

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ
ЛЬВІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА

РІЗДВЯНІ ДИСКУСІЇ 2019

ПРОГРАМА ТА ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

Львів, 10–11 січня 2019 року

Ауд. 10 (вул. Драгоманова, 12)

РІЗДВЯНІ ДИСКУСІЇ 2019

10 січня 2019 року

Головуючий: **В. Ткачук**

10:00–10:30 *Ю. Головач*, Фізика і фізики в НТШ у Львові

10:30–11:00 *Yu. Sitenko*, Field-theoretical formalism for quantum systems in extremal conditions

11:00–11:30 *Kh. Gnatenko*, Parameters of noncommutative algebra and fundamental problems in quantum space

11:30–12:00 Кава

12:00–12:30 *B. Novosyadlyj*, Emission of dark ages halos in 21-cm hyperfine line of atomic hydrogen

12:30–13:00 *A. Ровенчак*, Про дві задачі з далекого пограниччя фізики та ентропію як розрізнявальний параметр

Головуючий: **Ю. Головач**

14:30–15:00 *Ю. Дубленич*, Упорядкування в системі класичних спінів на асиметричній трикутній ґратці та проблема спінової рідини у сполуках NiGa_2S_4 і FeGa_2S_4

15:00–15:30 *S. Kondrat*, Accelerating charge-discharge in nanoporous supercapacitors

15:30–16:00 *N. Korynevskii*, Spin nanoclusters in the phase transition point neighborhood

16:00–16:30 Кава

16:30–17:00 *T. Гвоздь*, Вплив пористого середовища на фазову поведінку полідисперсних колоїдних і полімерних систем

17:00–17:30 *D. Shapoval*, An influence of a local anisotropy axis distribution on the critical properties of random anisotropy magnets

17:30–18:00 *A. Вдович*, Деформаційні і польові ефекти в сегнетоелектрику фосфіт гліцину

11 січня 2019 року

Головуючий: **Б. Новосядлий**

10:00–10:30 *О. Петрук*, Температури компонент плазми за фронтом ударної хвилі. Залишки Наднових як астрофізичні лабораторії

10:30–11:00 *В. Ігнатюк*, Узагальнене керуюче рівняння при врахуванні динамічних кореляцій у відкритій квантовій системі та/або власної динаміки термостату

11:00–11:30 *V. Palchykov*, Modeling innovations and scientific discoveries through novel combinations of ideas

11:30–12:00 Кава

12:00–12:30 *Ю. Головатий*, Одновимірні оператори Шредингера з потенціалами типу Кулона

12:30–13:00 *M. Samar*, Singular potential in general case of deformed space with minimal length

Головуючий: **Ю. Ситенко**

14:30–15:00 *Ю. Криницький*, Квазістатичне наближення у електродинаміці

15:00–15:30 *А. Кузьмак*, Дослідження нулів Лі-Янга ізінгівського феромагнетика через взаємодію із двоспіновою пробною системою

15:30–16:00 *Ю. Тайстра*, Поляризаційні ефекти у полі Керра

16:00–16:30 Кава

16:30–17:00 *А. Дувіряк*, Радіаційне гальмування точкового заряду та дія на відстані в просторі де Сіттера

17:00–17:30 *B. Padlyak*, EPR and optical spectroscopy of the V-doped borate glasses

17:30–18:00 *V. Tkachuk*, Simulation of qubits by classical harmonic oscillators

18:00–... Закриття

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 у галузі фізики регулярно з’являються на сторінках Збірника математично-природописно-лікарської секції Наукового Товариства імені Шевченка - загалом опубліковано 74 статті на фізичну тематику, з них 3 термінологічного і 10 бібліографічного характеру. Вчені-фізики беруть активну участь в організації і 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 розглядається становлення, розвиток та загасання університету, а також Української високої політехнічної школи, яка виникла поряд з ним [2].

Роботи членів НТШ з’являються на сторінках провідних європейських фізичних журналів. Широко практикується стажування у провідних європейських центрах фізичної думки. Починаючи з 1920-х років до складу дійсних членів НТШ обираються фізики 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 strong magnetic field.
- 3) QFT in 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 description of composite system's motion which is known as "soccer-ball problem" in the space with Lie-algebraic noncommutativity [1,2]

$$[X_i, X_j] = i\hbar(\theta_{ij}^0 t + \theta_{ij}^k X_k), \quad (1)$$

$$[X_i, P_j] = i\hbar(\delta_{ij} + \bar{\theta}_{ij}^k X_k + \tilde{\theta}_{ij}^k P_k), \quad (2)$$

$$[P_i, P_j] = 0, \quad (3)$$

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

$$[t, X_i] = 0, \quad (4)$$

$$[X_i, X_j] = i\hbar f_{\pm} \left(\frac{t}{\tau} \right) \theta_{ij}, \quad (5)$$

(here τ is a time-scale parameter, parameters θ_{ij} are considered to be constants). We find that the problem can be solved due to assumption that 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 noncommutative phase space of canonical type. We propose 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, arXiv:1811.00419 (to appear in Phys. Rev. D).
- [5] Kh. P. Gnatenko, arXiv:1901.00391 (to appear in Mod. Phys. Lett. A).
- [6] Kh. P. Gnatenko, M. I. Samar, V. M. Tkachuk, arXiv:1811.00372 (to appear in Phys. Rev. A).

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

А. Ровенчак

Кафедра теоретичної фізики, Львівський національний університет імені Івана Франка

Підходи статистичної фізики є популярним інструментом дослідження складних систем біології, суспільних наук, лінгвістиці тощо. Прикладами є поширення інфекцій, ріст клітин, моделі голосування, розподіл багатства, закономірності мови й тексту та багато іншого. Однієї з цікавих задач є 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 було 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).

Другою задачею 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, який дозволяє певним чином відрізнити простіші тексти від складніших.

Дискусійним моментом є використання ентропії чи споріднених величин в 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 supposed that they are formed from the Gaussian density peaks of cosmological curvature perturbations at $10 \leq z \leq 40$. The semi-analytical modeling of formation of individual spherical halos in multicomponent models shows that 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 shown also that inelastic collisions between neutral atoms of hydrogen are 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 mass of halo and redshift of its virialization: increases with increasing of both. The visible angular radius 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 the 1 MHz frequency band of their detection by a radio telescope the surface number density of halos at different redshifts is estimated as well as the antenna temperatures caused by halos of different mass. 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 of the observational upper limits. Increasing the durations of observations in ten or more times maybe will lead to a long-awaited detection of signal from dark ages, cosmic dawn or 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 упорядкування. 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.

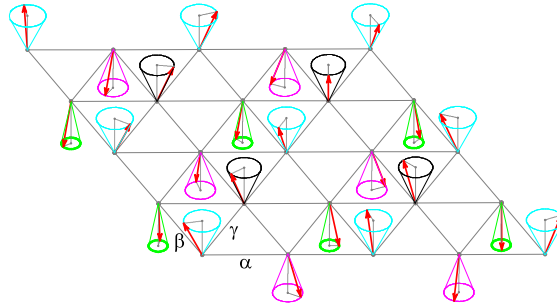


Рис. 1: Приклад чотирипідґраткового упорядкування спінів на асиметричній трикутній ґратці. Кути між сусідніми спінами у трьох різних напрямках — α , β і γ . Конуси для різних підґраток зображено різними кольорами. В межах кожної окремої підґратки спінова структура є простою спіральною конічною структурою. Осі усіх 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. Dublanych, 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

Problem of finite-size magnetic nanoclusters formation in an infinite system near phase transition point is formulated on the base 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 nearest neighbors in bulk and on surfaces of nanocluster determines the difference in 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 parameters: concentration, magnetization, radius of the cluster are solved exactly. The statement about decisive role of structural or fluctuation inhomogeneity of infinite size system for core of the new phase appearance is formulated. Normal law for size distribution of nanoclusters takes into account a 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 arise nanoclusters with opposite orientation of magnetization (like magnetic domains). Their mean size, dispersion, relative concentration and magnetic moment are calculated and discussed. Those results are obtained using Gibbs distribution because relative nanocluster energy (compare with the energy of identical number of particles in infinite size system) depends on radius and magnetization of 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 і теорію масштабної частинки, досліджено фазову поведінку полідисперсної колоїдної рідини, що представлена твердими сферами з додатковою взаємодією Юкави в невпорядкованому пористому середовищі, яке представлене матрицею випадково розміщених твердосферних частинок [1]. Запропоновано оригінальний метод аналітичного розрахунку радіальної функції розподілу твердосферної рідини в твердосферній матриці. За рахунок матриці істотно збільшується ефект полідисперсності. При середньому значенні полідисперсності і при малій густині 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 при низьких температурах система фракціонує в три співіснуючі фази. Аналогічна фазова поведінка спостерігалася за відсутності пористого середовища, яка була зумовлена зростанням полідисперсності [2, 3].

Також було проведено дослідження фазової поведінки 'газ-рідина' полідисперсної полімерної рідини, яка представлена твердосферними ланцюговими молекулами з додатковою взаємодією квадратної ями в непорядкованому пористому середовищі [4]. Для розрахунку фазових діаграм запропоновано і застосовано узагальнення термодинамічної теорії збурень Вертхейма та її поєднання з теорією масштабної частинки. Термодинамічні властивості базисної системи, яка представлена 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. У той час як полідисперсність зумовлює розширення області фазового співіснування за рахунок підвищення критичної температури, пористе середовище зменшує значення як критичної температури, так і критичної густини, роблячи область фазового співіснування вузькою. 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).

AN 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

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

Among structurally disordered magnetic materials the magnets with disorder in 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 an distribution of 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 field-theoretical renormalization group (RG) theory we have calculated corresponding two-loop RG functions [4]. Completed them by of Padé-Borel resummation technique we have analysed fixed points of RG transformations and their stability [5]. Our results give no evidence of continuous phase transition into ferromagnetic state.

- [1] M. Dudka, R. Folk, Yu. Holovatch, *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).

ДЕФОРМАЦІЙНІ І ПОЛЬОВІ ЕФЕКТИ В СЕГНЕТОЕЛЕКТРИКУ ФОСФІТ ГЛІЦИНУ

Р. Р. Левичський¹, 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. В ньому нижче від температури фазового переходу T_c виникає спонтанна поляризація P_y , а в площині XZ виникає антисегнетоелектричне впорядкування. Для розрахунку його фізичних характеристик використано модифіковану протонну модель GPI шляхом врахування п'єзоелектричного зв'язку псевдоспінової (протонної) і ґраткової підсистем. В 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. Встановлено, 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 знаку, призводять до квадратичного підвищення температури T_c . При цьому нижче 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 призводить до розмиття фазового переходу.

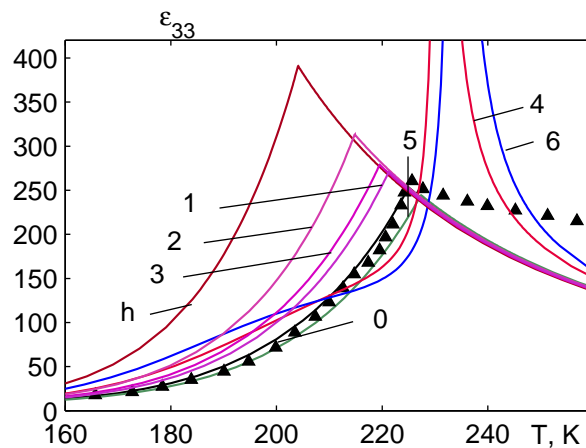


Рис. 1: Температурні залежності діелектричної проникності ε_{33} кристалу GPI при відсутності тисків та напруг (0), при гідростатичному тиску (h), одновісних тисках ($p_1 - 1$, $p_2 - 2$, $p_3 - 3$) і різних зсувних напругах ($\sigma_4 - 4$, $\sigma_5 - 5$, $\sigma_6 - 6$) [1]. Величина тисків і напруг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

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

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

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

О. Петрук¹, М. Мічелл², 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 іонів після проходження фронту ударної хвилі.

УЗАГАЛЬНЕНЕ КЕРУЮЧЕ РІВНЯННЯ ПРИ ВРАХУВАННІ ДИНАМІЧНИХ КОРЕЛЯЦІЙ У ВІДКРИТІЙ КВАНТОВІЙ СИСТЕМІ ТА/АБО ВЛАСНОЇ ДИНАМІКИ ТЕРМОСТАТУ

В. Ігнатюк

Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

Запропоновано узагальнення проекційної схеми Накаджими-Цванцига [1,2] при отриманні квантового керуючого рівняння (*master equation*) з врахуванням власної динаміки термостату. Показано, що на відміну від традиційного підходу, керуюче 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. Даний формалізм використовується при дослідженні часової еволюції узагальненої когерентності у моделі з розфазуванням [3].

Інший тип квантового керуючого 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). Дане керуюче рівняння є нелокальним у часі та містить кореляційну “квазітемпературу” $1/\beta(t)$, 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”. Таким чином, динамічні кореляції, що пов’язані з законами збереження та які відіграють важливу роль у встановленні марківського режиму та подальшому прямуванні системи до рівноваги, правильно враховуються у рамках 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

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

There exist different ways to model emergence of an innovation or scientific discovery. To give an example, one may think of the innovation as an emergence of a new idea [1]. On the other side, an innovation or scientific discovery may be seen as an atypical combination of existing ideas [2]. Scientific records as 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 an 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 an access both to the sources of scientific information (papers) and concepts used in knowledge description [3]. We are interested in 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), p. 84 (2018).

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 з 60-х років минулого сторіччя [1–4]. Основним питанням, яке викликало активні дискусії, було питання про проникність частинок через такі потенціали. З математичного погляду відповіддю на 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 потенціала 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 псевдопотенціала $Q(x) + \alpha\delta'(x) + \beta\delta(x)$. Тут q_- і q_+ – дійсні сталі, δ – функція Дірака. Ми досліджували рівномірну резольвентну збіжність операторів H_ε при $\varepsilon \rightarrow 0$. Цим операторам властиві два якісно різних випадки граничної поведінки в залежності 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. Bodenstorfer, 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 nonzero minimal uncertainty in position (minimal length) in the general case of deformation function. Because of minimal length 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 the nontrivial sensitivity to minimal length.

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

КВАЗИСТАТИЧНЕ НАБЛИЖЕННЯ У ЕЛЕКТРОДИНАМІЦІ

Ю. Крилицький

Кафедра теоретичної фізики, Львівський національний університет імені Івана Франка

Розглянуто строге означення та виведення рівнянь квазістатичного наближення у 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-ЯНГА ІЗІНГІВСЬКОГО ФЕРОМАГНЕТИКА ЧЕРЕЗ ВЗАЄМОДІЮ ІЗ ДВОСПІНОВОЮ ПРОБНОЮ СИСТЕМОЮ

А. Кузьмак

Кафедра теоретичної фізики,
Львівський національний університет імені Івана Франка

Досліджується еволюція двох спінів, що взаємодіють із феромагнітною ванною, яка описується довільною моделлю Ізінга. Знаходиться зв'язок нулів Лі-Янга цієї ванни із вимірюваними величинами пробної системи, такими як, компоненти намагніченості. Також, отримується зв'язок міри заплутаності (узгодженості) пробної системи із нулів Лі-Янга ванни. Отримані результати застосовуються для ванни, що описується моделлю із далекодією.

ПОЛЯРИЗАЦІЙНІ ЕФЕКТИ У 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 спінорному підході. Спінор Максвелла вибираємо орієнтованим вздовж одного з кратних головних ізотропних напрямків гравітаційного поля. Такий вибір спінора зменшує кількість невідомих комплексних функцій з трьох до однієї та дозволяє побудувати загальний розв'язок у координатах Бойера-Ліндквіста в аналітичному вигляді. Розв'язок з відокремленими змінними отримуємо у вигляді [1]

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

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 при $\omega > 0$ та лівополяризовану — при $\omega < 0$. На його основі ми отримуємо формулу для гравітаційного аналогу 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 порівняннях з результатами інших авторів та відсутність частотної дисперсії кута повороту у всьому діапазоні частот. З формул для кута орієнтації та еліптичності отримуємо висновки про вплив кутового моменту чорної діри Керра на поляризацію випромінювання у всьому 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. Дувіряк, Ю. Яремко

Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

Розглядається механіка точкових частинок у просторі-часі де Сіттера. В конформно-пласкій параметризації цього простору-часу побудовано реалізацію групи його симетрії, дію точкової частинки, її лагранжів та гамільтонів опис. В рамках формалізму інтегралів дії типу Фоккера будується класична механіка системи взаємодіючих частинок у просторі-часі де Сіттера. Отримано загальний вигляд де Сіттер-інваріантного інтегралу Фоккера. Показано, що відомі в літературі приклади скалярної та електромагнетної взаємодій узгоджуються з отриманими результатами. Запропоновано рівняння руху точкового заряду в зовнішньому електромагнітному полі з врахуванням 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 technological conditions, which have been described in [1]. The vanadium (V) impurity was added to the raw materials as 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 show that the V impurity is incorporated into the network of investigated glasses, mainly, as isolated vanadyl (VO^{2+}) molecular complex centres with 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 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 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 usage the WINEPR "SIMFONIA" program (Bruker Corporation). Simulated EPR spectra of the VO^{2+} axial centres in the investigated glasses good coincides with corresponding experimental spectra. An 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 assigned 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 coupled by magnetic dipolar and exchange interactions. The local structure of the VO^{2+} isolated and different pair centres in the network of borate glasses is proposed.

Weak optical absorption bands, which are observed in the investigated V-doped glasses have been identified and interpreted in the framework of 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 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 analogy in the evolution of a two-dimensional classical oscillator.