

ПЕРСОНАЛІЇ, ХРОНІКА, БІБЛІОГРАФІЯ
PERSONALIA, MEETINGS, BIBLIOGRAPHY

DOI: <https://doi.org/10.30970/jps.23.1998>

“РІЗДВЯНІ ДИСКУСІЇ 2019”
(Львів, 10–11 січня 2019 року)

“CHRISTMASS DISCUSSIONS 2019”
(Lviv, January 10–11, 2019)

10–11 січня 2019 року на кафедрі теоретичної фізики Львівського національного університету імені Івана Франка відбувалися 23-і Різдвяні наукові дискусії. Традиційно предметом обговорення були проблеми фізики твердого тіла, квантової механіки, фазових переходів, статистичної фізики, астрофізики, космології. Усі доповіді викликали зацікавлення аудиторії і спричинили активні дискусії. Нижче подаємо анотації виголошених доповідей.

ФІЗИКА І ФІЗИКИ В НТШ У ЛЬВОВІ

Ю. Головач^{1,2,3}, Ю. Гончар⁴, М. Красницька^{1,2}, М. Дудка^{1,2}

¹Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

¹Співпраця \mathbb{L}^4 і міжнародний коледж докторантів “Статистична фізика складних систем”,
Ляйпціг–Лотарингія–Львів–Ковентрі, Європа

³Університет Ковентрі, Велика Британія

⁴Національний університет “Києво-Могилянська академія”

Здійснено огляд діяльності фізиків — дійсних членів Наукового товариства ім. Шевченка у Львові [1]. Загалом, у період 1899 — 1940 рр. серед дійсних членів НТШ до фізики мав стосунок 21 вчений. Публікації в галузі фізики регулярно з’являються на сторінках Збірника математично-природописно-лікарської секції Наукового товариства імені Шевченка — усього опубліковано 74 статті на фізичну тематику, з них 3 термінологічного і 10 бібліографічного характеру. Вчені-фізики беруть активну участь в організації й діяльності таємного Українського університету у Львові, який підпільно діяв у 1921–1925 роках для задоволення освітніх потреб українців, позбавлених можливості легально здобувати вищу освіту в Польській державі після польсько-української війни 1918–1919 років. У доповіді також розглянуто становлення, розвиток та загасання університеті Української високої політехнічної школи, яка постала поряд з ним [2].

Праці членів НТШ з’являються на сторінках провідних європейських фізичних журналів. Широко практикується стажування у провідних європейських центрах фізичної думки. Починаючи від 1920-го року до складу дійсних членів НТШ обирають фізиків з інших країн. Серед них — Макс Планк, Альберт Айнштайн, Степан Тимошенко, Микола Крилов, Дмитро Рожанський, Абрам Йоффе.

[1] Ю. Головач, Ю. Гончар, М. Красницька, в кн.: *Leopolis Scientifica*, за ред. О. Петрук, А. Трохимчук (Львів, 2019) (подано до друку); Журн. фіз. досл. **22**, 4003 (2018).

[2] М. Дудка, Ю. Головач, в кн.: *Leopolis Scientifica*, за ред. О. Петрук, А. Трохимчук (Львів, 2019) (подано до друку); препринт ІФКС-18-02U.

FIELD-THEORETICAL FORMALISM FOR QUANTUM SYSTEMS IN EXTREMAL CONDITIONS

Yu. Sitenko

Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, NAS of Ukraine, Kyiv

Recent studies of relativistic quantized fermionic matter in extremal conditions (high densities and temperatures, presence of strong magnetic fields) have drawn the attention of researchers in diverse areas of contemporary physics, ranging from cosmology, high-energy and astroparticle physics to condensed matter physics. Relativistic heavy-ion collisions, compact astrophysical objects (neutron stars and magnetars), the early universe, novel materials known as the Dirac and Weyl semimetals are the main physical systems where these studies are relevant. We plan to give a systematic introduction to the basic field-theoretical

formalism, that is necessary for a fruitful research in this fast-developing area. A particular emphasis will be on the issue of finite-size effects and the role of boundaries. The following issues will be discussed:

- 1) Matsubara formalism. QFT at nonzero temperature and chemical potential.
- 2) Chiral symmetry and topological currents in hot dense matter in a strong magnetic field.
- 3) QFT in a bounded space. Self-adjointness, confinement and boundary conditions.
- 4) Impact of boundaries on chiral effects in hot dense magnetized matter.

PARAMETERS OF NONCOMMUTATIVE ALGEBRA AND FUNDAMENTAL PROBLEMS IN QUANTUM SPACE

Kh. Gnatenko

Department for Theoretical Physics, Ivan Franko National University of Lviv

We consider the problem of the description of a composite system's motion which is known as the "soccer-ball problem" in the space with Lie-algebraic noncommutativity [1,2]

$$[X_i, X_j] = i\hbar(\theta_{ij}^0 t + \theta_{ij}^k X_k), \quad (0.1)$$

$$[X_i, P_j] = i\hbar(\delta_{ij} + \bar{\theta}_{ij}^k X_k + \tilde{\theta}_{ij}^k P_k), \quad (0.2)$$

$$[P_i, P_j] = 0, \quad (0.3)$$

(here $\theta_{ij}^0, \theta_{ij}^k, \bar{\theta}_{ij}^k, \tilde{\theta}_{ij}^k$ are parameters of noncommutativity antisymmetric to lower indexes, $i, j, k = (1, 2, 3)$) and in the twist-deformed space-time [2]

$$[t, X_i] = 0, \quad (0.4)$$

$$[X_i, X_j] = i\hbar f_{\pm} \left(\frac{t}{\tau} \right) \theta_{ij}, \quad (0.5)$$

(here τ is a time-scale parameter, parameters θ_{ij} are considered to be constants). We find that the problem can be solved under the assumption that the coordinates and momenta of different particles satisfy noncommutative algebra with different parameters which are related to their masses. Besides due to this assumption, the weak equivalence principle is recovered in the space with Lie-algebraic noncommutativity and in twist-deformed space-time [4,5].

Also, the problem of time-reversal symmetry breaking is studied in a noncommutative phase space of a canonical type. We propose a definition for tensors of noncommutativity on which the symmetry is recovered [6].

- [1] M. Daszkiewicz, C. J. Walczyk, Phys. Rev. D **77**, 105008 (2008).
- [2] Yan-Gang Miao, Xu-Dong Wang, Shao-Jie Yu, Ann. Phys. **326**, 2091, (2011).
- [3] M. Daszkiewicz, Phys. Scripta **93**, 085202 (2018).
- [4] Kh. P. Gnatenko, Phys. Rev. D **99**, 026009 (2019).
- [5] Kh. P. Gnatenko, Mod. Phys. Lett. A **33**, 1950071 (2019).
- [6] Kh. P. Gnatenko, M. I. Samar, V. M. Tkachuk, Phys. Rev. A **99**, 012114 (2019).

ПРО ДВІ ЗАДАЧІ З ДАЛЕКОГО ПОГРНИЧЧЯ ФІЗИКИ ТА ЕНТРОПІЮ ЯК РОЗРІЗНЮВАЛЬНИЙ ПАРАМЕТР

А. Ровенчак

Кафедра теоретичної фізики, Львівський національний університет імені Івана Франка

Підходи статистичної фізики — популярний інструмент дослідження складних систем біології, суспільних наук, лінгвістики тощо. Прикладами є поширення інфекцій, ріст клітин, моделі голосування, розподіл багатства, закономірності мови й тексту та багато іншого. Одна з цікавих задач — класифікація складних систем за певними параметрами.

На підставі підходу з пограниччя фізики, лінгвістики та біології запропоновано спосіб класифікації організмів за розподілом нуклеотидів у мітохондріальній ДНК [1], для чого використано новий

тип послідовностей нуклеотидів, означений за лінгвістичною аналогією [2]. Виявилося, що за допомогою таких параметрів, як середня довжина послідовності та ентропія, можна з доброю точністю відокремити дві родини хижих ссавців, *Felidae* (котові) та *Ursidae* (ведмедеві).

Другим завданням був пошук параметрів, якими можна кількісно характеризувати складність сприйняття тексту. Для аналізу використано різдвяні та великодні послання греко-католицьких ієрархів [3]. Ентропія й тут виявилася параметром, що дозволяє певним чином відрізнити простіші тексти від складніших.

Дискусійним моментом є використання ентропії чи споріднених величин у задачах такого типу: з одного боку, це може бути просто зручним математичним інструментом, що ґрунтується на застосуванні знайомих понять, а з іншого — може мати і глибший зміст та передбачати відповідну інтерпретацію.

[1] A. Rovenchak, *Mod. Phys. Lett. B* **32**, 1850057 (2018).

[2] A. Rovenchak, S. Buk, *J. Quant. Ling.* **25**, 1 (2018).

[3] A. Rovenchak, O. Rovenchak, *Glottometrics* **41**, 57 (2018).

EMISSION OF DARK AGES HALOS IN 21-cm HYPERFINE LINE OF ATOMIC HYDROGEN

B. Novosyadlyj^{1,3}, *V. Shulga*^{2,3}, *Yu. Kulinich*¹, *W. Han*³

¹Ivan Franko National University of Lviv, Ukraine,

²Institute of Radio Astronomy of NAS of Ukraine, Ukraine,

³International Center of Future Science of Jilin University, P. R. China

The emissivity of the dark ages halos with mass $10^8 - 10^{10} M_{\odot}$ in the hyperfine structure line of atomic hydrogen is analyzed. It is assumed that they are formed of the Gaussian density peaks of cosmological curvature perturbations at $10 \leq z \leq 40$. The semi-analytical modeling of the formation of individual spherical halos in multicomponent models shows that the gas in them has the kinetic temperature in the range 60 – 600 K due to adiabatic compression during the collapse and the temperature of each halo depends on the time of virialization. It is also shown that inelastic collisions between the neutral atoms of hydrogen are the dominant excitation of hyperfine structure levels, which pull the spin temperature to the kinetic one. The brightness temperature of individual halos is in the range 1–10 K and depends on the mass of the halo and the redshift of its virialization: increases with an increase in both. The visible angular radii of such halos are in the range 0.25–1.25 arc-seconds, their number density exponentially decreases from $N_h \sim 0.1 - 10 \text{ Mpc}^{-3}$ at $z \approx 10$ to $\sim 10^{-7} - 10^{-6} \text{ Mpc}^{-3}$ at $30 \leq z \leq 40$. Assuming that 1 MHz frequency band of their detection by a radio telescope, the surface number density of the halos at different redshifts is calculated as well as the antenna temperatures caused by halos of different mass are estimated. The results are compared with the measurements of the power spectrum of the 21-cm signal of neutral hydrogen given by Murchison Widefield Array [Ewall-Wice *et al.*, *MNRAS* **460**, 4320 (2016)] and the LOW Frequency ARray [Gehlot *et al.*, arXiv:1809.01421 (2018)]: they are below the observational upper limits. Increasing the durations of the observations in ten or more times may lead to the long-awaited detection of a signal from dark ages, cosmic dawn or the epoch of re-ionization.

УПОРЯДКОВАННЯ В СИСТЕМІ КЛАСИЧНИХ СПІНІВ НА АСИМЕТРИЧНІЙ ТРИКУТНІЙ ГРАТЦІ ТА ПРОБЛЕМА СПІНОВОЇ РІДИНИ У СПОЛУКАХ NiGa_2S_4 І FeGa_2S_4

Ю. Дубленич

Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

Легко показати, що основний стан системи класичних спінів на асиметричній трикутній ґратці зі взаємодіями в межах елементарної трикутної плакетки можна побудувати, мінімізуючи функцію густини енергії для однієї такої плакетки. Цікаво, що навіть у тому разі, коли всі три кути між парами спінів на плакетці різні (а це можливо тоді, коли, крім білінійної, є ще й біквадратична взаємодія між сусідніми спінами), існує аж п'ять типів глобальних конфігурацій основного стану. Найскладніший із них — спіральне чотирипідґраткове впорядкування. Це — важливий результат, бо він відкриває шлях до пояснення спінового безладу у сполуках NiGa_2S_4 і FeGa_2S_4 , який спостерігали експериментально й класифікували як спінову рідину.

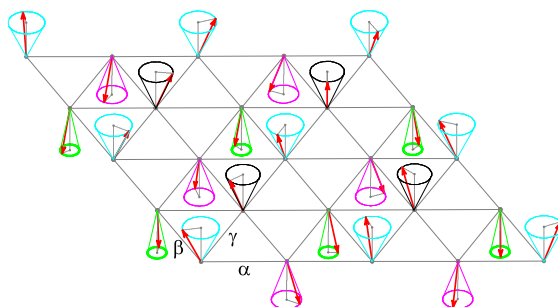


Рис. 1. Приклад чотирипідграткового впорядкування спінів на асиметричній трикутній ґратці. Кути між сусідніми спінами у трьох різних напрямках — α , β і γ . Конуси для різних підграток зображено різними кольорами. У межах кожної окремої підгратки спінова структура є простою спіральною конічною структурою. Осі всіх конусів паралельні

- [1] S. E. Korshunov, F. Mila, K. Penc, Phys. Rev. B **85**, 174420 (2012).
 [2] S. Wenzel, S. E. Korshunov, K. Penc, F. Mila, Phys. Rev. B **88**, 094404 (2013).
 [3] Yu.I. Dublenych, Phys. Rev. B **96**, 140401(R) (2017).

ACCELERATING CHARGE-DISCHARGE IN NANOPOROUS SUPERCAPACITORS

S. Kondrat^{1,2}

¹Institute of Physical Chemistry, Warsaw, Poland

²Institute of Computational Physics, Stuttgart University, Germany

Supercapacitors attract much attention as green energy storage devices with remarkable cyclability and high power and energy densities. However, their use in high frequency applications is limited by relatively slow charging processes. In this talk, I will focus on the physics and optimization of charge-discharge for supercapacitors with nanoporous electrodes, which provide the highest possible capacitance and stored energy. I will scrutinize the charging regimes of a constant-potential charging and explain why such charging is slow and how to optimize it.

SPIN NANOCLUSTERS IN THE PHASE TRANSITION POINT NEIGHBORHOOD

N. A. Korynevskii^{1,2,3}

¹Institute for Condensed Matter Physics, NAS of Ukraine, Lviv

²Lviv Polytechnic National University

³Institute of Physics, University of Szczecin, Poland

The problem of finite-size magnetic nanoclusters' formation in an infinite system near a phase transition point is formulated on the basis of the Ising-like Hamiltonian and the lattice-gas model. The only short-range interparticle exchange interactions within the cluster and with the external environment are taken into account. The number of the nearest neighbors in bulk and on the surfaces of the nanocluster determines the difference in the intensity of those interactions. The corresponding formula is found. The Grand thermodynamic potential of the investigated system is calculated in the self-consistent field approximation.

The set of first order differential equations with partial derivatives for such parameters as concentration, magnetization, the radius of the cluster are solved exactly. The statement about the decisive role of the structural or fluctuation inhomogeneity of an infinite-size system for the core of the new phase appearance is formulated. The normal law for the size distribution of nanoclusters takes into account the chaotic character of order parameter fluctuations in the infinite system. The nanocluster mean size, its magnetic moment and the conditions of stability with changes in temperature are discussed.

It was shown that in a global system, nanoclusters with the opposite orientation of magnetization (like magnetic domains) arise. Their mean size, dispersion, relative concentration and magnetic moment are calculated and discussed. Those results are obtained using the Gibbs distribution because relative nanocluster energy (compared with the energy of the identical number of particles in an infinite-size system) depends on the radius and magnetization of the nanocluster.

- [1] N. A. Korynevskii, V. B. Solovyan, Physica B **436**, 111 (2014).

ВПЛИВ ПОРИСТОГО СЕРЕДОВИЩА НА ФАЗОВУ ПОВЕДІНКУ ПОЛІДИСПЕРСНИХ КОЛОЇДНИХ І ПОЛІМЕРНИХ СИСТЕМ

Т. В. Гвоздь, Ю. В. Калюжний

Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

Використовуючи високотемпературне наближення й теорію масштабної частинки, досліджено фазову поведінку полідисперсної колоїдної рідини, що репрезентована твердими сферами з додатковою взаємодією Юкави в неупорядкованому пористому середовищі, яке представлено матрицею випадково розміщених твердосферних частинок [1]. Запропоновано оригінальний метод аналітичного розрахунку радіальної функції розподілу твердосферної рідини у твердосферній матриці. За рахунок матриці істотно збільшується ефект полідисперсності. За середнього значення полідисперсності та за малої густини матриці спостерігається двофазне співіснування з двома критичними точками, а також кривими хмари та тіні, які утворюють замкнену петлю еліпсоїдальної форми. Зі зростанням густини матриці та полідисперсності ці дві критичні точки з'єднуються та зникають, а за низьких температур система фракціонує в три співіснуючі фази. Аналогічну фазову поведінку спостерігали за відсутності пористого середовища, яка була зумовлена зростанням полідисперсності [2, 3].

Також проведено дослідження фазової поведінки 'газ-рідина' полідисперсної полімерної рідини, яка представлена твердосферними ланцюговими молекулами з додатковою взаємодією квадратної ями в неупорядкованому пористому середовищі [4]. Для розрахунку фазових діаграм запропоновано й застосовано узагальнення термодинамічної теорії збурень Вертхейма та її поєднання з теорією масштабної частинки. Термодинамічні властивості базисної системи, яка репрезентована рідиною твердих сфер з додатковою взаємодією квадратної ями в пористому середовищі, пораховано з використанням термодинамічної теорії збурень Баркера-Хендерсона другого порядку. Досліджено вплив полідисперсності та пористого середовища на фазову поведінку такої системи. Виявляється, що фазова поведінка системи визначається конкуренцією між цими двома властивостями. Тим часом як полідисперсність зумовлює розширення ділянки фазового співіснування за рахунок підвищення критичної температури, пористе середовище зменшує значення як критичної температури, так і критичної густини, роблячи ділянку фазового співіснування вузкою. Зі збільшенням відношення розмірів частинок рідини до розмірів частинок матриці цей ефект посилюється.

[1] T. V. Hvoz, Y. V. Kalyuzhnyi, *Soft Matter* **13**, 1405 (2017).

[2] T. V. Hvoz, Y. V. Kalyuzhnyi, *Condens. Matter Phys.* **18**, 13605 (2015).

[3] T. V. Hvoz, Y. V. Kalyuzhnyi, *Condens. Matter Phys.* **19**, 23603 (2016).

[4] T. V. Hvoz, Y. V. Kalyuzhnyi, P. T. Cummings, *J. Phys. Chem. B* **122**, 5458 (2018).

ДЕФОРМАЦІЙНІ Й ПОЛЬОВІ ЕФЕКТИ В СЕГНЕТОЕЛЕКТРИКУ ФОСФІТ ГЛІЦИНУ

Р. Р. Левицький¹, А. С. Вдович¹, І. Р. Зачек²

¹Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

²Національний університет "Львівська політехніка", Львів

Кристал фосфіт гліцину (GPI) належить до сегнетоелектриків з водневими зв'язками. У ньому нижче від температури фазового переходу T_c виникає спонтанна поляризація P_y , а в площині XZ — антисегнетоелектричне впорядкування. Для розрахунку його фізичних характеристик використано модифіковану протонну модель GPI врахуванням п'єзоелектричного зв'язку псевдоспінової (протонної) і ґраткової підсистем. У наближенні двочастинкового кластера розраховано компоненти вектора поляризації та тензора статичної діелектричної кристала, а також його п'єзоелектричні та теплові характеристики. Досліджено вплив зсувних напруг, гідростатичного та одновісних тисків, поздовжнього та поперечного полів на фазовий перехід та фізичні характеристики кристала. Установлено, що гідростатичний і одновісні тиски призводять до лінійного зниження температури фазового переходу T_c , а зсувна напруга σ_{xz} — до лінійного підвищення T_c , але при цьому якісно не змінюються температурні залежності фізичних характеристик (рис. 1). Зсувні напруги σ_{yz} і σ_{xy} , незалежно від знака, спричиняють квадратичне підвищення температури T_c . При цьому нижче від T_c в площині XZ виникають поперечні компоненти поляризації P_x і P_z , а поперечні проникності ε_{xx} і ε_{zz} розбігаються в точці T_c , подібно до поздовжніх ε_{yy} . Поперечні компоненти поля E_x і E_z понижують температуру T_c пропорційно до E_x^2 і E_z^2 , а поздовжнє поле E_y розмиває фазовий перехід. Одночасне прикладання поперечних полів і зсувних напруг також викликає розмиття фазового переходу.

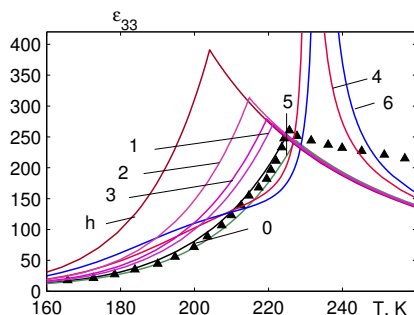


Рис. 1. Температурні залежності діелектричної проникності ϵ_{33} кристала GPI за відсутності тисків та напруг (0), за гідростатичного тиску (h), одновісних тисках ($p_1 - 1$, $p_2 - 2$, $p_3 - 3$) і різних зсувних напругах ($\sigma_4 - 4$, $\sigma_5 - 5$, $\sigma_6 - 6$) [1]. Величина тисків і напруг — 2 кбар. \blacktriangle — [2].

[1] I. R. Zachek, R. R. Levitskii, A. S. Vdovych, *Condens. Matter Phys.* **21**, 33702 (2018).

[2] S. Dacko, Z. Czaplá, J. Baran, M. Drozd, *Phys. Lett. A* **223**, 217 (1996).

INFLUENCE OF A LOCAL ANISOTROPY AXIS DISTRIBUTION ON THE CRITICAL PROPERTIES OF RANDOM ANISOTROPY MAGNETS

D. Shapoval^{1,2}, M. Dudka^{1,2}, Yu. Holovach^{1,2,3}

¹Institute of Condensed Matter Physics, NAS of Ukraine, Lviv

² \mathbb{L}^4 Collaboration & Doctoral College for the Statistical Physics of Complex Systems, Leipzig–Lorraine–Lviv–Coventry, Europe

³Centre for Fluid and Complex Systems, Coventry University, Coventry, United Kingdom

Among structurally disordered magnetic materials the magnets with disorder in the form of random anisotropy are less studied [1]. We are interested in the possible critical properties of such magnets which are described by the random anisotropy model (RAM) [2]. For this model, the distribution of the quenched local anisotropy axis is important [3]. We consider the cases in which the local anisotropy axis obeys complex distributions leading after disorder configurational averaging to an effective ϕ^4 -theory with five terms of different symmetry. Working within two different schemes of the field-theoretical renormalization group (RG) theory, we have calculated corresponding two-loop RG functions [4]. Having completed them by the Padé–Borel resummation technique, we have analysed the fixed points of RG transformations and their stability [5]. Our results give no evidence of a continuous phase transition to ferromagnetic state.

[1] M. Dudka, R. Folk, Yu. Holovach, *J. Magn. Magn. Mater.* **294**, 305 (2005).

[2] R. Harris, M. Plishke, M. J. Zuckermann, *Phys. Rev. Lett.* **31**, 160 (1973).

[3] Aharony A., *Phys. Rev. B* **12**, 1038 (1975).

[4] D. J. Amit, V. Martin-Mayor, *Field Theory, the Renormalization Group, and Critical Phenomena* (World Scientific, 2005).

[5] G. Baker, B. Nickel, D. Meiron, *Phys. Rev. B* **17**, 1365 (1978).

ТЕМПЕРАТУРИ КОМПОНЕНТ ПЛАЗМИ ЗА ФРОНТОМ УДАРНОЇ ХВИЛІ. ЗАЛИШКИ НАДНОВИХ ЯК АСТРОФІЗИЧНІ ЛАБОРАТОРІЇ

О. Петрук¹, М. Мічелі², С. Орландо²

¹Інститут прикладних проблем механіки і математики НАН України, Львів

²Астрономічна обсерваторія, Палермо, Італія

Залишки Наднових — спалахів зір на фінальних стадіях їх еволюції — є чудовими астрофізичними лабораторіями для вивчення фізики сильних ударних хвиль. Ми розповімо про те, як новітні методи аналізу даних сучасних астрофізичних спостережень дозволяють отримувати інформацію про фізичні властивості компонент нерівноважної плазми, а саме: про температури електронів, протонів та важких йонів після проходження фронту ударної хвилі.

УЗАГАЛЬНЕНЕ КЕРУВАЛЬНЕ РІВНЯННЯ ПІД ЧАС ВРАХУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ КОРЕЛЯЦІЙ У ВІДКРИТІЙ КВАНТОВІЙ СИСТЕМІ ТА/АБО ВЛАСНОЇ ДИНАМІКИ ТЕРМОСТАТУ

В. Ігнатюк

Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

Запропоновано узагальнення проєкційної схеми Накаджими–Цванцига [1,2] під час отримання квантового керувального рівняння (*master equation*) з урахуванням власної динаміки термостату. Показано, що на відміну від традиційного підходу, керувальне рівняння для статистичного оператора відкритої квантової системи $\rho_S(t)$ у 2-му порядку за взаємодією містить доданок, який i) є нелінійним за $\rho_S(t)$; ii) зануляється у марківській границі; iii) перенормовує власну частоту q-біта. Цей формалізм використовують, досліджуючи часову еволюцію узагальненої когерентності в моделі з розфазуванням [3].

Інший тип квантового керувального рівняння отримано методом нерівноважного статистичного оператора [4], коли до складу динамічних змінних скороченого опису разом з операторами $\hat{X}_{mn} = |m\rangle\langle n|$, що характеризують стан q-біта, включається оператор \hat{V}_{int} енергії взаємодії між q-бітом (S) та його оточенням (E). Це рівняння нелокальне в часі та містить кореляційну “квaziтемпературу” $1/\beta(t)$, яка є нерівноважним параметром стану, термодинамічно спряженим до середньої енергії взаємодії повної ($S + E$) системи. З використанням законів збереження отримано рівняння для $\beta(t)$, яке має вигляд нерівноважного рівняння стану, де роль узагальненої питомої теплоємності відіграють кореляційні функції “енергія-енергія”. Отже, динамічні кореляції, що пов’язані з законами збереження та відіграють важливу роль у встановленні марківського режиму й подальшому прямуванні системи до рівноваги, правильно враховуються в межах запропонованого підходу.

[1] S. Nakajima, Progr. Theor. Phys. **20**, 948 (1958).

[2] R. Zwanzig, J. Chem. Phys. **33**, 1338 (1960).

[3] V.G. Morozov, S. Mathey, G. Röpke, Phys. Rev. A **85**, 022101 (2012).

[4] V. Morozov, V. Ignatyuk, Particles **1**(1), 285 (2018).

MODELING INNOVATIONS AND SCIENTIFIC DISCOVERIES THROUGH NOVEL COMBINATIONS OF IDEAS

V. Palchykov^{1,2}, Yu. Holovatch^{1,2,3}

¹Institute of Condensed Matter Physics, NAS of Ukraine, Lviv

²L⁴ Collaboration & Doctoral College for the Statistical Physics of Complex Systems, Leipzig–Lorraine–Lviv–Coventry, Europe

³Centre for Fluid and Complex Systems, Coventry University, Coventry, United Kingdom

There exist different ways to model the emergence of an innovation or a scientific discovery. To give an example, one may think of an innovation as the emergence of a new idea [1]. On the other hand, an innovation or a scientific discovery may be seen as an atypical combination of existing ideas [2]. Scientific records as the results of scientific creativity that are recorded in text formats and published as articles provide a good source to investigate such processes (giving access to their validation, openness, authorship, etc.). Our analysis relies on the assumption that scientific ideas or concepts are reflected by scientific terms. Thus, the latter may serve as an ideal database to investigate knowledge structure, innovations and discoveries. In our study, we use data extracted from research publications (arXiv preprints) that give access both to the sources of scientific information (papers) and concepts used in knowledge description [3]. We are interested in the investigation of the global picture of concept (knowledge) network. As a case study, we consider scientific knowledge, which is represented as a complex bipartite network of articles and related concepts [4]. We present a thorough analysis of this network and suggest a model that correctly reproduces its principal features.

[1] I. Iacopini, S. Milojevic, V. Latora, Phys. Rev. Lett. **120**, 048301 (2018).

[2] B. Uzzi, S. Mukherjee, M. Stringer, B. Jones, Science **342**, 468 (2013).

[3] V. Palchykov, V. Gemmetto, A. Boyarsky, D. Garlaschelli, EPJ Data Science **5**, 28 (2016).

[4] V. Palchykov, Yu. Holovatch, IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (Dsm2018) (2018), p. 84.

ОДНОВИМІРНІ ОПЕРАТОРИ ШРЕДИНГЕРА З ПОТЕНЦІАЛАМИ ТИПУ КУЛОНА

Ю. Головатий

Кафедра диференціальних рівнянь, Львівський національний університет імені Івана Франка

Оператори Шредингера на прямій з потенціалами вигляду $|x|^{-1}$ та x^{-1} як одновимірні моделі атому водню стали предметом наукових досліджень, починаючи від 60-х років минулого сторіччя [1–4]. Основне питання, що викликало активні дискусії — проникність частинок через такі потенціали. З математичного погляду, відповіддю на це питання є правильний вибір крайових умов для хвильової функції у початку координат.

У доповіді йтиметься про сім'ю операторів Шредингера вигляду

$$H_\varepsilon = -\frac{d^2}{dx^2} + Q_\varepsilon(x) + \varepsilon^{-2}U(\varepsilon^{-1}x) + \varepsilon^{-1}V(\varepsilon^{-1}x),$$

де U і V — дійсні інтегровні функції з компактними носіями, а Q_ε — деяка регуляризація неінтегровного в нулі потенціалу кулонівського типу

$$Q(x) = \begin{cases} \frac{q_-}{x}, & \text{if } x < 0, \\ \frac{q_+}{x}, & \text{if } x > 0. \end{cases}$$

Весь потенціал оператора H_ε можна також вважати регуляризацією в просторі узагальнених функцій псевдопотенціалу $Q(x) + \alpha\delta'(x) + \beta\delta(x)$. Тут q_- і q_+ — дійсні сталі, δ — функція Дірака. Ми досліджували рівномірну резольвентну збіжність операторів H_ε , якщо $\varepsilon \rightarrow 0$. Цим операторам властиві два якісно різні випадки граничні поведінки залежно від того, чи має δ' -подібний потенціал U резонанс нульової енергії. Граничні оператори описані в термінах крайових умов у початку координат, які ми отримали методами асимптотичного аналізу [5].

- [1] R. Loudon, Am. J. Phys. **27**(9), 649 (1959).
- [2] M. Moshinsky, J. Phys. A: Math. Gen. **26**, 2445 (1993).
- [3] P. Kurasov, J. Phys. A: Math. Gen. **29**, 1767 (1996).
- [4] B. Bodendorfer, A. Dijkema, H. Langer, Proc. Roy. Soc. Edinburgh Sec. A: Mathematics **130**, 1237 (2000).
- [5] Y. Golovaty, Integr. Equ. Oper. Theory **90:57**, (2018), 24 p.

SINGULAR POTENTIAL IN GENERAL CASE OF DEFORMED SPACE WITH MINIMAL LENGTH

M. I. Samar, V. M. Tkachuk

Department for Theoretical Physics, Ivan Franko National University of Lviv

We study deformed Heisenberg algebra leading to a nonzero minimal uncertainty in position (minimal length) in the general case of the deformation function. Because of the minimal length, the coordinate representation does not exist. Due to this fact, it is especially interesting to study the effect of the minimal length on systems with singular potentials, since such systems are expected to have a nontrivial sensitivity to the minimal length.

We consider a particle in a 1D Coulomb-like potential and a particle in an attractive inverse square potential. We solve analytically the bound states equation and discuss in detail the bound states spectrum for the specific cases of the generalized uncertainty relation for both systems.

КВАЗИСТАТИЧНЕ НАБЛИЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОДИНАМІЦІ

Ю. Криницький

Кафедра теоретичної фізики, Львівський національний університет імені Івана Франка

Розглянуто строге означення та виведення рівнянь квазістатичного наближення в електродинаміці — так звану квазістатичну електродинаміку. Досліджено умови застосування та загальні властивості, що відрізняють квазістатичну електродинаміку від точної максвеллівської. Отримано також мультипольні розвинення компонентів квазістатичних полів для просторово обмежених систем.

ДОСЛІДЖЕННЯ НУЛІВ ЛІ-ЯНґА ІЗІНҐІВСЬКОГО ФЕРОМАГНЕТИКА ЧЕРЕЗ ВЗАЄМОДІЮ ЗІ ДВОСПІНОВОЮ ПРОБНОЮ СИСТЕМОЮ

А. Кузьмак

Кафедра теоретичної фізики,
Львівський національний університет імені Івана Франка

Досліджено еволюцію двох спінів, що взаємодіють із феромагнітною ванною, яка описується довільною моделлю Ізінґа. Знайдено зв'язок нулів Лі-Янґа цієї ванни з вимірюваними величинами пробної системи, такими як, компоненти намагніченості. Також отримано зв'язок міри заплутаності (узгодженості) пробної системи з нулями Лі-Янґа ванни. Отримані результати застосовуються для ванни, що описується моделлю з далекодією.

ПОЛЯРИЗАЦІЙНІ ЕФЕКТИ В ПОЛІ КЕРРА

В. Пелих, Ю. Тайстра

Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, Львів

Електромагнітне поле у просторі Керра розглядаємо у спірному підході. Спірор Максвелла вибираємо орієнтованим уздовж одного з кратних головних ізотропних напрямків гравітаційного поля. Такий вибір спірора зменшує кількість невідомих комплексних функцій з трьох до однієї та дозволяє побудувати загальний розв'язок у координатах Бойєра-Ліндквіста в аналітичному вигляді. Розв'язок з відокремленими змінними отримуємо у вигляді [1]

$$\varphi_2 = C \frac{e^{i\omega(t-\tilde{r})+im\phi}}{\sin\theta(r-ia\cos\theta)} e^{-a\omega\cos\theta} \left(\frac{1-\cos\theta}{\sin\theta} \right)^m, \quad (0.1)$$

де $\tilde{r} = r + M \ln \Delta + \frac{M^2}{\sqrt{M^2 - a^2}} \ln \left| \frac{r-r_+}{r-r_-} \right| + \frac{am}{2\omega\sqrt{M^2 - a^2}} \ln \left| \frac{r-r_+}{r-r_-} \right|$, $\omega \in \mathbb{R}$ — частота хвилі, $m \in \mathbb{Z}$ — азимутальне число, M — маса чорної діри, a — питомий кутовий момент чорної діри ($a < M$), $\Delta = r^2 - 2Mr + a^2$, $r_+ = M + \sqrt{M^2 - a^2}$, $r_- = M - \sqrt{M^2 - a^2}$, C — довільна комплексна стала.

Розв'язок описує вихідну правополяризовану хвилю за $\omega > 0$ та лівополяризовану — за $\omega < 0$. На його основі ми отримуємо формулу для гравітаційного аналога ефекту Фарадея у хвильовому підході, формули для кута еліптичності та кута орієнтації та параметри Стокса.

Отриманий результат доводить правильність отриманого методами геометричної оптики висновку Димнікової і Гнедіна [2] про величину повороту кута поляризації у порівнянні з результатами інших авторів та відсутність частотної дисперсії кута повороту в усьому діапазоні частот. З формул для кута орієнтації та еліптичності отримуємо висновки про вплив кутового моменту чорної діри Керра на поляризацію випромінювання в усьому діапазоні частот на відміну від отриманих Барб'єрі, Гваданьїні та Доланом асимптотичних виразів [3,4].

[1] В. О. Пелих, Ю. В. Тайстра Укр. фіз. журн. **62**, 1000 (2017).

[2] Н. Ю. Гнедин, И. Г. Дымникова, Журн. эксп. теор. физ. **94**, 26 (1988).

[3] A. Barbieri, E. Guadagnini, Nucl. Phys. B **703**, 3919, (2004).

[4] L. Leite, S. Dolan, L. Crispino, arXiv:1707.01144v1[gr-qc] (2017).

РАДІАЦІЙНЕ ГАЛЬМУВАННЯ ТОЧКОВОГО ЗАРЯДУ ТА ДІЯ НА ВІДСТАНІ В ПРОСТОРІ ДЕ СІТТЕРА

А. Дувір'як, Ю. Яремко

Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

Розглянуто механіку точкових частинок у просторі-часі де Сіттера. У конформно-пласкій параметризації цього простору-часу побудовано реалізацію групи його симетрії, дію точкової частинки, її лагранжів та гамільтонів опис. У межах формалізму інтегралів дії типу Фоккера будується класична механіка системи взаємодіючих частинок у просторі-часі де Сіттера. Отримано загальний вигляд де Сіттер-інваріантного інтеграла Фоккера. Показано, що відомі в літературі приклади скалярної та електромагнітної взаємодій узгоджуються з отриманими результатами. Запропоновано рівняння руху точкового заряду в зовнішньому електромагнітному полі з урахуванням реакції випромінювання.

EPR AND OPTICAL SPECTROSCOPY OF THE V-DOPED BORATE GLASSES

B. V. Padlyak^{1,2}, T. B. Padlyak², V. T. Adamiv², A. Drzewiecki¹

¹University of Zielona Góra, Institute of Physics, Division of Spectroscopy of Functional Materials,
Zielona Góra, Poland

²Vlokh Institute of Physical Optics, Department of Optical Materials, Lviv

A series of V-doped glasses with $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, LiKB_4O_7 , CaB_4O_7 , and LiCaBO_3 compositions containing 0.5 and 1.0 mol. % V_2O_5 oxide were obtained by standard glass synthesis according to the technological conditions which have been described in [1]. The vanadium (V) impurity was added to the raw materials as the V_2O_5 compound in amounts 0.5 and 1.0 mol. %. The X-band electron paramagnetic resonance (EPR) and optical absorption spectra of obtained borate glasses were registered at room temperature ($T = 300$ K) and analysed. The EPR spectroscopy clearly shows that the V impurity is incorporated into the network of investigated glasses, mainly, as isolated vanadyl (VO^{2+}) molecular complex centres with the characteristic EPR spectra of the axial symmetry. The spin Hamiltonian parameters (g_{\parallel} , g_{\perp} , A_{\parallel} , A_{\perp}) of the VO^{2+} centres in the glasses with $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{V}$, $\text{LiKB}_4\text{O}_7:\text{V}$, $\text{CaB}_4\text{O}_7:\text{V}$, and $\text{LiCaBO}_3:\text{V}$ compositions have been determined from their experimental EPR spectra. The obtained spin Hamiltonian parameters as well as peak-to-peak derivative linewidths and lineshapes were used for the simulation of EPR spectra of the VO^{2+} centres (electron spin $S = 1/2$, nuclear spin of the ^{51}V isotope $I = 7/2$) with the usage of the WINEPR “SIMFONIA” program (Bruker Corporation). The simulated EPR spectra of the VO^{2+} axial centres in the investigated glasses coincide well with the corresponding experimental spectra. The additional broad asymmetric EPR signals, observed in the $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{V}$, $\text{LiKB}_4\text{O}_7:\text{V}$, and $\text{LiCaBO}_3:\text{V}$ glasses, were attributed to the superposition of different combinations of paired centres ($\text{V}^{4+}-\text{V}^{4+}$, $\text{V}^{4+}-\text{Fe}^{3+}$, and $\text{Fe}^{3+}-\text{Fe}^{3+}$), which couple by magnetic dipolar and exchange interactions. A local structure of the VO^{2+} isolated and different pair centres in the network of borate glasses is proposed.

The weak optical absorption bands which are observed in the investigated V-doped glasses have been identified and interpreted in the framework of the crystal field theory for the VO^{2+} molecular complex centres. The crystal field parameters and molecular bonding coefficients for VO^{2+} centres in the investigated glasses were calculated and compared with the corresponding referenced data for other V-doped borate glasses with similar compositions.

[1] B. V. Padlyak *et al.*, Mater. Sci. Pol. **30**, 264 (2012).

SIMULATION OF QUBITS BY CLASSICAL HARMONIC OSCILLATORS

H. P. Laba¹, V. M. Tkachuk²

¹Lviv Polytechnic National University,

²Department for Theoretical Physics, Ivan Franko National University of Lviv

The classical analogy of quantum bits (qubits) is studied. We show that the evolution of qubits can be simulated by the evolution of classical oscillators. Decoherence of the qubits represented by spins-1/2 in a fluctuating magnetic field has the corresponding classical analogy. We also show that the entanglement of two qubits and their evolution have an analogy in the evolution of a two-dimensional classical oscillator.