

**2015**

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**

**Відділення фізики і астрономії НАН України**

**2015**

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b>	<b>3</b>
<b>Склад Наукової ради з проблеми «Фізика низьких температур і кріогенна техніка»</b>	<b>9</b>
<b>Бюро Наукової ради</b>	<b>9</b>
<b>Члени Наукової ради</b>	<b>10</b>
<b>Наукові досягнення вчених України у галузі фізики низьких температур і кріогенної техніки у 2015 році</b>	
<b>Секція «Фізика квантових рідин та кристалів»</b>	<b>14</b>
<b>Секція «Фізика надпровідності»</b>	<b>21</b>
<b>Секція «Фізика магнітних явищ»</b>	<b>27</b>
<b>Секція «Електронні властивості твердих тіл»</b>	<b>49</b>
<b>Секція «Фізика молекулярних кристалів»</b>	<b>54</b>
<b>Секція «Низькотемпературне матеріалознавство та кріогенна техніка»</b>	<b>59</b>
<b>Кріогенна техніка</b>	<b>59</b>
<b>Низькотемпературне матеріалознавство</b>	<b>60</b>
<b>Інформація щодо надрукованих у 2015 р. книжкових видань</b>	<b>64</b>
<b>Участь у підготовці та проведенні наукових конференцій, симпозіумів</b>	<b>64</b>
<b>Участь у редколегіях наукових видань</b>	<b>66</b>

## Вступ

Наукова рада з проблеми «Фізика низьких температур і криогенна техніка» Відділення фізики і астрономії НАН України працює при Фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України. Головою Ради є академік НАН України С.Л. Гнатченко. Рада має 6 секцій: «Фізика квантових рідин та кристалів» (очолює чл.-кор. НАН України Е.Я. Рудавський); «Фізика надпровідності» (очолює чл.-кор. НАН України О.А. Кордюк); «Низькотемпературний магнетизм» (очолює акад. НАН України М.Ф. Харченко); «Електронні властивості твердих тіл» (очолює професор Ю.О. Колесніченко); «Фізика молекулярних кристалів» (очолює чл.-кор. НАН України М.О. Стржемечний); «Низькотемпературне матеріалознавство та криогенна техніка» (очолює професор С.І. Бондаренко). До складу Ради входять 66 провідних фахівців з фізики низьких температур з Києва, Харкова, Донецька, Одеси, Львова.

Зазначимо, що основні напрями наукових досліджень з фізики низьких температур знаходяться в полі зору Ради. Це дослідження в галузі надпровідності та електронних властивостей провідних систем, низькотемпературного магнетизму, квантових рідин і кристалів, кріокристалів, низькотемпературної фізики пластичності та міцності, низькотемпературних аспектів біофізики та прикладні дослідження з низькотемпературного та космічного матеріалознавства.

У 2015 році була створена веб-сторінка Ради, яка розміщена на сайті ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України [http://www.ilt.kharkov.ua/bvi/structure/naukova\\_rada\\_fntkt\\_u.htm](http://www.ilt.kharkov.ua/bvi/structure/naukova_rada_fntkt_u.htm). За результатами досліджень, проведених у 2014 році, був підготовлений науковий звіт, який охоплює найбільш значимі результати у відповідних галузях науки. Звіт розміщено на веб-сторінці Ради. Науковий звіт за результатами наукових досліджень у 2015 році також буде розміщено на веб-сторінці Ради.

ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України є тим центром в Україні де концентруються основні фундаментальні дослідження з фізики низьких температур та налагоджено виробництво криогенних рідин для наукових цілей. Завдяки тому, що у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України створений комплекс для фізичних досліджень при наднизьких температурах, експериментальні дослідження ведуться до температур рівня десятитисячної долі кельвіна. Постановою Кабінету Міністрів України від 19.12.2001 №1709 цей комплекс затверджено, як об'єкт, що становить Національне надбання України.

Активні дослідження в галузі фізики низьких температур та криогенної техніки ведуть також інші установи та організації, представники яких входять до Ради. Серед них Інститут фізики НАН України, Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України, Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України, Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Інститут магнетизму НАН України та МОН України, Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я.Усикова, Радіоастрономічний інститут НАН України, Інститут фізики конденсованих систем НАН України, ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, Інститут монокристалів НАН України, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, НТУ України «Київський політехнічний інститут», НТУ «Харківський політехнічний інститут», Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Інститут холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського тощо. Східноєвропейська асоціація виробників технічних газів «СІГМА»,

яка теж має свого представника в Раді, опікується формуванням та реалізацією єдиної науково-технічної політики в області вдосконалення установок розділення повітря та інших газових сумішей, систем виробництва та скраплення низькотемпературних технічних газів, забезпечення їх ефективної й безпечної експлуатації.

Головними задачами роботи Ради у 2015 році були: участь у процесі формування напрямів наукової роботи з фізики та техніки низьких температур в Україні, підтримка високого рівня фундаментальних та прикладних досліджень, організація конференцій, координація видавничої діяльності з низькотемпературної тематики, підготовка кадрів, підтримка та розвиток традицій української школи фізики та техніки низьких температур. Також, за дорученням Бюро Відділення фізики і астрономії НАН України, фахівці ради провели експертизу ряду запитів на проведення науково-дослідних робіт з низькотемпературної тематики.

Важливий напрямок діяльності був пов'язаний з підтримкою організації міжнародних та українських наукових конференцій з низькотемпературної тематики. Незважаючи на складні умови, у 2015 році було проведено 6-у Міжнародну конференцію молодих вчених «Фізика низьких температур», в організації якої активну участь відіграла Рада. Конференція була спрямована на ознайомлення з останніми досягненнями в галузях низькотемпературної фізики конденсованого стану, таких як квантові рідини і квантові кристали, кріокристали, низькотемпературний магнетизм, надпровідність, оптика та фотоніка при низьких температурах, нанофізика і наноелектроніка, фізичні явища у низьковимірних системах, низькотемпературна фізика макромолекул, на підвищення професійної кваліфікації та наукового рівня молодих науковців. У конференції взяло участь більше 90 науковців з України, Польщі та Чехії.

Крім того, науковці Ради активно працювали в організаційних комітетах та брали участь в підготовці і проведенні ще кількох конференцій. П.П. Паль-Валь був заступником голови організаційного комітету, а В.Д. Нацик – членом організаційного комітету 5-ї Міжнародної конференції «Структурна релаксація у твердих тілах» (26–28 травня, 2015 р., Вінниця, Україна). В.Г. Піщанський брав участь у роботі організаційного комітету XXXVII Сесії по фізиці низьких температур (29 червня - 3 липня 2015 р., Казань, Росія). В.О. Карачевцев та М.В. Косевич брали участь у роботі організаційного комітету IV Міжнародної конференції «Nanobiophysics 2015: Fundamental and applied aspects» (1-4 жовтня 2015 р., Київ, Україна). М.В. Косевич брала участь у роботі організаційного комітету VI Міжнародної конференції «Масс-спектрометрия и ее прикладные проблемы» (12-17 жовтня 2015 р., Москва, Росія). Академік НАН України Л.А. Пастур був головою Оргкомітету III Міжнародної конференції «Аналіз та математична фізика» (15 – 19 червня 2015 р., Харків, Україна). Р.В. Вовк очолював оргкомітет 12 Міжнародної наукової конференції «Фізичні явища в твердих тілах» (4 – 8 грудня 2015 р., Харків, Україна).

ІПМ ім. Францевича НАН України спільно з Міністерством освіти і науки України, Національною академією наук України, НТУУ «КПІ», Українським матеріалознавчим товариством з 5 по 8 жовтня 2015 р. на інженерно-фізичному факультеті НТУУ «КПІ» провів V Міжнародну наукову конференцію з високих технологій у матеріалознавстві «HighMatTech-2015» [http://www.materials.kiev.ua/science/conf\\_view](http://www.materials.kiev.ua/science/conf_view).

ТОВ «Інститут низькотемпературних енерготехнологій» спільно з Асоціацією «СІГМА» організував і провів у 2015 р. два міжнародні семінари «Підвищення ефективності

та екологічної безпеки виробництва та використання діоксиду вуглецю» (19-22 травня 2015 р. Одеса, Україна) та «Стан та перспективи розвитку кисневого та криогенного машинобудування» (28 вересня - 2 жовтня 2015 р., Балашиха, Росія).

Члени Ради беруть активну участь у організації роботи Загальнофізичного семінару, що працює при ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України на регулярній основі. До участі у семінарі запрошуються з доповідями провідні вчені з академічних установ та університетів України та інших країн. Семінар відвідують студенти старших курсів Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна та Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» та ін. За минулий рік було проведено 7 засідань семінару на яких виступили вчені як з наукових установ Харкова, так і з інших міст України.

Слід відмітити, що члени Ради приймають активну участь також в організації роботи Харківського міського Загальнофізичного семінару, який працює в Будинку вчених м. Харкова. Семінар відбувається під головуванням академіка НАН України Л.А. Пастура та академіка НАН України І.М. Неклюдова, секретар семінару – провідний науковий співробітник ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України І.В. Криве. Усього за 2015 рік було проведено 8 міських семінарів, у роботі яких активну участь взяли науковці Інституту.

Координація видавничої діяльності з низькотемпературної тематики є одним з найважливіших напрямків діяльності Ради. Наукова рада активно і постійно працює з редколегією журналу «Фізика низьких температур», що видається в Інституті, та є на сьогодні одним з найбільш рейтингових фізичних журналів України. Імпакт-фактор журналу «Фізика низьких температур», який підраховується незалежною організацією «Institute for Scientific Information», за минулий рік складає 0,786, що відповідає рівню досить відомих світових видань з фізики. Слід зазначити, що члени Наукової ради складають більшість редакційної колегії «ФНТ» та відіграють провідну роль у формуванні тематики та проведенні експертизи публікацій і редакційної політики.

Члени Ради входять до редколегій та наглядових рад ряду провідних фізичних та технічних журналів, які видаються як в Україні, так і за кордоном:

- «IEEE Transaction of Applied Superconductivity» (чл.-кор. НАН України Т.О. Пріхна).
- «Journal of Low Temperature Physics» (чл.-кор. НАН України Е.Я. Рудавський).
- «Фізика низьких температур» (акад. НАН України С.Л. Гнатченко (гол. редактор), акад. НАН України В.В. Єременко (почесний редактор), І.М. Адаменко, Г.Є. Гречнев, А.А. Звягін, О.С. Ковальов (заст. гол. редактора), Ю.О. Колесніченко (заст. гол. редактора), І.В. Криве, Ю.Г. Найдюк, В.Д. Нацик, чл.-кор. НАН України О.М. Омелянчук, акад. НАН України Л.А. Пастур, чл.-кор. НАН України Е.Я. Рудавський, чл.-кор. НАН України В.О. Ямпольський, О.В. Савченко, С.С. Соколов (від. секретар), чл.-кор. НАН України М.О. Стржемечний, В.Д. Філь, акад. НАН України М.Ф. Харченко, С.І. Шевченко).
- «Physica B: Condensed Matter» (чл.-кор. НАН України М.О. Стржемечний).
- «Phase Transitions» (чл.-кор. НАН України І.В. Стасюк).
- «Український фізичний журнал» (чл.-кор. НАН України С. М. Рябченко (заст. гол. редактора), акад. НАН України Л.А. Булавін, акад. НАН України В.М. Локтев, акад. НАН України М.Г. Находкін, чл.-кор. НАН України А.М. Погорілий, чл.-кор. НАН України В.Й. Сугаков).

- «Condensed Matter Physics» (чл.-кор. НАН України І.В. Стасюк (заст. гол. редактора), чл.-кор. НАН України Ю.В. Слюсаренко).
- «Надтверді матеріали» (чл.-кор. НАН України Т.О. Пріхна).
- «Металофізика та новітні технології» (чл.-кор. НАН України В.М. Антонов).
- «Semiconductor Physics, Quantum and Optoelectronics» (чл.-кор. НАН України О.Є. Беляєв (заст. гол. редактора), акад. НАН України М.Г. Находкін).
- «Хімія, фізика та технологія поверхні» (чл.-кор. НАН України В.Й. Сугаков).
- «Фізична інженерія поверхні» (а. НАН України *М.Г. Находкін*).
- «Технічні гази» (Г.Є. Лавренченко (гол. редактор), С.І. Бондаренко).
- «Деформация и разрушение материалов» (чл.-кор. НАН України Ю.В. Мільман).
- «Материаловедение» (чл.-кор. НАН України Ю.В. Мільман).
- «Журнал математичної фізики, аналізу, геометрії» (акад. НАН України Л.А. Пастур (гол. редактор)).
- «Радіофізика та електроніка» (акад. НАН України В.М. Шульга (заст. гол. редактора), чл.-кор. НАН України В.О. Ямпольський).
- «Електронна мікроскопія і міцність матеріалів» (чл.-кор. НАН України Ю.В. Мільман).
- «Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна, серія «Фізика» (Р.В. Вовк (гол. редактор)).
- «Журнал фізичних досліджень» (чл.-кор. НАН України І.В. Стасюк).
- «East European Journal of Physics» (чл.-кор. НАН України Ю.В.Слюсаренко).
- «Ядерна фізика та енергетика» (чл.-кор. НАН України В.Й. Сугаков (заст. гол. редактора)).
- «Радіофізика и радиоастрономия» (акад. НАН України В.М. Шульга).
- «Фізичний збірник НТШ» (чл.-кор. НАН України І.В. Стасюк).

Збереження традицій школи низькотемпературної фізики в Україні теж було один з пріоритетів роботи. Протягом 2015 року було видано 7 спеціальних тематичних випусків журналу «Фізика низьких температур», які були присвячені науковим подіям у галузі фізики низьких температур та видатним вченим, які працювали у цій галузі, а саме: випуск №1 «Актуальні проблеми магнітного резонансу та його додатків: Анатоль Абрагам, Євген Завойський», № 2 «XX Уральська міжнародна зимова школа по фізиці напівпровідників», №5 «До 70-річчя від дня народження В.М. Локтева», №6 «10th International Conference on Cryocrystals and Quantum Crystals», №9 та №10 «До 80-річчя рівняння Ландау–Ліфшиця» та №12 «До 80-річчя від дня народження І.В. Свечкарьова».

Члени Ради активно працюють над атестацією наукових кадрів. Так, зокрема у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України працюють 3-и спеціалізовані вчені ради з присудження наукових ступенів доктора (кандидата) наук в галузі фізико-математичних наук. За 2015 рік відбувся захист 3 докторських та 14 кандидатських дисертацій.

Спільна діяльність Ради та ряду провідних університетів Харкова була також спрямована на координацію спеціальних навчальних програм на кафедрах вищих учбових закладів. Науковці Ради ведуть спільну з вищими навчальними закладами науково-дослідну та навчальну роботу. Так, у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України діють шість філій фізичних та математичних кафедр Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна та Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». У 2015 році відбулася реорганізація механіко-математичного факультету Харківського національного



університету ім. В.Н. Каразіна і, відповідно, зміни відбулися в системі філій кафедр ХНУ ім. В.Н. Каразіна, які працюють на базі ФГІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України. Було створено філії кафедри фундаментальної математики та кафедри прикладної математики.

Провідні фахівці Ради читають курси лекцій та ведуть практичні заняття ще на кількох кафедрах і факультетах Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна та Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», а також і в інших вищих навчальних закладах. Зокрема, у 2015 році науковцями було прочитано для студентів цих філій курси лекцій та проведені практичні заняття за такими темами: кріотехнології в енергетиці та теплофізиці, прикладна надпровідність, магнітні властивості атома та слабкий магнетизм, фізика магнітних явищ у конденсованому середовищі, магнітовпорядковані речовини, низькі температури в енергетиці; наноструктурні матеріали та нанотехнології в нетрадиційній та відновлюваній енергетиці; сучасні методи наукового експерименту; фізика та техніка низьких температур; фізика твердого тіла; фізична кінетика; квантова теорія металів; оптика та спектроскопія матеріалів, мезоскопічна фізика, теоретична фізика; основи динамічної теорії кристалів; математичні питання теорії надплинної рідини, чисельні методи, диференціальні рівняння з запізненням, тощо.

Організація учбового процесу органічно поєднується з участю студентів-практикантів у проведенні наукових досліджень у сучасних галузях фізики, їх залученням до підготовки наукових доповідей і статей за результатами експериментів та розрахунків. В рамках договору з ХНУ ім. В.Н. Каразіна група студентів (10-20 чоловік) відвідує ЦККП «СКВІД-магнітометр» для ознайомлення з методами магнітних вимірювань та науково-дослідницькою діяльністю лабораторії. Студенти 5-го курсу фізичного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна приймали участь у магнітних дослідженнях магнітовпорядкованих феримагнітних наночастинок  $Fe_3O_4/NaCl$  розміром 5-8 нм, що дало змогу виявити характерні риси суперпарамагнітного та блокованого станів систем. Студенти 4 курсу ХНУ ім. В.М. Каразіна приймали участь у експериментальних дослідженнях магнітотранспортних властивостей двовимірних носіїв заряду в діркових гетероструктурах на основі кремнію та германію та у теоретичних дослідженнях можливості визначення константи спіну – орбітальної взаємодії методом скануючої тунельної спектроскопії. Студенти 5-го курсу фізичного факультету ХНУ ім. В.Н. Каразіна приймали участь у дослідженні дисипативних процесів у HeII та турбулентності у надплинному гелію. Студенти 6-го курсу НТУ «ХПІ» приймали участь у дослідженнях впливу квантових явищ на сорбційні властивості термічно відновленого оксиду графену, дослідженнях теплопровідності тетрагідрофурану, тощо.

За результатами досліджень з участю студентів було підготовлено близько десятка статей та доповідей на 6-й Міжнародній науковій конференції молодих вчених «Фізика низьких температур» (2-5 червня 2015 р., Харків), Міжнародній науковій конференції «Фізичні явища в твердих тілах» (1-4 грудня 2015 р., Харків), IX Міжнародній науково-практичній студентській конференції магістрів (7-9 квітня 2015 р., Харків), Міжнародній науковій конференції «Nano 2015» (26-29 серпня 2015 р., Львів), тощо.

Рада активно співпрацює з Радою молодих вчених ФГІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України (голова – М.І. Пашенко). Основними задачами Ради є сприяння підвищенню професійної кваліфікації наукової молоді інституту, забезпечення молодих учених інституту актуальною інформацією про конференції, школи та конкурси, сприяння розширенню особистих

контактів, наукового співробітництва молодих фахівців не тільки в Інституті, але й за його межами, налагодження контактів із закордонними колегами й партнерами і організація конференцій та шкіл молодих учених. Рада опікується організацією та проведенням конференції молодих вчених «Фізика низьких температур», регулярно проводить екскурсії студентів та школярів старших класів до наукових відділів Інституту. У 2015 році Рада молодих вчених продовжила активну взаємодію з Радою молодих митців Харківського державного університету мистецтв імені І.П. Котляревського та організувала концерти класичної музики та творчі вечори молодих виконавців.

У Рада взяла участь у проведенні 8-го Всеукраїнського фестивалю науки (травень 2015 р.). За участі членів Ради були підготовані науково-популярні читання для студентів Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна та Національного технічного університету «ХПІ» під назвою «Фізика низьких температур та технології майбутнього». На протязі року проводились дні відкритих дверей, під час яких Інститут відвідало більше 90 студентів Національного технічного університету «ХПІ» та Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, школярів гімназій та харківських загальноосвітніх шкіл. Програма днів відкритих дверей включала екскурсії до наукових відділів Інституту, знайомство з історією фізичних досліджень в галузі фізики низьких температур в Харкові та історією ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, зустрічі з провідними науковцями Інституту. Проводили екскурсії директор академік НАН України С.Л. Гнатченко, академік НАН України Л.А. Пастур, чл.-кор. НАН України Е.Я. Рудавський, провідні наукові співробітники В.К. Чаговець, В.А. Майданов, М.П. Міхін, В.О. Горькавий, члени Ради молодих вчених ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна М.В. Пащенко, І.А. Гриценко, С.М. Попережай та інші.

Зазначимо, що доцільно було б, для активізації роботи Ради з проблеми «Фізика низьких температур і криогенна техніка», розширити роботу з експертного оцінювання науково-дослідних робіт та запитів на отримання наукових грантів, проводити обговорення робіт, які висунуті на здобуття премій НАН України імені видатних вчених, планів підготовки та видання монографій з низькотемпературної тематики.



# СКЛАД

## Наукової ради з проблеми «Фізика низьких температур і криогенна техніка»

### Голова Наукової ради:

акад. НАН України **Гнатченко Сергій Леонідович**

### Заступники голови:

д.ф.-м.н., проф. **Найдюк Юрій Георгійович**

д.ф.-м.н. **Чабаненко Віктор Васильович**

### Вчений секретар:

к.ф.-м.н. **Калиненко Олександр Миколайович**

### Бюро Наукової ради

1. Гнатченко Сергій Леонідович, акад. НАН України, голова ради, [gnatchenko@ilt.kharkov.ua](mailto:gnatchenko@ilt.kharkov.ua)
2. Найдюк Юрій Георгійович, д.ф.-м.н., проф., заступник голови ради, [naidyuk@ilt.kharkov.ua](mailto:naidyuk@ilt.kharkov.ua)
3. Чабаненко Віктор Васильович, д.ф.-м.н., заступник голови, [vikchabanenko@gmail.com](mailto:vikchabanenko@gmail.com)
4. Калиненко Олександр Миколайович, к.ф.-м.н., вчений секретар ради, [kalinenko@ilt.kharkov.ua](mailto:kalinenko@ilt.kharkov.ua)
5. Рудавський Едуард Якович, чл.-кор. НАН України, голова секції, [rudavskii@ilt.kharkov.ua](mailto:rudavskii@ilt.kharkov.ua)
6. Кордюк Олександр Анатолійович, чл.-кор. НАН України, голова секції, [kordyuk@imp.kiev.ua](mailto:kordyuk@imp.kiev.ua)
7. Харченко Микола Федорович, акад. НАН України, голова секції, [kharchenko@ilt.kharkov.ua](mailto:kharchenko@ilt.kharkov.ua)
8. Колесніченко Юрій Олексійович, д.ф.-м.н., проф., голова секції, [kolesnichenko@ilt.kharkov.ua](mailto:kolesnichenko@ilt.kharkov.ua)
9. Стржемечний Михайло Олексійович, чл.-кор. НАН України, голова секції, [strzhemechny@ilt.kharkov.ua](mailto:strzhemechny@ilt.kharkov.ua)
10. Бондаренко Станіслав Іванович, д.т.н., проф., голова секції, [bondarenko@ilt.kharkov.ua](mailto:bondarenko@ilt.kharkov.ua)

## Члени Наукової ради

### Секція «Фізика квантових рідин та кристалів»

1. Рудавський Едуард Якович, чл.-кор. НАН України, ФТІНТ НАНУ, голова, [rudavskii@ilt.kharkov.ua](mailto:rudavskii@ilt.kharkov.ua).
2. Соколов Святослав Сергійович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, заступник голови, [sokolov@ilt.kharkov.ua](mailto:sokolov@ilt.kharkov.ua).
3. Чаговець Валерій Костянтинович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, вчений секретар, [chagovets@ilt.kharkov.ua](mailto:chagovets@ilt.kharkov.ua).
4. Пашицький Ернст Анатолійович, чл.-кор. НАН України, ІФ НАНУ, [pashitsk@iop.kiev.ua](mailto:pashitsk@iop.kiev.ua).
5. Слюсаренко Юрій Вікторович – чл.-кор. НАН України, ННЦ «ХФТІ» НАНУ, [slusarenko@kipt.kharkov.ua](mailto:slusarenko@kipt.kharkov.ua).
6. Адаменко Ігор Миколаєвич, д.ф.-м.н., проф., ХНУ, [i.n.adamenko@mail.ru](mailto:i.n.adamenko@mail.ru).
7. Вільчинський Станіслав Йосипович, д.ф.-м.н., проф., КНУ, [sivil@ukr.net](mailto:sivil@ukr.net).
8. Вовк Руслан Володимирович, д.ф.-м.н., проф., ХНУ, [ruslan.v.vovk@univer.kharkov.ua](mailto:ruslan.v.vovk@univer.kharkov.ua).
9. Карасевський Анатолій Ілліч, д.ф.-м.н., ІМФ НАНУ, [akaras@imp.kiev.ua](mailto:akaras@imp.kiev.ua).
10. Майданов Володимир Андрійович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, [maidanov@ilt.kharkov.ua](mailto:maidanov@ilt.kharkov.ua).
11. Полуєтков Юрій Матвійович, д.ф.-м.н., ННЦ «ХФТІ» НАНУ, [yuripoluektov@kipt.kharkov.ua](mailto:yuripoluektov@kipt.kharkov.ua).
12. Шевченко Сергій Іванович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, [shevchenko@ilt.kharkov.ua](mailto:shevchenko@ilt.kharkov.ua).

### Секція «Фізика надпровідності»

1. Кордюк Олександр Анатолійович, чл.-кор. НАН України, ІМФ НАНУ, голова, [kordyuk@imp.kiev.ua](mailto:kordyuk@imp.kiev.ua).
2. Шевченко Сергій Миколайович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, заступник голови, [sshevchenko@ilt.kharkov.ua](mailto:sshevchenko@ilt.kharkov.ua).
3. Шатернік Володимир Євгенович, д.ф.-м.н., ІМФ НАНУ, вчений секретар, [shat@imp.kiev.ua](mailto:shat@imp.kiev.ua).
4. Омелянчук Олександр Миколайович, чл.-кор. НАН України, ФТІНТ НАНУ, [omelyanchouk@ilt.kharkov.ua](mailto:omelyanchouk@ilt.kharkov.ua).
5. Пріхна Тетяна Олексіївна, чл.-кор. НАН України, ІНМ НАН України, [prikhna@mail.ru](mailto:prikhna@mail.ru).
6. Ямпольський Валерій Олександрович, чл.-кор. НАН України, ІРЕ НАНУ, [yam@ire.kharkov.ua](mailto:yam@ire.kharkov.ua).
7. Білоголовський Михайло Олександрович, д.ф.-м.н., ДонФТІ НАНУ, [bel@fti.dn.ua](mailto:bel@fti.dn.ua).
8. Касаткін Олександр Леонідович, д.ф.-м.н., ІМФ НАНУ, [al\\_kas@i.ua](mailto:al_kas@i.ua).
9. Мелков Геннадій Андрійович, д.ф.-м.н., проф., КНУ, [melkov@mail.univ.kiev.ua](mailto:melkov@mail.univ.kiev.ua).
10. Руденко Едуард Михайлович, д.ф.-м.н., ІМФ НАНУ, [rudenko@imp.kiev.ua](mailto:rudenko@imp.kiev.ua).
11. Чабаненко Віктор Васильович, д.ф.-м.н., ДонФТІ НАНУ, [vikchabanenko@gmail.com](mailto:vikchabanenko@gmail.com).
12. Черпак Микола Тимофійович, д.ф.-м.н., проф., ІРЕ НАНУ, [cherpak@ire.kharkov.ua](mailto:cherpak@ire.kharkov.ua).

### **Секція «Фізика магнітних явищ»**

1. Харченко Микола Федорович, акад. НАН України, ФТІНТ НАНУ, голова, [kharchenko@ilt.kharkov.ua](mailto:kharchenko@ilt.kharkov.ua).
2. Звягін Андрій Анатолійович, д.ф.-м.н., проф., ФТІНТ НАНУ, заступник голови, [zvyagin@ilt.kharkov.ua](mailto:zvyagin@ilt.kharkov.ua).
3. Милославська Ольга Володимирівна, к.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, вчений секретар, [miloslavskaya@ilt.kharkov.ua](mailto:miloslavskaya@ilt.kharkov.ua).
4. Бар'яхтар Віктор Григорович, акад. НАН України, ІМаг НАНУ і МОН, [bar@imag.kiev.ua](mailto:bar@imag.kiev.ua), [victor.baryakhtar@gmail.com](mailto:victor.baryakhtar@gmail.com).
5. Єременко Віктор Валентинович, акад. НАН України, ФТІНТ НАНУ, [eremenko@ilt.kharkov.ua](mailto:eremenko@ilt.kharkov.ua).
6. Локтев Вадим Михайлович, акад. НАН України, ІТФ НАНУ, [vloktev@bitp.kiev.ua](mailto:vloktev@bitp.kiev.ua).
7. Горобець Юрій Іванович, чл.-кор. АПН МОНУ, ІМаг НАНУ і МОН, [gorobets@imag.kiev.ua](mailto:gorobets@imag.kiev.ua).
8. Іванов Борис Олексійович, чл.-кор. НАН України, ІМаг НАНУ та МОНУ, [bivanov@i.com.ua](mailto:bivanov@i.com.ua).
9. Погорілий Анатолій Миколайович, чл.-кор. НАН України, ІМаг НАНУ та МОНУ, [apogor@imag.kiev.ua](mailto:apogor@imag.kiev.ua).
10. Рябченко Сергій Михайлович, чл.-кор. НАН України, ІФ НАНУ, [ryabch@iop.kiev.ua](mailto:ryabch@iop.kiev.ua).
11. Білоколот Євген Дмитрович, д.ф.-м.н., проф., ІМаг НАНУ і МОН, [bel@imag.kiev.ua](mailto:bel@imag.kiev.ua).
12. Гомонай Олена Василівна, д.ф.-м.н., проф., НТУУ «КПІ»МОН, [malyshen@ukrpack.net](mailto:malyshen@ukrpack.net).
13. Ковальов Олександр Семенович, д.ф.-м.н., проф., ФТІНТ НАНУ, [kovalev@ilt.kharkov.ua](mailto:kovalev@ilt.kharkov.ua).
14. Криворучко Володимир Миколайович, д.ф.-м.н., проф., ДонФТІ НАНУ, [krivoruc@fti.dn.ua](mailto:krivoruc@fti.dn.ua).
15. Пашкевич Юрій Георгійович, д.ф.-м.н., проф., ДонФТІ НАНУ, [pashkevi@fti.dn.ua](mailto:pashkevi@fti.dn.ua).
16. Салюк Ольга Юріївна, к.ф.-м.н., ІМаг НАНУ та МОНУ, [olga@imag.kiev.ua](mailto:olga@imag.kiev.ua).
17. Тарапов Сергій Іванович, чл.-кор. НАН України, ІРЕ НАНУ, [tarapov@ire.kharkov.ua](mailto:tarapov@ire.kharkov.ua).
18. Тарасенко Сергій Вадимович, д.ф.-м.н., проф., ДонФТІ НАНУ, [tarasen@mail.fti.donetsk.ua](mailto:tarasen@mail.fti.donetsk.ua).

### **Секція «Електронні властивості твердих тіл»**

1. Колесніченко Юрій Олексійович, д.ф.-м.н., проф., ФТІНТ НАНУ, голова, [kolesnichenko@ilt.kharkov.ua](mailto:kolesnichenko@ilt.kharkov.ua).
2. Гречнев Геннадій Євгенович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, заступник голови, [grechnev@ilt.kharkov.ua](mailto:grechnev@ilt.kharkov.ua).
3. Беркутов Ігор Борисович, к.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, вчений секретар, [berkutov@ilt.kharkov.ua](mailto:berkutov@ilt.kharkov.ua).
4. Находкін Микола Григорович, акад. НАН України, КНУ, [nahodkin@voliucable.com](mailto:nahodkin@voliucable.com).
5. Пастур Леонід Андрійович, акад. НАН України, ФТІНТ НАНУ, [lpastur@ilt.kharkov.ua](mailto:lpastur@ilt.kharkov.ua).
6. Шульга Валерій Михайлович, акад. НАН України, РІ НАНУ, [shulga@rian.kharkov.ua](mailto:shulga@rian.kharkov.ua).

7. Антонов Віктор Миколайович, чл.-кор. НАН України, ІМФ НАНУ, [antonov@imp.kiev.ua](mailto:antonov@imp.kiev.ua).
8. Беляєв Олександр Євгенович, чл.-кор. НАН України, ІФН НАНУ, [belyaev@isp.kiev.ua](mailto:belyaev@isp.kiev.ua).
9. Стасюк Ігор Васильович, чл.-кор. НАН України, ІФКС НАНУ, [ista@icmp.lviv.ua](mailto:ista@icmp.lviv.ua).
10. Криве Ілля Валентинович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, [krive@ilt.kharkov.ua](mailto:krive@ilt.kharkov.ua).
11. Найдюк Юрій Георгійович, д.ф.-м.н., проф., ФТІНТ НАНУ, [naidyuk@ilt.kharkov.ua](mailto:naidyuk@ilt.kharkov.ua).
12. Філь В'ячеслав Дмитрович - д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, [fil@ilt.kharkov.ua](mailto:fil@ilt.kharkov.ua).
13. Калиненко Олександр Миколайович, к.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, [kalinenko@ilt.kharkov.ua](mailto:kalinenko@ilt.kharkov.ua).

### **Секція «Фізика молекулярних кристалів»**

1. Стржемечний Михайло Олексійович, чл.-кор. НАН України, ФТІНТ НАНУ, голова, [strzhemechny@ilt.kharkov.ua](mailto:strzhemechny@ilt.kharkov.ua).
2. Константинов В'ячеслав Олександрович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, заступник голови, [konstantinov@ilt.kharkov.ua](mailto:konstantinov@ilt.kharkov.ua).
3. Долбін Олександр Вітольдович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, вчений секретар, [dolbin@ilt.kharkov.ua](mailto:dolbin@ilt.kharkov.ua).
4. Булавін Леонід Анатолійович, акад. НАН України, КНУ, [bulavin221@gmail.com](mailto:bulavin221@gmail.com).
5. Сугаков Володимир Йосипович, чл.-кор. НАН України, ІЯД НАНУ,
6. Толмачов Олександр Володимирович, чл.-кор. НАН України, ІМ НАНУ, [alexander.tolmachev@isc.kharkov.com](mailto:alexander.tolmachev@isc.kharkov.com).
7. Забашта Юрій Феодосійович, д.ф.-м.н., проф., КНУ,
8. Клімушева Гертруда Василівна, д.ф.-м.н., проф., ІФ НАНУ, [lgtc@iop.kiev.ua](mailto:lgtc@iop.kiev.ua), [klimush@iop.kiev.ua](mailto:klimush@iop.kiev.ua).
9. Остапенко Ніна Іванівна, д.ф.-м.н., ІФ НАНУ, [ostap@iop.kiev.ua](mailto:ostap@iop.kiev.ua).
10. Савченко Олена Володимирівна, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, [savchenko@ilt.kharkov.ua](mailto:savchenko@ilt.kharkov.ua).
11. Самоваров Володимир Миколайович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, [samovarov@ilt.kharkov.ua](mailto:samovarov@ilt.kharkov.ua).
12. Ящук Валерій Миколайович, д.ф.-м.н., проф., КНУ,

### **Секція «Низькотемпературне матеріалознавство та криогенна техніка»**

1. Бондаренко Станіслав Іванович, д.т.н., ФТІНТ НАНУ, голова, [bondarenko@ilt.kharkov.ua](mailto:bondarenko@ilt.kharkov.ua).
2. Паль-Валь Павло Павлович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, заступник голови, [palval@ilt.kharkov.ua](mailto:palval@ilt.kharkov.ua).
3. Коверя Валентин Петрович, к.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, вчений секретар, [koverya@ilt.kharkov.ua](mailto:koverya@ilt.kharkov.ua).
4. Ющенко Констянтин Андрійович, акад. НАН України, ІЕЗ НАНУ, [yu.kon@paton.kiev.ua](mailto:yu.kon@paton.kiev.ua).
5. Мільман Юлій Вікторович, чл.-кор. НАН України, ІІМ НАНУ, [milman@ipms.kiev.ua](mailto:milman@ipms.kiev.ua).
6. Лавренченко Георгій Костянтинівич, д.т.н., проф., Українська асоціація виробників технічних газів, [Lavrenchenko@paco.net](mailto:Lavrenchenko@paco.net).

7. Нацик Василь Дмитрович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, [natsik@ilt.kharkov.ua](mailto:natsik@ilt.kharkov.ua).
8. Юферов Володимир Борисович, д.т.н., проф., ННЦ «ХФТІ»НАНУ, [v.yuferov@kipt.kharkov.ua](mailto:v.yuferov@kipt.kharkov.ua).
9. Лаптієнко Аркадій Якович, к.т.н., ДонФТІ НАНУ,
10. Лотоцька Вікторія Олександрівна, к.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, [lototskaya@ilt.kharkov.ua](mailto:lototskaya@ilt.kharkov.ua).

## Наукові результати вчених України

### у галузі фізики низьких температур і криогенної техніки

у 2015 році

#### Секція «Фізика квантових рідин та кристалів»

Вперше спостережено квантову пластичність кристалів  $^3\text{He}$  при температурах нижче 0.2 К. В експерименті досліджувались особливості пластичної течії твердого гелію через вмерожену в ньому пористу мембрану, яка є рухливою обкладинкою вимірювального конденсатора. За рахунок електростатичної сили мембрана вчиняла тиск на кристал гелію, що викликало появу механічного напруження та перетікання твердого гелію через отвори у мембрані діаметром 7 мкм. За допомогою прецизійних ємнісних вимірювань знаходилась швидкість пластичної течії твердого  $^3\text{He}$  в залежності від температури та механічного напруження.

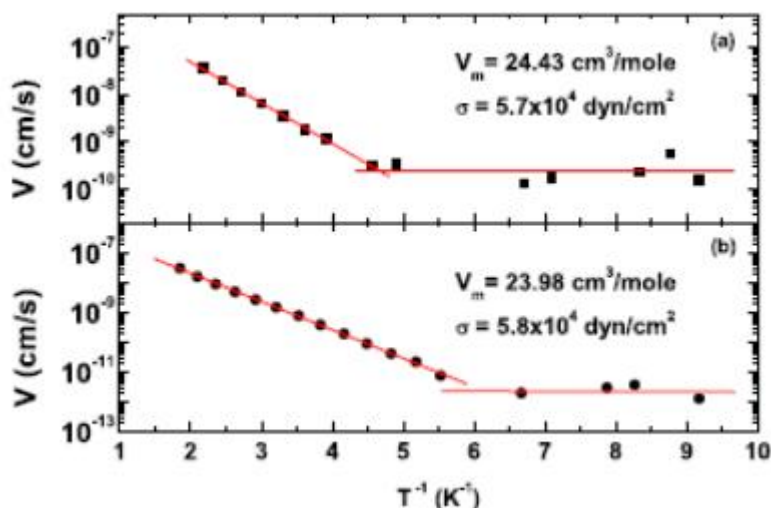


Рис.1.1

На малюнку приведена типова температурна залежність швидкості пластичного перетікання твердого  $^3\text{He}$  у формі закону Арреніуса для двох різних молярних об'ємів та приблизно однакового механічного напруження. Видно, що реалізується два різних механізми пластичності. При високих температурах (вище 0.2 К) має місце експоненціальне зменшення швидкості із зниженням температури, що характерно для термічно активаційного механізму. При більш низьких температурах швидкість не залежить від температури, що є характерною ознакою квантового механізму пластичності. Одержані результати можуть бути інтерпретовані в рамках дислокаційної моделі, коли дислокації долають потенціальний рельєф Пайерлса шляхом квантового тунелювання. При цьому у більш щільних кристалах перехід до квантового режиму здійснюється при більш низьких температурах.

При температурах нижче 500 мК здійснюється інший термоактиваційний процес (Рис.1.1), який дає меншу швидкість переносу і дуже малу енергію активації (0.5 - 0.7 К). Як видно з Рис.1.1, процес пластичної течії гелію залежить від дефектної структури кристалу та контролюється суперпозицією двох одночасно діючих термоактиваційних процесів. Така мала



енергія активації характерна для руху дислокаційних кінків при наявності вторинного бар'єру Пайерлса, а також для специфічного дефекта - краудіона.

(В.А.Жучков, О.О.Лісунов, В.А.Майданов, А.С.Неонета, В.Ю.Рубанський, Е.Я.Рудавський, С.М.Смірнов, ФТІНТ НАНУ)

Проведено експериментальні дослідження квазістійкої ламінарної течії He II, що знаходиться при температурі 140 мК. Течія рідини порушувалася за допомогою кварцового камертона, що коливався з резонансною частотою близько 24 кГц. Було виявлено, що при швидкостях коливання камертона від 0,046 м/с до 0,16 м/с течія He II є нестійкою і може бути як квазістійкою ламінарною так і турбулентною (Рис.1.2). Чим швидше збільшується швидкість коливань камертона, тим більше швидкість квазістійкої течії при якій з'являється нестійкість і відбувається перехід до турбулентної течії.

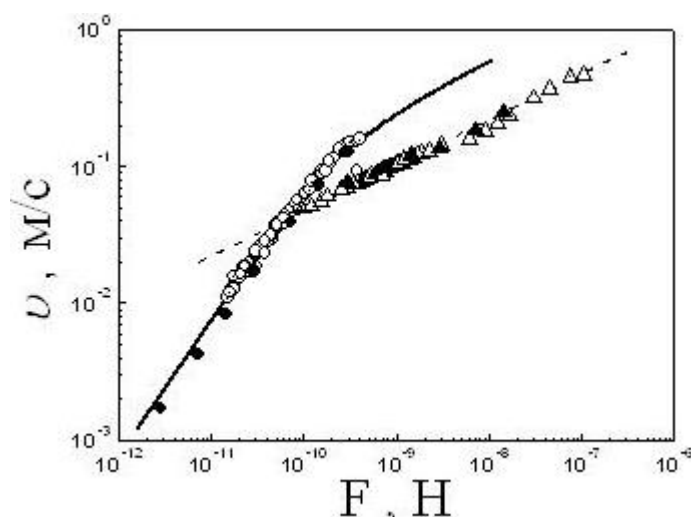


Рис.1.2 Залежність амплітуди швидкості коливань ніжок камертона від амплітуди сили збудження для двох температур: 150 мК (круг та заповнений трикутник) і 140мК (окружність та незаповнений трикутник). Кружечки відносяться до ламінарного режиму течії, а трикутники - турбулентна течія. Суцільна крива - ламінарна течія з урахуванням сили взаємного тертя. Пунктирна лінія - турбулентна течія  $F \sim v^3$ .

Аналіз отриманих залежностей показав, що існує дисипація кінетичної енергії коливань, надлишкова в порівнянні з дисипацією, обумовленою процесами внутрішнього тертя в матеріалі камертона. Цю додаткову дисипацію можна пов'язати з взаємним тертям між квантовими вихрами в надплинній компоненті з тепловими збудженнями He II, при якому  $F \sim v^3$ . Показано, що при турбулентному і квазістійкому ламінарному режимах течії механізми дисипації енергії коливань однакові, а кількісна відмінність пов'язана з тим, що при турбулентній течії щільність квантових вихрів більше.

(І.А.Гріценко, К.А.Клокол, С.С.Соколов, Г.А.Шешін. ФТІНТ НАНУ)

В області температур 0,5 - 2,3 К проведено аналіз дисипативних процесів, які викликають згасання коливань кварцового камертона, зануреного в розчин  $^3\text{He}$  в  $^4\text{He}$ , що містить 15%  $^3\text{He}$ . В експерименті в ламінарній області течії рідини були виміряні резонансні криві камертонів, ширина яких визначається характером дисипативних процесів. Були

досліджені камертони з резонансною частотою 32 кГц, що знаходяться всередині заводської колби («закриті») і камертони без колби («відкриті») (Рис.1.3). Результати експерименту співставляються з наявними теоретичними розглядами.

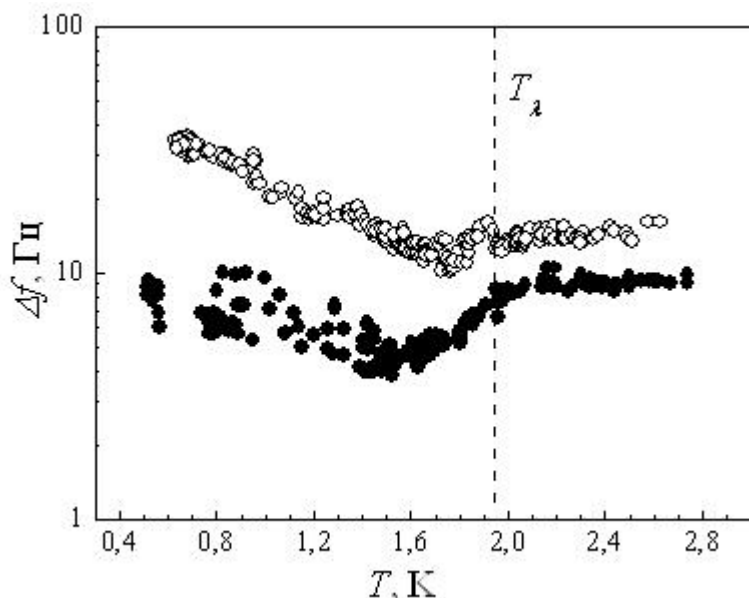


Рис.1.3 Температурна залежність ширини резонансної лінії на половині висоти резонансу камертонів в 15% розчині  $^3\text{He}$  в  $^4\text{He}$ : окружність- «відкритий» камертон; круг - «закритий» камертон.

Встановлено, що в розчині  $^3\text{He}$  -  $^4\text{He}$ , на відміну від чистого  $^4\text{He}$ , істотний внесок у згасання коливань камертона вносить випромінювання другого звуку, яке при низьких температурах перевищує внесок в'язкісної дисипації. Випромінювання першого звуку не вносить вкладу в згасання коливань «закритого» камертона через малий розмір комірки в порівнянні з довжиною хвилі. У разі «відкритого» камертона згасання визначається трьома процесами: в'язкісною дисипацією і випромінюванням першого і другого звуків.

(В.А. Бахвалова, І.А. Гриценко, Е.Я. Рудавський, В.К. Чаговець, Г.А.Шешін. ФТІНТ НАНУ)

Запропоновано механізм виникнення електричної активності надплинної рідини при наявності відносного руху нормальної та надплинної компоненти. В експериментах спостерігалось виникнення електричної різниці потенціалів у стоячій хвилі другого звуку в надплинному гелії. Ці експерименти ініціювали наші теоретичні дослідження, які дозволили встановити можливу причину електричної активності надплинного гелію (He II). Показано, що при русі надплинної компоненти  $^4\text{He}$  відносно квантових вихорів He II виникає електрична різниця потенціалів, яка обумовлена електричними властивостями квантованих вихорів. Ці вихори викликають поляризацію рідини, коли відносно них рухається надплинна компонента He II. У стані термодинамічної рівноваги в ізотропній та однорідній рідині, якою є He II, електрична різниця потенціалів, що обумовлена квантованими вихорами, дорівнює нулю. Проте при відносному русі надплинної та нормальної компонент, остання з яких включає і квантовані вихори, виникає анізотропія, обумовлена різницею швидкостей нормальної та надплинної компонент. Ця анізотропія та електричні властивості квантованих вихорів приводять до виникнення електричної різниці потенціалів у He II, для якої нами був отриманий явний аналітичний вираз. Результати проведених розрахунків зіставлялися з експериментальними даними.

(І.М. Адаменко, Є.К. Немченко, ХНУ ім. В.Н. Каразіна)

Шляхом моделювання методом молекулярної динаміки показано, що включення додаткового потенціалу в площині шару зарядів над поверхнею рідкого гелію призводить до стискання системи у напрямку дії зовнішньої сили, що виникає. Такий потенціал є пропорціональним притискуючому електричному полю. Встановлено, що система, послідовно проходячи через конфігурації з декількох лінійних ланцюжків, переходить від стану двовимірного електронного кристала до зигзагоподібного розташування зарядів, а при подальшому збільшенні притискуючого поля перебудовується в одиничний лінійний ланцюжок. Методом рівнянь руху розраховані закони дисперсії колективних плазмових коливань зигзагоподібної конфігурації електронів. Одна з поздовжніх гілок коливань є акустичної, друга оптичною. Обидві поперечні гілки коливань - оптичні.

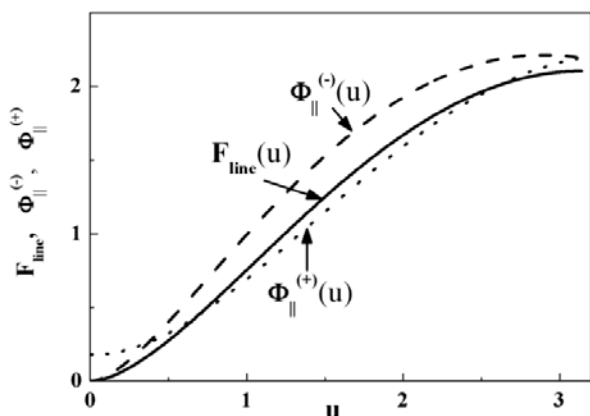


Рис.1.4 Квадрати частоти (у відносних одиницях) поздовжніх плазмових коливань для лінійного ланцюжка та зигзагоподібної конфігурації поверхневих електронів.

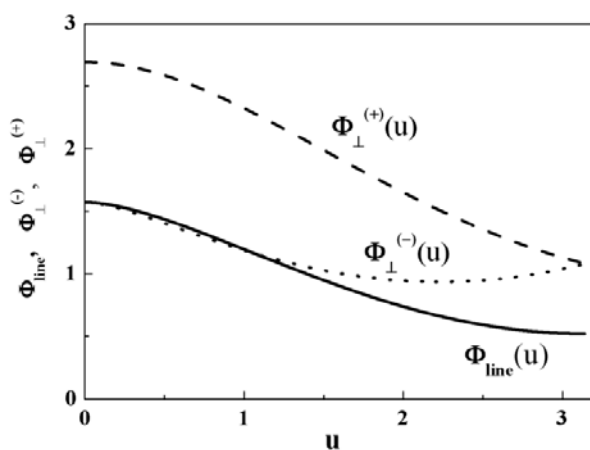


Рис.1.5 Теж саме, але для поперечних плазмових коливань.

Проведено порівняння результатів з раніше отриманими законами дисперсії для одиничного ланцюжка електронів. Показано, що закони дисперсії поперечних плазмових коливань більше стійкі, ніж поперечна гілка коливань одиничного ланцюжка. Досліджено вплив магнітного поля на спектр плазмових коливань зигзагоподібної конфігурації електронів.

(В.Ю. Сивоконь, С.С. Соколов, ФТІТ НАНУ)

Запропоновано мікроскопічний підхід до дослідження поляризації надплинних систем за відсутності зовнішніх електромагнітних полів. Розгляд здійснюється в моделі розрідженого бозе-газу, частинки якого мають внутрішні ступені свободи, пов'язані з рухом електронів відносно ядер. Отримано фундаментальне вираз для поляризаційного заряду  $\rho$  неоднорідної надплинної системи через параметр порядку  $\Phi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$ . Показано, що при зміні параметра порядку на макроскопічних відстанях  $\rho \sim C_0 \nabla^2 n + C_1 a_B^3 \nabla(n \nabla n)$ , де  $n$  - щільність системи,  $C_0$  та  $C_1$  - чисельні коефіцієнти порядку одиниці,  $a_B$  - борівський радіус. Другий доданок присутній тільки в системах зі взаємодією між атомами. Виявлено несподіваний факт, що в неоднорідній системі поляризаційний заряд з'являється навіть за відсутності взаємодії між атомами. Це пов'язано з істотною відмінністю мас електрона і ядра. Врахування взаємодії атомів призводить до малої поправки до поляризації, але саме вона відповідає за появу електричних полів, поза системою.

Встановлено, що рух нормальної компоненти відносно надплинної призводить до поляризації вихорів і показано, що за наявності потоку зі швидкістю  $\mathbf{w} = \mathbf{v}_n - \mathbf{v}_s$  вихор створює в навколишньому просторі електричне поле. Потенціал цього поля виглядає як потенціал дипольного моменту і являє собою суму двох доданків, одне з яких пропорційно  $\mathbf{w}$ , а друге –  $[\mathbf{k}, \mathbf{w}]$ , де  $\mathbf{k}$  – циркуляція вихору.

(С.І. Шевченко, О.М. Константинов, ФТІНТ НАНУ)

У моделі самоузгодженого поля, що аналогічна моделі молекулярного поля в теорії феромагнетизму, вивчені магнітні переходи і бозе-ейнштейнівська конденсація в газі частинок з магнітним моментом. Розглянуто різні типи можливих фазових переходів, при яких намагніченість і густина бозе-ейнштейнівського конденсату можуть виникати як безперервно, так і стрибком. Розраховано критичні значення феноменологічного параметра, при яких змінюється характер переходів. Побудовано фазову діаграму в координатах температура - густина числа частинок.

(Ю.М. Полуєтков, В.М. Савченко, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Досліджена структура вихорів у просторово-однорідному бозе-ейнштейнівському конденсаті частинок двох сортів з різними масами. Показано, що в двохкомпонентному випадку структура вихору визначається трьома безрозмірними параметрами, які характеризують систему. Це істотно відрізняється від звичайного однокомпонентного випадку, де вихор описується рівнянням, яке у безрозмірній формі взагалі не містить параметрів системи, а тому його структура незмінна. Вивчено деякі типи вихорів з якісно різною структурою. Зокрема, показано, що структура вихору істотно залежить від знака постійної "взаємодії" компонент. При позитивному значенні цієї величини можуть існувати вихрі у яких густина поблизу осі перевершує рівноважну густину просторово-однорідного конденсату. Показано також, що можуть існувати вихри, у яких конденсат поблизу осі і на великих відстанях від осі вихору обертається в протилежні сторони.

(Ю.М. Полуєтков, А.П. Івашин, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Побудована термодинаміка системи багатьох фермі-частинок при скінчених температурах з урахуванням трьохчастинкових взаємодій. Показано, що дельта-подібна трьохчастинкова взаємодія не дає внеску в самоузгоджене поле і для опису трьохчастинкових сил слід враховувати їхню не локальність. Детально розглянута просторово-однорідна система й у рамках розвинутого мікроскопічного підходу отримані загальні формули для ефективної маси ферміона і рівняння стану системи з урахуванням внеску трьохчастинкових взаємодій. Показано, що взаємодія, яка має характер відштовхування, зменшує ефективну масу квазічастинки в порівнянні з масою вільної частинки, а у випадку притягання - збільшує. Розраховано енергетичний спектр квазічастинки з урахуванням трьохчастинкових сил. Виконано розрахунки рівняння стану й ефективної маси для фермі-системи при нульовій температурі з використанням модифікованого потенціалу Морзе. Показано, що при відповідному виборі параметрів потенціалу залежність тиску від густини має немонотонний характер, що дозволяє описати співіснування рідкої і газоподібної фаз. Результати розрахунків порівнюються з експериментальними даними про ефективну масу квазічастинки в рідкому  ${}^3\text{He}$ .

(Ю.М. Полуектов, А.А. Сорока, С.М. Шульга, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Запропоновано метод самоузгодженого опису газу фононів в решітках, що узагальнює модель Дебая з урахуванням фонон-фононної взаємодії. Введено представлення про "самоузгоджені" фонони, швидкість яких залежить від температури і визначається в результаті рішення нелінійного рівняння. Енергія Дебая в рамках запропонованого підходу також є функцією температури. Побудовано термодинаміку газу "самоузгоджених" фононів. Показано, що при низьких температурах до кубічного закону в температурній залежності теплоємності існує добавка, пропорційна сьомому ступеню температури. Це може бути однією з причин, по якій кубічний закон для теплоємності спостерігається тільки при досить низьких температурах. При високих температурах теорія пророкує лінійне по температурі відхилення від закону Дюлонга-Пті, що спостерігається експериментально.

(Ю.М. Полуектов, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Розроблено мікроскопічний підхід до опису явища бозе-ейнштейнівського конденсату зв'язаних станів двох ферміонів різних сортів (гетероядерних молекул), що перебувають у термодинамічній рівновазі з газом вільних (не зв'язаних) ферміонів обох видів. В основі підходу лежить метод вторинного квантування при наявності зв'язаних станів, розвинутий авторами раніше, і боголюбівський метод виділення конденсату. В рамках запропонованої нами теорії знайдено енергію основного стану системи та спектр елементарних збуджень. Визначено умови існування бозе-ейнштейнівського конденсату зв'язаних станів у розглянутій системі як у симетричному стані (загальне число ферміонів обох сортів однакове), так і в асиметричному стані (коли число ферміонів компонентів різне). Показано, що у випадку переважаючої кількості ферміонів більш важкої компоненти доля бозе-конденсату

збільшується. Результати проаналізовано за допомогою числових методів із залученням наявних експериментальних даних для подібних фермі-систем.

(О.С. Пелетминський, С.В. Пелетминський, Ю.В. Слюсаренко, Інститут теоретичної фізики ім. О.І. Ахієзера ННЦ ХФТІ НАНУ)

Знайдено теоретичне пояснення існування порогу руйнування надплинного потоку в спінорних БЕК, що утримуються в тороїдальній оптичній пастці. Знайдено якісне та кількісне пояснення експериментально спостережуваного руйнування надплинного потоку в спінорних кільцеподібних БЕК вище певного порогового значення різниці населенностей спінових підсистем. Встановлено механізм генерації квантових вихорів рухомими лазерними пучками тороїдальних БЕК та знайдено різні механізми генерації вихорів в таких БЕК під дією збурення рухомим оптичним пучком.

Запропоновано новий метод стабілізації та неруйнівної маніпуляції з квантовими вихоровими кільцями в атомарних БЕК, що гарантує як енергетичну так й динамічну стійкість таких кілець та надає нові можливості для експериментального дослідження таких структур та з'ясування причин появи квантової турбулентності. Досліджено мікроскопічний механізм руйнування вихорів і встановлено режим формування стійкого струму в кільцевих БЕК. В рамках двовимірної моделі середнього поля досліджено динаміку дисипативного конденсату з параметрами, які відображають реальні умови експерименту.

Показано, що так звані хопфіони (солітони Хопфа) можуть бути застабілізовані в атомарних БЕК, що обертаються В рамках дисипативної моделі середнього поля спостерігаються різні сценарії стабільної еволюції хопфіонів та продемонстровано енергетичну та динамічну стійкість солітонів Хопфа.

(К.О. Ісаєва, А.В. Чумаченко, О.О. Приходько, С.Й. Вільчинський, О.І. Якименко, КНУ ім. Тараса Шевченка)

Теоретично показано, що виникнення аморфного стану при кристалізації рідкого  ${}^4\text{He}$  може бути пов'язано з утворенням в рідкому  ${}^4\text{He}$  поблизу кривої плавлення хаотично орієнтованих нанокристалічних включень. Термодинамічна стабільність таких наночастинок обумовлена їхю обертальним рухом, який приводить до зниження вільної енергії наночастинок і стабілізації їх розмірів. Спонтанне обертання квазікристалічних наночастинок обумовлено зростанням орієнтаційної ентропії наносистеми. Встановлені значення рівноважних параметрів наносистеми (розміри наночастинок, швидкість їх обертання, залежність концентрації наночастинок в рідині від температури та інше). Необхідно підкреслити, що подібна наногетерогенна фаза, за схожим механізмом, утворюється в деяких металевих розплавах, що також призводить до утворення аморфного стану металу.

(А.І. Карасевський, ІМФ ім. Г.В. Курдюмова НАНУ)



## Секція «Фізика надпровідності»

Теоретично досліджено систему, що складається з кубіта, пов'язаного з двомодовим квантовим резонатором. Кубіт, що є ефективно дворівневою системою з контрольованими параметрами, було розглянуто як надпровідний потоковий кубіт. Роль резонатора було відведено резонатору на базі лінії передач, фундаментальна частота котрого лежить в діапазоні характерних частот кубіту, тобто порядку декількох гігагерц. Накачка на третій гармоніці подавалася для збудження кубіта, в той час, як вивчався коефіцієнт проходження  $t$  слабкого сигналу на основній частоті. Було продемонстровано можливість сильного впливу на проходження сигналу в такій нелінійній квантовій системі, як це показано на Рис. 2.1. Вивчалась можливість оптимального посилення (Рис.2.1.a) або послаблення (Рис.2.1.b) в системі. Крім того була досліджена можливість лазерної генерації в такій твердотільній системі. В такій ситуації сильний сигнал збуджував осциляції типу Рабі в кубіті, і далі було показано, що в резонансі, ці осциляції можуть достатньо сильно впливати на основний сигнал в резонаторі. Важливо, що ці теоретичні дослідження були проведено спільно з колегами-експериментаторами з ПХТ (Йена, Німеччина).

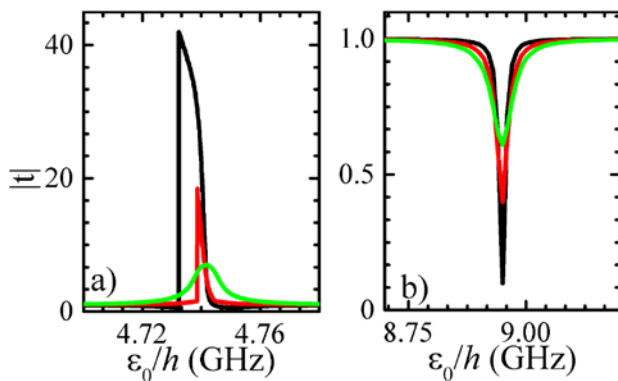


Рис.2.1. Залежність величини коефіцієнту проходження через систему кубіт-резонатор від енергетичного зсуву  $\epsilon_0$ , який змінюється магнітним потоком через кільце кубіта: (a) посилення та (b) послаблення проходження сигналу.

(С.М. Шевченко, ФТІНТ НАНУ та ХНУ, Д.С. Карпов, ФТІНТ НАНУ)

Побудовано мікроскопічну теорію джозефсонівських балістичних контактів між багатозонними надпровідниками. Вперше запропоновано та теоретично вивчено новий тип надпровідного квантового магнітометра, заснованого на тризонному надпровідникові з порушеною симетрією відносно обертання часу. Обчислено магнітопольові та струмові характеристики цієї системи, які виявляють нові можливості надчутливого детектування зовнішнього магнітного поля порівняно з традиційним СКВІДом. Результати розвинутої теорії також дають можливість діагностики багатозонних, зокрема залізо містких, надпровідників.

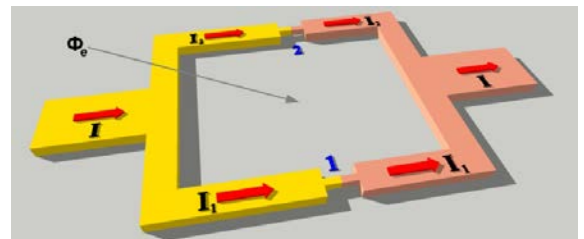


Рис.2.2.

(О.М. Омелянчук, Ю.С. Єрін, А.С Кийко, ФТІНТ НАНУ)

Теоретично вивчено проходження терагерцових електромагнітних хвиль крізь пластини шаруватих надпровідників у присутності зовнішнього сталого магнітного поля. Показано, що зовнішнє магнітне поле фактично перетворює джозефсонівську плазму у неоднорідне середовище з просторово та частотно залежною діелектричною проникністю. Навіть відносно слабке магнітне поле робить значний вплив на прозорість шаруватого надпровідника. Більш того, за допомогою магнітного поля можливо добитися майже повного проходження терагерцових хвиль крізь надпровідник. Показано, що магнітне поле суттєво змінює залежність коефіцієнта проходження від товщини пластини, частоти та кута падіння хвилі. Таким чином доведено, що магнітне поле може використовуватись як зручний інструмент для управління прозорістю шаруватих надпровідників.

(С.С. Апостолов, З.О. Майзеліс, Т.Н. Рохманова, В.О. Ямпольський, ІРЕ НАНУ; Н.М. Макаров, F. Perez Rodriguez, Benemerita Universidad Autónoma de Puebla, Мексика)

Теоретично вивчені поверхневі електромагнітні стани (ПЕМС) в терагерцовому частотному діапазоні у графені з лінійним законом дисперсії носіїв струму, розміщеному в антиферромагнітному фотонному кристалі. Отримано співвідношення, що пов'язує частоту ПЕМС з параметрами структури. Вирішено задачу збудження ПЕМС зовнішньою електромагнітною хвилею та знайдено залежність коефіцієнту проходження від зовнішнього магнітного поля та концентрації носіїв струму. Встановлено, що аналіз положення максимумів коефіцієнта проходження, які пов'язані із резонансним збудженням ПЕМС, дозволяє встановити характер закону дисперсії носіїв струму у двовимірному електронному газі.

(Ю.О. Аверков, В.М. Яковенко, В.О. Ямпольський, ІРЕ НАНУ)

Експериментально знайдено, що температурна залежність лондонівської глибини проникнення в епітаксіальній плівці надпровідного халькогеніда  $\text{FeSe}_{1-x}\text{Te}_x$  найкраще описується степеневим законом  $\lambda(T) \sim T^n$ , де  $n = 2,4$  при низьких температурах. Це дає можливість впевнено робити висновки стосовно розширеної s-хвильової симетрії куперівських пар в цьому компаунді. Температурна залежність надплинної провідності залишається відмінною від поведінки, що описується теорією БКШ. Експериментальні результати добре збігаються з двохилінною моделлю при значеннях  $\Delta_1/kT_c = 0.43$  та  $\Delta_2/kT_c = 1.22$ , таким чином підтримуючи  $\mathbf{s}_{\pm}$  - хвильову симетрію. Швидкий ріст часу розсіяння квазічастинок у цьому надпровіднику спостерігається аналогічно процесу розсіяння у пніктидах та купратних ВТНП.

(О.А. Баранник, М.Т. Черпак, ІРЕ НАНУ)

Продовжуючи дослідження нелінійних властивостей копланарної лінії передачі (КПЛ) на основі тонкої плівки ВТНП  $\text{YBaCuO}$ , автори виявили лавиноподібний перехід до сильно дисипативного стану КПЛ при умові пропускання через КПЛ сталого струму. Важливою особливістю виявленого ефекту є його неруйнівний характер. При цьому надпровідні

властивості КПЛ відновлюються, коли потужність мікрохвильового сигналу або величина сталого струму зменшуються. Автори припускають, що природа виявленого ефекту може бути пов'язаною з самонагріванням тонкої ВТНП плівки, викликаним протіканням магнітного потоку (magnetic flux flow) при спільному впливі мікрохвильового та сталого струмів.

(О.І.Губін, О.А.Лавринович, М.Т.Черпак, ІРЕ НАНУ)

На надпровідному монокристалі ( $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ) при перемагнічуванні було вперше спостережено динамічну інверсію гігантського магнітного моменту з метастабільного парамагнітного (захопений момент 2Т) стану у діамагнітний метастабільний стан (-2Т), минаючи стан рівноваги (Рис.2.3). Причиною такого незвичайного переходу є термомагнітна лавина в *адіабатичних* умовах та *гігантська накопичена енергія*, що вона з'явилась в результаті захоплення магнітного потоку. Змінюється традиційне уявлення Р.Г. Де-Геннес про лавину, як «купу» піску (захопений потік), що розвалюється. Внаслідок цього, момент після лавини дорівнює нулю. У лавинах, що нами спостерігалися, «купа» змінює напрямок на протилежний ( $M \rightarrow -M$ ). Запропоновано механізм інверсії моменту. На цьому ж кристалі спостережено явище магніторозшарування. Внаслідок цього ефекту виникло механічне розшарування зразку вздовж а-в-площини на тонькі прошарки під тиском виключно сильного магнітного поля без інших зовнішніх втручань. Розшаруванню сприяли скачки тиску/розтягування кристалу при термомагнітних лавинах.

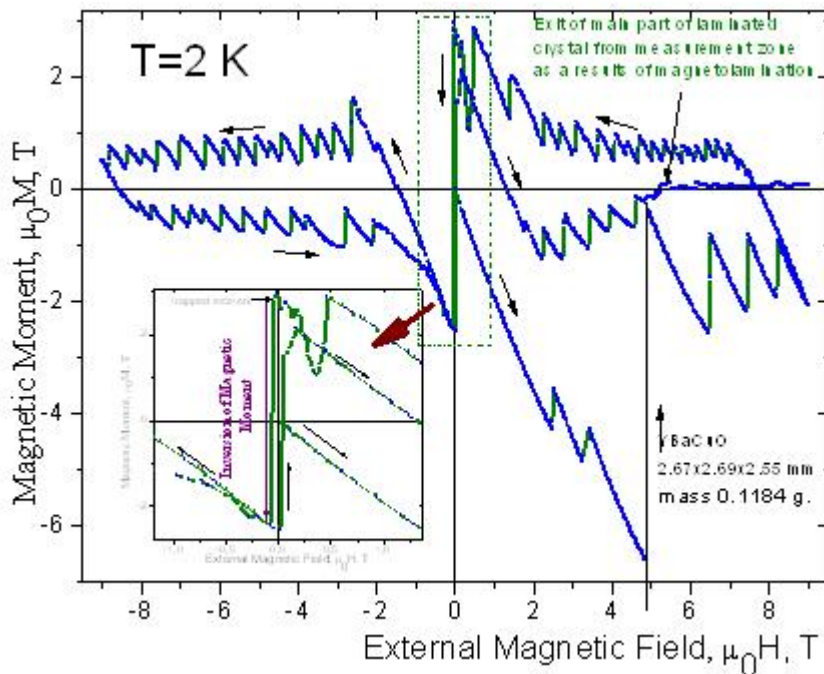


Рис.2.3.

(В.В. Чабаненко, О.І Кучук, ДонФТІ НАНУ)

Вирішено задачу про залежність критичного струму депіннінга від товщини плівки і кута нахилу магнітного поля в плівках (пластинах) ВТНП з протяжними лінійними дефектами. Досліджено вплив нано-частинок діелектричної фази на високочастотні властивості ВТНП плівок в мейснеровському і змішаному стані. Показано, що усереднена густина критичного струму в надпровідній пластині з лінійними дефектами убуває ступеневим чином із зростанням товщини пластини (з показником ступеня  $n < 1$ ); показано, що введення діелектричних наночастинок в матеріал ВТНП може зменшувати поверхневий опір в НВЧ діапазоні (як у мейснеровському стані, так і в присутності вихорів).

(О.Л. Касаткін, ІМФ НАНУ)

На основі аналізу великої кількості експериментальних даних, побудовано електронну фазову діаграму впорядкованих фаз у надпровідних купратах, у якій головну роль у формуванні псевдоцілинного стану відіграє спінове антиферромагнітне впорядкування. Це дозволило висунути емпіричну гіпотезу, що високотемпературна надпровідність і в купратах і в нових надпровідниках на основі заліза формується за однаковим електронним механізмом, пов'язаним з критичністю топології поверхні Фермі.

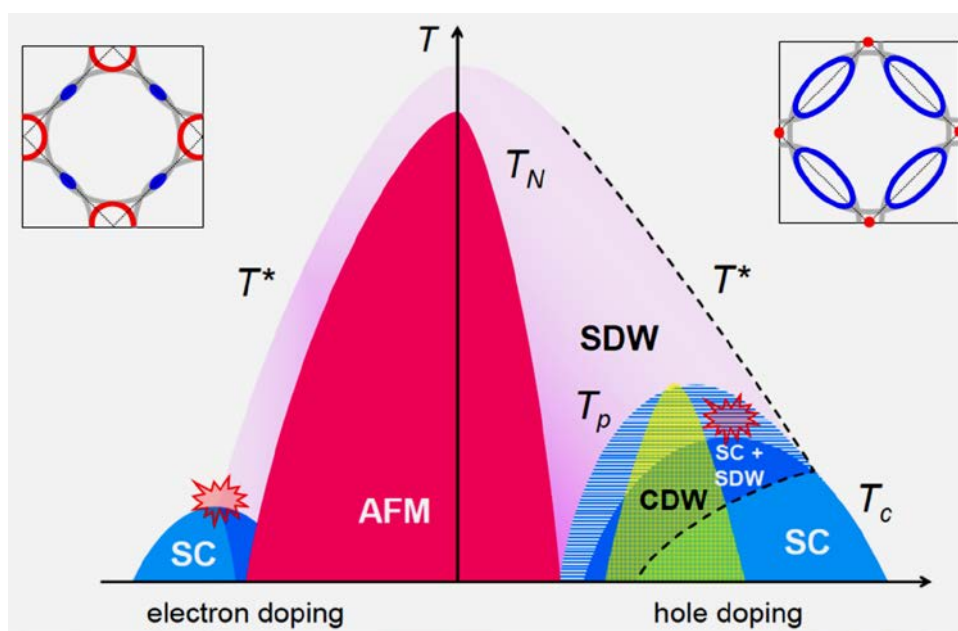


Рис.2.4. Узагальнена фазова діаграма ВТНП-купратів та топологічно критичні поверхні Фермі (згори), що відповідають максимальній температурі надпровідного переходу.

(О.А. Кордюк, ІМФ НАНУ)

Досліджувались двошарові структури, утворені Mo-Re сплавом, надпровідником II-го роду з критичною температурою біля 10 K, і половинним металом  $\text{Co}_2\text{CrAl}$ , в якому тільки одна із спінових підзон частково заповнена, а інша не вносить жодного вкладу в зарядовий транспорт. Виявлено ступінчастий характер переходу широкої плівки молібден-ренієвого сплаву в нормальний стан навіть у відсутності інжекції нерівноважних електронів. Показано, що при певних струмах інжекції спин-поляризованих електронів в надпровідній плівці утворюються лінії прослизання фази, які проявляють себе у вигляді окремих резистивних гілок вольт-амперної характеристики з кратними величинами опорів, що перетинаються в одній точці на осі струмів. Таким чином, інжекція спин-поляризованих електронів може бути ефективним інструментом контролю за критичними параметрами широкої надпровідникової смуги в перехідній області між надпровідним і нормальним станами.

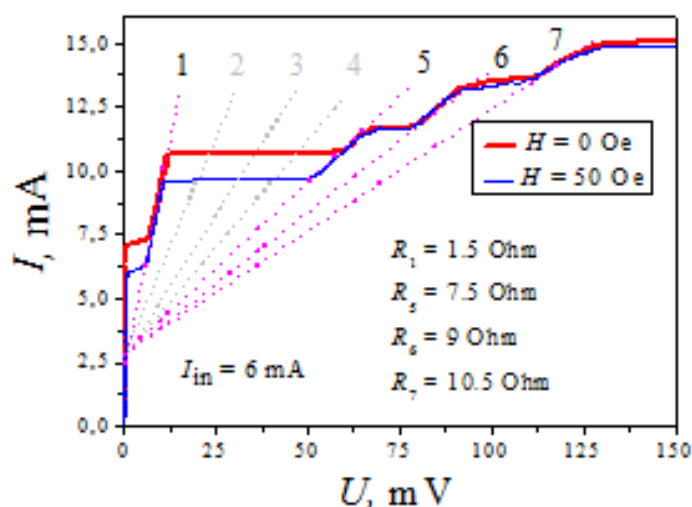


Рис.2.5.

(Е.М. Руденко, Д.О. Соломаха, ІМФ НАНУ, М.О. Білоголовський, О.С. Житлукіна, ДонНУ, P. Febvre, University Savoie Mont Blanc, France).

Розроблено технологію формування високощільних МАХ матеріалів на основі потрійних карбідів титану і алюмінію. Створено і запатентовано матеріал для з'єднувальних елементів твердотільних паливних комірок на основі твердого розчину МАХ фаз, що вдвічі легший за хромисту сталь CroferJDA, яка широко використовується для даних цілей, і переважає її за жаростійкістю на повітрі, а також має вищу міцність під час згинання у окисному і водневому середовищах. Отримані порошкоподібні МАХ матеріали виявились перспективними для обробки напівдорогоцінного та штучного каміння.

В результаті вивчення закономірностей формування матеріалів на основі дибориду магнію під тиском 2 ГПа встановлено що у всіх випадках одночасно із утворенням надпровідної фази  $\text{MgB}_2$  відбувається формування включень, збагачених на кисень, а також фаз вищих боридів магнію. Включення обох цих типів сприяє високій густині критичного струму, оскільки збагачені на кисень включення Mg-B-O можуть виступати

центрами піннінгу. В той же час центрами піннінгу можуть бути також включення фаз вищих боридів магнію  $MgB_x$  ( $X=4-20$ ), формування яких також приводить до збільшення густини критичного струму в матеріалі. Показано, що зміна параметрів синтезу значно впливає на надпровідні властивості матеріалу, зокрема, підвищення температури викликає поступовий перехід від зернограничного механізму піннінгу (при  $800\text{ }^\circ\text{C}$ ) до точкового (при  $1050\text{ }^\circ\text{C}$ ).

Показано, що додавання SiC, Ti, Zr приводить до значного покращення надпровідних властивостей  $MgB_2$ , що можна пояснити, з одного боку, поглинанням водню, що перешкоджає утворенню  $MgH_2$ , а з іншого боку – перерозподілом кисню. При використанні добавок і технологій високого тиску вдалось одержати зразки, для яких густина критичного струму в полі 1 Тл при 20 К становить близько  $10^6\text{ A/cm}^2$ , верхнє критичне магнітне поле 15 Тл досягається при 22 К, а поле необоротності 15 Тл – при 18,4 К, критичне магнітне поле при 0 К в результаті апроксимації оцінюється як 42 Тл. Показано принципову можливість ущільнення надпровідних проводів із  $MgB_2$  під високим тиском без втрати надпровідних властивостей і зміни форми надпровідних жил.

(Т.О. Пріхна, ІНМ НАНУ)



## Секція «Фізика магнітних явищ»

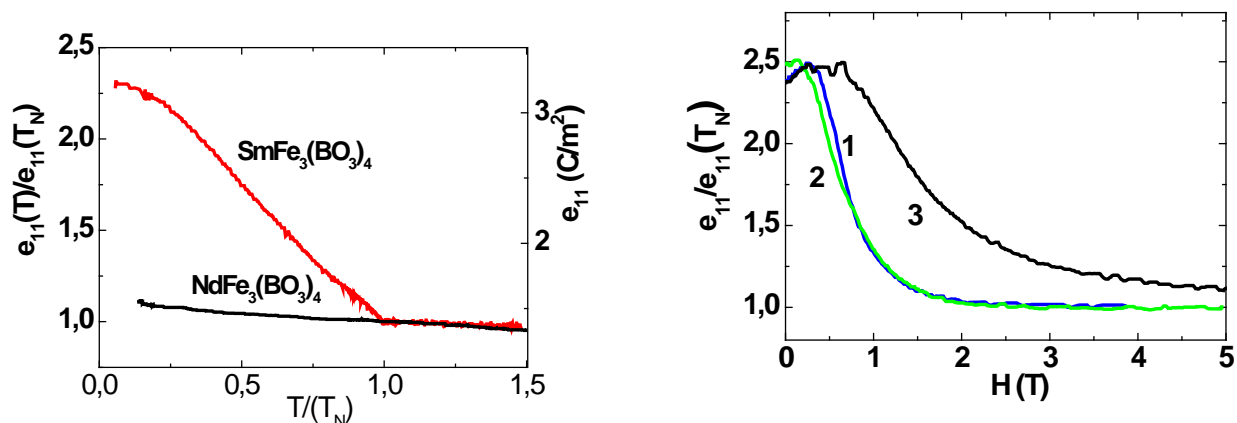
Теоретично і експериментально досліджено природу хімічних зв'язків та їх прояв в магнетизмі в залежності від всебічного тиску для мультифероїка  $\text{BiFeO}_3$ , що є типовим представником широкого класу речовин, в яких співіснують магнітне та електричне впорядкування. Сполука має відносно просту хімічну і кристалічну структуру і є перспективним модельним об'єктом для теоретичного дослідження магнітних і електричних підсистем і їх взаємозалежності з перших принципів. З іншого боку, сполука  $\text{BiFeO}_3$ , завдяки високим значенням температур магнітного і електричного впорядкувань, становить основу для створення магнітоелектричних матеріалів із заданими технічними характеристиками в області кімнатних температур. Розрахунки і прямі виміри магнітної сприйнятливості сполуки  $\text{BiFeO}_3$  підтверджують її значне зростання під впливом всебічного тиску, яке зумовлено перерозподілом поляризованих по спіну електронних  $p$ -станів кисню при зміні їх гібридизації з  $d$ -станами заліза. Теоретична і експериментальна оцінка магнітооб'ємного ефекту корелює з величиною відхилення температурної залежності параметрів ґратки нижче температури Нееля від моделі Дебая-Грюнаїзена для теплового розширення твердих тіл. Відповідна кількісна оцінка об'ємної магнітострикції, що виникає в магнітному полі, з урахуванням відомої величини п'єзоелектричного ефекту призводить до квадратичного характеру залежності електричної поляризації від магнітного поля у згоді з існуючими експериментальними даними. Цей факт свідчить про домінуючий *стрикційний механізм* взаємозв'язку електричної та магнітної підсистем в  $\text{BiFeO}_3$ .

(Г.Є. Гречнев, А.С. Панфілов, ФТІНТ НАНУ)

У самарієвому феробораті вперше виявлено гігантський магнітоп'єзоелектричний ефект - аномально велике зростання ефективного п'єзомодуля нижче температури Нееля (Рис.3.1. а) й пригнічення цього зростання магнітним полем (Рис.3.1. б). Запропоновано феноменологічне пояснення, яке дозволяє одним підходом описати поведінку ефективного п'єзомодуля, діелектричної проникності і швидкості звуку в магнітовпорядкованій фазі. Природа магнітоп'єзоелектричного ефекту – це результат дії магнітоелектричної та магнітопружної взаємодій. Пружна деформація збуджує коливання спінів в базисній площині, що в результаті приводить до появи електричної поляризації кристала, і навпаки. Еволюція цього внеску під впливом магнітного поля зумовлена як зростанням магнітної енергії, так і процесом спінової переорієнтації. Показано, що при напрямку магнітного поля вздовж осі [110] магніто п'єзоелектричний відгук і магнітоємність змінюються обернено пропорційно квадрату магнітного поля. Виміри в цій геометрії дозволили визначити температурні залежності і кількісно оцінити значення параметрів магнітоелектричного (а) і магнітопружного (б) зв'язку і константу магнітної анізотропії в базисній площині (К). Значення цих параметрів при температурі  $T=1,7$  К становлять:  $a \sim 700 \mu\text{C}/\text{m}^2$ ,  $b \sim 1.8 \cdot 10^7 \text{J}/\text{m}^3$  та  $K \sim 80 \text{J}/\text{m}^3$ , відповідно.

Вперше виміряні швидкості звуку та розраховано пружні та п'єзоелектричні модулі у монокристалах  $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$  та  $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$ . Досліджені сполуки характеризуються

підвищеною жорсткістю в базовій площині по відношенню до деформацій розтягу-стиску та достатньо сильним п'єзо ефектом. Значення п'єзомодулей на порядок перебільшують аналогічні величини для  $\alpha$  – кварцу, що дозволяє рекомендувати ці сполуки для технічних застосувань.



а) температурна залежність п'єзомодуля в самарієвій та неодимовій сполуках при  $H=0$ .

б) магнітопольові залежності п'єзомодуля самарієвого фероборату при  $T=1,7K$  –  $H \parallel x$  (1),  $H \parallel y$  (2),  $H \parallel [110]$  (3).

Рис.3.1. Поведінка п'єзомодуля фероборатів у магнітовпорядкованій фазі.

(Т.М. Гайдамак, І.А. Гудим, Г.А. Звягіна, І.В. Білич, М.Г. Бурма, К.Р. Жеков, В.Д. Філь, ФТІНТ НАНУ)

В останні роки все більша увага дослідників звертається на вивчення магнітних систем з фрустрацією – систем, в яких неможливо мінімізувати енергію всієї магнітної системи, мінімізуючи парні взаємодії між спінами. Поведінку таких систем дуже важко описати теоретично, тому що базові методи опису впорядкованих магнетиків (такі як наближення середнього поля та наближення спінових хвиль) не працюють для систем з фрустраціями, внаслідок значного виродження станів останніх. В 2015 р. новий магнітний фазовий перехід, який ми асоціюємо з фазовою границею між двома спіральними фазами, було знайдено в ході низькотемпературних ультразвукових досліджень нижче температури Нееля ( $T_N = 7.8$  K) в фрустрованій антиферромагнітній сполуці  $CdCr_2O_4$ . При такому переході суттєво перенормуються швидкості та амплітуди звукової моди  $c_T$  та моди  $c_L$ . Треба взяти до уваги, що ентропія не показує значних змін при переході. Більш того, в прикладеному магнітному полі мода  $c_T$  проявляє ознаки метастабільних магніто-структурних станів, що існують (як функції поля з магнітудою до 88 Т біля плато магнітного моменту, де момент становить половину номіналу). Ми за допомогою обмінно-стрикційної моделі змогли кількісно теоретично описати магніто-польову залежність швидкості звуку нижче та вище плато з половинною намагніченістю. Результати теоретичних розрахунків разом з даними експерименту показані на Рис.3.2. Кореляції між поведінкою намагніченості та швидкості звуку демонструють, що обмінно-стрикційні механізми відіграють важливу роль в цій фрустрованій магнітній сполуці.

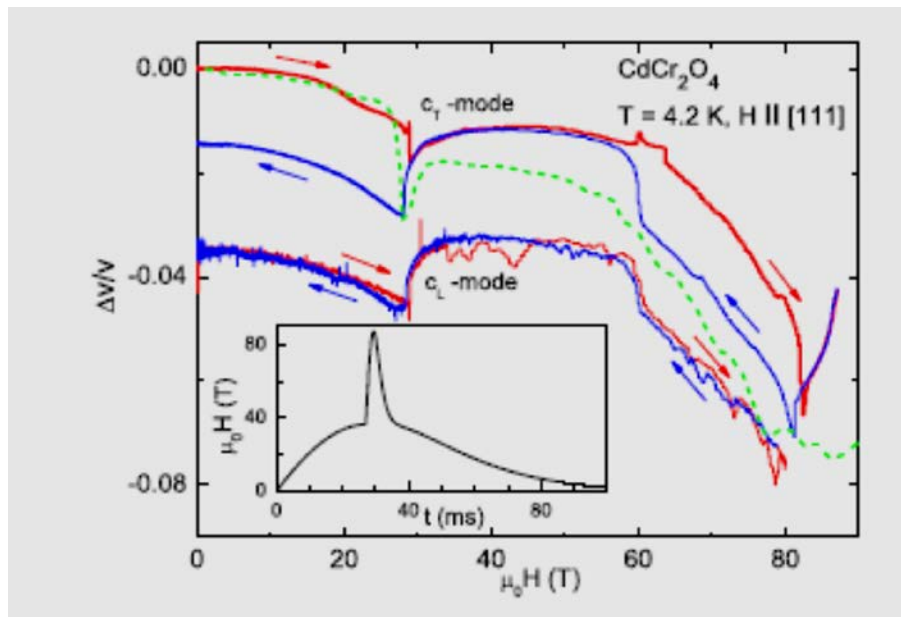


Рис.3.2. Залежність зміни швидкості звуку від прикладеного магнітного поля для мод  $c_T$  та  $c_L$  (червоні та сині криві - експеримент - зростання та зменшення амплітуди прикладеного магнітного поля відповідно; зелена крива - результат теоретичного розрахунку). На вставці - залежність амплітуди прикладеного магнітного поля від тривалості імпульсу.

(А.А. Звягін , ФТІНТ НАНУ, S. Zherlitsyn, S. Yasin, S. Erfanifam, R. Beyer, M. Naumann, E. Green, J. Wosnitzer, Hochfeld-Magnetlabor Dresden, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, V. Tsurkan, A. Loidl - Universität Augsburg)

Гейзенбергівські  $S = 1/2$  антиферомагнетики із кагоме ґратками мають концептуальне значення у фізиці фрустрованого магнетизму, тому що мають сильні квантові флуктуації внаслідок структурних особливостей, а саме, мають трикутники як основного структурного елемента. Основним магнітним станом цих систем є спінова рідина. В природі існує обмежена кількість ідеальних кагоме-систем. Навіть невеликі модифікації їх кристалічної структури можуть мати величезний вплив на фононні спектри і низькотемпературну динаміку спінової системи. У той час, як у разі ідеальної кагоме ґратки основні обмінні взаємодії є антиферомагнітними (АФМ), нами було показано, що флуктуації можуть мати драматичні наслідки, навіть якщо домінуючі обмінні взаємодії є феромагнітними (ФМ), що реалізується в серії шаруватих купратів  $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{X}$  ( $X = \text{Br}, \text{Cl}$ ).

Наш підхід до досліджень  $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{X}$  полягає в отриманні даних про збудження в кагоме-подібній ґратці за допомогою методу раманівського розсіювання світла. Це унікальний метод в тому сенсі, що він одночасно зондує різні ступені свободи та їх взаємодію.

$\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{X}$  кристалізується в ромбічній симетрії з просторовою групою  $Pm\bar{m}n$ . Температурні дослідження  $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{Cl}$  виявили появу нових раман-активних фононних мод нижче  $T \approx 115$  К, що однозначно свідчить про структурний фазовий перехід із зміною атомних позицій в елементарній комірниці.

Інтенсивні магнітні збудження із енергією  $\sim 33 \text{ cm}^{-1}$  спостережено в раманівських спектрах  $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2X$  ( $X = \text{Br}, \text{Cl}$ ) при температурах нижче температури магнітного впорядкування (Рис.3.3.). Симетрійний аналіз дозволив однозначно ідентифікувати ці збудження як поздовжній магнон, що є чисто квантовою особливістю, яка повністю відсутня в класичній теорії спінових хвиль. Це збудження пов'язано із квантовими флуктуаціями, які призводять до зменшення магнітного моменту  $i$ , як наслідок, до появи нової моди, в якій коливається величина локального параметру порядку.

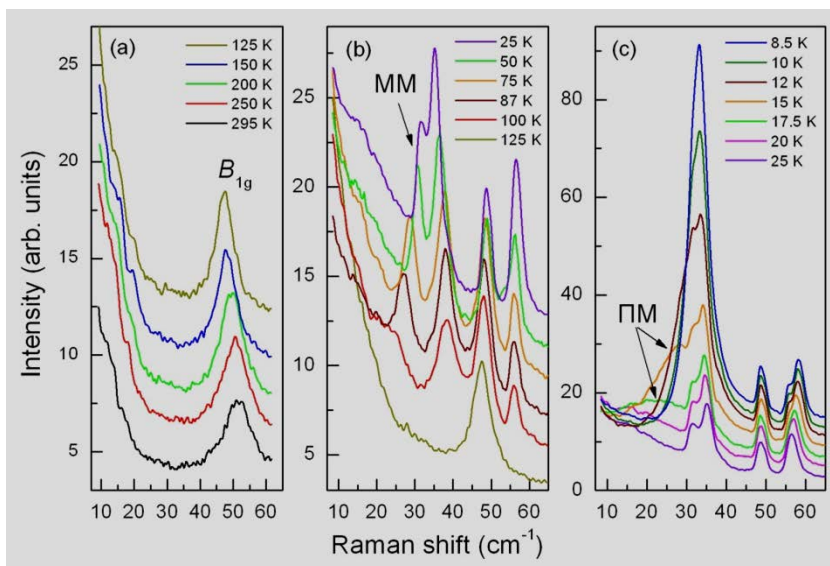


Рис.3.3. Температурна еволюція низькочастотної частини раманівських спектрів  $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{Cl}$  у трьох температурних інтервалах: (a) вище температури структурного фазового перетворення,  $T_s = 115 \text{ K}$ , (b) в інтервалі між  $T_s$  і температурою магнітного впорядкування,  $T_N = 24 \text{ K}$ , і (c) нижче  $T_N$ . Вказані: м'яка структурна мода, ММ і поздовжній магнон, ПМ.

(В.П. Гнезділов ФТІНТ НАНУ, Ю.Г. Пашкевич ДонФТІ НАНУ, Р. Lemmens TU Braunschweig, О.М. Василієв МДУ, П.С. Бердоносів МДУ)

Із розвитком методів нанолітографії магнітні наночастинки та їх масиви знаходять все більш різноманітне практичне застосування (зокрема, в системах магнітного запису, як носії інформації та як основні складові головок запису-зчитування інформації; в пристроях магніторезистивної оперативної пам'яті; в спінових мікрохвильових наноосциляторах).

Ми вивчили теоретично та експериментально з використанням техніки феромагнітного резонансу модифікацію спін-хвильового спектру плоского масиву циліндричних пермалоевих ( $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ ) дисків (дотів) при відхиленні зовнішнього магнітного поля на невеликий кут від перпендикуляру до площини дисків. Якщо напрямок зовнішнього магнітного поля відхиляється від вісі симетрії, у таких пристроях можуть виникати додаткові спін-хвильові моди, які служать причиною магнітного шуму. Таким чином, важливим завданням є дослідження еволюції спектру спінових хвиль у випадку порушення симетрії задачі. Показано, що порушення аксіальної симетрії призводить до розщеплення мод у спін-хвильовому спектрі. Наші експериментальні результати (Рис.3.4., Рис.3.5.) свідчать, що найнижча мода не зазнає розщеплення, друга мода розщеплюється на 3 рівня, а третя – на 5 рівнів. Побудована нами феноменологічна теорія збурень пояснює цю поведінку, кількісно узгоджується з експериментом та дає просте правило, що визначає кількість рівнів в

залежності від номера моди. Одержані результати дозволяють передбачити зміни спін-хвильового спектра в залежності від орієнтації зовнішнього магнітного поля, що може бути важливим для застосування плоских масивів магнітних нанодисків в спінтроніці та в інших наноманітних пристроях.

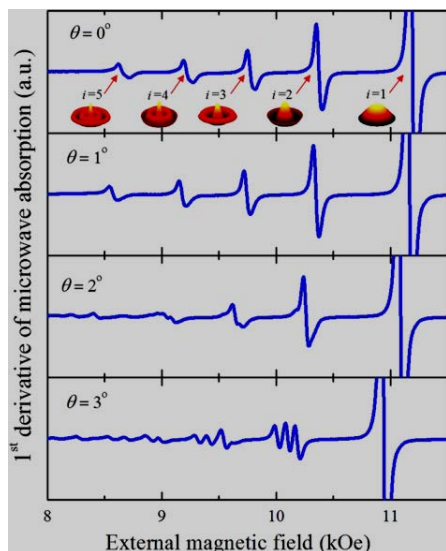


Рис.3.4. Еволюція спін-хвильового спектра плоского масиву з 2000x2000 нанодисків (радіус диска - 250 нм, товщина – 40 нм, відстань між центрами дисків - 1000 нм) при збільшенні кута між нормаллю до площини розташування дисків та напрямком магнітного поля ( $\theta$ ).

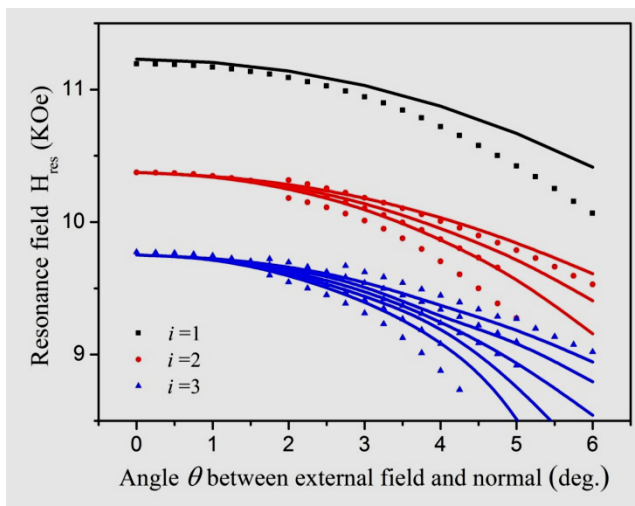


Рис.3.5. Залежність резонансних полів спін-хвильових мод масиву (пронумеровані числами  $i$ ) від кута  $\theta$ .

(В.О. Голуб, О.Ю. Салюк, О.В. Тартаківська, IMag НАНУ та МОНУ, А.А. Serga, А.В. Chumak, В. Hillebrands, Technische Universität Kaiserslautern, S.A. Bunyaev, G.N. Kakazei, Universidade do Porto, N.M. Santos, N.A. Sobolev, А.А. Timopheev, Universidade de Aveiro).

Досліджено властивості суцільнометалічних магнетонних кристалів, у яких  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$  плівка нанесена зверху двовимірної періодичної структури  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$  субмікронних круглих дисків (Рис.3.6.). У таких структурах суцільну плівку можна розглядати як магнетонний хвилевід, де масив дотів створює у сусідніх ділянках плівки періодичні неоднорідності внутрішнього поля.

З'ясовано, що площинна магнітна анізотропія такої системи залежить як від відстані між дисками (за рахунок дипольної взаємодії між дисками), так і від товщини плівки поверх цього масиву (за рахунок прямої обмінної взаємодії). За допомогою методу феромагнітного резонансу експериментально продемонстровано суттєве підсилення анізотропії четвертого порядку для основних резонансних мод у впорядкованих матрицях магнітних нанодисків, обмінно зв'язаних через тонку плівку з магнітного матеріалу.



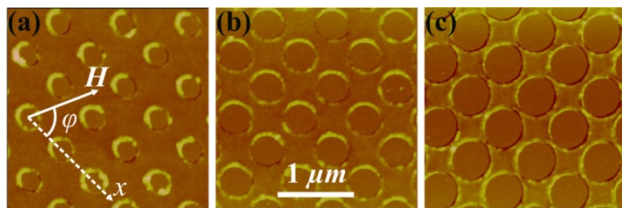


Рис.3.6. Зображення, одержані методом атомної силової мікроскопії, масивів  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$  дисків, з діаметрами 300 нм (а), 425 нм (b) та 550 нм (c), покритих суцільною плівкою пермалою.

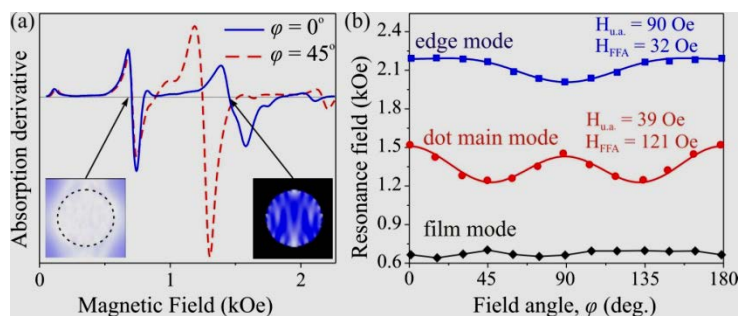


Рис.3.7. (а) Спектр ФМР для структури з діаметром дисків 425 нм та товщиною плівки 30 нм при різних напрямках поля. (b) Кутова залежність резонансного поля для різних мод.

На Рис.3.7. представлений (а) Спектр ФМР для двовимірної модульованої плівки з діаметром дисків 425 нм та товщиною плівки 30 нм при різних орієнтаціях  $\varphi$  магнітного поля. Вставки показують мікромагнітні профілі резонансної моди плівки та головної моди диску для  $\varphi=0^\circ$ ; пунктирна лінія показує позицію диску під плівкою. (b) - Кутова залежність резонансного поля для основної і крайової мод дисків та моди плівки. Мінімуми на кутових залежностях відповідають напрямкам «легкого намагнічування».

За допомогою мікромагнітних розрахунків було доведено, що прямий обмін між дисками та плівкою приводить до збільшення анізотропії головної моди диску в плівці. Показано, що така динамічна анізотропія виникає за рахунок магнітного зв'язку між дисками та плівкою, а також за рахунок різного ступеню локалізації резонансних мод у потенціальних ямах при різних орієнтаціях магнітного поля. Доведено, що, на відміну від дипольно взаємодіючих елементів, в яких анізотропія тим більша, чим менша відстань між елементами, максимальна анізотропія головної моди диску у випадку обмінного зв'язку між дисками через магнітний підшар досягається при середніх відстанях між елементами, коли ця мода вже є суттєво локалізованою, але все ще відчуває вплив локальних статичних полів.

Проведені дослідження дозволяють створити керовані магнітним полем генератори та фільтри високої частоти, що можуть бути інтегровані в сучасні мікросхеми.

(В.О. Голуб, О.Ю. Салюк, ІМаг НАНУ та МОНУ)

Важливим напрямком магнітоелектроніки є розробка адаптивних наноструктур, у яких параметри магнітного компонента (анізотропія, намагніченість, обмінна взаємодія) не є фіксованими, а можуть оперативнo змінюватись у процесі експлуатації. Для реалізації цієї ідеї перспективним є використання деформаційних ефектів, що створюються п'єзоелектричним



або електрострикційним компонентом композитної структури (наприклад, підкладинкою в плівковій гетероструктурі).

Важливим кроком на шляху створення адаптивних гетеро- та наноструктур є розуміння закономірностей впливу індукованих підкладинкою напружень на магнітні властивості тонких та ультратонких плівок магнітних оксидів, зокрема, заміщених манганітів  $(\text{La,A})\text{MnO}_3$  ( $A = \text{Ba, Sr, Ca, Na, ...}$ ). У даній роботі досліджено температурну залежність магнітної анізотропії ультратонких ( $d < 40$  нм) плівок  $(\text{La,Na})\text{MnO}_3$ , підданих індукованій підкладинкою деформації стиснення.

Плівки  $(\text{La,Na})\text{MnO}_3$  були осаджені на монокристалічну підкладинку  $\text{LaAlO}_3$  (001) методом магнетронного розпилення. Інформацію про магнітну анізотропію було отримано шляхом аналізу температурних та кутових залежностей полів феромагнітного резонансу.

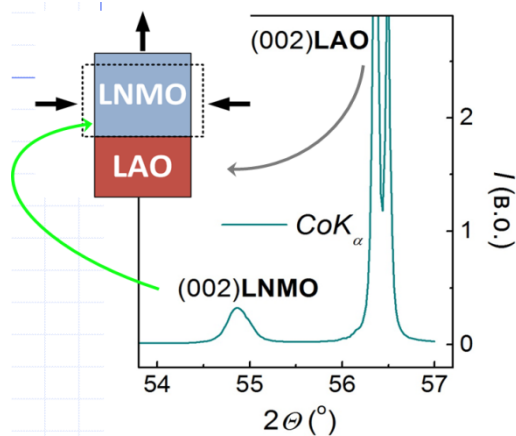


Рис.3.8. Рентгенівська дифрактограма плівки  $(\text{La,Na})\text{MnO}_3$  (40 нм), осадженої на підкладинку  $\text{LaAlO}_3$  (001).

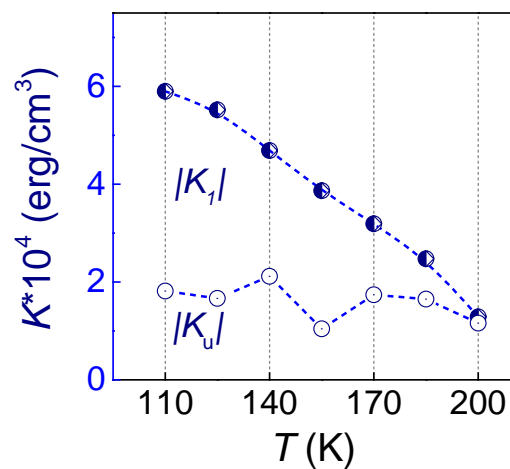


Рис.3.9. Температурні залежності одноосної ( $K_u$ ) і кубічної ( $K_1$ ) констант анізотропії плівки  $(\text{La,Na})\text{MnO}_3/\text{LaAlO}_3$  (001).

Вперше експериментально виявлено сильну магнітну анізотропію в плівках натрій-заміщених манганітів лантану, підданих індукованій підкладинкою деформації стиснення. Показано, що в ультратонких плівках  $(\text{La,Na})\text{MnO}_3$ , осаджених на монокристалічну підкладинку  $\text{LaAlO}_3$  (001), густина енергії магнітної анізотропії може досягати  $E_a = 6 \times 10^3$  Дж/м<sup>3</sup> (поле анізотропії  $\mu_0 H \sim 40$  мТ), на відміну від недеформованого манганіту, в якого  $E_a < 10^2$  Дж/м<sup>3</sup>. Зроблено висновок про перспективність використання натрій-заміщених манганітів у якості магнітних компонент композитних наноструктур з властивостями, керованими шляхом зміни деформації.

(А.М. Погорілий, О.І. Товстолиткін, Д.М. Поліщук, О.І. Матвієнко, Д.Й. Под'яловський, ІМаг НАНУ та МОНУ).

Виявлено обмінний зсув петель магнітного гістерезису в сполуках манганітів  $(\text{Nd}_{1-x}\text{Y}_x)_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3$  ( $x = 0; 0.1$ ), який виникає при охолодженні зразків в магнітному полі до

температур нижчих за температури їх магнітного впорядкування. Зсув свідчить про те, що в цих сполуках відбувається магнітне фазове розшарування, і їх магнітний стан при низьких температурах неоднорідний – в них співіснують антиферромагнітні і ферромагнітні домени. Оцінено внесок ферромагнітної фази в повну намагніченість сполук. Виявлено, що заміщення неодиму ітрієм приводить до збільшення кількості ферромагнітної фази у допованій сполуці  $(\text{Nd}_{0.9}\text{Y}_{0.1})_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3$  в порівнянні з базовою сполукою  $\text{Nd}_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3$ . При цьому ферромагнітна фаза в допованій сполуці характеризується меншою коерцитивною силою  $H_c$ , більш прямокутною петлею гістерезису і меншою величиною поля обмінного зсуву. Величина поля обмінного зсуву  $H_{EB}$  немонотонно залежить від магнітного поля охолодження  $H_{cool}$ . В області досить великих полів охолодження  $H_{cool} > 10$  kOe воно приблизно вдвічі менше для допованої сполуки. Така різниця зумовлена меншою величиною обмінної взаємодії та більшою величиною намагніченості насичення ферромагнітної фази в  $(\text{Nd}_{0.9}\text{Y}_{0.1})_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3$ . Ефект зсуву гістерезисної петлі зникає разом з ферромагнітною фазою при нагріванні зразків вище температури Кюрі  $T_C \sim 70$  K, що підтверджує правильність його інтерпретації.

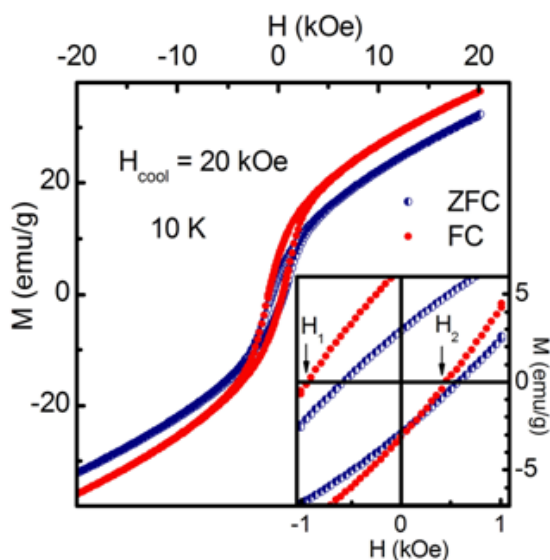


Рис.3.10. Петлі магнітного гістерезису  $\text{Nd}_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3$ , виміряні при температурі 10 K після охолодження зразка в нульовому магнітному полі (ZFC) і після охолодження в магнітному полі  $H_{cool}=20$  kOe (FC). На вставці показана збільшена центральна область петель гістерезису.

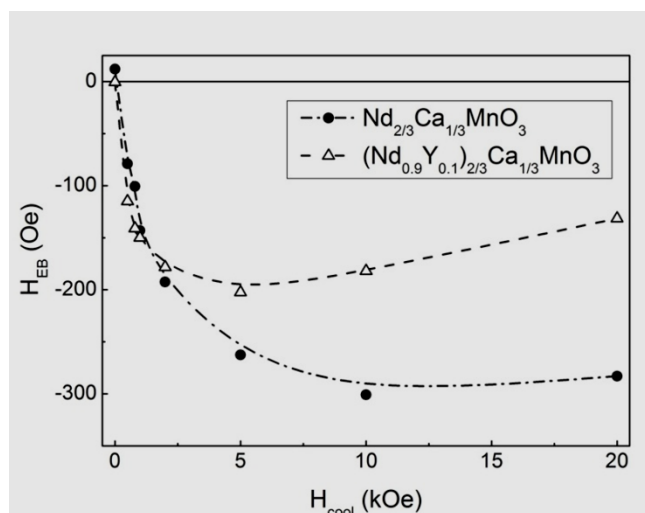


Рис.3.11. Залежність ефекту обмінного зсуву від магнітного поля охолодження  $H_{EB}(H_{cool})$  при температурі 10K для сполук  $(\text{Nd}_{1-x}\text{Y}_x)_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3$  ( $x = 0; 0.1$ ).

(Е.Л. Фертман, В.А. Десненко, ФТІНТ НАНУ, Е. Čížmár, А. Baran, А. N. Salak, А. Feher, Університет П.Й. Шафарика, Кошице).

У рамках феноменологічного наближення проведено моделювання релаксаційних явищ, що спостерігаються у магнітних та резистивних властивостях манганітів лантану поблизу фазового переходу метал – діелектрик. Розглянуто два можливих сценарії переходу:

перколяційний, тобто за наявності так званої фази Гриффітса, і традиційний, як фазовий перехід феромагнетик – парамагнетик другого роду. Модель базується на узагальненні моделі Прейзаха на феромагнітні половинні метали (half-metals). Для кожної з розглянутих систем встановлено існування в околиці фазового переходу специфічних довгочасових релаксаційних процесів у магнітних і резистивних характеристиках з логарифмічною залежністю від часу спостереження. Зокрема, показано, що у разі наявності фази Гриффітса магнітні та резистивні властивості системи повинні демонструвати такі типи для спінового скла особливості, як явище «старіння» та «омолодження». Запропоновано експериментальні тести щодо встановлення типу магнітного та резистивного переходів у манганітах лантану: за перколяційним сценарієм з наявністю фази Гриффітса, або за традиційним сценарієм фазового переходу другого роду з поляронним механізмом переходу метал – діелектрик (Рис.3.12.).

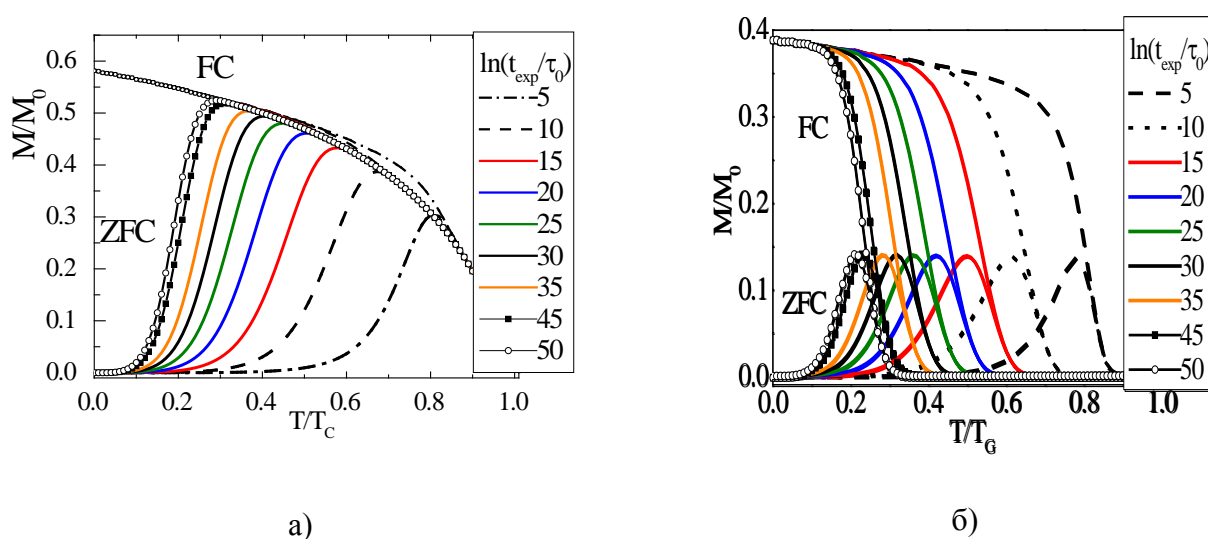


Рис.3.12. Температурні залежності намагніченості (протоколи FC та ZFC) при різній швидкості вимірювання для системи з фазовим переходом феромагнетик – парамагнетик: (а) другого роду та (б) за перколяційним сценарієм, тобто за наявністю фази Гриффітса.

(В.М. Криворучко, ДонФТІ НАНУ).

Дослідження властивостей рідкісноземельних манганітів зі структурою перовскіту є актуальний напрямок фундаментальних досліджень у галузі магнетизму та магнітних явищ конденсованого стану. У цьому класі металооксидів результатом співіснування конкуруючих типів взаємодій є низка фазових перетворень. Магнеторезистивні, магнетокалоричні та магнетострикційні властивості рідкісноземельних манганітів та їх зміни при фазових переходах знаходять практичне застосування і заслуговують на особливу увагу. Результати експериментальних досліджень свідчать про вплив дефектності структури на формування магнітних і магнітотранспортних властивостей рідкісноземельних манганітів. Дефектність структури вакансійного типу при збереженні структурної однофазності має бути істотною для забезпечення електронейтральності кристала.

З метою встановлення закономірностей впливу дефектності на магнітний стан рідкісноземельних манганітів на прикладі  $\text{La}_{0.9-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_{3-\delta}$  були проведені експериментальні дослідження структурних, резистивних, магнітних, магніторезонансних і магнітотранспортних властивостей манганіту лантану із неізовалентним заміщенням А-катиону. Визначено молярні формули і встановлено, що реальна структура перовскіту є дефектною та містить аніонні  $V^{(a)}$  та катіонні вакансії  $V^{(c)}$ .

Немонотонний характер концентраційних змін структурних і магнітних властивостей зумовлюється перерозподілом внесків в електронейтральність двох механізмів компенсації заряду: 1) за рахунок зміни валентності В-катиону та 2) за рахунок зміни концентрації аніонних вакансій  $V^{(a)}$ . Показано, що при малих концентраціях неізовалентної домішки компенсація заряду досягається переважно за рахунок зміни валентності В-катиону. При подальшому збільшенні вмісту домішки внесок у компенсацію заряду за рахунок зміни дефектності структури має немонотонний характер, що спричиняє немонотонний характер зміни магнітних властивостей.

Отриманий результат свідчить про істотний вплив дефектності структури на симетрію кристалічної ґратки, ступінь її спотворення, температуру та характер магнітного впорядкування. На підставі отриманих експериментальних результатів побудована фазова діаграма (Т, х) магнітних станів манганіту  $\text{La}_{0.9-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_{3-\delta}$  (Рис.3.13.).

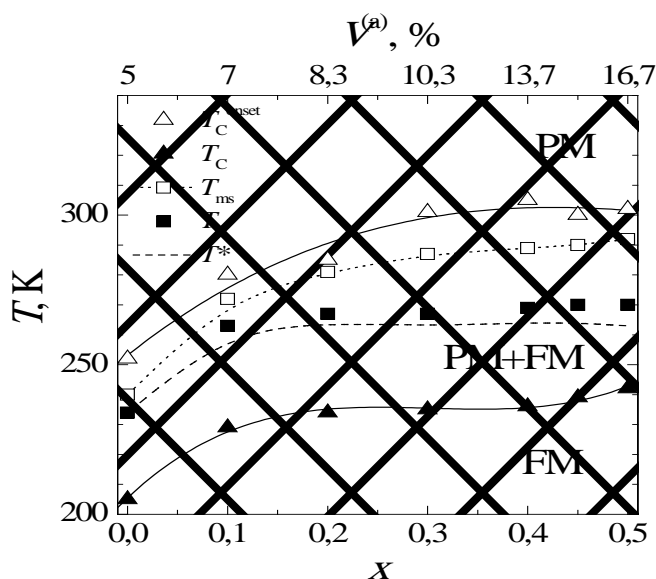


Рис.3.13. Фазова діаграма магнітних станів манганіту  $\text{La}_{0.9-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_{3-\delta}$  із неізовалентним заміщенням А-катиону. РМ – парамагнітний стан, FM – феромагнітний стан, РМ+FM - область магнітного фазового розшарування,  $\Delta T_c^{\text{onset}}$  - температура появи ФМ-кореляцій,  $T_c$  - температура Кюрі,  $T_{ms}$  - температура фазового переходу «метал-напівпровідник»,  $T_p$  - температура піку магнітоопору,  $T^*$  - температура максимальної магнітної неоднорідності.

(О.В. Пащенко, В.К. Прокопенко, М.О. Леденьов, Г.Г. Левченко, ДонФТІ НАНУ)

Виявлено та вивчено польові залежності смуг оптичного поглинання, пов'язаних з переходами  $^4I_{9/2} \rightarrow ^2H_{11/2}$  іону  $\text{Nd}^{3+}$  в рідкісноземельному феробораті  $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$  при низьких температурах (2К). Сполука проявляє сегнетоелектричні властивості при магнітному впорядкуванні, що характерно для мультифероїків. Перспективність використання таких

матеріалів у створенні багатофункціональних пристроїв і обумовлює актуальність дослідження, зокрема, фероборатів.

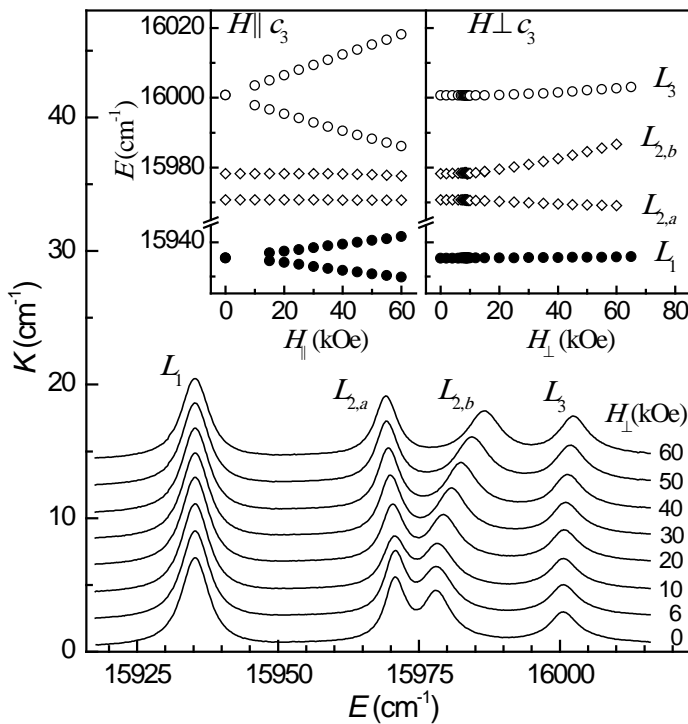


Рис.3.14. Польові залежності спектру поглинання в області переходу  $^4I_{9/2} \rightarrow ^2H_{11/2}$  іону  $Nd^{3+}$  феробората  $NdFe_3(BO_3)_4$  в поперечному зовнішньому полі. На вставках – залежність частот смуг поглинання від напруженості зовнішнього магнітного поля.

При температурі 2К магнітна структура  $NdFe_3(BO_3)_4$  описується довгохвильовою антиферомагнітною спіраллю з орієнтацією антиферомагнітного вектора  $L$  поперек тригональної осі  $C_3$ . Спіральна структура повністю руйнується в зовнішньому полі  $H_0=9.5$  кЕ, що прикладене перпендикулярно  $C_3$ , з переходом до плоскої структури  $L \perp H_0$ . Показано, що, як в полі, орієнтованому вздовж  $C_3$ , так і в перпендикулярному до осі, розщеплення електронних рівнів  $Nd^{3+}$ , що відповідають спостережуваним спектральним смугам (див. рисунок), добре описується співвідношенням  $\Delta E_\alpha = \mu_B \sqrt{(g_\alpha H_0)^2 + (g_\perp H_{exch})^2}$ , де  $\mu_B$  – магнетон Бора,  $g_\alpha$  – ефективний  $g$ -фактор рівня ( $\alpha = \parallel, \perp$ ) у напрямку  $H_0$ ,  $H_{exch}$  – ефективне обмінне поле взаємодії з підсистемою заліза. Розраховані значення для ефективних  $g$ -факторів та  $H_{exch}$  електронних рівнів, позначених на рисунку символами  $L_1, L_2$  та  $L_3$ , складають:

Рівень	$g_\perp$		$g_\parallel$		$H_{exch}$
	експеримент	теорія	експеримент	теорія	
$L_1$	–	0	4.57	5.08	–
$L_2$	5.72	5.26	–	0.43	28 кЕ
$L_3$	–	1.08	11.57	9.73	0

(С.Л. Гнатченко, І.С. Качур, В.С. Курносов, В.Г. Пірятинська, ФТІНТ НАНУ)

В даний час інтенсивно розвивається перспективний напрямок у фізиці магнетизму, так званий фемтомагнетизм, основу якого складає спінова динаміка, спричинена дією на магнетик фемтосекундного лазерного імпульсу. Вплив імпульсу створює сильно нерівноважний стан спінової системи магнетика, в результаті чого виникає надшвидка (з характерним часом біля пікосекунд) спінова просторово-часова еволюція, яка не зводиться до простої прецесії магнітного моменту. У зв'язку з цим велике значення має розробка підходу до проблеми, такого ж загального, як стандартний мікромагнетизм, що ґрунтується на рівняннях Ландау-Ліфшиця, але який дозволить описати еволюцію спінової густини, що включає в себе як стандартну прецесійну динаміку, так і поздовжню еволюцію модуля магнітного моменту.

Ґрунтуючись на роботах одного із співавторів (В.Г. Бар'яхтар, ЖЭТФ, 1984, 1988; ФТТ 1987; ФНТ 1985), запишемо рівняння для спінової густини у вигляді:

$$\hbar \frac{\partial \mathbf{S}}{\partial t} = [\mathbf{S} \times \mathbf{H}_{\text{eff}}] + \mathbf{R}, \quad \mathbf{R} \equiv \frac{\delta Q}{\delta \mathbf{H}_{\text{eff}}} = \hat{\lambda} \mathbf{H}_{\text{eff}} - a^2 \nabla^2 \lambda_{\text{ex}} \mathbf{H}_{\text{eff}},$$

де  $\hbar$  - постійна Планка,  $\mathbf{H}_{\text{eff}} = -\delta\Phi / \delta\mathbf{S}$  - ефективне поле,  $\Phi$  - термодинамічний потенціал магнетика,  $a$  - постійна гратки. Релаксаційний доданок визначається варіацією дисипативної функції,  $2q = \hat{\lambda} \mathbf{H}_{\text{eff}}^2 + a^2 \hat{\lambda}_{\text{ex}} (\nabla \mathbf{H}_{\text{eff}})^2$ , яка включає як локальний (релятивістський) вклад з  $\hat{\lambda}$ , так і чисто обмінний нелокальний вклад з  $\hat{\lambda}_{\text{ex}}$ . Обмінний доданок зберігає повний спін системи, але не локальне значення довжини вектора  $\mathbf{S}$ .

На основі цього підходу показано, що еволюція станів з однорідною в просторі «чисто поздовжньою» нерівновагою супроводжується розвитком сильно неоднорідних станів, див. Рис.3.15.

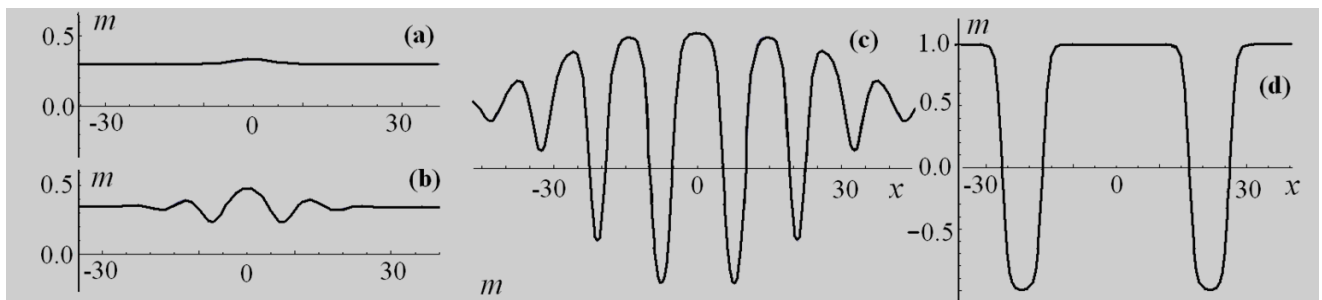


Рис.3.15. Обмінна еволюція малого збурення (а) нерівномірне відхилення зростає (b), займає велику площу області (c) і закінчується формуванням областей з  $m = \pm 1$  (d), які потім повільно розвиваються в рівноважний стан (не показано),  $m = |\mathbf{S}|/S_0$ .

Справа в тому, що обмінна релаксація найбільш швидка, але вона не може змінити сумарний спін системи. Паліативом є створення доменів з майже рівноважними значеннями спіну протилежного знаку, що відповідає частковому стану рівноваги з фіксованим (зменшеним) значенням повного спіна. Для більш реалістичного випадку кругової світлової плями, очікується рух цих неоднорідностей у вигляді циліндричних хвиль. Описаний ефект



створення сильно неоднорідних станів (самоорганізації) є загальним і має відбуватися в різних магнетиках.

(В.Г. Барьяхтар і Б.О. Іванов, ІМаг НАНУ і МОНУ; І.А. Ястремський, КНУ ім. Тараса Шевченка)

Останнім часом зріс інтерес до магнетоелектричного ефекту в таких мультифероїках, у яких електрична поляризація зумовлена певним магнітним впорядкуванням локалізованих спінів. Один з мікроскопічних механізмів цієї сегнетоелектричності, породженої магнетизмом, запропонували у 2005 році Кацура, Нагаоса і Балацький [H.Katsura, N.Nagaosa, A.V.Balatsky, Phys. Rev. Lett. **95**, 057205 (2005)]. Згідно з їхньою теорією, електрична поляризація зв'язувальних орбіталей пропорційна спіновому струму між іонами, які вони з'єднують. Хоча за десять років, що минули від появи цієї статті, було виконано немало теоретичних досліджень мультифероїків Кацури-Нагаоси-Балацького, а також знайдено реальні кристали, у яких реалізується такий сценарій, ніхто не звернув увагу на те, що механізм КНБ можна «вкласти» у точно розв'язну модель, а отже проаналізувати строго (не роблячи жодних наближень) зв'язок між магнітними і електричними властивостями такого мультифероїка. У нашому недавньому дослідженні [O.Menchyshyn, V.Ohanyan, T.Verkholyak, T.Krokhmalkii, O.Derzhko, Phys. Rev. **B92**, 184427 (2015)] ми ілюструємо магнетоелектричний ефект, зумовлений механізмом Кацури-Нагаоси-Балацького, у межах точно розв'язних моделей спін-1/2 XY ланцюжків. Завдяки триспіновим взаємодіям, які містяться у наших моделях, на намагніченість впливає електричне поле за відсутності магнітного, а на електричну поляризацію – магнітне за відсутності електричного поля. Ми також проаналізували магнетоелектрокалоричний ефект, що властивий таким системам.

(О. Менчишин, Т. Верхоляк, Т. Крохмальський, О. Держко, ІФКС НАНУ, В. Оганян, Єреванський державний університет)

Увага дослідників в фізиці магнітних явищ в останні роки приділялася значною мірою проблемі поведінки магнітних спінових систем в електромагнітному полі лазерів, зокрема в терагерцовому частотному діапазоні. Це пов'язано з можливістю поля лазера суттєво впливати на характеристики спінової системи. За допомогою поля лазера можна вивчати поведінку цих характеристик, які в статичному режимі потребують дуже сильних магнітних полів (терагерцова частота відповідає магнітуді статичного поля порядку 40 Т). Зокрема, не так давно було теоретично показано, що циркулярно поляризоване випромінювання лазера може викликати суттєву зміну намагніченості спінової системи, тоді як лінійна поляризація не повинна призвести до такого ефекту. В 2015 р. ми теоретично доказали, що лінійно поляризоване світло лазера може викликати ненульову намагніченість спінової системи, якщо вісь магнітної анізотропії системи не співпадає з поляризацією магнітного поля лазерного випромінювання. В динамічному режимі (для малих часових діапазонів) намагніченість осцилює навколо ненульового значення, що залежить від параметрів системи. Осциляції мають частоту лазерного випромінювання, що промодульована значно нижчими частотами



типу частоти Рабі (які в резонансі залежать від амплітуди поля лазера). В статичному режимі для значень часу, більших характерних часів релаксації, низькі частоти типа Рабі практично зникають, і намагніченість осцилює лише з великими частотами навколо значення, яке залежить як від параметрів системи спінів, так і від релаксації. Найбільш цікавою є поведінка в полі лазера спінового ланцюжка. Результати, одержані для спінового ланцюжка з Ізінговою анізотропією в полі лазера з лінійною поляризацією, перпендикулярною осі Ізінга, показані на Рис.3.16.

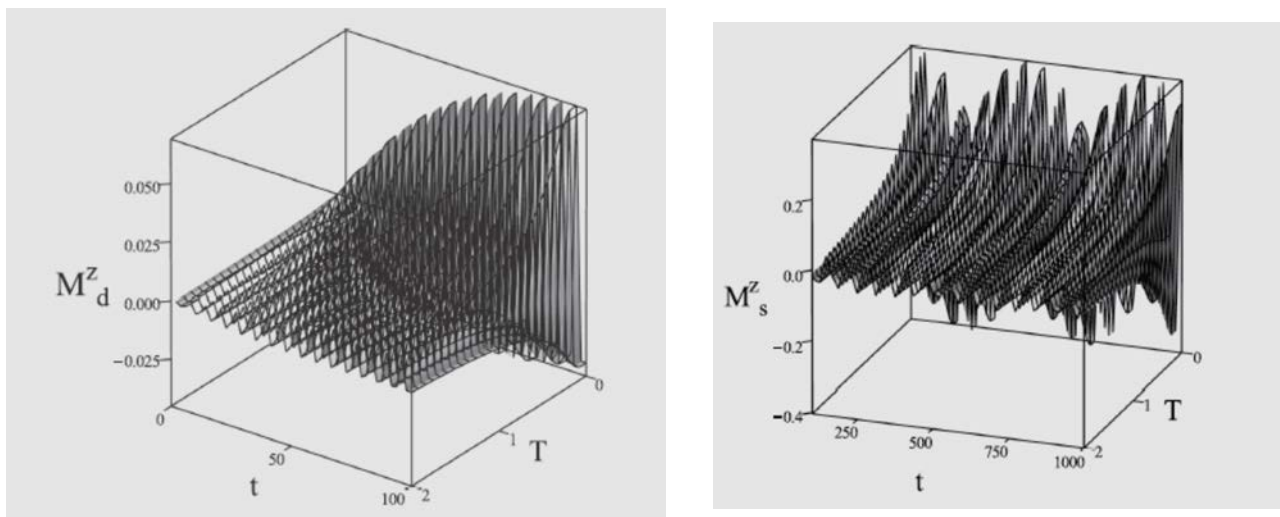


Рис.3.16. Залежності магнітного моменту Ізінгового спінового ланцюжка від часу та температури (обмінний інтеграл дорівнює 1), якщо ланцюжок спінів знаходиться в лінійно поляризованому полі лазера. Ліворуч - динамічний режим; праворуч - статичний режим. Енергія квантів лазерного випромінювання дорівнює енергії обмінного інтегралу, амплітуда магнітного поля випромінювання складає 0.001 обмінного поля, а частота релаксації взята рівною 0.01 лазерної частоти. Модуляція моменту в сталому режимі є наслідком багаточастинкових ефектів.

(А.А. Звягін, ФТІНТ НАНУ)

В останні роки зріс інтерес до вивчення впливу різкої зміни параметрів різних квантових систем на їх поведінку. Вивчення динамічних властивостей квантових систем багатьох тіл дає можливість для розуміння природи встановлення рівноваги під впливом унітарної часової еволюції. Часова еволюція середніх значень залежить від початкового стану через велику кількість параметрів багаточастинкової системи. Різкі зміни параметрів системи ведуть до такої часової унітарної еволюції, і кінцевий стан суттєво залежить від типу системи, що вивчається. Вивчення різких змін дуже важливо у контексті нещодавніх експериментів з над-охолодженими газами, з імпульсами електромагнітного поля терагерцевої частоти, експериментів в конденсованих середовищах, моделювання квантових комп'ютерів та розгляду динаміки магнетиків в імпульсних високо-амплітудних полях.

В 2015 р. нами було теоретично вивчено вплив різких змін параметрів в двох важливих випадках. По-перше, в магнітній системі, в якій не зберігається проекція повного спінового

моменту системи, що паралельна зовнішньому магнітному полю, раптова зміна магнітного поля викликає осциляції намагніченості. Амплітуда та частота цих осциляцій суттєво і нелінійно залежать від величини зміни поля. Врахування релаксації в магнітній системі згідно моделі Ландау-Ліфшиця призводить до нелінійної залежності амплітуди й частоти осциляцій від параметра релаксації, а також до залежності швидкості згасання від параметрів енергії магнетика та амплітуди стрибка зовнішнього магнітного поля. По-друге, вивчено вплив імпульсу потенціалу (зовнішнього поля) на квантову систему ферміонів, в якій не зберігається число частинок. Результати роботи можна, зокрема, прикласти до моделі топологічного надпровідника Кітаєва (Рис.3.17.). Показано, що в залежності від того, магнітуда імпульсу більша чи менша значення потенціалу, при якому має місце квантовий фазовий перехід, осциляції числа ферміонів в топологічному надпровіднику затухають з різними частотами, швидкостями та амплітудами. Описане явище є проявом так званих динамічних квантових фазових переходів при різких змінах параметрів квантових систем. Ефект може служити критерієм існування в системі топологічної надпровідності.

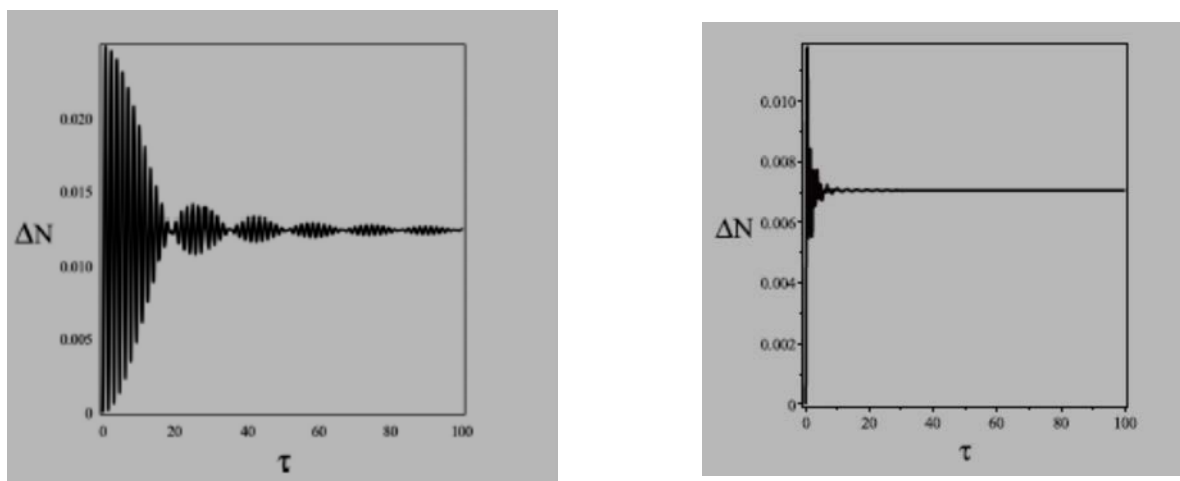


Рис.3.17. Залежності зміни числа ферміонів в топологічному надпровіднику від тривалості імпульсу прикладеного потенціалу. Ліворуч - амплітуда імпульсу менша критичної (топологічна надпровідність); праворуч - амплітуда імпульсу більша критичної (ординарна надпровідність).

(А.А. Звягін, ФТІНТ НАНУ)

Із застосуванням мюонного спінового резонансу та розрахунків із перших принципів досліджено аномальний магнітний перехід з підвищенням симетрії при зниженні температури в залізовмісному надпровіднику  $\text{Ba}_{0.74}\text{K}_{0.26}\text{Fe}_2\text{As}_2$ . Перехід проходить як перехід першого роду від ромбічної антиферомагнітної фази (O-AF) до тетрагональної антиферомагнітної (T-AF) фази. За результатами обчислень були знайдені очікувані позиції мюонів і встановлено їх високу локальну симетрію. Проведено симетрійний аналіз усіх можливих магнітних структур, які можуть існувати в T-AF фазі, та розраховані магнітні поля, створені цими структурами на мюонних позиціях. Порівняння теоретичних розрахунків та спостережених в експерименті характерних змін величини та орієнтації локального магнітного поля на позиціях мюонів

дозволило вперше достовірно визначити нетривіальну магнітну структуру тетрагональної T-AF фази. Ця структура являє собою неоднорідну так звану двопробеневу Q – структуру з шахово-подібним розподілом магнітних та немагнітних іонів заліза, в якій магнітні моменти іонів орієнтовані антиферомагнітно уздовж с-осі четвертого порядку. Важливим є те, що поява цієї структури в вузькому інтервалі концентрацій калію  $K_x$  ( $x=0.25-0.27$ ) водночас відповідає максимуму температури переходу в надпровідний стан  $T_{sc}=12$  К. Це спостереження свідчить про значну локальну нестабільність спінового стану заліза та існування специфічних магнітних флуктуацій поблизу переходу в надпровідний стан, що повинні впливати на формування механізму надпровідності залізовмісних надпровідників.

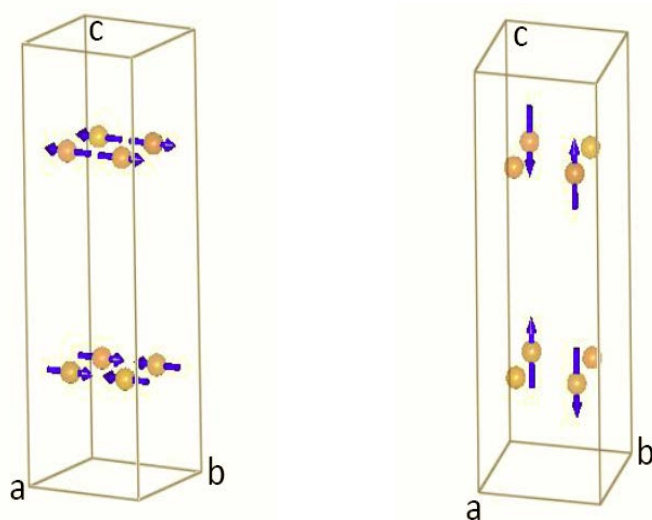


Рис.3.18 Магнітне впорядкування  $Ba_{0.74}K_{0.26}Fe_2As_2$ . (показані тільки іони заліза). Зліва - ромбічна антиферомагнітна фаза (O-AF), що існує в інтервалах  $T_{N1} \approx 72K > T > T_{N2} \approx 32K$ , та  $T_{N3} \approx 18K > T > T_{sc}=12$  К. Справа - тетрагональна антиферомагнітна (T-AF) фаза, що існує в інтервалі  $T_{N2} \approx 32K > T > T_{N3} \approx 18K$ .

(Ю. Г. Пашкевич, О.А. Гусєв, ДонФТІ НАНУ)

В сегнетомагнетику  $TbMnO_3$  з неспівмірною спіноювою структурою раніше був спостережений гігантський магнетоелектричний ефект: діелектрична стала  $\epsilon$  змінювалась на 10 % в магнітному полі з напруженістю декількох Тесла. Цей результат вказав на можливість використання ефекту магнетоємності, тобто залежності діелектричної сталої від магнітного поля, в сучасній електроніці. Теоретичні розрахунки магнетоємності в манганіті тербію були відсутні.

Нами були одержані вирази для залежностей діелектричної сталої вздовж осей X і Z від температури і магнітного поля. Було показано, що для узгодження з експериментом необхідно врахування магнетоелектричної анізотропії четвертого порядку – однорідної магнетоелектричної енергії вигляду  $A_i^2 P_k^2, M^2 P_i^2$ , де  $\vec{A}, \vec{M}, \vec{P}$  - вектори антиферомагнетизму, намагніченості і поляризації. Конкуренція цієї однорідної магнетоелектричної взаємодії з неоднорідною магнетоелектричною взаємодією, яка викликає електричну поляризацію, призводить до мінімуму на температурній залежності компонент діелектричної сталої  $\epsilon_{zz}$  поблизу температури Кюрі. Неоднорідна магнетоелектрична

взаємодія індукує піки в температурних залежностях  $\epsilon_{zz}$ ,  $\epsilon_{xx}$  та  $\epsilon_{yy}$  (в відповідності до закону Кюрі) при виникненні поляризацій  $P_z, P_x$ . Анізотропна однорідна магнетоелектрична взаємодія індукує злами різних знаків на температурних залежностях  $\epsilon$  вздовж осей Z і X при температурі Нееля, а також їх квадратичну залежність від величини прикладеного магнітного поля.

(І.Є.Чупис, ФТІНТ НАНУ)

Вивчено кристалічну структуру та магнітні властивості гомометалічного оксаборату  $Mn_2VO_4$  із структурою мінералу варвікіту, що містить іони  $Mn^{3+}$  та  $Mn^{2+}$ . В кристалах варвікітів марганцю і заліза відбувається зарядове впорядкування, що супроводжується створенням ян-теллерівських дисторсій. Існування сильно взаємодіючих зарядової, граткової і магнітної підсистем спричиняє важливі для практичного застосування фізичні властивості, завдяки чому на дослідження варвікітів марганцю і заліза звернена особлива увага. В результаті проведених досліджень було з'ясовано, що магнітне впорядкування в  $Mn_2VO_4$  виникає за температури  $T_N = 26$  К і відповідає традиційній антиферомагнітній структурі. Магнітна анізотропія має одноосьовий характер, причому вісь анізотропії спрямована в площині  $ab$ . З розрахунків суперобмінної взаємодії було знайдено, що домінуюча обмінна взаємодія є антиферомагнітною. Найсильніша обмінна взаємодія спостерігається між найближчими катіонами марганцю вздовж кристалографічної осі  $c$ , що призводить до створення антиферомагнітних ланцюжків та подвоєної магнітної комірки вздовж осі  $c$ . Магнітна взаємодія між двома сусідніми ланцюжками є дещо ослаблена, що спричинено фрустрацією певних обмінних зв'язків. Між тим тривимірність АФМ впорядкування підтримується завдяки взаємодії  $Mn^{3+}-O-Mn^{2+}$  із кутом обмінного зв'язку  $115^\circ$  між іонами  $Mn^{3+}$  та  $Mn^{2+}$ , що належать сусіднім ланцюжкам. В роботі отримано величину ефективного магнітного моменту Ян-Теллерівських іонів  $Mn^{3+}$ , а також виявлено, що магнітний момент іонів  $Mn^{3+}$  створюється завдяки тому, що їх орбітальний момент не є замороженим.

(К.В. Ламонова, ДонФТІ НАНУ, Н.В. Казак, М.С. Платонов, О.А. Баюков, А.Д. Васильєв, Л.Н. Безматерних, Інститут ім. Кіренського, Ю.В. Князєв, Н.В. Іванова, Сибірський Федеральний університет, С.Ю. Гаврилкін, Інститут фізики ім. П.Н. Лебедева, С.Г. Овчинніков, Сибірський державний аерокосмічний університет (Красноярськ), V.I. Nizhankovskii, Міжнародна лабораторія сильних магнітних полів та низьких температур (Вроцлав))

Молекулярні магнетика, де магнітоактивне ядро молекули має від одиниць до десятків магнітних іонів інтенсивно досліджуються у зв'язку з можливим застосуванням у квантових комп'ютерах та спінтроніці. В роботі, із застосуванням методів точної діагоналізації проведено дослідження впливу різного виду магнітної анізотропії на формування енергетичного спектру молекулярного магнетика із загальною симетрією  $D_{4h}$ , молекули якого містять чотири магнітних іони із спіном  $s = 1/2$  в вузлах. При дослідженні було враховано всі

можливі анізотропії обміну між найближчими сусідами (аксіальні  $-\Lambda_{ax}$ , та азимутальні  $-\Lambda_{az}$ ), а також взаємодія Дзялошинського–Морія -  $d_z$ , існування яких дозволено симетрією молекулярного магнетика. Ізотропна обмінна взаємодія найближчих сусідів -  $J_0$ , вважалася феромагнітною. Для даного типу симетрії було отримано аналітичні вирази для хвильових функцій та енергій всіх 16 рівнів спектру. Проведено дослідження щеплення та змішування мультиплетів сформованих лише обмінною взаємодією (двох синглетів  $M_0=0$ , трьох триплетів  $M_0=1$ , та одного квінтету  $M_0=2$ ) при урахуванні та зміні як окремих типів анізотропій так і їх різних комбінацій. Проаналізовано відхилення середньоквадратичного спіну рівнів від цілочисельних значень, що виникає завдяки змішуванню. На Рис.3.19 приведено результати такого аналізу.

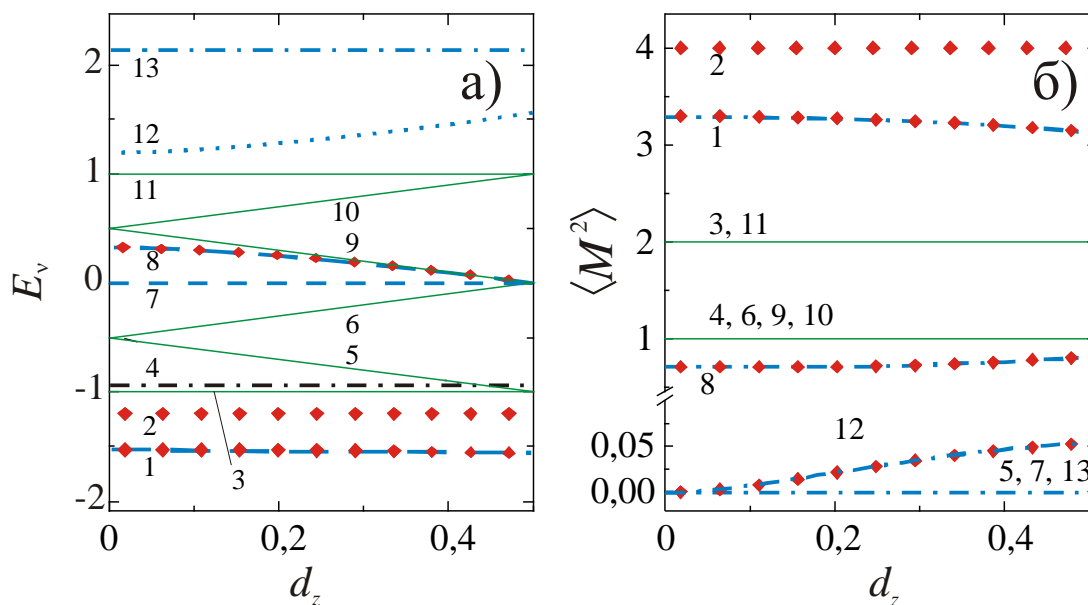


Рис.3.19. Поведінка енергетичного спектра (а) та середньоквадратичного спіна (б) чотирьох-іонного комплексу симетрії  $D_{4h}$  з  $\Lambda_{ax}=0.2$ ,  $\Lambda_{az}=0.5$ ,  $J_0=1$  в залежності від величини взаємодії Дзялошинського ( $d_z$ ). Числа на залежностях правої частини рисунку – номери рівнів на лівій. Синім кольором позначено стани з  $M_0=0$ , червоним – з  $M_0=2$ .

Розрахунки показують змішування хвильових функцій з окремих обмінних мультиплетів, у даному випадку рівнів за номерами 1 ( $M_0=2$ , обмінний квінтет), 8 ( $M_0=0$ , синглет з  $E_0=0$ ) та 12 ( $M_0=1$ , верхній обмінний триплет).

(А.В. Журавлев, ДонФТІ НАНУ)

Досліджено механізм збільшення повздовжнього зсуву електромагнітної хвилі (ефект Гуса-Хенхен) при повному внутрішньому відбитті завдяки резонансному збудженню еванесцентної хвилі з нульовим потоком енергії крізь границю розділу середовищ. Показано, що підсилення може відбуватись навіть у разі одиночного інтерфейсу прозорих середовищ.

Теоретично доведена можливість збільшення зсуву Гуса-Хенхен для хвилі ТЕ типу, що падає з оптично більш щільного прозорого середовища на поверхню легковісного антиферомагнетика (АФМ) у зовнішньому магнітному полі в геометрії Фогта. В цьому випадку на площині «частота  $\omega$  – тангенціальне хвильове число  $k_{\perp}$ » для умов максимального посилення зсуву Гуса -Хенхен  $\Delta$  має місце невзаємність відносно інверсії знака кута падіння пучка.

Запропонований механізм також може діяти і в випадку межі з оптично менш щільним псевдокіральноним середовищем. Таким середовищем може виступати центросиметричний двопідгратковий антиферомагнетик в постійному зовнішньому електричному полі  $\mathbf{E}_0$ , що колінеарне до легкої осі антиферомагнетика та нормалі  $\mathbf{n}$  до границі розділу. При цьому враховується існування квадратичної магнітооптичної взаємодії. Для розглянутого випадку можливі екстремальні значення поверхневого хвильового імпедансу для хвилі ТМ- типу або адмітансу – для ТЕ-хвилі всередині області повного внутрішнього відбивання. Локалізація параметрів, що відповідають максимуму зсуву Гуса- Хенхен  $\Delta$  на площині « $\omega - k_{\perp}$ » залежить від знаку проекції  $\mathbf{E}_0$  на нормаль  $\mathbf{n}$ , як показано на Рис.3.20. на прикладі ТМ-хвилі.

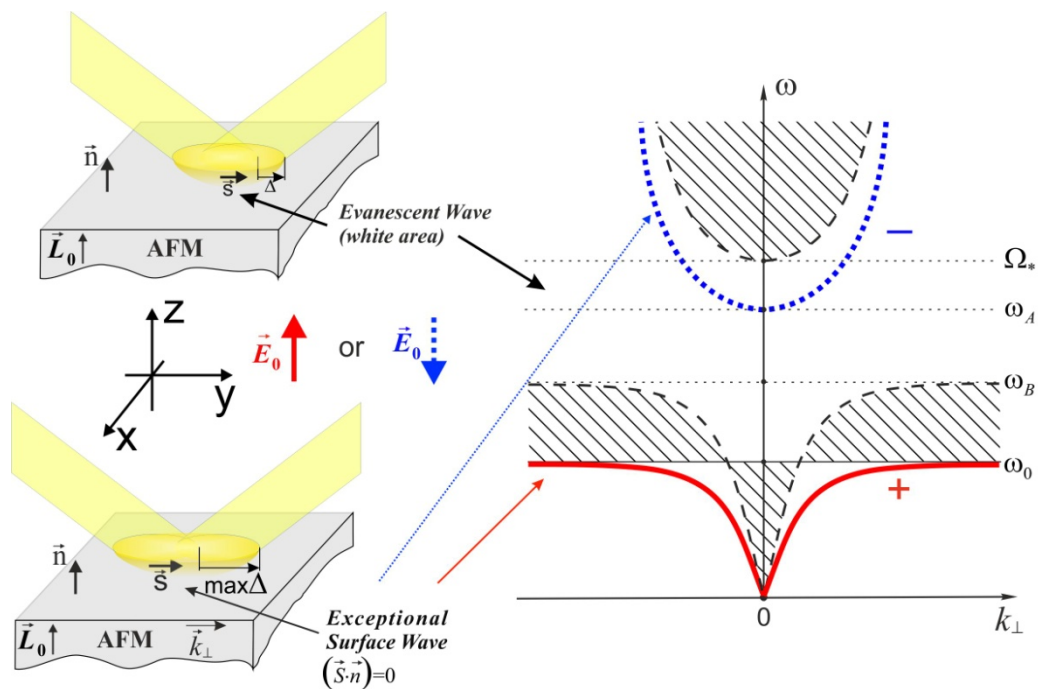


Рис.3.20. Области об'ємних (заштриховані ділянки) та еванесцентних (незаштриховані ділянки) хвиль ТМ- типу в легквісному антиферомагнетикі з  $\mathbf{E}_0 \parallel \mathbf{n} \parallel OZ$  на площині зовнішніх параметрів  $\omega - k_{\perp}$ , YZ - сагітальна площина. На точковій та суцільній лініях досягається максимальний зсув Гуса-Хенхен для пучка об'ємних хвиль ТМ типу.

(А.С. Савченко, С.В. Тарасенко, А.С. Тарасенко ДонФТІ НАНУ)



Теоретично досліджено розповсюдження гаусового пучка спінових хвиль і його відбиття від краю тонкої плівки залізо-ітрієвого гранату, який намагнічено перпендикулярно до цього краю в площині плівки, що представлено на Рис.3.21.

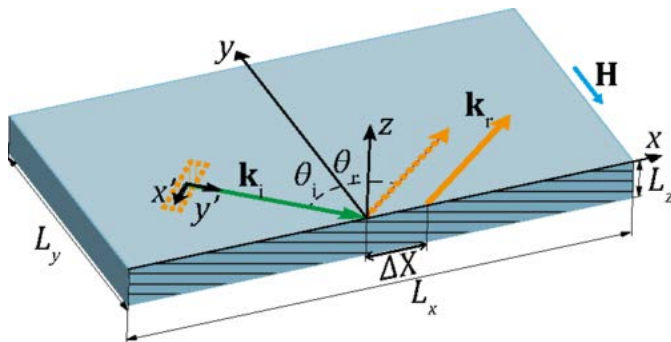


Рис.3.21.Схематичне зображення ефекту Гуса-Хенхен для спінових хвиль.

Проведено аналітичні розрахунки та мікромагнітне моделювання впливу поверхневої магнітної анізотропії на відбиття спінової хвилі, зокрема в прояву ефекту Гуса-Хенхен. Показано, що може виникати негативний бічний зсув між місцем падіння та відбиття спін-хвильових пучків. Цей зсув є особливо чутливим до поверхневої магнітної анізотропії, а його величина визначається як зсувом Гуса-Хенхен, так і впливом вигину спін-хвильового пучка. Обидва внески чутливі до величини анізотропії. Також показано, що поле розмагнічування за умови диференційованого збільшення показника заломлення для спінових хвиль відповідає за вигин гаусового пучка спінових хвиль.

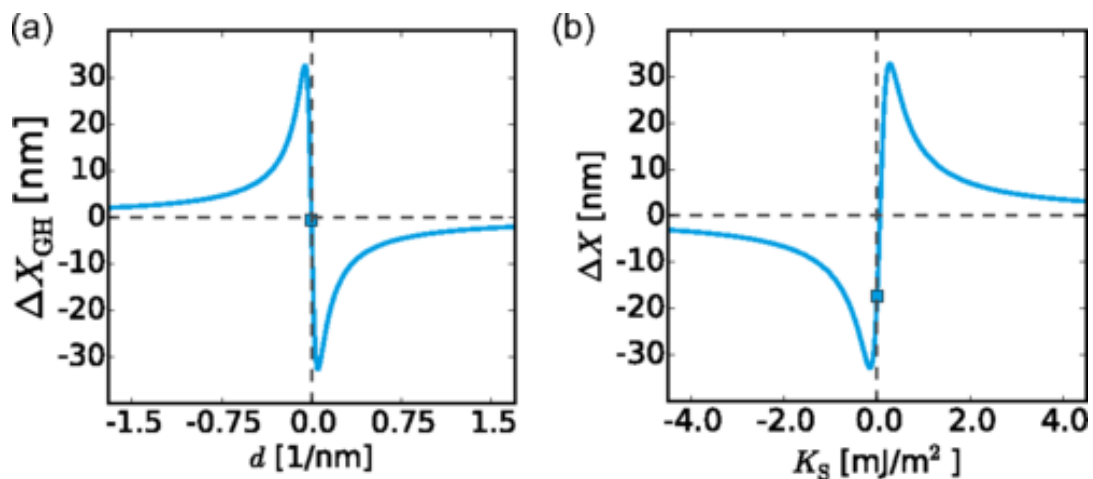


Рис.3.22. Залежності зсуву Гуса-Хенхен від параметру пінінгу (а) та поверхневої магнітної анізотропії (б).

(І.Л. Любчанський, ДонФТІ НАНУ, П. Грушецький, М. Кравчик, університет ім. Адама Міцкевича, Познань, Ю.С. Дадоевкова, Н. М. Дадоевкова, Науково-дослідний інститут технологій, УДУ, Росія, Х. Ромеро-Вівас, Центр прикладної фотоніки, технологічний інститут, Корку, Ірландія, К. Ю. Гуслієнко, Департамент фізики матеріалів, університет дель Паіс Васко, Сан-Себастьян, Іспанія)



Виявлено характерні гістерезисні властивості індукованих магнітним полем змін двопробеневого заломлення лінійно поляризованого світла в орторомбічному кристалі (група  $Pnma$ ) антиферромагнітного магнетоелектрика  $\text{LiCoPO}_4$  ( $T_N=21$  К), відомого серед сполук 3d-елементів майже рекордними значеннями сталої лінійного магнетоелектричного ефекту. Згідно даних нейтронографічних досліджень відхилення спінів іонів  $\text{Co}^{2+}$  від кристалографічної осі  $b$  не перевищують декількох градусів. Про відхилення спінів від колінарного розташування не повідомлялось.

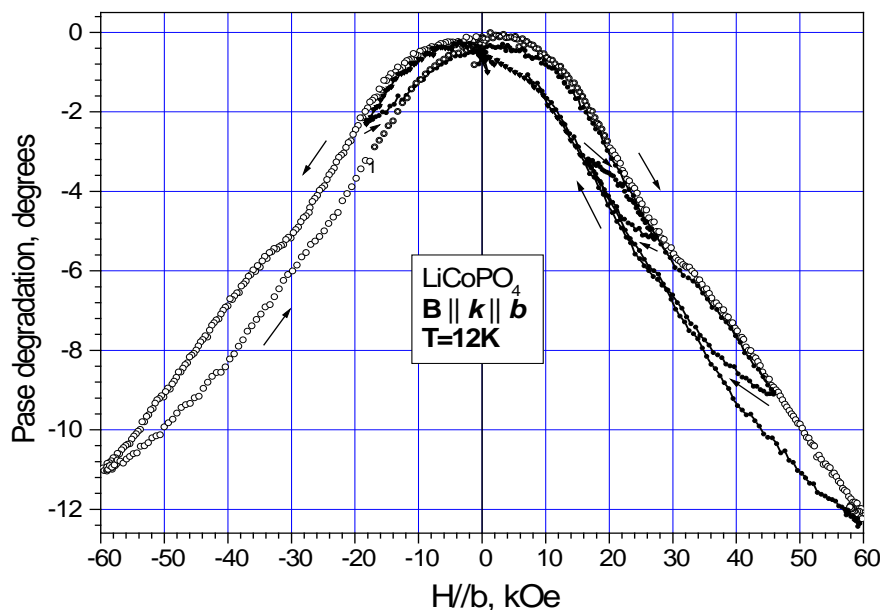


Рис.3.23. Магнітна гістерезисна поведінка величини двопробеневого заломлення лінійно поляризованого світла в кристалі  $\text{LiCoPO}_4$  при  $T=12$  К. Світло розповсюджується вздовж кристалографічної осі  $b$ , магнітне поле також паралельне цій осі. За нуль прийнята величина фазового зсуву між нормальними світловими хвилями після проходження через пластинку кристала за відсутності магнітного поля.

Особливості гістерезису: гістерезисна петля не має порогових значень напруженості магнітного поля. Незворотність залежності  $\Delta n(H)$  виявляється при всіх доступних в експерименті значеннях напруженості магнітного поля: як тільки змінюється знак зміни поля с часом, зразу ж змінюється і залежність. Локальні гістерезисні петлі мають характерний вигляд паралелограма. Подібні (глобальні) гістерезиси спостерігаються в кристалах з несумірними структурами. Їх існування спричинено специфікою механізму зміни періоду несумірних солітонних структур, достатньо сильною взаємодією солітонів з дефектами кристалічної структури та малою рухливістю дефектів кристала.

Спостереження глобального гістерезису в антиферромагнітному  $\text{LiCoPO}_4$  вказує на існування слабкої несумірної некомпланарної спінової структури. Те, що спостережений гістерезис є магнітний, вказує на магнітну природу рушійної сили для зміни періоду несумірної структури. Розгляд можливих інваріантів, які б змогли описати таку несумірність, вказує на інваріант, який дозволяє існування ферромагнітного моменту і який пропорційний

мірі неоднорідності структури. Таким чином, спостережена властивість дає можливість встановити природу надзвичайно слабкого феромагнітного моменту, що був виявлений в цьому магнетоелектрику раніше, але ще не знайшов свого пояснення.

(Ю.М. Харченко, О.В. Милославська, М.Ф. Харченко, ФТІНТ НАНУ)

За результатами вимірювань температурних залежностей намагніченості зразків системи  $\text{La}_{1-y}\text{Sm}_y\text{MnO}_{3+\delta}$  ( $0 \leq y \leq 1$ ,  $\delta \sim 0.1$ ) в магнітному полі 7 Ое була побудована магнітна ( $T$ ,  $y - \langle r_A \rangle$ ) - фазова діаграма, яка відображає еволюцію впорядкування спінів марганцю при змінах середнього ефективного радіуса А- позиції в інтервалі значень  $1.13 \text{ \AA} \leq \langle r_A \rangle \leq 1.22 \text{ \AA}$  (Рис.3.24.). В зразках з  $y \geq 0.8$  виявлені ознаки плавлення модульованих АФМ структур А- і СЕ- типу у вигляді аномального падіння критичної температури переходу у фрустрований АФМ стан і намагніченості зразків із зростанням  $y$ . У зразках з  $y = 0.85$  і  $1.0$  виявлено характерні ознаки наномасштабної надпровідності: діамagnetизм, затухаючі осциляції критичної температури фазових переходів і магнітної сприйнятливості зразків, а також захоплення магнітного потоку. Одержані результати вказують на те, що  $\text{La}_{1-y}\text{Sm}_y\text{MnO}_{3+\delta}$  має властивості багатокомпонентного надпровідного композиту, в якому при температурах  $T < 60$  К в слабких магнітних полях співіснують зарядові і АФМ кореляції з властивостями спінової рідини і існує невелика доля надпровідної фази у вигляді сітки надпровідних петель, зв'язаних слабкими тунельними джозефсоновськими контактами. Виявлені в системі  $\text{La}_{1-y}\text{Sm}_y\text{MnO}_{3+\delta}$  аномалії температурних і польових залежностей АС-діелектричної проникності пояснено у рамках існуючих уявлень про бозе-ейнштейнівську конденсацію електронно-діркової рідини у вигляді металічних крапель в екситонному діелектрику. Вперше у манганітах  $\text{La}_{1-y}\text{Sm}_y\text{MnO}_{3+\delta}$  виявлено характерні ознаки співіснування наномасштабної надпровідності і АФМ стану типу спінової рідини

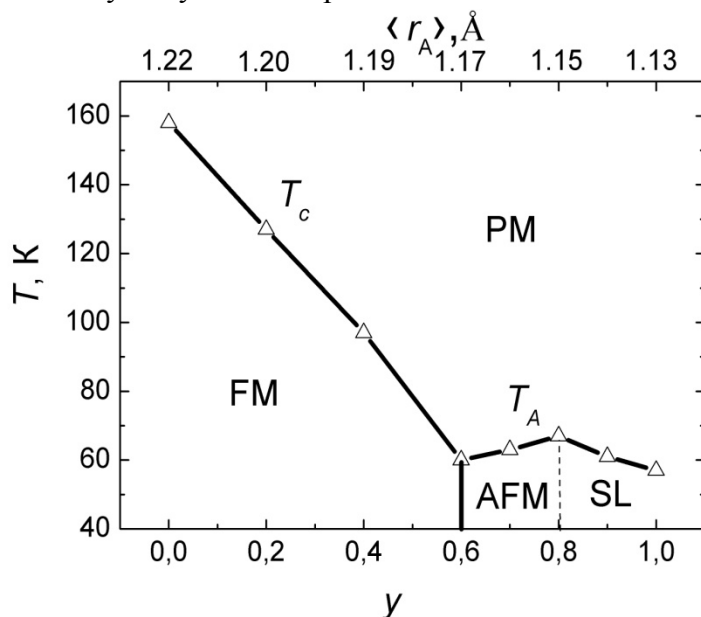


Рис.3.24. Магнітна ( $T$ ,  $y - \langle r_A \rangle$ ) - фазова діаграма системи  $\text{La}_{1-y}\text{Sm}_y\text{MnO}_{3+\delta}$  в магнітному полі 7Ое, в інтервалі температур 40 - 250К. Режим ZFC. FM – феромагнітна фаза, AFM – антиферомагнітна фаза, PM – парамагнітна фаза, SL – квантова рідина.

(Ф.М.Буханько, А.Ф.Буханько, ДонФТІ НАНУ)

## Секція «Електронні властивості твердих тіл»

Сполука FeTe належить до класу халькогенідів заліза  $\text{FeSe}_{1-x}\text{Tex}$ , які є представниками новітніх залізовмісних надпровідників. Однак, гранична сполука FeTe не виявляє очікуваних надпровідних властивостей, які спостерігалися у його ізоструктурному та ізовалентному аналогу FeSe. Навпаки, при температурах нижче 70 К відбувається перехід сполуки FeTe до антиферромагнітного (АФМ) стану з унікальною біколінеарною страйп-структурою, і цей перехід супроводжується структурними моноклінними спотвореннями.

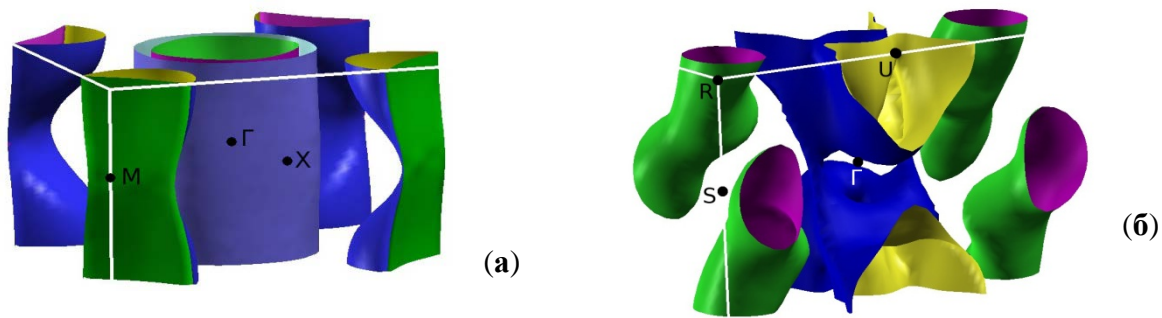


Рис.4.1. Поверхні Фермі парамагнітної (а) та біколінеарної антиферромагнітної (б) фаз сполуки FeTe

Проведений аналіз характеру хімічних зв'язків сполуки FeTe в АФМ та парамагнітній (ПМ) фазах виявив переважно металевий тип хімічного зв'язку і часткові складові ковалентних зв'язків Fe–Te та Te–Te, які сприяють стабілізації структурних спотворень FeTe за низьких температур. Встановлено, що біколінеарна АФМ структура відповідає основному стану сполуки FeTe, а розрахована величина магнітного моменту  $M_{\text{Fe}}=2.4\mu_B$  добре узгоджується з даними нейтронографічних досліджень. Встановлене виконання критерію Стонера для ПМ стану FeTe фактично пояснює виявлений раніше перехід до феромагнітної фази системи  $\text{Fe}_{1.03}\text{Te}$  при тисках вище 2 ГПа. Виявлена радикальна перебудова поверхні Фермі при переході від ПМ до АФМ стану (Рис.4.1.) може бути причиною зміни знаку коефіцієнта Холла, який експериментально спостерігався в FeTe.

(Г.Є. Гречнев, А.С. Панфілов, А.О. Легенька, І.П. Журавльова, О.В. Котляр, ФТІНТ НАНУ)

В експериментах із криогенно охолоджуваними транзисторними гетероструктурами типу GaAs/AlGaAs/InGaAs, при субмікرواتтній потужності, що розсіюється, виявлені *прямі свідчення балістичного (без розсіювання) транспорту двовимірного електронного газу (2DEG)*. Саме, дворазове перевищення електронної температури над температурою решітки ( $T_{\text{lat}}$ ) спостерігалось при прискорювальних напругах стік-джерело ( $U_{ds}$ ), на порядок більших, ніж граничні значення, обумовлені енергією теплових флуктуацій:  $eU_{ds} \gg kT_{\text{lat}}$ . Також, спостерігався виразний злам на залежності електронної температури від напруги стік-джерело при значеннях цієї напруги 30...40 мВ, що відповідає до розрахункового значення (0,03 Ев) порога активації механізму розсіювання на оптичних фонах. На основі отриманих даних

знайдені кількісні критерії вибору режиму роботи польових гетероструктурних транзисторів, як елементів підсилювачів зчитування для квантових інтерфейсів і квантових детекторів граничної чутливості.

(А.М. Корольов, В.М. Шульга, РІ НАНУ; О.Г. Турутанов, ФТІНТ НАНУ).

Вивчалися леговані азотом багатощарові вуглецеві нанотрубки (N-БШВНТ), які були синтезовані методом каталітичного пиролізу. В якості вихідної сировини для процесу синтезу використовувався ацетонітріл. Структура N-БШВНТ, що отримано було досліджено з використанням різних мікроскопічних (скануючий електронний мікроскоп, трансмісійний електронний мікроскоп з високою роздільною здатністю) і рентгенівських (рентгеноструктурний) методів. Досліджувалися змінення опору температурному діапазоні 1.6-286 К і магнітоопору у магнітних полях до 5 Тл зразків БШВНТ та леговані азотом N-БШВНТ з метою виявили впливу азоту на електронну структуру БШВНТ. Встановлено, що легування азотом БШВНТ призводить до зростання щільності делокалізованих носіїв заряду в N-БШВНТ, що у свою чергу призводить до зниження питомого опору N-БШВНТ. Це також підтверджується нашими оцінками в зміні енергії рівня Фермі N-БШВНТ. Як показали розрахунки, після легування азотом рівень Фермі зміщується у сторону валентної зони, і значення енергії Фермі збільшується в 10 разів. Зроблено оцінку коефіцієнту дифузії для БШВНТ і N-БШВНТ. Для БШВНТ і N-БШВНТ виявлено прояв ефектів слабкої локалізації і електрон-електронної взаємодії в провідності носіїв заряду при низьких температурах. Це призводить до нетипового виду температурних і польових залежностей опору, зокрема, в прояві негативного магнітоопору. На підставі досліджень, що проведено, для БШВНТ і N-БШВНТ виявлено явний вид температурної залежності часу фазової релаксації хвильової функції.

(І.Б. Беркутов, В.В. Андрієвский, Ю.Ф. Комнік, І.Г. Мірзоев, Г.Е. Гречнев, Ю.О. Колесніченко, ФТІНТ НАНУ)

На основі *ab initio* розрахунків повністю релятивістським лінійним методом МТ-орбіталей отримані результати вивчення електронної структури та рентгенівських спектрів поглинання (РСП) і магнітного циркулярного дихроїзму (РМЦД) розбавленого магнітного напівпровідника (Ti,Mn)O<sub>2</sub>. Показано, що домішкові 3d стани Mn є добре гібридизованими з 2p станами O. Густина вільних 3d станів Mn складається з двох дуже вузьких піків із слабкою Mn 3d – Ti 3d гібридизацією. Така картина говорить про корельовану природу Mn 3d станів в (Ti,Mn)O<sub>2</sub>. Теорія досить добре відтворює форму та енергетичне положення головних особливостей L<sub>2,3</sub> спектрів Mn РСП і РМЦД. Через те, що спін-орбітальне розщеплення 2p станів Ti та розщеплення кристалічним полем Ti 3d станів є одного порядку, L<sub>3</sub> і L<sub>2</sub> РСП сильно перекриваються. Чотири експериментальні піки L<sub>2,3</sub> РСП Ti в діапазоні 456-466 eV породжуються відповідно переходами 2p<sub>3/2</sub> → e<sub>g</sub>, 2p<sub>3/2</sub> → t<sub>2g</sub>, 2p<sub>1/2</sub> → e<sub>g</sub>, 2p<sub>1/2</sub> → t<sub>2g</sub>. Теорія не описує відношення L<sub>3</sub>/L<sub>2</sub> РСП Ti, що пов'язано з тим, що в теоретичній моделі не враховано

те, що в  $3d$  металах з майже вільною  $d$  зоною  $L_2$  і  $L_3$  канали поглинання сильно зв'язані кулонівською і обмінною взаємодією.

(В.М. Антонов, ІМФ НАНУ; Л.В. Бекенъов ІМФ НАНУ)

Показано, що в сильному магнітному полі в металах може відбуватися фазовий перехід першого роду при наближенні рівня Ландау до енергії Фермі електронів металу. Цей перехід обумовлений електрон-фононою взаємодією та супроводжується стрибком магнітострикції металу. Якщо в металі є декілька еквівалентних груп носіїв заряду, то при наближенні рівня Ландау до енергії Фермі, в певному інтервалі магнітних полів, може мати місце спонтанне порушення симетрії кристалу. В цьому інтервалі магнітострикція така, що групи носіїв заряду стають нееквівалентними, і рівень Ландау кожної групи перетинає енергію Фермі при деякому власному значенні магнітного поля. В цьому випадку замість одного фазового переходу першого роду має місце серія структурних фазових переходів. З подальшим ростом магнітного поля, по мірі віддалення рівня Ландау від енергії Фермі, симетрія кристалу відновлюється. Передбачений ефект в металах з декількома еквівалентними групами носіїв заряду нагадує відомий ефект Яна-Теллера, якій спостерігається в молекулярних системах і магнітних ізоляторах.

(Г.П. Микитик, Ю.В. Шарлай, ФТІНТ НАНУ)

Досліджується спектр колективних збуджень фононного типу в системі бозе-атомів у оптичній ґратці (більш загально, у системі квантових частинок, які описуються моделлю Бозе-Хаббарда). Такі збудження виникають завдяки зміщенням частинок відносно їх локальних рівноважних позицій. Використано дворівневу модель, яка приймає до уваги переходи бозонів між основним і першим збудженим станом у потенціальних ямах, а також взаємодію між ними. Розрахунки проведено у наближенні хаотичних фаз та в границі жорстких бозонів. Показано, що спектр збуджень складається у нормальній фазі з однієї зони екситонного типу, в той час як у фазі з бозе-конденсатом виникає додаткова зона. Розташування, спектральні ваги та ширини зон суттєвим чином залежать від хімічного потенціалу бозонів та температури. Обговорюються умови стійкості системи відносно зниження симетрії та модуляції зміщень.

(О.В. Величко, І.В. Стасюк, О.В. Воробйов, ІФКС НАНУ)

З допомогою методу нерівноважного статистичного оператора Зубарева запропоновано підхід для опису процесів переносу для квантової бозе-системи при наявності бозе-конденсату. Введено додаткові параметри скороченого опису, які описують динаміку конденсату у системі. Побудовано нерівноважний статистичний оператор з використанням якого виведено квантові рівняння переносу для параметрів опису. Розглянуто слабोरівноважний випадок, для якого отримано відповідні рівняння переносу та систему рівнянь для часових кореляційних функцій, що описує немарковські процеси.

(Глушак П.А., Токарчук М.В., ІФКС НАНУ)

Вивчено властивості основного стану, отримано точний розв'язок і досліджено процес намагнічення спін-(1,1/2) ромбічного ланцюжка Ізинга-Гайзенберга з одноіонною анізотропією та біквдратичною взаємодією. Встановлено, що біквдратична взаємодія зумовлює появу трьох нових основних станів і, відповідно до цього, появу в польовій залежності намагніченості додаткових плато — 1/4 та 3/4 від насичення.

(Б.Лісний, ІФКС НАНУ)

Точно розв'язний спін-1/2 ромбічний геометрично фрустрований ланцюжок Ізинга-Гайзенберга узагальнено додаванням до взаємодії Ізинга малої XY взаємодії, яку далі враховано шляхом побудови ефективного гамільтоніану за допомогою багаточастинкової теорії збурень. Отриманий ефективний гамільтоніан являє собою гамільтоніан простого ланцюжка з XXZ взаємодією Гайзенберга, але описує низькотемпературну поведінку квантової версії вихідної моделі. Показано, що додавання XY взаємодії призводить до появи фази спінової рідини, в якій польова залежність намагніченості змінюється неперервно, між ферромагнітною фазою з намагніченістю 1/3 і повністю намагніченою фазою, що межують у випадку вихідної моделі. Розроблений підхід може бути застосований для квантового узагальнення інших гібридних систем, подібних до розглянутої системи Ізинга-Гайзенберга.

(Б.Лісний, О.Крупницька, О.Держко, ІФКС НАНУ)

Розглянуто термоелектричні ефекти в металевих одношарових вуглецевих нанотрубках у присутності далекодіючих електростатичного та псевдомагнітного потенціалів, створених механічною напругою. Показано, що для сильних потенціалів розсіювання (хіральне тунелювання) в залежності коефіцієнта проходження від енергії виникає виражена енергетична «щілина». Це призводить до сильного порушення закону Відемана – Франца та до піків у залежності термо-е.р.с. від хімічного потенціалу. Розрахована електронна термоелектрична ефективність (ZT) та показано, що вона за низьких температур чутлива до хіральності нанотрубки. Змінюючи величину хімічного потенціалу, можна досягти великих значень ZT (~5). Це робить термопару на основі спеціально створеної нанотрубки багатообіцяючим нанопристроєм з високою термоелектричною ефективністю.

(І.В.Криве, ФТІНТ НАНУ)

Вперше проведено експериментальне дослідження електроопору полікристала магнітного надпровідника  $\text{Dy}_{0.6}\text{Y}_{0.4}\text{Rh}_{3.85}\text{Ru}_{0.15}\text{B}_4$  поблизу температури надпровідного переходу ( $T_{c1/2} \approx 6,66$  K) в магнітних полях різної орієнтації ( $\varphi = 0^\circ, 45^\circ$  и  $90^\circ$ ) відносно напрямку транспортного струму та отримані залежності  $R(T)$  (Рис.4.2.) і верхнього критичного поля у приведених одиницях  $h^*(t)$  (де  $t = T/T_c$ ) (Рис.4.3.).

Аналіз одержаних результатів показує, що магнітне поле більш ефективно пригнічує надпровідний стан при  $\varphi = 45^\circ$ . Для пояснення цього було проведено аналіз отриманих залежностей  $H_{c2}(T)$  в рамках теорії Вертхамера-Гельфанда-Хохенберга (ВГХ) та визначено значення параметра Макі -  $\alpha$  та параметра спін-орбітального розсіювання -  $\lambda_{so}$ . Виявлено, що в дослідженому зразку присутній тільки орбітальний внесок ( $\alpha = 0$ ), а для  $\varphi = 45^\circ$  -  $\alpha = 4,2$ ,  $\lambda_{so} = 0$  спостерігається суттєве зростання відносного внеску спінових парамагнітних ефектів.



Приймаючи це до уваги, було висловлено припущення, про те, що характер залежностей  $R(T)$  та  $h^*(t)$  у магнітних полях різної орієнтації обумовлений впливом на надпровідний стан магнетизму атомів диспрозію, який залежить від нахилу поля.

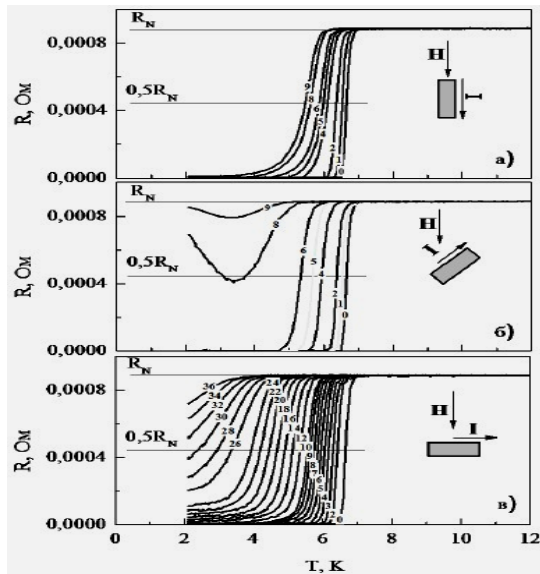


Рис.4.2. Температурні залежності електроопору для трьох орієнтацій магнітного поля відносно напрямку транспортного струму ( $\varphi = 0^\circ$ ,  $I \parallel H$  (а);  $\varphi = 45^\circ$  (б);  $\varphi = 90^\circ$   $I \perp H$  (в)) в магнітних полях  $0 \div 9$  кЕ для  $\varphi = 0^\circ$  (а),  $\varphi = 45^\circ$  (б) та  $0 \div 36$  кЕ для  $\varphi = 90^\circ$  (в).

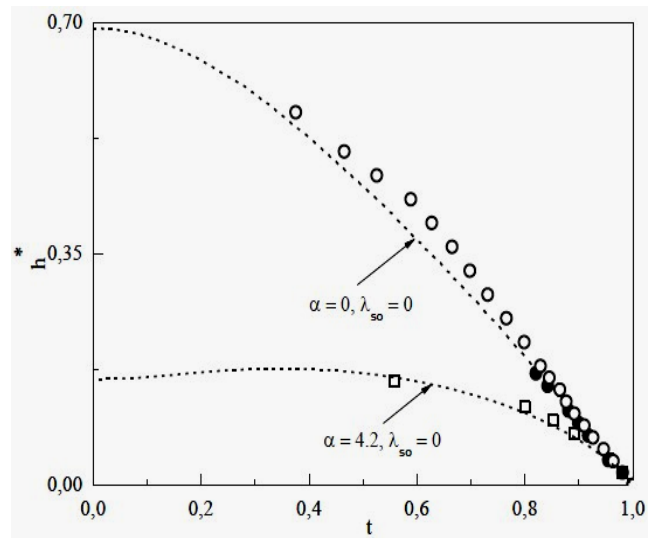


Рис.4.3. Залежності приведенного верхнього критичного магнітного поля  $h^*$  від приведеної температури  $t = T/T_c$  для  $\varphi = 0^\circ$  (●),  $\varphi = 45^\circ$  (□) та  $\varphi = 90^\circ$  (○). Пунктиром представлені криві, які одержані в рамках ВГХ - теорії.

(А.В. Терехов, І.В. Золочевський, Є.В. Христенко, Л.О. Іщенко, Є.В.Безуглий, ФТІНТ НАНУ; А. Залеський, ІНТіСД ПАН; Є.П. Хлибов, ІФВТ РАН; С.А. Лаченков, ІМіМ РАН)



## Секція «Фізика молекулярних кристалів»

Вперше пояснена природа гігантських змін спектрів фосфоресценції орто-бромбензофенону з ростом температури від 1,5 до 300 К. Квантово-механічні розрахунки показали, що це явище відбувається завдяки незвичним особливостям енергетичного стану молекул речовини, завдяки чому досить легко відбуваються конфірмаційні зміни навіть при низьких температурах, а при температурах вище 70 К у збуджених молекул з'являється можливість утворювати нові довгоіснуючі димолекулярні стани – триплетні ексимери.

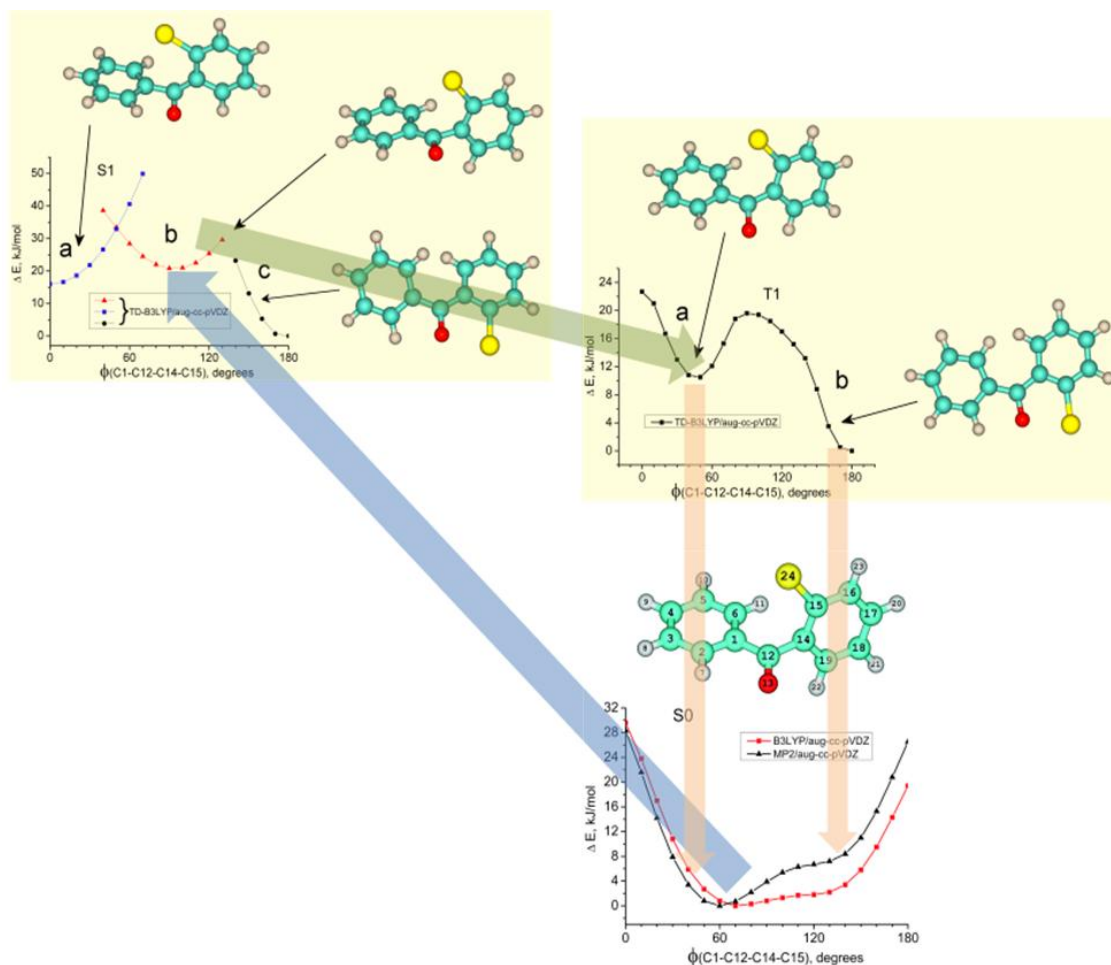


Рис.5.1. Збудження (сіро-блакитна стрілка) переводить молекулу до синглетного стану  $S_1$ , відкля молекула досить швидко переходить (зеленкувата стрілка) до триплетного рівня  $T_1$ , з якого власно й відбувається (дві рожеві стрілки) порівняно повільне висвітлення до основного стану  $S_0$ . Стан  $T_1$  має два мінімуми, які є розділені досить невисоким бар'єром. При низьких температурах (менше 70 К) випромінювання відбувається з лівої вищої потенціальної ями. Підвищення температури дає можливість молекулі подолати бар'єр, що призводить до значного зниження частоти випромінювання.

(М.О. Стржемечний, С.Г. Степаньян, О.С. Пишкін, Л.М. Буравцева, Д.І. Злоба, ФГІНТ НАНУ; Ю.П. Пирятинський, В.І. Мельник, Г.В. Клишевич, Інститут фізики НАНУ, Л. Адамович, Університет штату Арізона, США).

Електронографічним методом досліджено концентраційний та енергетичний вплив азоту на характер і динаміку фазових перетворень у бінарних кластерах, сформованих у надзвукових струменях газових сумішей аргону та азоту. Проаналізовано залежність вмісту компонент у кластерах від розміру кластерів і складу газової суміші. Отримані результати є необхідним етапом досліджень трикомпонентних гетерогенних кластерів, зокрема, впливу азоту як третьої компоненти на структуру і субструктуру кластерів.

(О.Г. Данильченко, С.І. Коваленко, О.П. Конотоп, В.М. Самоваров, ФТІНТ НАНУ)

Запропоновано новий підхід для кількісного аналізу спектрів катодолюмінесценції вільних кластерів аргону, що формуються у надзвуковому струмені. За його допомогою з'ясовано вплив розміру кластерів на інтегральні інтенсивності смуг випромінювання нейтральних та заряджених ексимерних комплексів аргону. Показано, що розмірні залежності інтенсивностей ексимерних смуг є чутливими до структури кластерів.

(Ю.С. Доронін, В.Л. Вакула, Г.В. Камарчук, Г.О. Ткаченко, В.М. Самоваров, ФТІНТ НАНУ)

Досліджено ізохорну теплопровідність твердого 1-пропанолу в «високотемпературній» орієнтаційно впорядкованій фазі I на зразках з різними молярними об'ємами в інтервалі температур від 110 К і до початку плавлення. Виявлено, що теплопровідність зменшується з температурою по залежності значно слабшою ніж  $1/T$  для всіх зразків. Показано, що як і в випадку ізобарних досліджень теплопровідності її поведінка може бути описана залежністю  $\kappa=A/T+C$ , але коефіцієнти  $A$  і  $C$  суттєво відрізняються:  $A=21,6$  W/m;  $B=0,1$  W/m $\times$ K в ізобарних дослідженнях і  $A=13$  W/m;  $B=0,19$  W/m $\times$ K в ізохорних. Визначено коефіцієнт Бриджмена, що характеризує ступінь залежності теплопровідності від молярного об'єму:  $g=4.2\pm 0.5$  при 148 К. Проведено розрахунки вкладів фононів і дифузних мод у теплопровідність рамках дебаєвської моделі з урахуванням того, що довжина вільного пробігу фонона не может стати меншою половини довжини його хвилі.

(В.О. Константинов, В.П. Ревякін, В.В. Саган, А.В. Карачевцева, ФТІНТ НАНУ)

Виміряно теплопровідність орієнтаційно впорядкованого кристала третбутанолу в області температур 4–150 К при рівноважній пружності пари. Проведено аналіз літературних даних по теплопровідності ряду орієнтаційно впорядкованих молекулярних кристалів у високотемпературній області. Показано, що теплопровідність може бути описана як сума двох вкладів: від фононів, що розповсюджуються, і локалізованих «дифузних» мод. У загальному випадку внесок локалізованих «дифузних» мод обернено пропорційно залежить від числа  $Z$  молекул в елементарній комірниці і не залежить від температури. Висловлено припущення, що основний фактор, який впливає на теплоперенос в молекулярному кристалі, є сильна гібридизація акустичних фононів та низькочастотних оптичних збуджень фононів впорядкованого кристала.

(О.І. Кривчіков, О.О. Королюк, О.О. Романцова, Г.О. Вдовиченко, Ю.В. Горбатенко, ФТІНТ НАНУ)

Для отриманих шляхом керованого термічного відновлення зразків оксиду графена визначені оптимальні з точки зору сорбційних властивостей критичні температури ексфоліації та наступного видалення кисневмісних груп. Максимальні значення кількості сорбованих домішок спостерігалися для відновлених при 300 і 900°C зразків. Показано, що термічна обробка при 300°C приводить до розшарування оксиду графена, що підвищує його сорбційну спроможність у 40 разів порівняно з вихідним оксидом графіту. Термічне відновлення при температурі 900°C також збільшує у 50 разів сорбційну ємність оксиду графена за рахунок утворення множинних дефектів вуглецевих поверхонь при вилученні кисневмісних груп. Досліджені зразки термічно відновленого оксиду графена є ефективними сорбентами і придатні для застосування у біології та медицині, оскільки, на відміну від хімічно відновлених, не містять токсичних речовин та розчинників.

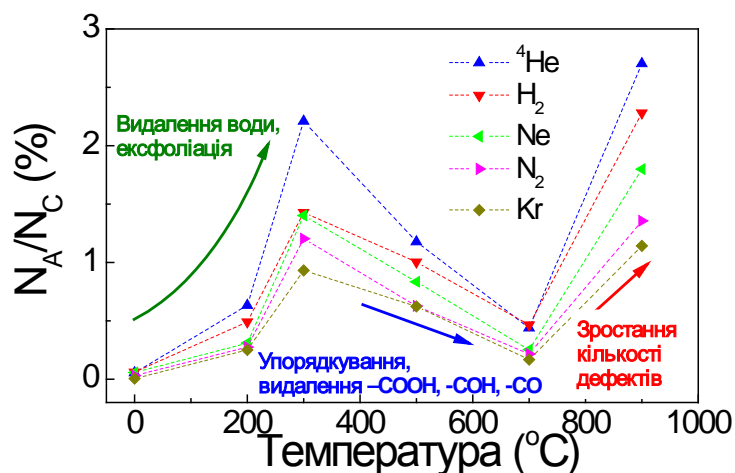


Рис.5.2. Залежність відносної кількості сорбованих домішок від температури відновлення оксиду графена.

(О.В. Долбин, В.Б. Єсельсон, В.Г. Гаврилко, М.А. Вінніков, Р.М. Баснукаєва, М.В. Хлистюк, ФТІНТ НАНУ)

Твердий азот отримав загальне визнання як модельний молекулярний кристал. Інтерес до кристалів азоту пов'язаний з перспективою їх застосування як матеріалів з рекордними показниками запасеної енергії, а також як модераторів та детекторів ядерних випромінювань. Розроблено низькотемпературну методику формування поліазотістих сполук, що являють собою базу для створення полімерного азоту. Методика заснована на опромінюванні плівок азоту повільними електронами з моніторингом радіаційно-стимульованих продуктів з допомогою комплексної емісійної спектроскопії. Одночасно реєструються емісії фотонів, електронів, іонів та нейтральних часток. Виявлено широке коло трьохатомних та чотирьохатомних сполук. Вперше поряд з позитивно зарядженими наночастками  $\text{N}_4^+$  та  $\text{N}_3^+$  зареєстровано негативно заряджені сполуки  $\text{N}_3^-$ .

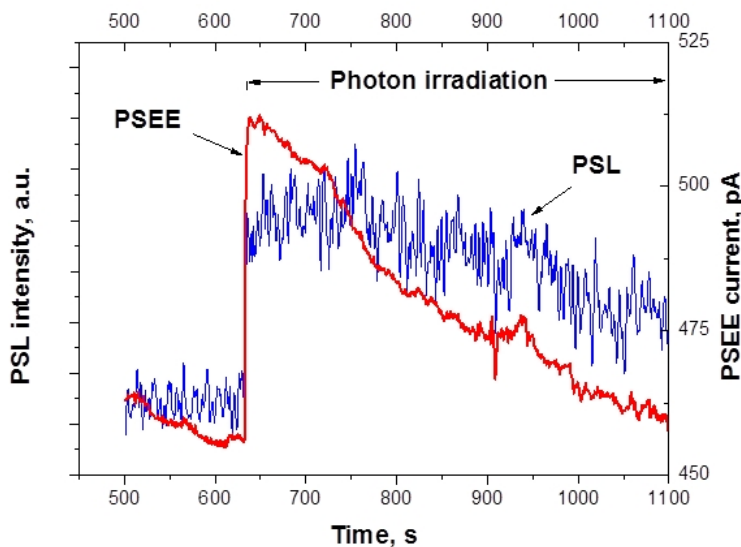


Рис.5.3. Оптично стимульовані емісії фотонів (PSL) та електронів (PSEE). Емісія фотонів з'являється у ході реакції нейтралізації:  $N_4^+ + e^- \rightarrow N_4^* \rightarrow N_2^*(a' \ ^1\Sigma_u^-) + N_2^*(a' \ ^1\Sigma_u^-) + \Delta E_1$ , а емісія електронів у результаті відриву електронів від  $N_3^-$  сполук.

Аналіз термічно та оптично стимульованих реакцій створених сполук визначив області їх стабільності, канали формування та релаксації.

Одержана інформація становить особливий інтерес не тільки для розробки матеріалів майбутнього на основі поліазотистих сполук, а й для астрофізики та забезпечення належної роботи космічних апаратів і прискорювачів частинок високої енергії.

(О.В. Савченко, І.В. Хижний, С.О. Уютнов, М.О. Блудов, А.П. Барабашов, ФТІНТ НАНУ)

Конформаційні властивості та релаксація екситонного стану плівок та нанокompatитів  $\pi$ -спряженого полімеру полі(метілфенілсилану) ПМФС досліджено в широкому інтервалі температур 10-320 К за допомогою фемтосекундної часороздільної спектроскопії. Відомо, що полімер ПМФС має аморфну структуру і в ньому не спостерігається транс-гош-термохромний перехід, що характерний для інших квазікристалічних полісиланів. Ці дослідження дозволили вперше виявити наявність упорядкованої конформації в ПМФС. Спектр флуоресценції ПМФС складається з екситонної смуги в УФ області та смуги в видимій області. Дослідження з затримкою в часі при різних температурах дозволили вперше виявити дублетну структуру екситонної смуги в плівках ПМФС, нанокompatитах та розчині полімеру в толуолі. Ми відносимо цю структуру до гош-і транс-конформацій полімерного ланцюга. Інтенсивність довгохвильової компоненти екситонної смуги, що пов'язана з транс-конформацією, збільшується зі збільшенням температури. Це свідчить про те, що заселення цього стану відбувається термоактивовано. Суттєвий зсув довгохвильової компоненти відносно короткохвильової зі збільшенням температури підтверджує, що ця компонента пов'язана з переходами з довгих сегментів полімерного ланцюга, що мають меншу енергію, більшу ступінь делокалізації та відповідно більшу ефективність флуоресценції. Поява структури в спектрах флуоресценції нанокompatитів залежить від діаметра нанопор, куди введений полімер. Вона не спостерігається, коли діаметр пор 2.8 нм і в порі знаходиться 1-2 полімерних ланцюги, в результаті обмеження дифузії екситонів.

(Н.І. Остапенко, ІФ НАНУ)

Проведено експериментальні та теоретичні дослідження в галузі фотоніки конденсованих середовищ та біофотоніки в оптичному та рентгенівському діапазонах енергій. Результати досліджень мають як фундаментальне, так і прикладне значення, зокрема можуть бути використані для розробки малоенергозатратних джерел світла, в медицині (фотодинамічній та ін.), створенні сенсорів, в тому числі в рентгенівському діапазоні. Більшість результатів можуть бути віднесені до тематики з подвійним застосуванням.

1. Створено ряд органічних композитів “полімер/барвник” з реалізованим механізмом передачі енергії збудження від матриці до барвника, зокрема зі спектром випромінювання близьким до білого світла. Досліджені процеси перенесення синглетного та триплетного збудження у таких системах. Створено експериментальні макети електролюмінесцентних систем “полімер/барвник”.

2. Розроблені способи та пристрої для приготування водних розчинників барвників-сенсibilізаторів синглетного кисню перспективних для фотодинамічної терапії. Виявлена залежність форми спектру поглинання водних розчинів барвників від величини окисно-відновлювального потенціалу води.

3. Виготовлені водні екстракти гіперцину – барвника сенсibilізатора синглетного кисню природного походження із звіробою, прополісу та інших важкорозчинюваних у воді речовин, які застосовуються у апітерапії.

4. Продемонстровано можливість оптичного запису і стирання інформації в композитному матеріалі, що складається з сферичних наночастинок міді в матриці – діоксиді кремнію ( $\text{SiO}_2$ : Cu), приготованому за допомогою модифікованого золь-гель методу.

5. Проведено класифікацію точкових та просторових груп магнітної симетрії та визначено правила відбору для оптичних переходів в групах магнітної симетрії, що є теоретичною основою для розробки пристроїв спінтроніки.

6. Встановлено особливості формування нанокластерної структури частково впорядкованих рідин з міжмолекулярним водневим зв'язком.

7. Закінчено розробку основ кінетичної теорії люмінесценції та провідності напівпровідників та діелектриків, що дозволяє цілеспрямовано створювати нові детектори іонізуючого випромінювання для різних напрямків застосування. Розроблено напівпровідниковий детектор іонізуючого випромінювання, з більш ефективним поглинанням  $\gamma$ -квантів, який працює при температурах до  $100^\circ\text{C}$ .

(В.М. Ящук, І.М. Дмитрук, О.В. Слободянюк, В.Є. Погорелов, В.Я. Дегода, КНУ ім. Тараса Шевченка)

## Секція «Низькотемпературне матеріалознавство та кріогенна техніка»

### Кріогенна техніка

Наукові дослідження і розробки у галузі кріогенної техніки у 2015 році проводилися в основному у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАНУ, ННЦ "Харківський фізико-технічний інститут" і в ТОВ "Інститут низькотемпературних енерготехнологій" (ІНЭ, м. Одеса).

Група співробітників ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАНУ під керівництвом д.т.н. С.І. Бондаренка приймала участь у виконанні Міжнародного проекту Китаю "Високотемпературний магнітний сепаратор руди". В 2015 році спільно з китайськими вченими Чунцинської Академії Науки та Технології (м. Чунцин) розроблен ескізний проект першого у Китаю сепаратору з магнітом на основі високотемпературного надпровідника. Сепаратор розраховано на очистку від магнітних домішок 26 тон каолінової суміші за годину.

Також у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАНУ під керівництвом к.ф.-м.н. В.О. Лотоцької продовжується і удосконалюється експлуатація кріогенного устаткування, що дозволяє проводити випробування матеріалів під впливом 8 факторів навколоземного космічного простору (ФКП). Основою устаткування є унікальний комплексний імітатор факторів космічного простору (КІФК), який дозволяє також досліджувати вплив імітованих ФКП на окремі елементи конструкцій космічних апаратів, прилади і наносупутники.

У відділі надпровідних і мезоскопічних структур ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАНУ, який очолює чл.-кор. НАНУ О.М. Омелянчук, ведуться розробки гелієвих радіопрозорих кріостатів, що забезпечують роботу надпровідних квантових магнітометрів. Розробки захищені патентом України 2015 року.

У ННЦ ХФТІ під керівництвом д.т.н. В.Б. Юферова для розвитку плазмових методів переробки відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) проводилися дослідження з сепарації іонів різних мас у плазмі, що обертається в схрещених електричному і магнітному полях. Попередні імітаційні експерименти проводилися на демонстраційно-імітаційному сепараторі "ДС-1". Експерименти ведуться на нерадіоактивних імітаційних середовищах, співпадаючих з ВЯП за низкою параметрів. Оцінена продуктивність установки. Для проведення комплексних вимірювань в імітаційній окисній плазмі запропоновано принципове рішення системи магнітоплазмової сепарації газометалевих сумішей, що імітують ВЯП, та розроблено ескізний проект установки. Вакуум-плазмова розрядна камера розміщена вертикально в повздовжньому магнітному полі заданої конфігурації зі значеннями магнітного поля від 3-5 Тл в області плазмового джерела (ПД) до 0.1 Тл в області сепарації. Магнітне поле 3-5 Тл забезпечується надпровідними соленоїдами в області ПД з "теплим" отвором діаметром ~60 см та довжиною ~70 см. Матеріал надпровідника – сплав НТ-50, частково стабілізований, з густиною струма до  $8 \cdot 10^4 \text{ А/см}^2$ . Соленоїди, що створюють стаціонарне магнітне поле, працюють в замкнутому режимі з метою зменшення теплопритоку. Розподіл магнітного поля дозволяє отримати потік плазми, що йде в одну сторону, забезпечити отримання



беззіштовхувальної плазми в області сепарації, знизити потік нейтральних молекул в зіштовхувальній плазмі ПД на стінки до величин, значно менших 1%. Магнітна система має ВТНП токовводи, та передбачена теплова суперізоляція корпусу соленоїда. Вакуум в області розрядної камери забезпечується системою гелієвих конденсаційних і турбомолекулярних насосів.

(В.Б. Юферов, В.О. Ільчова, С.В. Шарий, В.В. Катречко, О.С. Свічкарь, Т.І. Ткачова, М.О. Швець, ННЦ ХФТІ НАНУ)

У ТОВ "Інститут низькотемпературних енерготехнологій", яке входить до складу Східноєвропейської асоціації виробників технічних газів "СІГМА" під керівництвом д.т.н. Г.К. Лавренченка ведуться роботи у таких напрямках:

- Створено ряд ефективних детандер-компресорних агрегатів (ДКА) для криогенних повітророзподільних установок (ПРУ) середньої продуктивності. ПРУ цього типу на території СНД випускаються тільки в Україні. ДКА створені на базі високошвидкісних турборедукторів. Вони мають досить високий ККД. Це дозволило нам вирішити оптимізаційні задачі і, як результат, розробити багатопродуктивну і багаторежимну ПРУ середньої продуктивності з використанням тільки машин динамічного принципу дії: відцентрового компресора, відцентрових і доцентрових ступенів ДКА. Ці роботи тривають з метою створення високоефективних зріджувачів природного газу на базі ДКА.  
(Г.К. Лавренченко, О.В. Плесной).
- Продовжилися роботи зі створення та оптимізації характеристик систем регазифікації зрідженого припордного газу (ЗПГ). Розроблені багатоконтурні схеми регазифікації дозволяють ефективно використовувати ексергію ЗПГ. Наприклад, з урахуванням планованих показників морського терміналу для прийому ЗПГ можна буде в результаті регазифікації подавати 10 млрд.м<sup>3</sup>/рік природного газу з тиском 9 МПа в магістральний газопровід і видавати зовнішньому споживачеві ще 55 МВт електричної потужності.  
(Г.К. Лавренченко, О.В. Копитін).

## **Низькотемпературне матеріалознавство**

Наукові дослідження і розробки у області низькотемпературного матеріалознавства у 2015 році проводилися в основному у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАНУ та Інституті проблем матеріалознавства (ІПМ) ім. Францевича.

У звітний період у відділі фізики реальних кристалів ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України під керівництвом д.ф.-м. н. П.П.Паль-Валя було проведено дослідження механізмів пружної та непружної деформації сильнофрагментованих нанокристалічних (НК), наноструктурних (НС) та ультрадрібнозернистих (УДЗ) металів і сплавів в інтервалі низьких та наднизьких температур 0.5 – 320 К.

Встановлено, що низькотемпературні механічні властивості наноструктурного цирконію (розмір зерен 80-200 нм) визначаються станом границь зерен та вмістом домішок впровадження. Показано, що оптимальне поєднання високої міцності та пластичності досягається у НС цирконії з низькоенергетичними границями при наявності двійникових границь як додаткових бар'єрів для руху дислокацій. Виявлено, що деформаційне зміцнення є суттєво вищим у НС цирконії з низькою концентрацією домішок впровадження, а для цирконію з більшою концентрацією домішок характерні високі значення межі плинності та низьке деформаційне зміцнення.

(О.Д. Табачнікова, О.В. Подольський, ФТІНТ НАНУ).

Визначено структурний стан НК титану та температурно-деформаційні умови його формування. Встановлено, що поєднання процесів кріомеханічної фрагментації зерна та відпалу забезпечують оптимальну комбінацію високої міцності та достатньої пластичності. Вперше показано, що фізичними механізмами підвищення пластичності є деформаційна нестабільність бімодального НК стану та активізація у ньому механічного двійникування.

(В.А. Москаленко, О.Р. Смірнов, Р.В. Смолянець, ФТІНТ НАНУ).

У сплаві Ni-20% Fe (пермалой) в інтервалі температур 300-4,2 К виявлено істотне (~ 50%) збільшення межі плинності і міцності при збереженні достатньо високої пластичності при переході від ГЗ стану ( $d \sim 35$  мкм) до НК стану ( $d \sim 25$  нм). Встановлені фізичні механізми низькотемпературної пластичності сплаву в різних структурних станах, що дозволило пояснити аномально велику межу плинності сплаву у НК стані.

(О.Д. Табачнікова, О.В. Подольський, С.М. Смірнов, І.А. Псарук, ФТІНТ НАНУ)

Встановлено, що завдяки відсутності суттєвого деформаційного зміцнення мікротвердість деформованого при низьких температурах НК титану VT1-0 (розмір зерна 35-40 нм) практично не залежить від деформації. Це свідчить про стійкість мікроструктури НК титану по відношенню до механічних навантажень, що є важливим для практичного застосування цього матеріалу.

(Г.В. Русакова, С.В. Лубенець, Л.С. Фоменко, В.А. Москаленко, О.Р. Смірнов, ФТІНТ НАНУ).

Встановлено, що зміна щільності границь зерен і дислокацій істотно впливає на швидкість деформаційного зміцнення полікристалів. Показано, що внесок поперечного ковзання гвинтових дислокацій істотно залежить від мікроструктури та виграє визначальну роль у зміцненні алюмінієвих сплавів. Збільшення коефіцієнта зміцнення УМЗ зразків при 0,5-4,2 К може бути пов'язано з різною активністю моди стрибкоподібної деформації, сильніше розвиненою в УМЗ структурі.

(С.Е. Шумілін, Т.А. Григорова, П.А. Забродін, В.Г. Гейдаров, ФТІНТ НАНУ).

Розроблено метод статистичного опису дислокаційної складової низькотемпературного внутрішнього тертя у НС та УДЗ полікристалах з великою густиною внутрішньозерних і зернограничних дислокацій, лінії яких розділені на фрагменти нанометрового масштабу (дислокаційні релаксатори) з випадковими геометричними і енергетичними характеристиками. Розглянуто резонансну взаємодію пружних коливань з термічно активованими збудженнями таких релаксаторів та проаналізовано обумовлені ними піки на температурній залежності внутрішнього тертя. Показано, що в умовах низьких температур форма піків і область їх локалізації на осі температур визначаються переважно дисперсією енергії активації релаксаторів. Сформульовано алгоритм аналізу піків внутрішнього тертя, що реєструються в експерименті, котрий дозволяє ідентифікувати фізичну модель відповідного релаксатора і одержати емпіричні оцінки його параметрів.

(В.Д. Нацик, Ю.О. Семеренко, ФТІНТ НАНУ).

Загалом, у звітний період були одержані важливі наукові результати, які, безсумнівно, сприятимуть зростанню науково-технічного потенціалу України в галузі низькотемпературного матеріалознавства. Досліджені об'єкти є перспективними конструкційними матеріалами, і з огляду на це, одержані результати можуть бути використані в різних галузях промисловості (у ядерній енергетиці, аерокосмічній та медико-біологічній техніці, кріогенному приладобудуванні, та ін.) при інженерно-технічних розробках. Вони можуть бути корисними при підготовці лекцій, підручників та учбових посібників для вищих навчальних закладів.

У відділі низькотемпературного та космічного матеріалознавства ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАНУ, яким керує к.ф.-м.н. В.О. Лотоцька, в період з 04.2014 р. по 09.2015 р. виконувалась науково-дослідна робота «Визначення основних фізико-механічних характеристик матеріалів при знижених температурах» за договором з ДП «КБ «Південне».

В рамках цієї роботи було експериментально визначено експлуатаційні характеристики при знижених температурах декількох вуглепластиків для підтвердження гарантованого рівня характеристик матеріалів космічного апарату. Характеристики було визначено у різних напрямках: уздовж і поперек волокон в односпрямованих та ортогонально армованих композитах. Зокрема, при температурах  $-40$  і  $+20^{\circ}\text{C}$  встановлено значення напруги руйнування й відносного подовження при одноосьовому розтяганні та стиску, значення динамічних модулів Юнга і зсуву та ударної в'язкості. Визначено значення об'ємного питомого електроопору вуглепластиків при кімнатній температурі. Установлено значення діелектричної проникності та тангенсу кута діелектричних втрат вуглепластиків з покриттям із склопластику в діапазоні частот  $1$  кГц- $9,2$  гГц при кімнатній температурі. Обмірювана температурна залежність коефіцієнта теплового лінійного розширення в інтервалі температур  $210$ - $293$  К.

Згідно листа Президії НАНУ №240/2004-8 від 25.11.15 р. щодо створення багатотомної історії ракетно-космічної науки, техніки і промисловості України підготовлено інформацію про внесок ФТІНТ НАНУ у ракетно-космічну справу, конкретно, огляд розробок польотного

та наземного імітаційного устаткування космічного призначення, що були завершені, біографічні довідки про вчених, що зробили цей внесок.

Проводилася підготовка до виконання науково-дослідної роботи «Експериментально-теоретичне підтвердження збереження функціональних властивостей матеріалів каркасів сонячних батарей та каркасів екрану підсистеми терморегулювання КА «Січ-2-1» після випробувань на стійкість до впливу факторів космічного простору». В рамках цієї роботи буде визначено стійкість елементів конструкцій КА «Січ-2-1» до впливу наступних факторів космічного простору (ФКП): вакуум; електромагнітне випромінювання Сонця, включаючи вакуумний ультрафіолет; корпускулярне випромінювання (електрони і протони навколземного простору); циклічні зміни температур в інтервалі  $-100\dots+100^{\circ}\text{C}$  при прискореній наземній імітації вищезначених факторів в лабораторних умовах в імітаторові «КІФК». Стійкість до ФКП зразків, що належать до дослідження, буде визначено за деградацією їх критичних характеристик: таких як термооптичні характеристики (коефіцієнт чорності), питомий об'ємний електроопір, величина руйнівної напруги при впливі навантаженні в напрямку відриву обшивки.

У ПММ під керівництвом чл.-кор. НАНУ Ю.В. Мільмана у широкому температурному інтервалі  $-196\dots900^{\circ}\text{C}$  досліджено механічну поведінку інтерметаліду  $\text{Ni}_3\text{Al}$  з різним розміром зерна. Показано, що в крупнокристалічному сплаві (розмір зерна  $d = 50$  мкм), також як і в монокристалі, спостерігається аномальна поведінка – зростання твердості HV і зниження пластичності при нагріві з максимумом HV при  $600^{\circ}\text{C}$ .

При зниженні температури до  $-196^{\circ}\text{C}$  в дрібнозернистому сплаві  $\text{Ni}_3\text{Al}$  ( $d \approx 7$  мкм) спостерігається різке збільшення твердості, також як і у ряді інших інтерметалідів ( $\text{TiAl}$ ,  $\text{Al}_{63}\text{Ti}_{21}\text{Cr}_{26}$  та ін.). Вперше показано, що в крупнокристалічному сплаві  $\text{Ni}_3\text{Al}$  при зниженні температури нижче кімнатної (до  $-196^{\circ}\text{C}$ ) твердість не підвищується. Це можна розглядати також як аномальну механічну поведінку. Таким чином, в крупнозернистому сплаві  $\text{Ni}_3\text{Al}$  аномалія механічної поведінки спостерігається в двох температурних інтервалах: зростання твердості при температурах близьких до  $600^{\circ}\text{C}$  і відсутність зростання твердості при зниженні температури нижче кімнатної до  $-196^{\circ}\text{C}$ .

(Б.В.Істомін, Н.А.Єфимов, А.А. Голубенко, Ю.В. Мільман, С.І. Чугунова, І.В. Гончарова, В.А. Гончарук, ПММ ім. Францевича).

## Інформація щодо надрукованих у 2015 р. книжкових видань: монографій, підручників, науково-пізнавальних видань

1. Antonov V.N. X-Ray Magnetic Dichroism in Diluted Magnetic Semiconductors: First-principles Calculations / V.N. Antonov, L.V. Bekenov // In book: Circular and Linear Dichroism / ed. J. Wallace. – New York. Nova Science Publishers, Inc., 2015. – P. 1-130. – ISBN: 978-1-63483-762-0.
2. Вовк Р.В. Електрика і магнетизм: навч. посібник з грифом МОН/ Р.В. Вовк, А.В. Попов. – Х.: Видавництво ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2015. – 148 с.
3. Вовк Р.В. Механіка і молекулярна фізика: навч. посібник з грифом МОН/ Р.В. Вовк, А.В. Попов.– Х.: Видавництво ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2015. – 172 с.
4. Kornienko N.E. Collective nature of chemical bonds in fullerenes and fullerites C<sub>60</sub>: vibrational resonances, vibration-electron interactions and anomalous enhancement of bands in the vibrational spectra of nanofilms (results of vibrational spectroscopy and quantum chemical calculations) / N.E. Kornienko, A.P. Naumenko // Chemical functionalization of Carbon materials, Chapter 5 — Chemistry and applications / ed. by Vijay Kumar Thakur and Manju Kumari Thakur, 2015. — P. 1-103. —Print ISBN: 978-1-4822-5394-8. — eBook ISBN: 978-1-4822-5396-2. — DOI: 10.1201/b18724-7.
5. Кутовий С.Ю. Оптика неоднорідних та анізотропних середовищ: навч. посібник / С.Ю. Кутовий. – Х.: Видавництво ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2015. – 95 с. – <http://exp.phys.univ.kiev.ua/>.
6. Стасюк І.В. Фізичні процеси та їх мікроскопічні моделі в періодичних неорганічно/органічних клатратах / І.І. Григорчак, П.П. Костробій, І.В. Стасюк, М.В. Токарчук, О.В. Величко, Ф.О. Іващишин, Б.М. Маркович // Коллективная монография. – Растр-7, Л.: Видавництво ЛНУ імені Івана Франка, 2015. – 285 с. – ISBN 978-617-7359-10-3.

## Участь у підготовці та проведенні наукових конференцій, симпозіумів

1. VI Міжнародна наукова конференція молодих вчених «Фізика низьких температур» (1-5 червня 2015 р., м. Харків, Україна) <http://www.ilt.kharkov.ua/kmu2015> (Д.ф.-м.н. Г.Є. Гречнев, д.ф.-м.н. О.В. Долбин, чл.-кор. НАН України Е.Я.Рудавський, д.ф.-м.н. О.В. Савченко, чл.-кор. НАН України М.О. Стржемечний, акад. НАН України М.Ф.Харченко, д.ф.-м.н. С.М. Шевченко).
2. Доктор ф.-м.н. Р.В. Вовк очолював оргкомітет 12 Міжнародної наукової конференції «Фізичні явища в твердих тілах» (4 – 8 грудня 2015 р., м. Харків, Україна).
3. Чл.-кор. НАН України Б.О. Іванов брав участь в роботі програмного комітету «International simposium Spin waves» (7-13 June, 2015, St. Petersburg, Russia) <http://www.ioffe.ru/optics/SW2015/committees.htm>.

4. Чл.-кор. НАН України *Т.О. Прихна* брала участь у роботі Міжнародного організаційного комітету «The 9th Japanese-Mediterranean Workshop on Applied Electromagnetic Engineering for Magnetic, Super-conducting, Multifunctional and Nanomaterials» (5-8 Липня 2015 р., м. Софія, Болгарія).
5. Чл.-кор. НАН України *Т.О. Прихна* брала участь у роботі Міжнародного організаційного комітету «E-MRS - 2015» Fall Meeting of the European Materials Research Society (15-18 September 2015, Warsaw, Poland).
6. Чл.-кор. НАН України *Т.О. Прихна* брала участь у роботі оргкомітету Міжнародної Науково – Технічної Конференції «Матеріали для Зоботи в Екстремальних Умовах» (3 – 5 грудня, 2015 р, м. Київ, Україна).
7. Доктор ф.-м.н. *М.Т. Черпак* приймав участь у роботі програмного технічного комітету Європейської мікрохвильової конференції «EuMC», голова секції на конференції (6-11 вересня 2015 р., Париж, Франція).
8. Доктор ф.-м.н. *В.М. Яцук* брав участь у організації Українсько-шведського семінару «Частково впорядковані рідини. Вода» (3 березня, 2015 р., м. Київ, Україна).
9. Доктор ф.-м.н. *В.М. Яцук* брав участь у роботі програмного комітету XXII Міжнародної школи-семінару ім. Галини Пучковської «Спектроскопія молекул і кристалів» (27 вересня–04 жовтня, 2015р., Мукачівський район, Закарпатська область, Україна) <http://issmc.org.ua/> .
10. ТОВ "Інститут низькотемпературних енерготехнологій" спільно з Асоціацією "СІГМА" (д.т.н. *Г.К. Лавренченко*) організував і провів міжнародній семінар «Підвищення ефективності та екологічної безпеки виробництва та використання діоксиду вуглецю» (19-22 травня 2015 р., м. Одеса, Україна).
11. ТОВ "Інститут низькотемпературних енерготехнологій" спільно з Асоціацією "СІГМА" (д.т.н. *Г.К. Лавренченко*) організував і провів міжнародній семінар "Стан та перспективи розвитку кисневого та криогенного машинобудування» (28 вересня - 2 жовтня, 2015 р., м. Балашиха, Московської області, Росія).
12. V Міжнародна наукова конференція "Структурна релаксація у твердих тілах" (26–28 травня, 2015 р., м. Вінниця, Україна). <http://vspu.net/metfiz/> (Д.ф.-м.н. П.П. Паль-Валь, д.ф.-м.н. В.Д. Нацик).
13. ПІМ ім. Францевича спільно з Міністерством освіти і науки України, Національною академією наук України, НТУУ "КПІ", Українським матеріалознавчим товариством (чл.-кор. НАН України *Ю.В. Мільман*) провів V Міжнародну наукову конференцію з високих технологій у матеріалознавстві "HighMatTech-2015" (5 - 8 жовтня, 2015 р., м. Київ, Україна). <http://www.materials.kiev.ua/>



## Участь у редколегіях наукових видань

1. «Condensed Matter Physics» (чл.-кор. НАН України І.В. Стасюк (заст. гол. редактора), чл.-кор. НАН України Ю.В. Слюсаренко).
2. «East European Journal of Physics» (чл.-кор. НАН України Ю.В.Слюсаренко).
3. «IEEE Transaction of Applied Superconductivity» (чл.-кор. НАН України Т.О. Пріхна).
4. «ISRN Condensed Matter Physics» (чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк).
5. «Journal of Low Temperature Physics» (чл.-кор. НАН України Е.Я. Рудавський).
6. «Journal of Magnetism and Magnetic Materials» (чл.-кор. НАН України Б.О. Іванов).
7. «Phase Transitions» (чл.-кор. НАН України І.В. Стасюк).
8. «Physica B: Condensed Matter» (чл.-кор. НАН України М.О. Стржемечний).
9. «Science of Sintering» (чл.-кор. НАН України Ю.В. Мільман).
10. «Semiconductor Physics, Quantum and Optoelectronics» (чл.-кор. НАН України О.Є. Беляєв (заст. гол. редактора), акад. НАН України М.Г. Находкін).
11. «Telecommunications and Radio Engineering» (М. Т. Черпак).
12. «Ukrainian Journal of Physical Optics» (акад. НАН України М.Ф. Харченко).
13. «Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна, серія «Фізика» (Р.В. Вовк (гол. редактор)).
14. «Деформация и разрушение материалов» (чл.-кор. НАН України Ю.В. Мільман).
15. «Електронна мікроскопія і міцність матеріалів» (чл.-кор. НАН України Ю.В. Мільман).
16. «Журнал математичної фізики, аналізу, геометрії» (акад. НАН України Л.А. Пастур (гол. редактор)).
17. «Журнал фізичних досліджень» (чл.-кор. НАН України І.В. Стасюк).
18. «Материаловедение» (чл.-кор. НАН України Ю.В. Мільман).
19. «Металлофізика та новітні технології» (чл.-кор. НАН України В.М. Антонов, чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк).
20. «Надтверді матеріали» (чл.-кор. НАН України Т.О. Пріхна).
21. «Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології» (чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк).
22. «Радіофізика та електроніка» (акад. НАН України В.М. Шульга (заст. гол. редактора), чл.-кор. НАН України В.О. Ямпольський, М. Т. Черпак).
23. «Радиофизика и радиоастрономия» (акад. НАН України В.М. Шульга).
24. «Сверхтвердые материалы» (чл.-кор. НАН України Т.О. Пріхна).
25. «Технічні гази» (Г.Є. Лавренченко (гол. редактор), С.І. Бондаренко).
26. «Український фізичний журнал» (чл.-кор. НАН України С. М. Рябченко (заст. гол. редактора), акад. НАН України Л.А. Булавін, акад. НАН України В.М. Локтев, акад. НАН України М.Г. Находкін, акад. НАН України В. Г. Бар'яхтар, чл.-кор. НАН України А.М. Погорілий, чл.-кор. НАН України В.Й. Сугаков).
27. «Фізичний збірник НТШ» (чл.-кор. НАН України І.В. Стасюк).
28. «Фізична інженерія поверхні» (акад. НАН України М.Г. Находкін).
29. «Физика низких температур» (акад. НАН України С.Л. Гнатченко (гол. редактор), акад. НАН України В.В. Єременко (почесний редактор), І.М. Адаменко, Г.Є. Гречнев, А.А. Звягін, О.С. Ковальов (заст. гол. редактора), Ю.О. Колесніченко (заст. гол. редактора), чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк, І.В. Криве, Ю.Г. Найдюк, В.Д. Нацик, чл.-кор. НАН України О.М. Омелянчук, акад. НАН України Л.А. Пастур, чл.-кор. НАН України Б.О. Іванов, чл.-кор. НАН України Е.Я. Рудавський, чл.-кор. НАН України В.О.

- Ямпольський , О.В. Савченко, С.С. Соколов (від. секретар), чл.-кор. НАН України М.О. Стржемечний, В.Д. Філь, акад. НАН України М.Ф. Харченко, С.І. Шевченко).
30. «Хімія, фізика та технологія поверхні» (чл.-кор. НАН України В.Й. Сугаков).
31. «Ядерна фізика та енергетика» (чл.-кор. НАН України В.Й. Сугаков (заст. гол. редактора)).

**Редакційна група:**

**КАЛИНЕНКО**

**Олександр Миколайович**

**БУРАВЦЕВА**

**Любов Михайлівна**

**Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б.І. Веркіна  
Національної академії наук України**

**2016**