерівської системи на трикутній драбинчастій ґратці. Показано, що в термінах таких польових функцій система розщеплюється на дві підсистеми з якісно відмінними властивостями збуджень. Встановлено якісну зміну динамічних режимів системи при переході фонового параметра через критичну точку. (О.О. Вахненко)

- *Vakhnenko O.O.* Semi-discrete integrable nonlinear Schrödinger system with background-controlled inter-site resonant coupling. *J. Nonlin. Math. Phys.*, 2017, **24**, No 02, 250-302.
- *Vakhnenko O.O.* Distinctive features of the integrable nonlinear Schrödinger system on a ribbon of triangular lattice. *UJP*, 2017, **62**, No 03, 271-282.

НАНОФІЗИКА І НАНОТЕХНОЛОГІЇ

Досліджено кінетику формування електролюмінесценції у наносистемах метал-молекула-метал із симетричними та асиметричними зв'язками молекули з електродами та показано, що оптично активний стан молекули виникає за рахунок передачі енергії електрона, що переноситься молекулі як стрибковим шляхом, так і в результаті непружного тунелювання електрона. Для молекул-хромофорів знайдено умови посилення електролюмінесценції за рахунок як заміни інтерфейсу, так і зміни енергетичного спектру молекули (чл.-кор. НАНУ Е.Г. Петров, В.О. Леонов, Є.В. Шевченко).

- *Petrov E.G., Leonov V.O., Shevchenko Ye.V.* Electrofluorescence polarity in a molecular diode, *JETP*, 2017, **125**, No 5, 856-874.

Досліджено особливості релаксації енергії електронів на коливаннях ґратки в металах. Отримано аналітичну формулу для втрат електронної енергії за одиницю часу, необхідної для збудження акустичних коливань ґратки. Показано, що величина поглинутої ґраткою потужності визначається співвідношеннями температур Дебая і ґратки та ґратки і електронної температури (М.І. Григорчук).

- *Григорчук М.І.* Релаксація енергії зв'язку електронів з фононами в металах. *Металлофизика и Новейшие Технологии*, 2017, **39**, № 11, 1411-1419.

Нестационарну теорію функціоналу густини застосовано для з'ясування механізмів циклізації фотохромних молекул діфурилетену, що їх досліджували методами фемтосекундної спектроскопії. На основі розрахованих спектрів збуджень, поверхонь потенціальної енергії та бар'єру перемикання для реакції циклізації запропоновано модель релаксаційного переходу від відкритої до закритої форми молекули діфурилетену при опроміненні світлом з різними значеннями довжини хвилі нагнітання (О.Л. Капітанчук).

- *Khodko A., Khomenko V., Shynkarenko Y., Mamuta O., Kapitanchuk O. Sysoiev D., Kachalova N., Huhn T., Snegir S.* Ultrafast ring-closing reaction dynamics of a photochromic furan-based difurylene. *Chem. Phys. Lett.*, 2017, **669**, 156-160.

ФІЗИКА М'ЯКОЇ РЕЧОВИНИ

Запропоновано новий механізм утворення точкових мутацій в біологічних об'єктах, який враховує флуктаційну появу в подвійній спіралі ДНК при відкритих молекулою води комплементарних пар. В рамках методу функціоналу густини проаналізовано можливі переходи протонів у привідкритій парі А-Т та розраховано їхні енергії. Показано, що в разі утворення привідкритої пари, неправильні таутомерні форми нуклеїнових основ можуть стабілізуватися і слугувати джерелом виникнення точкової мутації. Оцінена ймовірність такої мутації в ДНК (10^{-10} - 10^{-11}) пояснює відомі експериментальні результати. (Е.С. Крячко, С.Н. Волков)

- *Kryachko E.S., Volkov S.N.* On the Mechanism of Facilitation of Spontaneous Mutation in Water-pre-opened A-T Base Pair. 5-th Intern. Conf. "Nanobiophysics: Fundamental and Applied Aspects", October 2-5, 2017, Kharkiv, Ukraine. Book of Abstracts, p. 110.

З появою одномолекулярної спектроскопії високої роздільної здатності та можливостей спостереження за реакцією поодиноких ензимів, а також керування режимами їхнього функціонування, виникла нагальна потреба перегляду меж придатності класичних схем ферментативного каталізу і відхилень від них. За допомогою розробленого стохастичного підходу виконано теоретичний аналіз кінетики основних схем міхаелісівського типу з урахуванням динамічного безладу як у вільному ферменті, так і фермент-субстратному комплексі у випадках дискретних наборів конформацій або ж обмеженої структурної дифузії. Знайдено нові, іноді контр-інтуїтивні залежності швидкості утворення продукту від концентрації субстрату і параметрів реакційної схеми (Л.М. Христофоров).

- *Christophorov L.N.* Modern approach to induced fit and Michaelis-Menten's scheme. 2017 (*надіслано до Biophysical Journal*).

Теоретично передбачено та експериментально підтверджено існування взаємодії кулонівського типу між колоїдними частинками в нематичному рідинному кристалі. Виникнення такої взаємодії обумовлено порушенням всіх елементів симетрії в розподілі пружного поля директора навколо окремої частинки, що індукується граничними умовами на поверхні самої частинки. (чл.-кор. НАН України Б.І. Лев)

- *Beom-Kyu Lee, Sung-Jo Kim, Jong-Hyun Kim, Bohdan Lev.* Coulomb-like elastic interactions as result of symmetry breaking in a nematic liquid crystal colloids. *Nature, Scientific Reports*, 2017, **7**, article number: 15916, doi: 10.1038/s41598-017-16200-z.

Запропоновано механізм руху колоїдних частинок в рідинному кристалі з деформованим полем директора. Показано, що не всі деформації пружного поля однаково впливають на трансляційний рух колоїдних частинок. (чл.-кор. НАН України Б.І. Лев)

- *Beom-Kyu Lee, Sung-Jo Kim, Bohdan Lev, Jong-Hyun Kim.* Motion of a colloidal particle in a nonuniform director field of a nematic liquid crystal. *Phys. Rev. E*, 2017, **95**, 012709.

Запропоновано статистичне описання нерівноважних самогравітувальних систем. Отримано рівняння стану та просторову залежність густини і температури з формуванням просторово неоднорідного розподілу частинок. (чл.-кор. НАН України Б.І. Лев)

- *Lev B.I., Lev S.B.* Non-equilibrium dynamic of a Universe formation. *Mod. Phys.Lett. A*, 2017, **32**, No 30, 1750165 (8 pages).

Запропоновано формалізм опису рівноважного бозе-газу на основі розгляду в макроскопічному, але скінченному об'ємі. Наявність конденсату Бозе–Айнштайна враховується через недиагональний дальній порядок при переході до термодинамічної границі. На цій основі здійснено описання виродженого бозе-газу з дельта-подібним потенціалом взаємодії з використанням самоузгодженого наближення Хартрі–Фока. Отримано явні вирази для енергетичних спектрів одночастинкових та колективних збуджень, що враховують ефекти, обумовлені тотожністю частинок. (акад. НАН України А.Г. Загородній)

- *Bobrov V.B., Zagorodny A.G., Trigger S.A.* Another approach for obtaining the excitation spectra in degenerate Bose gases with delta-shaped interaction potentials. *Low Temperature Physics*, 2017, **43** (3), 343-350.

Запропоновано і точно розв'язано модель нелінійного осцилятора з масою, залежною від координати, або коефіцієнтом пружності, залежним від швидкості. Побудовано перерізи Пуанкаре і знайдено умови можливої стохастичності в поведінці такого осцилятора. (акад. НАН України А.Г. Загородній, чл.-кор. НАН України Б.І. Лев, В.Б. Тимчишин)

- *Lev B.I., Tymchyshyn V.B., Zagorodny A.G.* On certain properties of nonlinear oscillator with coordinate-dependent mass. *Physics Letters A*, 2017, **381**, 3417-3423.

Для широкого класу нейронних моделей математично строго доведено, що активність гальмівного нейрона із швидким CI -подібним типом гальмування та із затриманим зворотнім зв'язком, стимульованого стохастичним процесом відновлення, є немарковською. (О.К. Відибіда).

- *Vidybida A.K.* Output stream of leaky integrate-and-fire neuron without diffusion approximation, *Journal of Statistical Physics*, 2017, **166**, 267-281.

Запропоновано фізичний механізм редукції інформації в реверберативній нейронній мережі через сходження різних динамічних траєкторій в одну з наступним виходом на періодичний режим. Встановлено, що необхідною передумовою для сходження траєкторій є постріли нейронів мережі. Для широкого класу нейронних моделей гальмівного імпульсного нейрона із швидким CI -подібним типом гальмування та із затриманим зворотнім зв'язком встановлено можливість представлення вихідного стохастичного процесу через характеристики лінії зворотнього зв'язку і вихідного

стохастичного процесу нейрона без зворотнього зв'язку. Виведено явні формули такого представлення. (О.К. Відибіда, О.В. Щур).

- *Vidybida A.K., Shchur O.V.* Information reduction in a reverberatory neuronal network through convergence to complex oscillatory firing patterns, *Biosystems*, 2017, **161**, 24-30; <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2017.07.008>

Проведено моделювання метаболічного процесу в клітині з використанням перетворення Фур'є та побудови гістограм інваріантних мір хаотичних атракторів. Знайдено необхідну кількість гармонік, однозначно відображальних найскладніший режим дивного атрактора. Досліджено залежність виду атрактора від розподілу і величини гармонік у спектрі Фур'є. Ідентифіковано гармоніки, що формують ламінарну і турбулентну частини траєкторії атрактора. Побудовано гістограми проєкцій інваріантних мір основних видів дивних атракторів системи та досліджено їхню залежність від фазового портрету. (Грицай В.Й)

- *Grytsay V.I.* Spectral Analysis and Invariant Measure in the Study of a Nonlinear Dynamics of the Metabolic Process in Cells. *Ukr. J. Phys.*, 2017, **62**, No 5, 448.

Запропоновано модель для теоретичного опису атмосферного каналу передачі інформації квантовим світлом. Проаналізовано експериментальні дані для розподілу ймовірності пропускання (PDT) для різних погодних умов (дощ, мряка) та часу доби (день, ніч). Теоретичні та експериментальні криві для PDT добре узгоджуються між собою. Проаналізовано також вплив погодних умов на квантові властивості стиснутого світла та переплутаних гаусових станів. Показано, що певні постселекційні процедури можуть зменшити класичний шум і покращити здійснення квантових комунікаційних протоколів. (Д.Ю. Васильєв)

- *Vasylyev D., Semenov A. A., Vogel W.* Free-space quantum links under diverse weather conditions. *Phys. Rev. A*, 2017, **96**, 043856.

АСТРОФІЗИКА ТА КОСМОЛОГІЯ

Для з'ясування природи лінії на енергії 3.5 кеВ опрацьовано всі публічно доступні спостереження обсерваторії ХММ-Newton 19 скупчень галактик з найбільшим очікуваним потоком від розпаду темної матерії. Відбір об'єктів ґрунтувався на відомих профілях гало темної матерії. Комбіновані спектри об'єктів, моделювались як сума

неперервного спектру плазми і відомих астрофізичних ліній. Вклади від слабких астрофізичних ліній обмежувались зверху, виходячи зі значень потоків достовірно зареєстрованих астрофізичних ліній. В 6 спектрах зареєстровано перевищення зі статистичною значущістю на рівні $>2\sigma$ і положенням лінії 3.56 ± 0.02 кеВ. Детальні симуляції показують оцінку комбінованої значущості сигналу, що дорівнює якнайменше 2.6σ . Оцінка зростає до 3.1σ при врахуванні розкиду центроїдів за енергіями. Моделювання залежності положення лінії в системі випромінювача від червоного зміщення об'єкту показує, що астрофізична природа сигналу краще узгоджується з даними, аніж інструментальна природа. Інтерпретація сигналу як лінії розпаду темної матерії дає час життя частинки темної матерії $\tau \approx (3.2-5.3) \times 10^{27}$ сек, що цілком узгоджується з попередніми спостереженнями лінії. (Д.А. Якубовський, Д.О. Савченко)

- *Iakubovskyi D., Bulbul E., Foster A., Savchenko D., Sadova V.*, “Testing the origin of ~ 3.55 keV line in individual galaxy clusters observed with XMM-Newton. Phys. Rev. D. (submitted).

ФІЗИКА ПЛАЗМОВИХ ПРОЦЕСІВ

Досліджено поляризаційні ефекти при взаємодії двох заряджених частинок скінченного розміру, вміщених в плазмовоподібне середовище. Розрахунки сили взаємодії частинок виконано як за припущення, що частинки мають фіксований заряд і не поглинають електронів та іонів з плазмового оточення (заряджені колоїдні суспензії), так і для випадку самоузгодженого заряджання порошинок плазмовими струмами (запорошена плазма). Показано, що в першому випадку на великих відстанях сила взаємодії має екрановану дебаєву асимптоту, а для порошинок – кулонову. Розраховано ефективні заряди, що описують таку взаємодію та умови описання сили взаємодії в термінах ефективних потенціалів. (акад. НАН України А.Г. Загородній)

- *Momot A.I., Zagorodny A.G., Orel I.S.*. Interaction force between two finite-size charged particles in weakly ionized plasma. Phys. Rev. E, 2017, **95**, 013212.

Проаналізовані можливі структури в системі порошинок в слабкойонізованій плазмі. Знайдені параметри можливих структур відповідають експериментально спостережуваним. (акад. НАН України А.Г. Загородній, чл.-кор. НАН України Б.І. Лев, В.Б. Тимчишин)

- *Lev B. I., Tymchyshyn V. B., Zagorodny A.G.* Potential energy analysis for a system of interacting particles arranged in Bravis lattice. *Ukr. J. Phys.*, 2017, **62**, 217.

Розглянуто дифузію заряджених частинок в статичному випадковому електричному полі поперек магнетного поля. Запропоновано новий спосіб замикання статистичного рівняння, яке описує дифузію частинок в замороженому полі з урахуванням ефектів захоплення частинок та скінченного ларморового радіусу без припущення про його малість. Виконано пряме числове моделювання і показано, що статистичні характеристики, знайдені як розв'язки аналітичної моделі, узгоджуються з результатами моделювання в широкому діапазоні ларморових радіусів (акад. НАН України А.Г. Загородній, В.І. Засенко, О.М. Черняк).

- *Zasenko V.I., Zagorodny AG., Cherniak O.M.* Impact of wave phase jumps on stochastic heating. *Problems of Atomic Science and Technology*, 2017, № 1. Series: Plasma Physics (23), 60-63.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Представлено загальну концепцію опису роботи банку, засновану на інвестиційній стратегії як в ризикові, так і неризикові активи, динаміці залучення депозитів на рахунки банку та доходах від операційної діяльності, динаміці виплат за зобов'язаннями. Використовуючи ці фактори, побудовано стохастичну модель еволюції капіталу банку. Розв'язано проблему оцінювання ймовірності банкрутства банку, яка залежить від вибору інвестиційної стратегії, залучення депозитів на його рахунки, обмеження для зобов'язань за виплатами. Введено кількісну характеристику якості менеджменту. За умови задовільної якості менеджменту знайдено умови для введених факторів, за яких банк може функціонувати нескінченно довго з достатньо малою ймовірністю банкрутства. (М.С. Гончар, В.Г. Козирський, А.С. Жохін, Л.С. Терентьева)

- *Gonchar N.S., Kozyrski W.H., Zhokhin A.S., Terentieva L.S.* Recession, exchange rate, and inflation targeting. *Journal of Automation and Information Sciences*, 2017, **49**, 1, 17-26.

КОМП'ЮТЕРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Забезпечено підтримку хмарного сайту на базі програмного забезпечення OpenStack та розподіленої файлової системи Ceph. Розроблено та впроваджено сервіси для забезпечення надійного функціонування промислової хмарної інфраструктури ІТФ для забезпечення гарантованого виконання завдань, що стосуються опрацювання даних експерименту ALICE в ЦЕРНі, з використанням системи HTCondor та надання хмарних сервісів користувачам для організації наукових обчислень. (С.Я. Свістунов)

НАУКОВО-ОСВІТНІЙ ЦЕНТР

Улітку 2017 року при ІТФ ім. М.М.Боголюбова створено кафедру теоретичної і математичної фізики (ТМФ) Фізико-технічного науково-навчального центру НАН України, який зараз перебуває на стадії реформування в державну наукову установу «Київський академічний університет» НАН України і МОН України. Науково-освітній центр спільно з кафедрою ТМФ проводив регулярні факультативні заняття з фізики та математики для студентів київських ВНЗ. Окрім того, в кінці року за підтримки Науково-освітнього центру проведено шкільну олімпіаду з експерименту для школярів фізико-математичних ліцеїв Києва.

Для студентів 1-го курсу фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка проведено два цикли факультативних семінарів з теоретичної фізики та вищої математики. Семінари відвідувало близько 10 студентів.

В рамках Боголюбовської програми з теоретичної фізики доктор фіз.-мат. наук С. Пакуляк прочитав два цикли лекцій із сучасних методів інтегровних квантових систем.

Від 3 по 6 січня 2017 року проведено Зимову школу із сучасної математичної фізики, на якій були прочитані цикли лекцій із суперсиметричних квантових теорій поля та застосуванні методів нелінійних квантових інтегровних систем у фізиці конденсованого стану.

Кафедра ТМФ спільно із Центром провела в ІТФ такі школи:

- 1)Весняну школу з математичної фізики «Сучасні математичні методи квантової теорії поля», 27 - 31 березня 2017 р.

- 2) Літню школу із сучасної теоретичної фізики «Матричні моделі у фізиці та математичній фізиці» (<https://sites.google.com/view/kaumm2017>), 14 - 19 серпня 2017 р.
- 3) Осінню школу із сучасної квантової фізики «Вступ до квантових технологій», 11 - 15 вересня 2017 р.

НАУКОВІ ПУБЛІКАЦІЇ

Монографії та підручники: 1

- *Kruchinin S. Problems and solutions in special relativity and electromagnetism. World Scientific, 2017. – 148 p.*

Статті в журналах: 160

українських журналах – 40,
іноземних журналах – 120.

КОНФЕРЕНЦІЇ

- Семінар «Проблеми теоретичної фізики», присвячений пам'яті О.Г. Ситенка. Київ, 12 лютого 2017 р.
- Семінар «Квантова теорія поля та космологія», присвячений пам'яті Петра Івановича Фоміна. Харків, ННЦ «ХФТІ», 23 червня 2017 р.
- The 10th Bolyai-Gauss-Lobachevsky Conference on Non-Euclidean Geometry and its Applications. Károly Róbert Campus, Eszterházy Károly University Gyöngyös, Hungary, August 20-26, 2017.
- Conference “Fundamentals of Astroparticle and Quantum Physics” dedicated to the 90th anniversary of the outstanding Austrian theoretician in mathematical physics Walter THIRRING (1927-2014) and Ukrainian theoretician in plasma physics Alexei SITENKO (1927-2002). 17-23 Sept., 2017, BITP, Kyiv, Ukraine
- Young scientists conference “Problems of Theoretical Physics”. Kyiv, December 12–14, 2017.
- Давидовські читання. Київ, 26 грудня 2017 р.

FUNDAMENTAL INTERACTIONS AND MICROSCOPIC STRUCTURE OF MATTER

Significantly alternative mechanism for thermal radiation of photons and di-leptons is suggested. It is based on an effect of synchrotron radiation that arises from the interaction of quarks with collective color field providing a confinement. The intensity of such a radiation for the hot medium of size 1-10 fermi (that just is expected in the collisions of relativistic heavy ions) turns out quantitatively very close to standard volume photon radiation at temperatures $T=200-300$ MeV. The most striking feature of such a mechanism is the high degree of polarization of photons. It has been found out the virtual photons develop the noticeable specific anisotropy in the angle distribution of leptons with respect to the three-momentum of pair and is shown such a radiation is will be non-isotropic for the non-central collisions. Such an angular anisotropy is absent in the Drell-Yan mechanism and the other “standard volumetric” mechanisms and could be (if discovered experimentally) quite reliable signal of creating quark-gluon plasma in the relativistic collisions of hadrons and heavy ions. (Corr. Member of the NAS of Ukraine G.M. Zinovjev)

- *Goloviznin V., Snigirev A., Zinovjev G.* On the anisotropy of thermal di-leptons. arXiv:1711.05459 [hep-ph].

The newest data of the TOTEM Collaboration at 13 TeV and all the present data on the total cross sections together with ratios of real to imaginary part of elastic forward scattering amplitudes at energies higher than 5 GeV have been analyzed. As a result the serious arguments have been presented, and the surprisingly small value of this ratio 0.098 ± 0.01 measured in TOTEM experiment clearly showed the first experimental observation of an “odderon” in its maximal form. (Ye.S. Martynov)

- *Martynov E., Nicolescu B.* Did TOTEM experiment discover the Odderon? arXiv:1711.03288v4 [hep-ph]

The model of hadron resonance gas that includes an effect of interaction between baryons has been developed and used to calculate the baryon number fluctuations, in particular, the cumulants of third and fourth order in order to describe the results of the central nuclei-nuclei collisions. (M.I. Gorenstein)

- *Vovchenko V., Gorenstein M.I., Stoecker H.* Critical point of nuclear matter and beam energy dependence of net proton number fluctuations. arXiv: 1711.07260 [nucl-th]

Using the proposed equation of state with the induced surface tension which allows one to go beyond the Van der Waals approximation the thermodynamic properties of hadronic matter at chemical freeze-out are fixed with high confidence for the temperature $T=50-170$ MeV and baryonic chemical potential $\mu = 0-770$ MeV. Fitting the experimental data on hadronic multiplicities the equation of phase state that is created at the center of mass collision energies of nuclei in the interval $\sqrt{s} = 4.9-9.2$ GeV/nucleon has been found for the first time, and the strong arguments in favor of this phase as a phase of nearly massless hadrons have been given. Thus, it leads to the conclusion about existence of a tri-critical endpoint, but not a critical one, in the QCD matter. (K.A. Bugaev, V.V. Sagun, A.I. Ivanytskyi, Corr. Member of the NAS of Ukraine G.M. Zinovjev)

- *Bugaev K. A., Sagun V. V., Ivanytskyi A. I., Yakimenko I. P., Nikonov E. G., Taranenko A.V. and Zinovjev G. M.* Going beyond the second virial coefficient in the hadron resonance gas model, Nucl. Phys. A, 2018, **970**, 133-155.

The meson resonance $K^*(892)$ with the lifetime of 4-5 fm/c are used as a probe to analyze a space-temporal picture of nuclear-nuclear collision processes. It is found that almost half of these mesons are born inside a hadron environment and 70% of their decay products interact with the medium. It testifies to the existence of dense hadron matter with a life time not less than 5 fm/c after the quark-gluon plasma hadronization. The numerical calculations of this picture within the integrated hydrokinetic model lead to the results fitting well the LHC experimental data. (Yu.M. Sinyukov, V.M. Shapoval)

- *Shapoval V.M., Braun-Munzinger P., Sinyukov Yu.M.* $K^*(892)$ and $\phi(1020)$ production and their decay into the hadronic medium at the Large Hadron Collider. Nucl. Phys. A, 2017, **968**, 391-402.

It is shown that the non-exponential form of the diffraction cone observed in the elastic scattering of protons by the LHC accelerator is a confirmation of the presence of a pion “coat” in protons associated with the analytic properties of the scattering amplitude. (L. Jenkovszky)

- *Jenkovszky L., Szanyi I.* Tan Chung-I Shape of Proton and the Pion Cloud”, arXiv:1710.10594

We consider quantum ground state effects in Dirac materials with two-dimensional monolayer structures warped into nanocones by a disclination; the nonzero size of the disclination is taken into account, and a boundary condition at the edge of the disclination is chosen to ensure self-adjointness of the Dirac-Weyl Hamiltonian operator. In the case of carbon, silicon and germanium nanocones, we show that the quantum ground state effects are independent of the disclination size and find circumstances when they are independent of the boundary parameter. (Yu.A. Sitenko)

- *Sitenko Yu.A., Gorkavenko V.M.* Non-Euclidean geometry, nontrivial topology and quantum vacuum effects. arXiv:1711.00450

On the basis of Schwinger representation for the Coulomb Green function the possibility of the analytical solution of the Lippmann-Schwinger equation for the three-dimensional Coulomb transition matrix at negative energies has been established in the case of the repulsive interaction and the integer values of Coulomb parameter as well as in the case of repulsive and attractive interactions and half-integer values of Coulomb parameter (1/2 and -1/2, respectively). (V.F. Kharchenko)

- *Kharchenko V.F.* Solution of the Lippmann-Schwinger equation for a partial wave transition matrix with repulsive Coulomb interaction. UJP, 2017, **62**, No 3, 263-270.

We considered a set of three-cluster systems (^4He , ^7Li , ^7Be , ^8Be , ^{10}Be) within a microscopic model which involves the hyperspherical harmonics to represent intercluster motion. We selected such three-cluster systems which have at least one binary channel. Our aim is to study whether the hyperspherical harmonics are able and under what conditions to describe two-body channel or they are suitable for describing three-cluster continuum only. The main result of the present investigations is that to describe the nondemocratic two-cluster decay or bound states below the two-cluster threshold one needs to use a rather restricted set of the hyperspherical harmonics and hyperradial excitations as well. It was demonstrated that the eigenstates of the three-cluster hamiltonian have correct asymptotic behaviour both for bound states below two-cluster threshold and states in two-cluster continuum. (Yu.A. Lashko, G.F. Filippov, V.S. Vasilevsky)

- *Lashko Yu.A., Filippov G.F., Vasilevsky V.S.* Microscopic three-cluster model of ^{10}Be . Nucl. Phys. A, 2017, **958**, 78-100.

- *Vasilevsky V.S., Lashko Yu.A., Filippov G.F.* Two- and three-cluster decays of light nuclei with the hyperspherical harmonics. arXiv:nucl-th/1706.04172 (submitted to Phys. Rev. C).

On the basis of a simple phenomenological model, by assumption of the one-pion exchange mechanism for the nuclear forces, we establish relations between different pion-nucleon coupling constants that characterize the nucleon-nucleon interaction. The charge independence breaking effect in the pion-nucleon coupling constants is entirely explained by the mass difference between the charged and neutral pions and by the mass difference between the proton and the neutron as well. (V.A. Babenko, N.M. Petrov)

- *Бабенко В. А., Петров Н. М.* О связи между зарядовой и нейтральной константами пион-нуклонной связи в модели Юкавы. Письма в ЭЧАЯ, 2017, **14**, № 1, 26-39.

Bose-condensate models of dark matter are rather popular, however possess some difficulties. We consider the μ -Bose gas model which is a deformation of Bose gas model (BGM) with rational type of nonlinearity, and at $\mu=0$ reduces to the BGM. Within thermodynamic geometry of μ -BGM, the scalar curvature is calculated and its singular behavior is found. It confirms a presence of condensate in the system of μ -bosons. Using this fact and other important properties of μ -BGM which give some advantages relative to BGM, the application of the μ -deformed system for effective modeling of dark matter surrounding dwarf galaxies is proposed. (A. Gavrilik, I. Kachurik, M. Khelashvili, A. Nazarenko)

- *Gavrilik A.M. , Kachurik I.I. , Khelashvili M.V. , Nazarenko A.V.* The use of μ -Bose gas model for effective modeling of dark matter. arXiv:1709.05931

For the one-dimensional Schrödinger equation, which describes the electron tunneling through a two- or three-layer heterostructure, in a single-point approximation, the effect of splitting resonant-tunneling levels into the countable sets, having the form of curves or surfaces that depend on two or three layers of the structure, has been observed and described in detail. (A.V. Zolotaryuk)

- *Zolotaryuk A.V.* Families of one-point interactions resulting from the squeezing limit of the sum of two- and three-delta-like potentials. J. Phys. A: Math. Theor., 2017, **50**, 225303 (19pp).

An explicit solution of the rank N Fuji-Suzuki-Tsuda system with n singular points in terms of semidegenerate n -point conformal blocks of

W_N -algebra with central charge $c=N-1$ is constructed. This construction uses different properties of conformal blocks of W_N -algebras. Although these properties are well known, some of them were proved for $N>3$ for the first time: (1) for arbitrary central charge a reduction of three-point conformal blocks to a minimal set of conformal blocks is given; (2) for $c=N-1$ for the degenerate field on the second level the restrictions on the fields to have non-zero three-point conformal blocks were found; (3) formula for the four-point conformal blocks with one semi-degenerate and one degenerate fields in terms of generalized hypergeometric functions is proved. (P. Gavrylenko, N. Iorgov)

SOLID STATE PHYSICS

We demonstrate theoretically that the characteristic feature of two-dimensional systems undergoing N consequent Lifshitz topological transitions is the occurrence of spikes of entropy per particle of a quantized magnitude at low temperatures. We derive a general expression for entropy per particle as a function of chemical potential, temperature and gaps magnitude for the gapped Dirac materials. Inside the smallest gap, the dependence of entropy on the chemical potential exhibits a dip-and-peak structure in the temperature vicinity of the Dirac point. The spikes of the entropy per particle can be considered as a signature of the Dirac materials. These distinctive characteristics of gapped Dirac materials can be detected in experiments where the temperature is modulated in gated samples. (S.G. Sharapov, Corr. Member of the NAS of Ukraine V.P. Gusynin)

- *Tsaran V.Yu., Kavokin A.V., Sharapov S.G., Varlamov A.A., Gusynin V.P.* Entropy spikes as a signature of Lifshitz transitions in the Dirac materials. Scientific Reports, 2017, **7**, 10271.

We argue that the correct definition of the electric current in the chiral kinetic theory for Weyl materials should include the Chern-Simons contribution that makes the theory consistent with the local conservation of the electric charge in electromagnetic and strain-induced pseudoelectromagnetic fields. By making use of such a kinetic theory, we study the plasma frequencies of collective modes in Weyl materials in constant magnetic and pseudomagnetic fields, taking into account the effects of dynamical electromagnetism. We show that the collective modes are chiral plasmons. While the plasma frequency of the longitudinal collective mode coincides with the Langmuir one, this mode is unusual because it is characterized not only by oscillations of the electric current

density, but also by oscillations of the chiral current density. The latter are triggered by a dynamical version of the chiral electric separation effect. We also find that the plasma frequencies of the transverse modes split up in a magnetic field. This finding suggests an efficient means of extracting the chiral shift parameter from the measurement of the plasma frequencies in Weyl materials. (E.V. Gorbar)

- *Gorbar E.V., Miransky V.A., Shovkovy I.A., Sukhachov P.O.* Consistent chiral kinetic theory in Weyl materials: chiral magnetic plasmons. *Phys. Rev. Lett.*, 2017, **118**, 127601.

The mixed set of primary and intermediate fields for the integrable nonlinear Schrödinger system on a triangular ladder lattice is found out. Having been written in terms of these field variables the system is shown to split into two subsystems with qualitatively different properties of excitations. The crossover effect in the system dynamical behavior at the critical value of background parameter is established. (O.O. Vakhnenko)

- *O.O. Vakhnenko.* Semi-discrete integrable nonlinear Schrödinger system with background-controlled inter-site resonant coupling. *J. Nonlin. Math. Phys.*, 2017, **24**, No 02, 250-302.
- *O.O. Vakhnenko.* Distinctive features of the integrable nonlinear Schrödinger system on a ribbon of triangular lattice. *Ukr. J. Phys.*, 2017, **62**, No 03, 271-282.

NANOPHYSICS AND NANOTECHNOLOGIES

The kinetics of electroluminescence formation is studied in the nanosystem “metal-molecule-metal” with symmetric and asymmetric couplings of the molecule to the contacts. It is shown that the optically active state of the molecule is formed as a result of hopping electrons between the molecule and each of the electrodes, as well as due to inelastic interelectrode tunneling of the electron. The conditions for the enhancement of electroluminescence power caused by interface structure and transformation of molecular spectrum, are found for chromophoric molecules (E.G. Petrov, V.O. Leonov, Ye.V. Shevchenko).

- *Petrov E.G., Leonov V.O., Shevchenko Ye.V.* Electrofluorescence polarity in a molecular diode, *JETP*, 2017, **125**, No 5, 856-874.

Peculiarities of electron energy relaxation on lattice vibrations in metal are investigated. The analytical formula for electron energy losses per time (necessary for excitation of acoustical lattice vibrations) is obtained. It is shown that the amount of power absorbed by lattice is

determined by the relations between Debye temperature and lattice temperature as well as between lattice temperature and electron temperature (N.I. Grygorchuk).

- *N.I. Grygorhuk.* Relaxation of electrons energy coupling with phonons in metal, MFiNT, 2017, **39**, № 11, 1411-1419.

Time-dependent density functional theory calculations were applied to explain photoinduced ring-closing mechanisms of a difurylene molecule studied by femtosecond transient absorption spectroscopy. Calculated excitation spectra, potential energy surfaces and switching barrier of cyclization reaction predict possible relaxation paths of the molecules when open form is excited by different wavelengths of the pump pulse (O.L. Kapitanchuk).

- *Khodko A., Khomenko V., Shynkarenko Y., Mamuta O., Kapitanchuk O. Sysoiev D., Kachalova N., Huhn T., Snegir S.* Ultrafast ring-closing reaction dynamics of a photochromic furan-based difurylene. Chem. Phys. Lett., 2017, **669**, 156-160.

SOFT MATTER PHYSICS

A new mechanism of point mutation formation in biological systems that takes into account the fluctuation appearance of complementary pairs preopened by water in the DNA double helix has been proposed. The possible proton transitions in the preopened A-T pair have been analyzed within the density functional theory, and their energies have been numerically obtained. It is shown that under formation of an opened pair, irregular tautomeric forms of the nucleic bases can be stabilized and be the origin of point mutations. The estimated probability of the occurrence of these mutations in DNA falling in the interval of 10^{-10} - 10^{-11} explains the known experimental facts. (E.S. Kryachko, S.N. Volkov)

- *Kryachko E.S., Volkov S.N.* On the Mechanism of Facilitation of Spontaneous Mutation in Water-pre-opened A-T Base Pair. 5-th Intern. Conf. "Nanobiophysic: Fundamental and Applied Aspects", October 2-5, 2017, Kharkiv, Ukraine. Book of Abstracts, p. 110.

With the advent of high-precision single-molecule spectroscopy and the possibility to monitor reactions of single enzymes as well as to control their function, the necessity of revising the classical enzymatic catalysis schemes and deviations from the latter has come to the fore. Using the developed stochastic approach, we perform a theoretical analysis of kinetics of the main Michaelis-type schemes with allowance for dynamic disorder in either the free enzyme or enzyme-substrate complex in the

cases of discrete set of conformations or bounded structural diffusion. New, sometimes counter-intuitive dependences of the enzymatic reaction velocity on substrate concentration and parameters of the reaction scheme are revealed (L.N. Christophorov).

- *Christophorov L.N.* Modern approach to induced fit and Michaelis-Menten's scheme. 2017 (is being submitted to Biophysical Journal).

We report the first direct observation of Coulomb-like elastic interactions between colloidal particles in a nematic liquid crystal predicted theoretically. The interaction of two particles located at the boundary of twist and parallel aligned regions is observed. We demonstrate that such particles produce deformation elastic charges responsible for Coulomb-like interactions. (Corr. Member NASU B.I. Lev)

- *Beom-Kyu Lee, Sung-Jo Kim, Jong-Hyun Kim, Bohdan Kim.* Coulomb-like elastic interactions as result of symmetry breaking in a nematic liquid crystal colloids. *Nature, Scientific Reports*, 2017, **7**, article number: 15916, doi: 10.1038/s41598-017-16200-z.

The mechanism of the colloidal particle motion is proposed for liquid crystals with deformed director field. It is shown that the translation motion of colloidal particles depends on the specific deformation of the elastic field. (Corr. Member NASU B.I. Lev)

- *Beom-Kyu Lee, Sung-Jo Kim, Bohdan Lev, Jong-Hyun Kim.* Motion of a colloidal particle in a nonuniform director field of a nematic liquid crystal. *Phys. Rev.* 2017, E, **95**, 012709.

A new approach which employs a non-equilibrium statistical operator that takes into account inhomogeneous distribution of particles and temperature is proposed. The method involves a saddle-point procedure to find the dominant contributions to the partition function. The equation of state for self-gravitating systems has been determined. (Corr. Member. NASU B.I. Lev)

- *Lev B. I., Lev S. B.* Non-equilibrium dynamic of a Universe formation. *Mod. Phys. Lett. A*, 2017, **32**, No 30, 1750165 (8 pages).

A formalism to describe an equilibrium based on consideration of a macroscopic but finite volume has been proposed. The presence of a Bose-Einstein condensate is taken into account through an off-diagonal long-range order in the transition to the thermodynamic limit. On this basis, the degenerate Bose-gas with delta-shaped interaction potentials has been described in term of self-consistent Hartree-Fock approximation. The

explicit expressions for the energy spectra of single particle and collective excitation have been obtained. (Acad. NASU A.G. Zagorodny)

- *Bobrov V.B., Zagorodny A.G., Trigger S.A.* Another approach for obtaining the excitation spectra in degenerate Bose gases with delta-shaped interaction potentials. *Low Temperature Physics* 2017, **43** (3), 343-350.

The exact solution is found for the model of nonlinear oscillator with the coordinate-dependent mass, or velocity-dependent elastic modules. The Poincare cross-sections are studied and the conditions of the stochastic behavior of the oscillator motion are found experimentally. (Acad. NASU A.G. Zagorodny, Corr. Member NASU B.I. Lev, V.B. Tymchyshyn)

- *Lev B. I., Tymchyshyn V. B., Zagorodny A. G.* On certain properties of nonlinear oscillator with coordinate-dependent mass. *Physics Letters A*, 2017, **381**, 3417-3423.

For wide class of neuronal models it is proven mathematically rigorous that activity of fast CL-type inhibitory neuron with delayed feedback stimulated with a renewal stochastic stream is non-Markovian one. (A.K. Vidybida)

- *Vidybida A.K.* Output stream of leaky integrate-and-fire neuron without diffusion approximation, *Journal of Statistical Physics*, 2017, **166**, 267-281.

A physical mechanism is proposed for information reduction in a neuronal network through merging of different trajectories into a single one with subsequent entrainment onto a periodic regime. It is established that neuronal firing is a necessary prerequisite for merging. For a wide class of neuronal models for spiking inhibitory neuron with fast CL-type inhibitory delayed feedback a possibility to present the output statistics through the statistics for of that same neuron without feedback and the delay line characteristics. Exact mathematical expressions for such a representation are derived. (A.K. Vidybida, O.V. Shchur)

- *Vidybida A.K., Shchur O.V.* Information reduction in a reverberatory neuronal network through convergence to complex oscillatory firing patterns, *Biosystems*, 2017, **161**, 24-30; <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2017.07.008>

The metabolic process in a cell is modeled using the Fourier transformation. The histograms of the invariant measures of chaotic attractors are constructed. Necessary number of harmonics, which represent uniquely the most complicated mode of a strange attractor, has been found. The dependence of the attractor type on the distributions and the harmonics amplitudes in the Fourier spectrum has been studied. The

harmonics forming the laminar and turbulent parts of the attractor trajectory are identified. The projection histograms of the invariant measures of the main types of the system strange attractors have been constructed, and their dependence on the phase portrait has been determined. (V.I. Grytsay)

- *Grytsay V.I.* Spectral Analysis and Invariant Measure in the Study of a Nonlinear Dynamics of the Metabolic Process in Cells. Ukr. J. Phys., 2017, **62**, No 5, 448.

Free-space optical communication links are promising channels for establishing secure quantum communication. We study the transmission of nonclassical light through a turbulent atmospheric link under diverse weather conditions, including rain or haze. Based on previous results, we study theoretically the transmission of quadrature squeezing and Gaussian entanglement under these weather conditions. (D.Yu. Vasilyev)

- *Vasilyev D., Semenov A. A., Vogel W.* Free-space quantum links under diverse weather conditions. Phys. Rev. A, 2017, **96**, 043856.

ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY

Using the dark matter density profiles from literature we have selected the 19 galaxy clusters with the largest expected dark matter decay flux. We processed all XMM-Newton public observation data for this objects. The emission spectra were modeled as sum of continuous plasma emission and known astrophysical lines. The fluxes of faint lines (e.g. K at 3.51 keV) were limited from above using fluxes of significantly detected lines. In 6 of spectra we identified $>2\sigma$ positive residuals with average position 3.56 ± 0.02 keV in the emitters frame. Their observed properties are unlikely to be explained by statistical fluctuations or astrophysical emission lines. Our detailed simulations showed that the combined significance of these detections equals to at least 2.6σ , raising to 3.2σ taking the line energy variation into account. Fitting the line position in observers frame prefers the astrophysical origin of line signal over instrumental one, with atomic line emission being included in the fitting models. Interpreting the new line due to decaying dark matter gives the radiative decay lifetime $\tau_{DM}\approx(3.2-5.3)\times 10^{27}$ s consistent with previous detections. (D.A. Iakubovskiy, D.O. Savchenko)

- *Iakubovskiy D., Bulbul E., Foster A., Savchenko D., Sadova V.*, Testing the origin of ~ 3.55 keV line in individual galaxy clusters observed with XMM-Newton. Phys. Rev. D. (submitted).

PHYSICS OF PLASMA PROCESSES

The studies of the interaction forces between two finite-size charged spherical conductive particles embedded into weakly ionized strongly collisional isothermal plasma-like medium are presented. The results are obtained for the case of particles with fixed electric charge under the assumption that particles do not absorb electrons and ions from the surrounding plasma (colloidal particles) as well as for particles charged by plasma currents (grains). In the first case the Poisson-Boltzmann model was used and in the second the dynamics of grain charging is described in the drift-diffusion approximation. It is shown that at the large distances the interaction force between colloidal particles has the Debye screened asymptotic while for the grains the Coulomb-like behavior is observed. The effective charges for such potentials are calculated and the conditions of their application are discussed. (Acad. NASU A.G. Zagorodny)

- *Momot A.I., Zagorodny A.G., Orel I.S.* Interaction force between two finite-size charged particles in weakly ionized plasma. *Phys. Rev. E*, 2017, **95**, 013212.

We proposed a method to calculate the type of a lattice formed by grains in dusty plasma and to estimate its potential energy. Basically, this task is complicated by the interparticle potential that appertains to “catastrophic potentials”. This kind of potentials needs special approaches to avoid divergences during potential energy calculations. We developed all the necessary modifications to appropriate methods. It has been shown that the obtained potential energy expression could be used to determine lattice parameters and these parameters comply to known experimental data. (Acad. NASU A.G. Zagorodny, Corr. Member. NASU B.I. Lev, V.B. Tymchyshyn)

- *Lev B. I., Tymchyshyn V. B., Zagorodny A.G.* Potential energy analysis for a system of interacting particles arranged in Bravis lattice. *Ukr. J. Phys.*, 2017, **62**, 217.

The diffusion of charged particles in a static random electric field across the magnetic field is considered. A new closure of the statistical equation describing particle diffusion in a frozen field is proposed, taking into account the effects of particle trapping and finite Larmor radius without the assumption of its smallness. A direct numerical simulation was performed and it was shown that the statistical characteristics found as solutions of the analytical model are in agreement with the simulation

results in a wide range of Larmor radii. (Acad. NASU A.G. Zagorodny, V.I. Zasenko, O.M. Cherniak).

- *Zasenko V.I., Zagorodny A.G., Cherniak O.M.* Impact of wave phase jumps on stochastic heating. Problems of Atomic Science and Technology, № 1. Series: Plasma Physics, 2017, (23), 60-63.

MATHEMATICAL MODELING

It has been presented a general concept of bank work description, based on investment strategy both in risk and risk-free assets, dynamics of deposit attraction and incomes from operational activity, dynamics of liability payments,. Using these factors, a stochastic model of bank capital evolution is constructed. The problem of assessment of bankruptcy probability, depending on the choice of strategy investment, the deposit attraction on bank accounts, the restrictions for the bank liability payments is solved. A quantitative characteristic of management quality is introduced. Under the condition that the quantitative characteristic is satisfactory the conditions for the factors introduced above are found under that a bank can function infinitely long time with the sufficiently small bankruptcy probability. (M.S. Gonchar, W.H. Kozyrski, A.S. Zhokhin, L.S. Terentieva)

- *Gonchar N.S., Kozyrski W.H., Zhokhin A.S., Terentieva L.S.* Recession, exchange rate, and inflation targeting. Journal of Automation and Information Sciences, 2017, **49**, 1, 17-26.

COMPUTER SOFTWARE RESEARCH

The support of the BITP industrial cloud infrastructure which is based on OpenStack and distributed filesystem Ceph was provided. The services to ensure reliable operation of the BITP industrial cloud infrastructure for guaranteed data processing of the ALICE experiment at CERN using the HTCondor system was developed and implemented to support the scientific computing. (S.Ya. Svistunov)

SCIENTIFIC AND EDUCATION CENTER

In summer 2017 the Department of theoretical and mathematical physics of Center was organized in the BITP. The regular optional courses on physics and mathematics for students of Kiev high schools have been

delivered by the Department in collaboration with Center. The Center also held and financially supported Experimental Physics Team Olympiad for students of physical and mathematical high schools in Kyiv.

The Center conducted three cycles of optional seminars on theoretical physics and higher mathematics for students of the 1st course of Physical Faculty of Taras Shevchenko National University of Kyiv wherein about 10 students have attended the seminars.

In the framework of the Bogolyubov Program Doctor S. Pakuliak delivered two cycles of lectures on modern methods of integrable quantum systems.

During January 3-6, 2017 the Winter School on modern mathematical physics has been held wherein lectures on supersymmetric quantum field theories and applied methods of nonlinear quantum integrable systems in condensed matter physics were delivered.

In collaboration with the Center the Department organized a series of Schools:

- 1) Spring School on mathematical physics «Modern methods of quantum field theory», March 27 – 31, 2017;
- 2) Summer School on modern theoretical physics «Matrix models in physics and mathematical physics» (<https://sites.google.com/view/kaumm2017>), August 14 – 19, 2017;
- 3) Autumn School on modern quantum physics «Introduction to quantum technologies», September 11 – 15, 2017.

SCIENTIFIC PUBLICATIONS

Books: 1

- *Kruchinin S.* Problems and solutions in special relativity and electromagnetism. World Scientific, 2017. – 148 p.

Papers in Journals: 160

Ukrainian Journals – 40.

Foreign Journals – 120.

CONFERENCES

- Seminar “Problems of Theoretical Physics” dedicated to the memory of O.G. Sytenko. Kyiv, February 12, 2017.
- Seminar “Problems of Theoretical Physics” dedicated to the memory of P.I. Fomin. Kharkiv, NSC “KIPT”, June 23, 2016.
- The 10th Bolyai-Gauss-Lobachevsky Conference on Non-Euclidean Geometry and its Applications. Károly Róbert Campus, Eszterházy Károly University Gyöngyös, Hungary, August 20-26, 2017
- Conference “Fundamentals of Astroparticle and Quantum Physics” dedicated to the 90th anniversary of the outstanding Austrian theoretician in mathematical physics Walter THIRRING (1927-2014) and Ukrainian theoretician in plasma physics Alexei SITENKO (1927-2002). 17 - 23 September, 2017, BITP, Kyiv, Ukraine
- Young scientists conference “Problems of Theoretical Physics”. Kyiv, December 12–14, 2017.
- Davydov Readings. Kyiv, December 26, 2017.

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

Зам. №1 формат 60x84/16. Обл.-вид. арк. 3
Підписано до друку 25.01.2018. Наклад 90 прим.

Поліграфічна дільниця ІТФ ім. М.М. Боголюбова НАН України
03143, Київ, вул. Метрологічна, 14 - б.