

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ  
ЛЬВІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА

## **РІЗДВЯНІ ДИСКУСІЇ 2014**

**ПРОГРАМА І ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ**

**Львів, 9–10 січня 2014 року**

**Ауд. 10 (вул. Драгоманова, 12)**

# РІЗДВЯНІ ДИСКУСІЇ 2014

9 січня 2014 року

10:00 Відкриття. *І. Вакарчук*

Головуючий: **І. Вакарчук**

10:00+ε–10:45 *Ю. Яремко*, Релятивістичні ефекти у пастці Пеннінга

10:45–11:30 *Yu. Holovach*, Noax in physical publications: from magnetic suspension to quantum gravity

11:30–12:00 Кава

12:00–12:45 *Т. Брик, І. Клевець*, Зарядові кореляції в рідких металах при високих тисках

12:45–13:30 *Ю. Дубленич*, Структури основного стану в магнетиках Ізинґового типу на ґратці Шастри–Сазерленда зі взаємодіями великого радіуса

Головуючий: **Ю. Яремко**

15:00–15:45 *М. Дудка*, Ренорм-груповий опис фазового переходу у фрустрованих магнетиках

15:45–16:10 *Ю. Калюжний*, Модель функціоналізованих колоїдів з замкнутою областю співіснування “рідина–газ”

16:10–16:35 *Г. Понеділок*, Проста термодинамічна модель плавлення наночасток

16:35–17:00 Кава

17:00–17:20 *М. Самар*, Деформована Пуанкаре-симетрія та вільна релятивістська частинка

17:20–17:40 *О. Григорчак*, Самоузгоджений підхід до розрахунку ефективної маси рідкого гелію-4 і структурного фактора ідеального бозе-газу в широкотемпературній області

17:40–18:00 *Х. Гнатенко*, Макроскопічне тіло у некомутативному просторі

18:00–18:20 *А. Кузьмак*, Геометрія многовиду власних станів спіну  $s$  в магнітному полі

18:20–18:40 *Г. Паночко*, Врахування три- та чотиричастинкових кореляцій у деформованому просторі Гайзенберґа на прикладі рідкого  $^4\text{He}$

**10 січня 2014 року**

Головуючий: **В. Ткачук**

**09:30–10:00** *А. Трохимчук*, До питання “Що таке рідина?”

**10:00–10:45** *В. Padlyak*, Electron paramagnetic resonance and optical spectroscopy of the Ce-doped borate glasses

**10:45–11:30** *А. Ровенчак*, Двопараметрична дробова статистика

**11:30–12:00** Кава

**12:00–12:45** *Б. Новосядлий*, Темна енергія в галактиках і скупченнях галактик

**12:45–13:30** *Н. Товстюк*, Енергетичні стани в інтеркальованих шаруватих кристалах

Головуючий: **Б. Новосядлий**

**15:00–15:45** *М. Стоділка*, Діагностика поля горизонтальних швидкостей в атмосфері Сонця за 2D спостереженнями в центрі диску

**15:45–16:30** *О. Сергієнко*, Збурена рекомбінація в космологічних моделях з розпадною темною матерією

**16:30–17:00** Кава

**17:00–17:45** *В. Ткачук*, Деформована алгебра versus деформований гамільтоніан

**17:45–...** *І. Вакарчук*, Нелінійні флуктуації густини частинок у квантових рідинах

## Релятивістичні ефекти у пастці Пеннінга

Ю. Яремко

Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

В рамках лагранжевого та гамільтонового формалізму досліджено рух точкової зарядженої частинки у камері пастки Пеннінга. Після врахування в'язей, що виникають із інваріантності дії стосовно часових трансляцій та поворотів навколо осі симетрії електромагнетного поля, рух частинки зводиться до двох коливних мод: аксіальної та радіальної. Показано що редукована система динамічно еквівалентна до подвійного фізичного маятника, рух якого (крім певних спеціальних випадків) є хаотичним. Розглянуто вплив радіаційного гальмування та спостережуваний на досліді релятивістичний циклотронний резонанс.

## Hoax in physical publications: from magnetic suspension to quantum gravity

Yu. Holovatch

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

In this talk, I will discuss phenomenon of hoax in scientific publications. I will mainly address publications in the field of physics, both because this field is closer to me and because of a noticeable activity of physicists in making hoaxes.

I will briefly review different examples of publications by physicists with deliberately fabricated fiction made to seem true. The principal issue of my talk will be the hoax made by purpose, which is of course different from errors in observations or in derivations published in scientific papers. The latter are numerous but will be out of the scope of this lecture :). Usually, the hoax is positively accepted by the scientific community, or at least by a part of it [1, 2, 3, 4]. This is opposite to intentional fraud [5] or plagiarism. The distinction is not obvious however, it usually is of moral sphere and is related to the goal of the publication.

The examples of hoax can be found in different paper parts, starting with authors [1] to acknowledgements [6]. Some of the fraud texts became quite famous and provoked discussions on interaction between philosophy, social and natural science disciplines [2], academic ethics [7], degree of responsibility of coauthors [5], and peer review [8, 9].

For the audience of physicists it might be amusing to learn about variety of physical phenomena discussed within the above mentioned context. These are: Big Bang nucleosynthesis, phase diagram of solid helium-3, magnetic suspension, relations between physical constants, Big Bang scenario during (and even before) the Planck era, quantum gravity, electron structure of superheavy atoms, asymmetry principle, magnetism and disorder [1, 2, 3, 4, 6, 8, 10].

I conclude by some reflections based on the quoted examples.

- [1] R.A. Alpher, H. Bethe, G. Gamow. *Phys. Rev.* **73** (1948) 803; J.H. Hetherington, F.D.C. Willard. *Phys. Rev. Lett.* **35** (1975) 1442; A.K. Geim, H.A.M.S. ter Tisha. *Physica B* **294-295** (2001) 736; Shalosh B. Ekhad, D. Zeilberger, in: *Geometry, Analysis, and Mechanics*, ed. by J.M. Rassias, World Scientific, Singapore, 1994, 107.
- [2] A.D. Sokal. *Social Text*, No 46/47 (1996). Duke University Press. p. 217.
- [3] Ya.B. Zeldovich, V.S. Popov. *Sov. Phys. Usp.* **14** (1972) 673.
- [4] V.P. Unukovich. *Reports of the Belorussian SSR Acad. Sci.* **XXI** (1977) 809.
- [5] E.S. Reich. *Physics World*. May 2009, 24.

- [6] D. Ivaneyko, J. Ilnytskyi, B. Berche, Yu. Holovatch. *Condens. Matter Phys.* **8** (2005) 149.
- [7] M. Hvistendahl. *Science* **342** (2013) 1039.
- [8] D. Butler. *Nature* **420** (2002) 5.
- [9] J. Bohannon. *Science* **342** (2013) 60; M.S. Zhukov. *Journ. Sci. Publ. of Doctorands*, 2006 (see: Troitskii Variant, No 13N(839) (2008) 1.
- [10] R.O. di Bartini. *Reports of the USSR Acad. Sci.* **163** (1965) 861.

## **Зарядові кореляції в рідких металах при високих тисках**

*Т. Брик, І. Клевець*

Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

При високих тисках розподіл електронної густини навколо іонів в розплавах металів суттєво відрізняється від сферично-симетричного та вже не описується теорією лінійного відгуку. Ми розглядаємо аналітично довгохвильову границю структурного фактора повної зарядової густини, що складається з позитивно-заряджених іонів та миттєвого розподілу електронної густини. Порівняння з результатами першопринципного моделювання приводиться для випадків розплаву літію та металічного водню. Обговорюється питання часово-залежних зарядових кореляцій у таких системах при високих тисках.

## **Структури основного стану в магнетиках Ізинґового типу на ґратці Шастри–Сазерленда зі взаємодіями великого радіуса**

*Ю. Дубленич*

Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

Проблему точного визначення структур основного стану складних моделей ґраткового газу або еквівалентних їм спінових моделей Ізинґового типу намагаються розв'язати вже більш як півстоліття [1, 2]. Придумано чимало методів, як аналітичних, так і числових [3, 4, 5, 6], проте універсального алгоритму не знайдено, і задача залишається й досі дуже актуальною. Ми розробили новий метод пошуку основних станів таких моделей і за його допомогою розв'язали кілька цікавих задач [7, 8, 9, 10, 11, 12]. Ми продовжуємо розвиток нашого методу й показуємо, як, знаючи розв'язок задачі основного стану для невеликої кількості взаємодій малого радіуса, можна досліджувати (принаймні частково) вплив взаємодій значно більшого радіуса. Ми показуємо це на прикладі спінових моделей Ізинґового типу на ґратці Шастри–Сазерленда (ШС) (Рис. 1(a)). Основні стани таких моделей цікаві тим, що вони прямо стосуються проблеми дробових плато намагнетованості у деяких тетраборатах рідкісноземельних металів, зокрема в  $TmV_4$ .

У роботі [12] ми знайшли розв'язок задачі про основні стани моделі Ізинґа в магнетному полі на розширеній ґратці ШС (Рис. 1a), а саме на ґратці зі взаємодією не тільки вздовж сторін квадратів та діагоналей ШС, а й з додатковою взаємодією вздовж діагоналей “порожніх” квадратів (без зв'язків ШС). На межах повновимірних областей у чотиривимірному просторі параметрів цієї моделі існує виродження. Це виродження щонайменше двократне (коли на межі двох невироджених фаз існують лише ці дві фази). Однак переважно виродження нескінченне й незліченне, а часто навіть макроскопічне, тобто таке, що призводить до залишкової ентропії.

Тут ми досліджуємо, які взаємодії більшого радіуса (Рис. 2) хоча б частково усувають виродження на тривимірних межах повновимірних (чотиривимірних) областей основного стану і які нові повновимірні (у розширеному просторі параметрів) фази, а отже нові плато намагнетованості, тоді виникають. Ми розглянемо не усі тривимірні межі, а лише ті, які можуть бути цікавими для пояснення природи дробових плато намагнетованості в тетраборатах рідкісноземельних металів.

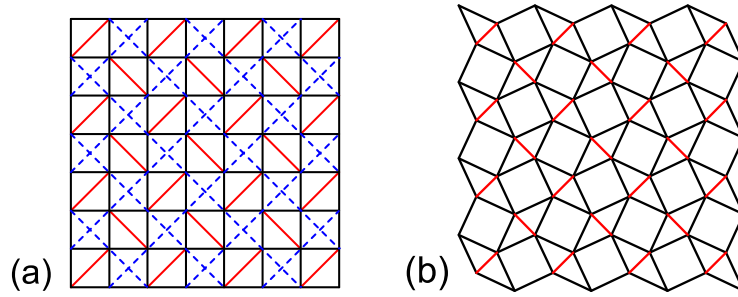


Рис. 1: (a) Розширена ґратка Шастри-Сазерленда, (b) здеформована ґратка Шастри-Сазерленда, утворена йонами  $\text{Cu}^{2+}$  у сполуці  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ .

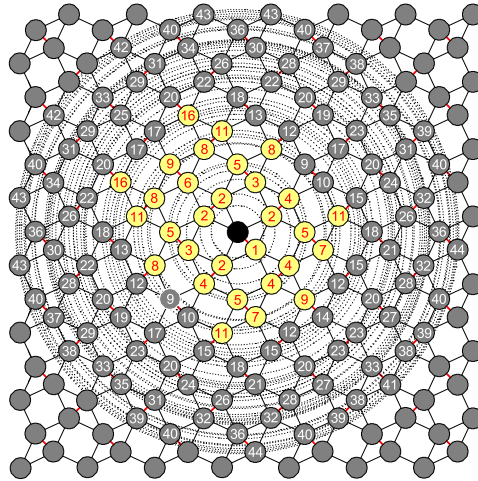


Рис. 2: Координаційні кола і відповідні сусіди вузла, позначеного чорним кружечком, на ґратці, зображеній на Рис. 1(b)

- [1] G.H. Wannier, Phys. Rev. **79**, 357 (1950).
- [2] A. Danielian, Phys. Rev. Lett. **6**, 670 (1961).
- [3] J. Kanamori, Prog. Theor. Phys. **35**, 16 (1966).
- [4] T. Morita, J. Phys. A: Math., Nucl. Gen. **7**, 289 (1974).
- [5] U. Brandt and J. Stolze, Z. Phys. B: Condens. Matter **64**, 481 (1986).
- [6] T. Kennedy, Rev. Math. Phys. **6**, 901 (1994).
- [7] Yu.I. Dublenych, Phys. Rev. E **80**, 011123 (2009).
- [8] Yu.I. Dublenych, Phys. Rev. E **84**, 011106 (2011).
- [9] Yu.I. Dublenych, Phys. Rev. E **84**, 061102 (2011).
- [10] Yu.I. Dublenych, Phys. Rev. B **86**, 014201 (2012).
- [11] Yu.I. Dublenych, Phys. Rev. Lett. **109**, 167202 (2012).
- [12] Yu.I. Dublenych, Phys. Rev. E **88**, 022111 (2013).

## Ренорм-груповий опис фазового переходу у фрустрованих магнетиках

М. Дудка

Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

Фазовий перехід у низькотемпературний стан у фрустрованих магнетиках різної природи віддавна притягує увагу дослідників. Однак, незважаючи на багаточисельні теоретичні дослідження, питання про рід фазового переходу у тривимірних магнетиках залишається дискусійним [1]. Ще менше відомо про впорядкування у двовимірних магнетиках. Ми розглядаємо це питання за допомогою ренорм-групового підходу в рамках типової моделі фрустрованого магнетика, а саме для спінової системи з антиферромагнітною взаємодією на трикутній ґратці. Відомо, що рід фазового переходу залежить від глобальних параметрів, таких як просторова вимірність системи  $d$  та вимірність параметра порядку  $N$ . Тому ми аналізуємо значення *граничної вимірності*  $N_c$ , що при фіксованій просторовій вимірності  $d$  розділяє значення вимірності параметра порядку  $N > N_c$ , для яких спостерігається нетривіальна стійка нерухома точка, що описує фазовий перехід другого роду, від значень  $N < N_c$ , для яких відсутній фазовий перехід другого роду. Для тривимірних магнетиків ми пояснюємо появу розбіжностей в різних реалізаціях ренорм-групи, що використовують терію збурень [2, 3]. У рамках непертурбативної ренорм-групи ми досліджуємо залежність граничної вимірності  $N_c$  від  $d$  [4].

[1] B. Delamotte, D. Mouhanna, M. Tissier, Phys. Rev. B, 69, 134413 (2004).

[2] B. Delamotte, M. Dudka, Yu. Holovatch, D. Mouhanna. Phys. Rev. B, 82 (2010) 104432.

[3] B. Delamotte, M. Dudka, Yu. Holovatch, D. Mouhanna Condens. Matter Phys., 13 (2010) 43703.

[4] B. Delamotte, M. Dudka, D. Mouhanna, неопубліковано.

## Модель функціоналізованих колоїдів з замкнутою областю співіснування “рідина–газ”

Ю. Каложний

Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

Запропоновано термодинамічну теорію збурень другого порядку для твердосферної моделі функціоналізованих колоїдів з двома липкими плямами сорту А і В. Утворення зв'язку АВ привде до формування тривимірної сітки зв'язаних між собою частинок, а утворення зв'язків АА і ВВ привде до утворення зв'язаних між собою ланцюжків частинок. Теорія використана для дослідження фазової поведінки моделі при різних значеннях параметрів потенціалу взаємодії між частинками. Конкуренція між утворенням просторової сітки зв'язків та утворенням ланцюжків привде до фазової діаграми “рідина–газ” з замкнутою областю співіснування та двома критичними точками. Модель з додатковою взаємодією типу ван дер Ваальса може мати фазову діаграму з двома різними областями співіснування та трьома критичними точками.

## Проста термодинамічна модель плавлення наночасток

Г. Понеділок

Національний університет “Львівська політехніка”, Львів

## Деформована Пуанкаре симетрія та вільна релятивістська частинка

*М. Самар*

Кафедра теоретичної фізики,  
Львівський національний університет імені Івана Франка

Ми досліджуємо Лоренц-коваріантну деформовану алгебру Гайзенберга

$$\begin{aligned}[\hat{X}^\mu, \hat{P}^\nu] &= -i\hbar[f(P^2)g^{\mu\nu} - F(P^2)\hat{P}^\mu\hat{P}^\nu]; \\[\hat{P}^\mu, \hat{P}^\nu] &= 0; \\[\hat{X}^\mu, \hat{X}^\nu] &= i\hbar G(P^2)(\hat{P}^\mu\hat{X}^\nu - \hat{P}^\nu\hat{X}^\mu),\end{aligned}\tag{1}$$

де функції  $f$ ,  $F$  та  $G$  пов'язані таким чином, щоб виконувалася тотожність Якобі, та в границі відсутності деформації прямують до 1, 0 та 0 відповідно. Деформація комутаційних співвідношень приводить до деформації симетрійних властивостей простору-часу. Ми дослідили ці властивості та знайшли генератори деформованої Пуанкаре симетрії, яка відповідає деформованим комутаційним співвідношенням (1). Було побудовано класичну дію вільної релятивістської частинки, яка є інваріантною відносно згаданих деформованих симетрій. Як виявилось, дужки Дірака, що відповідають цій динамічній моделі, збігаються з класичною границею деформованої алгебри Гайзенберга. Таким чином, нам вдалося отримати дію релятивістської частинки в деформованому просторі-часі. Ми також отримали класичні рівняння руху вільної релятивістської частинки з деформованими дужками Пуассона, що відповідають алгебрі (1). Цікаво, що ці рівняння залишилися незмінними по відношенню до недеформованого випадку.

### Самоузгоджений підхід до розрахунку ефективної маси рідкого гелію-4 і структурного фактора ідеального бозе-газу в широкотемпературній області

*О. Григорчак*

Кафедра теоретичної фізики,  
Львівський національний університет імені Івана Франка

Метод розрахунку структурних і термодинамічних величин багатобозонної системи, що ґрунтується на виділенні ідеального бозе-газу і використанні теорії збурень, приводить в пост-RPA наближенні до виникнення інфрачервоних розбіжностей. Усунути ці розбіжності можна завдяки перенормуванню спектра вільної частинки і введенню ефективної маси. Ця процедура, в залежності від схеми розрахунку, може дати декілька виразів для ефективної маси, які, в свою чергу, містять величини, зокрема структурний фактор ідеального бозе-газу і  $\alpha_q$ -фактор ( $\alpha_q = \sqrt{1 + \frac{2N}{V}\nu_q/\frac{\hbar^2 q^2}{2m}}$ , де  $\nu_q$  — коефіцієнт Фур'є енергії парної міжчастинкової взаємодії), що прямо або опосередковано залежать від цієї ж ефективної маси. Це означає, що обчислення згаданих величин вимагає самоузгодженого підходу.

В цій роботі був проведений відповідний самоузгоджений чисельний розрахунок, котрий дозволив, окрім структурного фактора ідеального бозе-газу та ефективної маси як функції температури, отримати критичну температуру для рідкого гелію-4 і  $\alpha_q$ -фактор.



## Макроскопічне тіло у некомутативному просторі

*Х. Гнатенко*

Кафедра теоретичної фізики,  
Львівський національний університет імені Івана Франка

Досліджено рух макроскопічного тіла у двовимірному просторі з некомутованими координатами

$$[\hat{X}, \hat{Y}] = i\hbar\theta, \quad (1)$$

де  $\theta$  — параметр некомутативності. Ми встановили, що для опису руху системи частинок (макроскопічного тіла) необхідно вводити ефективний параметр некомутативності [1].

Проаналізовано рух тіла у гравітаційному полі. Для прикладу розглянуто рух Місяця. Ми показали, що некомутативність координат приводить до порушення принципу еквівалентності та оцінили верхню межу для параметра некомутативності на основі даних експерименту LLR (Lunar Laser Ranging) [2].

[1] Kh.P. Gnatenko, Phys. Lett. A **377**, 3061 (2013).

[2] J.G. Williams, S.G. Turyshev, D.H. Boggs, Class. Quantum Grav. **29**, 184004 (2012).

## Геометрія многовиду власних станів спіну $s$ в магнітному полі

*А. Кузьмак*

Кафедра теоретичної фізики,  
Львівський національний університет імені Івана Франка

Розглядається метрика многовидів власних станів спіну  $s$  в магнітному полі, заданому напрямними кутами  $\theta$  і  $\phi$ . Многовиди визначаються вектором  $\mathbf{n} = (\sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi, \cos \theta)$ , який вказує напрямок цього поля. Показано, що кожен із многовидів є сферою, радіус якої залежить від величини спіну  $s$  і від власного значення  $m$ , яке відповідає проекції спіну на вісь, що проходить через вектор  $\mathbf{n}$ :

$$R = \gamma \sqrt{\frac{1}{2}s + \frac{1}{2}(s^2 - m^2)}, \quad (1)$$

де  $\gamma$  — довільний множник, який з міркувань зручності часто вибирають 1, 2, чи  $\sqrt{2}$ .

## Врахування три- та чотиричастинкових кореляцій у деформованому просторі Гайзенберга на прикладі рідкого ${}^4\text{He}$

*Г. Паночко*

Кафедра теоретичної фізики,  
Львівський національний університет імені Івана Франка

В роботі розглядається вплив три- та чотиричастинкових кореляцій на поведінку багатобозонних систем на прикладі рідкого гелію, використовуючи метод колективних змінних. Нелінійні внески у гамільтоніані бозе-системи ми пропонуємо врахувати через деформовані комутаційні співвідношення між координатами та імпульсами:

$$[Q_{\mathbf{k},\mu}, P_{\mathbf{k},\mu}] = i\hbar(1 - \beta_k Q_{\mathbf{k},\mu})^{1/2},$$

тут  $\beta_k$  параметр деформації, який у чисельних рахунках ми переписуємо через структурний фактор бозе-рідини,  $Q_{k,\mu}, P_{k,\mu}$  — узагальнені координати та імпульси.

Записавши гамільтоніан системи нескінченною сукупністю гармонічних лінійних осциляторів, де незалежними змінними є коефіцієнти флуктуації густини бозе-частинок, ми отримали розв'язки стаціонарного рівняння Шредінгера у вигляді ланцюгових дробів. Провівши чисельну оцінку, можна провести порівняння з результатами, які дає теорія збурень.

## До питання “Що таке рідина?”

*А. Трохимчук*

Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

“Що таке рідина?” або англійською “What is liquid?” — це питання протягом століть не дає спокою дослідникам з самих різноманітних сфер людської діяльності, серед яких фізика, хімія, біологія, медицина та інші, які відносяться як до технологічних та побутових, так і до сфер, що цікавляться життям як таким [1]. Це можна пробувати пояснювати тим, що найбільш яскравим представником класу рідин є вода, яка присутня практично всюди. Проте, вже навіть та ж таки вода демонструє надзвичайну різноманітність станів, які не завжди вдається вкласти у класичну класифікацію — газ, рідина та тверде тіло. Суттєвий прогрес у пошуках відповіді на питання “Що таке рідина?” було досягнуто півтора століття назад, завдячуючи фундаментальній роботі Ван дер Ваальса [2], в якій було закладено основи сучасного розуміння статичних та динамічних фізико-хімічних властивостей рідини. Бурхливий розвиток статистичної фізики у роботах Гіббса та Больцмана, вивчення міжмолекулярних взаємодій, формулювання теорії збурень, теорії інтегральних рівнянь та методів комп'ютерного експерименту у статистичній фізиці класичних систем, з однієї сторони, а також розвиток експериментальної техніки, з другої сторони, сприяли тому, що за останні 40–50 років наші уявлення про рідину піднялися на суттєво вищий рівень, ніж це було в епоху Ван дер Ваальса та Больцмана. Але чи можемо ми сьогодні з впевненістю дати відповідь на поставлене питання? Дискусія про це якраз і складає основний зміст цього виступу.

## Electron paramagnetic resonance and optical spectroscopy of the Ce-doped borate glasses

*B. V. Padlyak<sup>1,2</sup>, I. I. Kindrat<sup>2</sup>, V. O. Protsiuk<sup>2</sup>, B. Kukliński<sup>3</sup>, A. Drzewiecki<sup>2</sup>, V. T. Adamiv<sup>1</sup>,  
Ya. V. Buraka<sup>1</sup>, N. Guskos<sup>4,5</sup>, G. Żolnierkiewicz<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Physical Optics, Lviv

<sup>2</sup>University of Zielona Góra, Zielona Góra, Poland

<sup>3</sup>University of Gdańsk, Gdańsk, Poland

<sup>4</sup>University of Athens, Athens, Greece

<sup>5</sup>Institute of Physics, West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland

The electron paramagnetic resonance (EPR), ground state optical absorption and photoluminescence spectra as well as luminescence kinetics of the  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Ce}$ ,  $\text{LiKB}_4\text{O}_7:\text{Ce}$ , and  $\text{LiCaBO}_3:\text{Ce}$  borate glasses have been investigated and analysed. The borate glasses of high optical quality with  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Ce}$ ,  $\text{LiKB}_4\text{O}_7:\text{Ce}$ , and  $\text{LiCaBO}_3:\text{Ce}$  compositions, containing 0.4, 0.5, and 1.0 mol.%  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  were obtained from corresponding polycrystalline compounds using standard glass technology. The EPR and optical spectroscopy shows that the Ce impurity is incorporated into the network of borate glasses as  $\text{Ce}^{3+}$  ( $4f^1$ ,  $^2F_{5/2}$ ) ions, exclusively. All optical bands of the  $\text{Ce}^{3+}$  centres in the optical absorption and luminescence excitation ( $4f \rightarrow 5d(1)$  transition) as well as emission ( $5d(1) \rightarrow ^2F_J$  ( $J = 7/2, 5/2$ ) transitions) spectra of the  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Ce}$ ,  $\text{LiKB}_4\text{O}_7:\text{Ce}$ , and  $\text{LiCaBO}_3:\text{Ce}$  glasses were identified. In the EPR spectra of all investigated glasses in the  $4.2 \div 30$  K are observed two characteristic signals, which are assigned to the

isolated  $Ce^{3+}$  centres and  $Ce^{3+}-Ce^{3+}$  pair centres, coupled by magnetic exchange interaction. The time-resolved luminescence spectroscopy also shows two types centres in the investigated Ce-doped borate glasses with longer and shorter lifetimes, which correspond to the isolated and exchange-coupled  $Ce^{3+}$  centres, respectively. The local structure of  $Ce^{3+}$  centres in the investigated glasses has been discussed.

## Двопараметрична дробова статистика

*А. Ровенчак*

Кафедра теоретичної фізики,  
Львівський національний університет імені Івана Франка

Запропоновано двопараметричну дробову статистику, за допомогою якої можна моделювати бозе-систему зі слабкою взаємодією. Показано, що параметри такої слабконеекстенсивної статистики Поліхронакоса вдається пов'язати з ефектами міжчастинкових взаємодій та поправками на скінченність кількості частинок у системі. Розраховано теплоємність та конденсатну фракцію моделі, що відповідає 5000 атомам рубідію-87 у тривимірній гармонічній пастці. Вивчено поведінку теплоємності системи тривимірних гармонічних осциляторів залежно від значень параметрів статистики в температурному діапазоні, який містить точку фазового переходу, аналогічного до бозе-конденсації. Застосування запропонованої моделі для коректного відтворення критичної поведінки вимагає додаткових перевірок на підставі експериментальних спостережень. Після незначних модифікацій цю двопараметричну статистику можна використовувати для аналізу інших систем, зокрема осциляторів у нижчих розмірностях, що відповідають бозонам у пастках.

## Енергетичні стани в інтеркальованих шаруватих кристалах

*Н. Товстюк<sup>1</sup>, А. Фефер<sup>2</sup>, Є. Сиркін<sup>3</sup>, С. Феодосьєв<sup>3</sup>, І. Григорчак<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Кафедра фізики напівпровідників, Львівський національний університет імені Івана Франка,

<sup>2</sup>Інститут фізики, Університет ім. П. Шафарика, Кошіце, Словаччина,

<sup>3</sup>Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б. І. Веркіна НАН України, Харків, Україна,

<sup>4</sup>Інститут прикладної математики і фундаментальних наук,  
Національний університет “Львівська політехніка”

В роботі досліджено електронну густину станів інтеркальованого  $3d$ -елементами шаруватого кристалу  $InSe$  як в модифікований моделі Андерсона, так і в моделі віртуального кристалу. Проведено теоретичні і експериментальні дослідження низькотемпературної теплоємності  $Ni_xInSe$ , зокрема вплив  $Ni$  на фононну складову ( $C_{ph}$ ) кристалу  $InSe$ . Спостережувану аномальну поведінку відносної зміни фононної складової ( $C_{ph}$ ) (два піки) можна пояснити суттєвою перебудовою фононного спектру за рахунок присутності інтеркалянта.

З метою деталізації механізмів струмопроходження в  $Ni_xInSe$  побудовано діаграми Найквіста — залежності уявної складової комплексного імпедансу від його реальної — та виявлено деформації низькочастотних гілок реальної складової комплексного питомого імпедансу для  $x = 0.25$  і  $x = 0.75$ , при яких  $\rho(x)$  має абсолютні максимуми, що може бути пов'язаними з індуктивним відгуком кристалу. Встановлено, що при сильних деформаціях  $\rho(\omega)$  для  $x = 0.75$  низькочастотна гілка діаграми Найквіста переходить у IV-індуктивний квадрант комплексної імпедансної площини.

## Темна енергія в галактиках і скупченнях галактик

Б. Новосядлий<sup>1</sup>, Ю. Кулінич<sup>1</sup>, М. Ціж<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Астрономічна обсерваторія, Львівський національний університет імені Івана Франка,

<sup>2</sup>Кафедра астрофізики, Львівський національний університет імені Івана Франка

Оцінено густину скалярного поля як темної енергії Всесвіту в галактиках та скупченнях галактик в рамках моделі гало формування гравітаційно-зв'язаних систем: її величина є в межах  $2 \cdot 10^{-30} \leq \bar{\rho}_{de}^{gal} \leq 2 \cdot 10^{-29} \text{ г/см}^3$  для галактик та  $\bar{\rho}_{de}^{cl} \sim 5-8 \cdot 10^{-30} \text{ г/см}^3$  для скупчень, якщо значення параметра рівняння стану темної енергії  $w_{de} \equiv \bar{p}_{de}/\bar{\rho}_{de}$  є в межах  $-1.1 \leq w_{de} \leq -0.9$ , а значення інших космологічних параметрів фіксовані -  $\Omega_{de} = 0.7$ ,  $\Omega_{dm} = 0.25$ ,  $\Omega_b = 0.05$ ,  $H_0 = 70 \text{ км/с/Мпк}$ . Середня густина темної матерії в них є значно більшою:  $\bar{\rho}_m^{gal} \approx 5 \cdot 10^{-24} \text{ г/см}^3$ ,  $\bar{\rho}_m^{cl} \approx 5 \cdot 10^{-27} \text{ г/см}^3$ .

Знайдено аналітичні розв'язки рівнянь еволюції збурень густини і швидкості темної матерії та темної енергії, які взаємодіють тільки гравітаційно, у статичному світі з фоновією метрикою Мінковського. За їх допомогою показано, що квінтесенційна ( $w_{de} > -1$ ) та фантомна ( $w_{de} < -1$ ) темна енергія у статичному світі галактик та скупчень галактик є гравітаційно стійкою - під дією самогравітації вона може тільки осцилювати. В гравітаційних полях збурень темної матерії вона здатна монотонно згущуватись, але амплітуди збурень густини і швидкості у всіх масштабах залишаються малими. Проілюстровано також, як "акреція" фантомної темної енергії в область згущення темної матерії зумовлює формування від'ємного збурення густини темної енергії.

Проаналізовано також поведінку темної енергії в гравітаційних полях зір і чорних дір, представлених метрикою Шварцшільда. Показано, що у випадку зір існують статичні розв'язки диференціальних рівнянь збереження енергії-імпульсу, що описують розподіл густини темної енергії зовні та всередині зорі. Встановлено, що її величина мало відрізняється від середньої, модуль відносного відхилення густини від середньої  $\delta_{de} = \rho_{de}(0)/\bar{\rho}_{de}^{gal} - 1$  є максимальним у центрі та залежить від глибини потенціальної ями, а його знак є додатним для квінтесенційного скалярного поля та від'ємним для фантомного. Для зорі типу Сонця  $\delta_{de} \sim 10^{-7}$ , а для нейтронної зорі  $\sim 10^{-2}$ .

У випадку шварцшільдівської чорної діри проаналізовано розв'язки рівнянь, що описують стаціонарну акрецію темної енергії як пробної компоненти, що не змінює метрики простору-часу. Показано, що потік маси темної енергії  $\dot{M} \equiv -4\pi r^2 T_0^1$ , яка перетинає сферу з радіусом  $r > r_g$  ( $r_g$  - гравітаційний радіус центральної чорної діри) в напрямку центра, визначається співвідношенням  $\dot{M} = 4\pi A r_g^2 \bar{\rho}_{de}^{gal} (1 + w_{de})$ , де стала  $A > 0$ . Він є позитивною величиною у випадку квінтесенційної темної енергії, та негативною - у випадку фантомної.

Отримані результати аналізу динаміки фантомної темної енергії в скупченнях галактик, галактиках, зорях та інших гравітаційно-зв'язаних системах приводять до висновку, що роль такого типу темної енергії в еволюції гравітаційно-зв'язаних систем з часом зменшується, на відміну від космологічного фону, де вона зростає в процесі розширення Всесвіту. Це суттєво змінює сценарій наближення Всесвіту до сингулярності Великий розрив, вперше описаний в статті Р. Колдвела, М. Камінковського та Н. Вайнберга у 2003 році [Phys. Rev. Lett. 91, 071301].

### Діагностика поля горизонтальних швидкостей в атмосфері Сонця за 2D спостереженнями в центрі диску

М. Стоділка

Астрономічна обсерваторія,

Львівський національний університет імені Івана Франка,

Діагностика реальної атмосфери Сонця інверсними методами - один із перспективних напрямків сучасної геліофізики. Тільки в середині 1990-х років у зв'язку з появою інверсних кодів з'явилась можливість проводити діагностику атмосфер Сонця та зір на новому рівні. Другий підхід,

який зараз інтенсивно розвивається, — це МГД моделювання. На жаль, інверсний підхід (як і більшість методів діагностики) дає можливість отримати тільки вертикальні швидкості. А для дослідження горизонтальних швидкостей використовують, як правило, корковий метод, який працює на великих просторових і часових масштабах, та спостереження на краю диску Сонця.

Поле горизонтальних швидкостей дає інформацію про горизонтальні конвективні потоки, їх структуру та динаміку. Цінною є інформація про горизонтальні швидкості хвильових процесів, про поле швидкостей в нададіабатичному шарі та на початку зони проникаючої конвекції.

Запропонований нами підхід відтворює поле горизонтальних швидкостей ( $V_x, V_y$ ) за спектральними спостереженнями в центрі диску Сонця з високим просторово-часовим розділенням. Такі спостереження дозволяють шляхом розв'язку оберненої задачі переносу випромінювання побудувати моделі неоднорідної атмосфери Сонця. А горизонтальні швидкості можна отримати як розв'язки рівнянь гідродинаміки в рамках відтворених (за спостережуваними даними) моделей сонячної атмосфери.

## **Збурена рекомбінація в космологічних моделях з розпадною темною матерією**

*О. Сергієнко, Б. Новосядлий*

Астрономічна обсерваторія

Львівський національний університет імені Івана Франка,

На сьогоднішній день найточнішими космологічними спостережуваними даними є дані щодо анізотропії реліктового випромінювання, отримані Космічною Обсерваторією “Планк”. Протягом наступних 10–20 років очікуються дані щодо анізотропії лінії 21 см в епоху Темних Віків та реіонізації, які є ключовими для розуміння формування великомасштабної структури Всесвіту. Для коректної інтерпретації цих даних принциповим є точний опис іонізаційної історії Всесвіту. Ми обговорюємо основні фізичні ефекти, які визначають еволюцію концентрацій іонізованих фракцій в рамках моделі ефективного 3-рівневого атома, та оцінюємо їх вплив на еволюцію адіабатичних збурень концентрацій іонізованих фракцій протягом усієї історії Всесвіту в моделях з розпадною/самоаніглюючою темною матерією як джерелом додаткової іонізації. Також ми проводимо порівняння з наближеними підходами до розрахунку збурень концентрації вільних електронів в епоху Темних Віків.

## **Деформована алгебра versus деформований гамільтоніан**

*В. Ткачук*

Кафедра теоретичної фізики

Львівський національний університет імені Івана Франка

Буде обговорено проблему вибору гамільтоніана та фізичних імпульсів і координат у просторі з деформованою алгеброю Гайзенберга. Також буде розглянуто зв'язок із симетрійними властивостями простору.

## **Нелінійні флуктуації густини частинок у квантових рідинах**

*І. Вакарчук*

Кафедра теоретичної фізики

Львівський національний університет імені Івана Франка