

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ
ЛЬВІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА

РІЗДВЯНІ ДИСКУСІЇ 2009

ПРОГРАМА І ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

Львів, 3–4 січня 2009 року

Ауд. 10 (вул. Драгоманова, 12)

3 січня 2009 року

10:00 Відкриття. *І. О. Вакарчук*

Головуючий: **А. М. Швайка**

10:00+ε–10:45 *Ю. Яремко*, Інтерференційна частина синхротронного випромінювання

10:45–11:30 *Б. Новосядлий, О. Сергієнко*, Формування великомасштабної структури в моделях Всесвіту із скалярним полем як темною енергією

11:30–12:00 Кава

12:00–12:45 *В. Фурман*, Фізика конвекції верхньої мантиї Землі

12:45–13:30 *В. Ткачук*, Кривизна і кручення квантової еволюції

Головуючий: **В. М. Ткачук**

15:30–16:15 *Ю. Дубленич*, Основні стани моделей ґраткового газу на трикутній і шестикутній ґратках: “чортові” сходинки та квазікристали

16:15–17:00 *А. Швайка*, Спектральна функція локалізованих станів і дискретний підхід Вінера–Гопфа

17:00–17:45 *S. Sorokov, R. Levitskii, A. Vdovych*, Microscopic theory of the $\text{Rb}_{1-x}(\text{NH}_4)_x\text{H}_2\text{PO}_4$ type compound

4 січня 2009 року

Головуючий: **Б. С. Новосядлий**

10:00–10:45 *І. Зачек, Р. Левницький, А. Вдович*, Поздовжні і поперечні діелектричні, п'єзоелектричні, пружні, електрострикційні та динамічні діелектричні властивості антисегнетоелектриків типу $\text{ND}_4\text{D}_2\text{PO}_4$

10:45–11:30 *Д. Іванейко, Б. Берш, Ю. Головач, Я. Ільницький*, Вплив структурного безладу на критичну поведінку 3D моделі Ізинга: Монте Карло симуляції

11:30–12:00 Кава

12:00–12:45 *А. Дувіряк*, Інтегралі дії типу Фоккера в осциляторному наближенні

12:45–13:30 *І. Вакарчук*, Теорія температурної залежності бозе-конденсатної фракції рідкого ^4He

13:30 Закриття

ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНА ЧАСТИНА СИНХРОТРОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Юрій Яремко

Інститут фізики конденсованих систем НАН України

Інтерференційна частина тензора густини енергії-імпульсу Максвелла розщеплена на причастинкову та радіаційну частини, кожна з котрих зберігається поза світовими лініями частинок. Це дозволило визначити “далекодуючу” інтерференційну частину енергії та імпульсу поля двох точкових зарядів, котра покидає район взаємодії і може вловлюватись віддаленими від частинок детекторами. Короткосяжні причастинкові доданки описують деформацію електромагнітних “хмаринок”, невіддільних від “голого” заряду. Вони модифікують 4-імпульси “одягнених” заряджених частинок. З аналізу рівнянь балансу енергії, імпульсу та моменту імпульсу отримане рівняння Лоренца-Дірака, що описує рух заряду у полі іншого заряду із врахуванням реакції випромінювання. Результати можна використати для аналізу умов когерентності синхротронного випромінювання, генерованого лазерами на вільних електронах, де інтерференційна компонента має вирішальне значення.

ФОРМУВАННЯ ВЕЛИКОМАСШТАБНОЇ СТРУКТУРИ В МОДЕЛЯХ ВСЕСВІТУ ЗІ СКАЛЯРНИМ ПОЛЕМ ЯК ТЕМНОЮ ЕНЕРГІЄЮ

Б. Новосядлий, О. Сергієнко

Астрономічна обсерваторія та кафедра астрофізики,
Львівський національний університет імені Івана Франка

Центральною проблемою сучасної космології є проблема походження великомасштабної структури Всесвіту. Особливого значення вона набуває у світлі останніх спостережувальних даних, які надійно вказують на те, що Всесвіт розширюється з прискоренням і більша частина його густини енергії належить невідомій складовій з від’ємним тиском – темній енергії. Лінійна стадія формування великомасштабної структури була проаналізована для 2-компонентного Всесвіту з пилоподібною матерією і темною енергією у вигляді скалярного поля з класичним чи тахіонним лагранжіаном та реконструйованим для постійного параметра рівняння стану чи нульової адіабатичної швидкості звуку потенціалом.

ФІЗИКА КОНВЕКЦІЇ ВЕРХНЬОЇ МАНТІЇ ЗЕМЛІ

В. В. Фурман

Кафедра фізики Землі,

Львівський національний університет імені Івана Франка

Метод побудови простої самоузгодженої теплової моделі мантиї Землі та її конвекції є незалежним від інших методом визначення розподілу температури і теплового потоку у верхній мантиї Землі. Дослідження структури розподілу густини мантиї має вирішальне значення для розуміння еволюції Землі, тому що саме диференціація густини в мантиї, пов'язана з варіаціями як температури, так і хімічного складу, є рушійною силою мантийної конвекції. І все-таки всі наявні інформаційні дані, які ми наразі можемо мати, є недостатніми для повного розуміння природи термодинамічних та конвективних процесів, що протікають у мантиї, хоча вони є ключовими положеннями до пояснення багатьох геофізичних і геологічних явищ [1].

Моделі конвекції, запропоновані для пояснення того, як процеси, що проходять в мантиї, можуть надавати рух шарам літосфери. Конвекція полягає в тому, що тепла речовина піднімається нагору, а холодна опускається вниз. Згідно цієї моделі, усі висхідні потоки сконцентровані приблизно в двадцяти таких стовпах основою на границі між мантиєю і, кожний з яких, має діаметр порядку кількох сотень кілометрів. Зустрічний (спадний) потік складається з повільного зниження усієї речовини мантиї. Коли висхідний потік досягає літосфери, він розпливається у горизонтальному напрямку, утворює нагріті зони, що на поверхні характеризуються вулканічною активністю. При будь-якому механізмі конвекції вертикальне переміщення речовини у мантиї призводить до змін розподілу температури усередині неї [2].

Теплову конвекцію в'язкої мантиї описують розподілом вектора конвективних швидкостей $V_i(x, y, z)$, розподілом температури $T(x, y, z)$ і тиску $p(x, y, z)$, які знаходять, розв'язуючи систему трьох рівнянь: рівняння перенесення імпульсу, рівнянь перенесення тепла і маси:

$$\rho \frac{dV_i}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial S_{ij}}{\partial x_j} + \rho g \delta_{iz}; \quad \frac{dT}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{k \partial T}{\partial x_i} \right) + Q;$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (V_i \rho)}{\partial x_i} = 0, \quad i = 1, 2, 3, \dots,$$

де ρ — густина мантиї; g — напруженість поля тяжіння Землі; T — температура, яку відлічують від адіабатичного розподілу; k — коефіцієнт теплопровідності; Q — термометрична густина теплових джерел; δ_{ij} — символ Кронекера; S_{ij} — девіаторний

тензор в'язких напружень:

$$S_{ij} = \mu \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right),$$

а μg — кінематична в'язкість.

Проведений аналіз можливостей побудови простої самоузгодженої теплової моделі мантії Землі та її конвекції, а результати цієї роботи дають змогу отримати функціональні залежності для розподілів температури, теплового потоку в надрах Землі та характеристик теплопровідності самої верхньої твердої частини мантії і кори Землі.

- [1] A. Loddoch *et al.*, Temporal variations in the convective style of planetary mantles // Earth and Planetary Science Letters **251**, 79–89 (2006).
- [2] Allen K. McNamara, Shijie Zhong, The influence of thermochemical convection on the fixity of mantle plumes // Earth and Planetary Science Letters **222**, 485–500 (2004).

CURVATURE AND TORSION OF QUANTUM EVOLUTION

V. M. Tkachuk

Department of Theoretical Physics, Ivan Franko National University of Lviv

We introduce new notions that characterize the quantum evolution which can be called the curvature and torsion. The curvature shows the deviation of state vector of quantum evolution from geodesic line and torsion shows the deviation of evolution state vector from the plane of evolution (two-dimensional space) at a given time.

ОСНОВНІ СТАНИ МОДЕЛЕЙ ҐРАТКОВОГО ГАЗУ НА ТРИКУТНІЙ І ШЕСТИКУТНІЙ ҐРАТКАХ: “ЧОРТОВІ” СХОДИНКИ ТА КВАЗІКРИСТАЛИ

Ю. І. Дубленич

Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

СПЕКТРАЛЬНА ФУНКЦІЯ ЛОКАЛІЗОВАНИХ СТАНІВ І ДИСКРЕТНИЙ ПІДХІД ВІНЕРА–ГОПФА

А. М. Швайка

Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

Розглядається задача про одночастинковий спектр локалізованих станів, напр. зарядова домішка в металі, рентгенівські фотоемісійні спектри, спектр f -електронів в моделі Фалікова–Кімбала. У першій частині доповіді (фізичній) показано як отримати запізнюючу функцію Гріна для локалізованих станів з використанням підходу Келдиша. Запропоновано нове представлення для спектральної функції через детермінанти неперервних матричних операторів зі структурою типу Тепліца, яке дозволяє розглядати як завгодно низькі температури. У другій частині доповіді (математичній) показано як використовуючи дискретний підхід Вінера–Гопфа і теорему Сеґо отримати точні аналітичні формули для довгочасової поведінки функцій Гріна. Розглянуто випадки коли логарифм характеристичної функції (яка визначає неперервну матрицю Тепліца) здійснює і не здійснює виток навколо початку координат. Показано, наскільки точними є дані асимптотичні вирази у порівнянні з точними розв'язками, які отримуються при екстраполяції прямих матричними розрахунків до границі нульової дискретизації.

MICROSCOPIC THEORY OF THE $\text{Rb}_{1-x}(\text{NH}_4)_x\text{H}_2\text{PO}_4$ TYPE COMPOUND

Serhiy Sorokov, Roman Levitskii, Andriy Vdovych

Institute for Condensed Matter Physics, National Academy of Sciences of Ukraine

We propose a pseudospin model for proton glasses of the $\text{Rb}_{1-x}(\text{NH}_4)_x\text{H}_2\text{PO}_4$ ($\text{Rb}_{1-x}(\text{ND}_4)_x\text{D}_2\text{PO}_4$) type, which takes into account the energy levels of protons (deuterons) around a PO_4 group (within the cluster approximation), long-range interactions between the hydrogen bonds (within the Sherrington–Kirkpatrick approximation) and a Gaussian deformational field.

The local polarization P_f , proton displacement η_f and Edwards–Anderson parameter $Q_{EA,f}$ are as follows

$$\begin{aligned}\vec{P}_f &= \langle \vec{d}_f \rangle \cdot \eta_f; & \eta_f &= \int d\sigma R_f(\sigma) R_{DF}(g) \cdot \tanh(g + \sigma); \\ Q_{EA,f} &= \int d\sigma R_f(\sigma) R_{DF}(g) \cdot \tanh^2(g + \sigma) - \eta_f^2;\end{aligned}$$

where $\langle \vec{d}_f \rangle$ is the average effective dipole moment of the f -th hydrogen bond, $R_{DF}(g)$ is the Gaussian distribution for the deformation field, $R_f(\sigma)$ is the Gaussian distribution with the average $2\varphi_{S,f} + \varphi_{L,f}$ and dispersion $2q_{S,f} + q_{L,f}$. Here we use variational parameters $\varphi_{S,f}$, $q_{S,f}$ (short-range mean field exerted by a PO_4 group upon the f -th hydrogen

bond and its dispersion) and $\varphi_{L,f}$, $q_{L,f}$ (long-range mean field and its dispersion), which can be found from the free energy extremum. In this work we explore only three “pure” states of a compound, when it suffices to use four state parameters $\varphi_S, \varphi_L, q_S, q_L$, namely

- proton-glass state ($\eta_f = 0$, $Q_{EA,f} = Q > 0$)
- ferroelectric state ($\eta_f = \eta > 0$, $Q_{EA,f} = Q > 0$)
- antiferroelectric state (for an “A”tetrahedron $\eta_{2,3} = -\eta_{1,4} = \eta > 0$, $Q_{EA,f} = Q > 0$)

Expressions for longitudinal and transverse dielectric permittivities are obtained on the basis of Glauber dynamics equations for the time-dependent linear responses of proton displacement $\eta_f(t)$ and the proton glass order parameter $Q_{EA}(t)$. We explore the temperature dependences of heat capacity, local polarization of hydrogen bonds, Edwards–Anderson parameter, as well as of the real and imaginary parts of longitudinal and transverse dielectric permittivities in a wide range of sample compositions $x = [0, 1]$ for the $\text{Rb}_{1-x}(\text{ND}_4)_x\text{D}_2\text{PO}_4$, $\text{Rb}_{1-x}(\text{NH}_4)_x\text{H}_2\text{PO}_4$, and $\text{Rb}_{1-x}(\text{NH}_4)_x\text{H}_2\text{AsO}_4$ mixed systems. The theoretical phase diagrams obtained from the calculated dielectric permittivity are close to the experimental ones [1–4]. Deviation of the theory from experiment takes place for all systems at compositions where the transition between “pure” states is observed. For the $\text{Rb}_{1-x}(\text{ND}_4)_x\text{D}_2\text{PO}_4$ mixture the theory qualitatively well describes the temperature behavior of the real and imaginary parts of longitudinal and transverse permittivities within the range of “pure” phases at $x \sim 1; 0.5; 0$. In the ferroelectric ($x < 0.25$) and antiferroelectric ($x > 0.65$) ordering regions at low frequencies the theory reproduces the low-temperature peak of the imaginary part of the permittivity, attributed to the system transition to a non-ergodic state.

For $\text{Rb}_{1-x}(\text{NH}_4)_x\text{H}_2\text{PO}_4$ and $\text{Rb}_{1-x}(\text{NH}_4)_x\text{H}_2\text{PO}_4$ mixtures at low temperatures in the proton glass phase, the theory incorrectly describes the shape of the imaginary permittivity curve $\varepsilon''_{33}(\nu)$ (the width is too small, and the peak is too high). That is due to tunneling effects, being neglected within the Glauber approach and playing a key role in the dynamic processes at low temperatures.

We also discuss possible ways of developing the theory in order to describe the mixed states and to improve the description of the dynamic characteristics

- [1] Takashige M., Terauchi H., Miura Y., Hoshino S., Nakamura T., Jap. J. Appl. Phys. **24**, 947 (1985).
- [2] He P. J. Phys. Soc. Jpn. **60**, 313 (1991).
- [3] Trybula Z., Stankowski J., Los Sz., Physica B **191**, 312 (1993).
- [4] Nagata T., Iwata M., Orihara H., Ishibashi Y., Miura Y., Mamiya T., Terauchi H., J. Phys. Soc. Jpn. **66**, 1503 (1997).

ПОЗДОВЖНІ І ПОПЕРЕЧНІ ДІЕЛЕКТРИЧНІ, П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНІ, ПРУЖНІ, ЕЛЕКТРОСТРИКЦІЙНІ ТА ДИНАМІЧНІ ДІЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АНТИСЕГНЕТОЕЛЕКТРИКІВ ТИПУ $\text{ND}_4\text{D}_2\text{PO}_4$

І. Зачек, Р. Левицький, А. Вдович

Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

В рамках модифікованої протонної моделі антисегнетоелектрика $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ з короткосяжними і далекосяжними взаємодіями без врахування тунелювання протонів на водневих зв'язках в наближенні чотиричастинкового кластера, беручи до уваги усі можливі розщеплення конфігураційних енергій, які зумовлені деформаціями $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$ і ε_6 і враховуючи п'єзоелектричну взаємодію з деформаціями $\varepsilon_4, \varepsilon_6$ розраховано термодинамічний потенціал. Записуючи діелектричне і пружне рівняння стану, з термодинамічного потенціалу отримано вирази для рівноважних поляризацій P_1, P_3 і напруг σ_4, σ_6 . На основі цих виразів розраховано ізотермічні статичні діелектричні сприйнятливості затиснутого кристалу $\chi_{11}^{T\varepsilon}, \chi_{33}^{T\varepsilon}$, ізотермічні коефіцієнти п'єзоелектричної напруги e_{14}^T, e_{36}^T і ізотермічні пружні сталі при сталому полю c_{44}^{TE}, c_{66}^{TE} . Використовуючи загальновідомі термодинамічні співвідношення отримано вирази для ізотермічних статичних діелектричних сприйнятливостей вільного кристалу $\chi_{11}^{T\sigma}, \chi_{33}^{T\sigma}$, коефіцієнта п'єзоелектричної деформації d_{14}^T, d_{36}^T , сталі п'єзоелектричних деформацій g_{14}^T, g_{36}^T і напруг h_{14}^T, h_{36}^T , пружні сталі при сталій поляризації c_{44}^{TP}, c_{66}^{TP} . Проведено числовий розрахунок температурних залежностей цих характеристик в параелектричній фазі на основі запропонованих параметрів теорії добре узгоджується з експериментальними даними для $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ і $\text{ND}_4\text{D}_2\text{PO}_4$.

В рамках стохастичної моделі Глаубера для динамічних процесів отримано поперечну і поздовжню динамічну сприйнятливості кристалу, затиснутого високочастотним полем, дисперсія якої має релаксаційний характер. Враховуючи класичне рівняння руху елементарного об'єму кристалу, розраховано динамічну сприйнятливості механічно вільного кристалу, яка в області п'єзоелектричного резонансу має резонансний характер. Для кристалу $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ розраховано коефіцієнт поглинання і швидкість поширення ультразвуку. Отримано добрий опис даних експериментів для $\varepsilon_{11}^*(\omega, T), \varepsilon_{33}^*(\omega, T)$ кристалів $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ і $\text{ND}_4\text{D}_2\text{PO}_4$ у широкому температурному і частотному діапазонах.

ВПЛИВ СТРУКТУРНОГО БЕЗЛАДУ НА КРИТИЧНУ ПОВЕДІНКУ 3D МОДЕЛІ ІЗИНГА: МОНТЕ КАРЛО СИМУЛЯЦІЇ

Д. Іванейко¹, Б. Берш², Ю. Головач^{3,4}, Я. Ільницький³

¹ Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів,

² Laboratoire de Physique des Matériaux, Université Henri Poincaré, Vandoeuvre les
Nancy Cedex, France,

³ Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів,

⁴ Institut für Theoretische Physik, Johannes Kepler Universität Linz, Linz, Austria

Тривимірна (3d) модель Ізинга (МІ) є однією із найпростіших моделей, що часто використовується для опису критичної поведінки спінових систем. Вплив структурного безладу на критичну поведінку цієї моделі був предметом численних досліджень [1]. На сьогодні добре встановлено, що слабе 'заморожене' розведення немагнітною компонентою змінює критичні показники МІ, а отже, така система належить до нового класу універсальності.

Предметом наших досліджень була низка досі нез'ясованих питань, що стосуються особливостей впливу структурного безладу на зміну критичної поведінки МІ. Методом досліджень ми обрали комп'ютерні симуляції із застосуванням Монте Карло алгоритмів Метрополіса, Свендсена-Ванга та Вольфа. Серед отриманих нами результатів:

- відношення критичних амплітуд ізотермічної сприйнятливості МІ Γ^+/Γ^- в присутності нескорельованих немагнітних домішок [2];
- аналіз критичної динаміки [3];
- пояснення впливу далекосяжно-скорельованих домішок на статичну критичну поведінку моделі [4].

[1] Р. Фольк, Ю. Головач, Т. Яворский, Успехи физических наук **173**, 175–200 (2003).

[2] D. Ivaneyko, J. Ilnytskyi, B. Berche, Yu. Holovatch, Condens. Matter Phys. **8**, 149–162 (2005).

[3] D. Ivaneyko, J. Ilnytskyi, B. Berche, Yu. Holovatch, Physica A **370**, 163–178 (2006).

[4] D. Ivaneyko, B. Berche, Yu. Holovatch, J. Ilnytskyi, Physica A **387**, 4497–4512 (2008).

ІНТЕГРАЛИ ДІЇ ТИПУ ФОККЕРА В ОСЦИЛЯТОРНОМУ НАБЛИЖЕННІ

А. Дувіряк

Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів

Формалізм інтегралів дії типу Фоккера є одним із перших підходів до опису релятивістичних систем частинок. Взаємодія частинок у цьому підході має теоретико-польову природу і задається безпосередньо функцією Гріна відповідного польового рівняння (без вживання польових змінних). Сьогодні, у зв'язку із розвитком різноманітних ефективних теорій поля, фоккерівський формалізм міг би стати зручним засобом для вивчення зв'язаних станів елементарних частинок. Однак до цього часу не існує послідовної процедури квантування цього підходу. Проблема пов'язана із тим, що інтеграли дії типу Фоккера приводять до інтегро- або різницево-диференціальних рівнянь руху, які важко переформулювати у гамільтонову форму.

Тут запропоновано наближену процедуру побудови гамільтонового опису і квантування двочастинкових систем фоккерівського типу, що не ґрунтується на розкладах за $1/c$, і тому дозволяє описувати істотно релятивістичні стани. Розглядається довільний інтеграл дії типу Фоккера із групою симетрії Арістотеля. Це дозволяє досліджувати як релятивістичні (Пуанкаре-інваріантні) системи, так і нерелятивістичні (Галілей-інваріантні), із часовою нелокальністю. Вихідним пунктом є доведення існування та опис колових орбіт у таких системах. Далі здійснюється лінеаризація динаміки системи щодо малих збурень навколо цих колових орбіт. Отримана наближена система є нелокальною у часі, а її фазовий простір – взагалі кажучи нескінченний. Нарешті здійснюється скінченний відбір осцилюючих мод, аналітичних за деяким параметром нелокальності. Якщо амплітуди цих мод нормувати певним чином, вони стають канонічними координатами в гамільтоновому описі системи, а енергія коливань відіграє роль гамільтоніану. Канонічне квантування системи є майже тривіальним, а власні стани параметризуються орбітальним та радіальним квантовими числами ℓ та n_r .

Як застосування запропоновано релятивістичну кваркову модель мезонів, сформульовану в рамках формалізму інтегралів дії типу Фоккера, у якій міжкваркова взаємодія переноситься скалярно-векторною суперпозицією полів з вищими похідними. У нерелятивістичній границі модель описує двочастинкову систему з лінійним потенціалом. Для аналізу моделі в істотно релятивістичній області застосовано запропоноване осциляторне наближення. Показано, що модель добре відтворює особливості спектроскопії легких мезонів.

ТЕОРІЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ БОЗЕ-КОНДЕНСАТНОЇ ФРАКЦІЇ РІДКОГО ${}^4\text{He}$

І. О. Вакарчук

Кафедра теоретичної фізики,
Львівський національний університет імені Івана Франка

Знайдено вирази для одночастинкової матриці густини та кількості бозе-конденсату у вигляді розкладу, кожен l -тий член якого зображається l -кратним інтегралом за просторовою координатою від добутку кореляторів ідеального бозе-газу на добутки кореляторів, які в квазікласичній межі зводяться до відомих в теорії класичних систем функцій Майєра. Виявлені інфрачервоні розбіжності членів цього розкладу усуваються перенормуванням одночастинкового спектру. Отримані розклади працюють в широкій температурній ділянці. Проведено чисельні розрахунки для надплинного ${}^4\text{He}$ з використанням як вихідної величини експериментально виміряного рідинного структурного фактора.