

2016

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Відділення фізики і астрономії НАН України

2016

ЗМІСТ

Вступ	3
Склад Наукової ради з проблеми «Фізика низьких температур і кріогенна техніка»	9
Бюро Наукової ради	9
Члени Наукової ради	10
Наукові досягнення вчених України у галузі фізики низьких температур і кріогенної техніки у 2016 році	
Секція «Фізика квантових рідин та кристалів»	14
Секція «Фізика надпровідності»	23
Секція «Фізика магнітних явищ»	31
Секція «Електронні властивості твердих тіл»	54
Секція «Фізика молекулярних кристалів»	59
Секція «Низькотемпературне матеріалознавство та кріогенна техніка»	66
Кріогенна техніка	66
Низькотемпературне матеріалознавство	67
Інформація щодо надрукованих у 2016 р. книжкових видань	72
Участь у підготовці та проведенні наукових конференцій, симпозіумів	72
Участь у редколегіях наукових видань	73
Робота з пропаганди наукових досягнень та висвітлення науково-дослідної діяльності в ЗМІ	74

Вступ

Наукова рада з проблеми «Фізика низьких температур і криогенна техніка» при Відділенні 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 Ю.О. Колесніченко); «Фізика молекулярних кристалів» (очолює чл.-кор. НАН України М.О. Стржемечний); «Низькотемпературне матеріалознавство та криогенна техніка» (очолює С.І. Бондаренко). До складу Ради входять 66 провідних фахівця з фізики низьких температур з Києва, Харкова, Донецька, Одеси, Львова. 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. Науковий звіт за результатами наукових досліджень у 2016 році буде розміщен на веб-сторінці Ради. За результатами досліджень, проведених у 2014 році та 2015 році, підготовані наукові звіти і також розміщені на веб-сторінці Ради.

Основні напрями досліджень з фізики низьких температур, які знаходяться в полі уваги Ради: дослідження в галузі надпровідності та електронних властивостей провідних систем, низькотемпературного магнетизму, квантових рідин і кристалів, криокристалів, низькотемпературної фізики пластичності та міцності, низькотемпературних аспектів біофізики та прикладні дослідження з низькотемпературного та космічного матеріалознавства.

Найбільш сконцентровано фундаментальні дослідження з фізики низьких температур проводяться у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, тут же налагоджено виробництво криогенних рідин (азоту та гелію) для наукових цілей. Експериментальні дослідження ведуться до температур рівня десятитисячної долі кельвіна завдяки тому, що у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України створений комплекс для фізичних досліджень при наднизьких температурах (який Постановою Кабінету Міністрів України від 19.12.2001 №1709 затверджено, як об'єкт, що становить Національне надбання України).

Чимало установ НАН України та закладів МОН України також проводять активні дослідження в галузі фізики низьких температур та криогенної техніки. Представники основних з них входять до складу 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 імені Тараса Шевченка, Інститут холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського тощо. яка теж Має свого представника в Раді і Східноєвропейська асоціація виробників технічних газів «СІГМА» (засновниками якої є ТОВ «Елме Мессер Україна» (м. Харків), ПКФ «Кріопром» ТОВ (м. Одеса), ТОВ «Інститут низькотемпературних енерготехнологій» (м. Одеса)). «СІГМА»

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, до її складу входять більше 40 підприємств та організацій.

У 2016 році Рада сконцентрувалася на наступних задачах: участь у процесі формування напрямів досліджень 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.

Активну участь взяли члени Ради у науковому забезпеченні організації міжнародних та українських наукових конференцій з низькотемпературної тематики. Незважаючи на складні умови, у 2016 році Фізико-технічний інститут низьких температур провів 7-у Міжнародну конференцію молодих вчених «Фізика низьких температур». Тематика конференції охоплювала фізику низьких і наднизьких температур, фізику твердого тіла та нанотехнології (включаючи нанобіофізику) при низьких температурах; низькотемпературні фізико-технічні проблеми матеріалознавства. Конференція була спрямована на ознайомлення з останніми досягненнями в цих галузях та підвищення професійної кваліфікації і наукового рівня молодих науковців. У конференції взяло участь близько 150 науковців з США, Португалії, Німеччини, Японії, Італії, Нідерландів, Великобританії, Туреччини та України. Ряд провідних фахівців виступили з запрошеними доповідями. Підготовку та проведення конференції було здійснено Радою молодих науковців та спеціалістів ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України за підтримки Ради, адміністрації інституту та профспілки. Завдяки самовідданій, сумлінній праці та організаційним зусиллям Оргкомітету конференція пройшла на високому науковому та організаційному рівні.

Крім того, науковці інституту активно працювали в організаційних комітетах та брали участь в підготовці і проведенні ще кількох конференцій. Академік НАН України С.Л. Гнатченко входив до програмного комітету V Наукової конференції «Нанорозмірні системи: будова, властивості, технології» НАНСИС 2016 (1 – 2 грудня 2016, Київ, Україна). Чл.-кор. НАН України М.О. Стржемечний та О.В. Савченко брали участь у роботі організаційного комітету XI Міжнародної конференції «Кріокристали і квантові кристали» (18 – 24 серпня 2016 р., Турку, Фінляндія). М.В. Косевич входила до програмного комітету міжнародної конференції «SIMS-Europe-2016» (18 – 20 вересня 2016, Мюнстер, Німеччина).

Науковці ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України беруть активну участь у організації роботи Загальнофізичного семінару, що працює 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 та аспіранти Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна та Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» та ін. За минулий рік було проведено 5 засідань семінару на яких виступили учені як з наукових установ Харкова, так і з Німеччини.

Слід відмітити, що провідні харківських фізичних інститутів приймають активну участь також в організації роботи 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 – завідувач відділу теоретичної фізики ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України І.В. Криве. Усього за 2016 рік було проведено 8 міських семінарів на яких з доповідями виступили як харківські вчені, так і науковці з США, Швеції, Німеччини.

Опікування видавничою діяльністю з низькотемпературної тематики є одним з найважливіших напрямків діяльності Ради. Наукова рада активно і постійно працює з редколегією журналу «Фізика низьких температур» (головний редактор – академік НАН України С.Л. Гнатченко), що видається в Інституті, та є на сьогодні одним з найбільш рейтингових фізичних журналів України. 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. В журналі друкуються оригінальні та оглядові статті, що присвячені питанням фізики низьких температур. Тематика журналу включає: квантові рідини та квантові кристали, надпровідність (у тому числі високотемпературну), бозе-ейнштейнівську конденсацію, низькотемпературний магнетизм, електронні властивості провідних систем, низьковимірні та невідповідні системи, наноструктури при низьких температурах, квантові ефекти в напівпровідниках та діелектриках, фізичні властивості кріокристалів, динаміку кристалічної ґратки, низькотемпературну фізику пластичності та міцності, техніку наднизьких температур, нові методи низькотемпературного експерименту. У 2016 р. журнал надрукував 155 наукових статей, з яких 16 оглядів з актуальних проблем фізики низьких температур та 5 коротких повідомлень.

Зазначимо, що збереження традицій школи низькотемпературної фізики в Україні є одним з пріоритетів роботи журналу. Так, у 2016 році було видано 6 спеціальних тематичних випусків журналу, які були присвячені науковим подіям у галузі фізики низьких температур та видатним вченим, які працювали у цій галузі, а саме: випуск №2 «Фізика наноструктур при низьких температурах», № 5 «До 100 – річчя від дня народження К.Б. Толпиго», №7 «Low-Temperature Radiation Effects in Wide Gap Materials», №8 «До 75-річчя відкриття теплового опору Капіци», №10 та №11 «До 30-річчя відкриття високотемпературної надпровідності».

Журнал «Фізика низьких температур» за угодою з Американським Інститутом Фізики одночасно видається англійською мовою під назвою «Low Temperature Physics» і розповсюджується в США, країнах Західної Європи та розвинутих країнах Азії. Імпакт-фактор журналу «Фізика низьких температур», який підраховується незалежним Institute for Scientific Information (Journal Impact Factor, Clarivate Analytics), дорівнює 0,67, що є на рівні добре відомих світових видань з фізики. Резюме статей наводяться у Current Contents, Current Physics Index, INSPEC, PASCAL, Physics Abstracts, SPIN, SciSearch, Science Citation Index, журнал включено до наукометричних web-платформ Web of Science та Scopus.

Члени Ради активно беруть участь у атестації наукових кадрів і наукових установ. 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 фізичних та математичних наук. За 2016 рік відбувся захист 4 докторських та 9 кандидатських дисертацій. Академік НАН України Л.А. Пастур брав участь в роботі комісії з атестації Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова.

Спільна діяльність Ради та ряду провідних університетів Харкова була також спрямована на координацію спеціальних навчальних програм на кафедрах вищих учбових закладів. Науковці Інституту ведуть спільну з вищими навчальними закладами науково-дослідну та навчальну роботу. В Інституті діють шість філій фізичних та математичних кафедр Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна та Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Провідні фахівці Інституту 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 2016 році науковцями було прочитано для студентів цих філій курси лекцій та проведені практичні заняття за такими темами: кріотехнології в енергетиці та теплофізиці, низькотемпературні проблеми енергетики, 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; сучасні методи експериментальних досліджень магнетиків, 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, узагальнені функції, мінімак теореми та нелінійні рівняння, геометричні засади фізики, гармонічний аналіз операторів, системний аналіз, чисельні методи, диференціальні рівняння з запізненням, глобальні питання ріманової геометрії тощо.

У 2016 р. у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України проходили стажування викладачі ХНУ ім. В.Н. Каразіна, НТУ «ХПІ» та ІХТ СХУ ім. В. Даля.

Організація учбового процесу органічно поєднується з участю студентів-практикантів у проведенні наукових досліджень у сучасних галузях фізики та математики, 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 та 6-го курсів НТУ «ХПІ» приймали участь у експериментальних дослідженнях низькотемпературної сорбції та десорбції водню кварцовим аерогелем і впливу квантових явищ на сорбційні властивості кварцового аерогелю. Студенти 6-го курсу фізико-технічного факультету НТУ «ХПІ» приймали участь у вивченні пластичних властивостей твердого гелію. Студенти 6-го курсу фізичного факультету ХНУ ім. В.Н. Каразіна приймали участь у дослідженні вплива домішок ^3He на згасання коливань кварцового камертону в надплинних розчинах ^3He - ^4He , а студенти 4-го курсу брали участь у дослідженнях сенсорних властивостей точкових контактів у складних газових сумішах та квантових ефектів у провідності точково-контактних сенсорів при детектуванні газів та рідких середовищ. Студенти фізичного та фізико-технічного факультетів ХНУ ім. В.Н. Каразіна також приймали участь у дослідженнях впливу вібронних ефектів на електронний транспорт у молекулярних транзисторах, дослідженнях проходження квазічасткових збуджень крізь границю розподілу між двома середовищами, вивченні динаміки коливальних процесів в сифонних U подібних трубках, в дослідженнях транспортних властивостей квазівільних ферміонів на неупорядкованій одновимірній решітці-

матриці. Активну роль відігравали студенти факультету математики і інформатики ХНУ ім. В.Н. Каразіна в математичних дослідженнях з теорії випадкових матриць, теорії інтегрованих систем, диференціальних рівнянь і геометрії.

За результатами досліджень з участю студентів було підготовлено близько десятка статей та доповідей на 7-й Міжнародній науковій конференції молодих вчених «Фізика низьких температур» (6-10 червня 2016 р., Харків), 7-й Міжнародній науковій конференції «Physics of liquid matter: modern problems» (27-31 травня 2016 р.), 5th International Conference «Nonlinear Dynamics-2016» (27-30 вересня 2016 р., Харків), Міжнародному ювілейному семінарі «Актуальні проблеми фізики твердого тіла» (22-23 листопада 2016 р., Харків), V Науковій конференції «НАНСИС-2016» (1-2 грудня 2016 р., Київ) тощо.

В Інститутах активно працюють Ради молодих вчених. Так, у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України основними задачами Ради (голова – М.В. Пашенко) 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» (яка має статус міжнародної), регулярно проводить екскурсії студентів та школярів старших класів до наукових відділів Інституту. У 2016 році Рада 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 2016 році ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України взяв участь у проведенні 9-го Всеукраїнського фестивалю науки (травень 2016 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». Були прочитані науково-популярні лекції для учнів старших класів Харківської загальноосвітньої школи І-ІІІ ступенів №167 «Магнетизм на Землі та у Всесвіті», Харківського фізико-математичного лицю № 27 «Проблеми сучасної математики», проведено Засідання освітнього центру «Фізматик». Відбулося засідання Загальноінститутського фізичного семінару «Рентгенівські та нейтронні структурні дослідження нових матеріалів».

На протязі року проводились дні відкритих дверей, під час яких Інститут відвідало більше 130 студентів Національного технічного університету «ХПІ» та Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, школярів гімназій та харківських загальноосвітніх шкіл. Були організовані екскурсії вчителів фізики м. Харкова до науково-дослідних лабораторій ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України. Програма днів відкритих дверей включала екскурсії до науково-дослідних відділів, 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. Пашенко, І.А. Гриценко, С.М. Попережай та інші.

Незважаючи на складні умови праці у 2016 році вчені знайшли можливість приділяти увагу пропаганді наукових досягнень та висвітлювати науково-дослідну діяльність у галузі фізики низьких температур. ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України отримав диплом учасника міждисциплінарного освітнього проекту для українських художників та науковців «Сайнс Арт Харків» та подяку за активну участь у проведенні VI Наукових пікніків 17 вересня 2016 р. У листопаді 2016 р. інститут взяв активну участь у проведенні Всесвітнього дня науки за мир та розвиток під девізом «Наука — це цікаво».

Департамент науки і освіти Харківської обласної державної адміністрації висловив щиру подяку за надану науково-методичну і практичну допомогу в проведенні обласних літніх шкіл Харківського територіального відділення Малої академії наук України В.О. Горькавому та Д.В. Болотову.

У засобах масової інформації були опубліковані матеріали щодо розробок вчених ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України:

- На обласному телебаченні «ОТБ» 23.12.2016 р. в передачі «Фабрика ідей: інновації» вийшов телесюжет про розробку Г.В. Камарчука.
- Газета «Время» опублікувала у жовтні 2016 року статтю «Унікальний медичинський прибор розробтан харьковчанами».
- Харківські вчені навчилися виявляти збудник раку за одним подихом
Інформаційний портал «Tech Today», 17.10.16
- Неінвазивний метод виявлення канцерогенних штамів бактерії Helicobacter pylori в режимі реального часу - Розробка харківських дослідників, серед яких і вчені ФТІНТ НАН України
Прес-служба НАН України, 04.04.16
- Харьковские ученые узнают рак по выдоху
Інформаційний портал «Сегодня.ua», 7.11.16
- В Харькове разработали уникальный медицинский прибор
Інформаційний портал «STATUS QUO», 17.11.16
- New Form of Carbon Stores Lots of Gas
Стаття в Physics: Focus, February 5, 2016
- Вчені ФТІНТ НАН України та НТУ "ХПІ" відкрили нову тривимірну форму графену – карбонові стільники
Прес-служба НАН України, 28.03.16

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
2. Найдюк Юрій Георгійович, д.ф.-м.н., проф., заступник голови ради, naidyuk@ilt.kharkov.ua
3. Чабаненко Віктор Васильович, д.ф.-м.н., заступник голови, vikchabanenko@gmail.com
4. Калиненко Олександр Миколайович, к.ф.-м.н., вчений секретар ради, kalinenko@ilt.kharkov.ua
5. Рудавський Едуард Якович, чл.-кор. НАН України, голова секції, rudavskii@ilt.kharkov.ua
6. Кордюк Олександр Анатолійович, чл.-кор. НАН України, голова секції, kordyuk@imp.kiev.ua
7. Харченко Микола Федорович, акад. НАН України, голова секції, kharchenko@ilt.kharkov.ua
8. Колесніченко Юрій Олексійович, д.ф.-м.н., проф., голова секції, kolesnichenko@ilt.kharkov.ua
9. Стржемечний Михайло Олексійович, чл.-кор. НАН України, голова секції, strzhemechny@ilt.kharkov.ua
10. Бондаренко Станіслав Іванович, д.т.н., проф., голова секції, 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.
2. Соколов Святослав Сергійович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, заступник голови, sokolov@ilt.kharkov.ua.
3. Чаговець Валерій Костянтинівич, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, вчений секретар, chagovets@ilt.kharkov.ua.
4. Пашицький Ернст Анатолійович, чл.-кор. НАН України, ІФ НАНУ, pashitsk@iop.kiev.ua.
5. Слюсаренко Юрий Вікторович – чл.-кор. НАН України, ННЦ «ХФТІ» НАНУ, slusarenko@kipt.kharkov.ua.
6. Адаменко Ігор Миколаєвич, д.ф.-м.н., проф., ХНУ, i.n.adamenko@mail.ru.
7. Вільчинський Станіслав Йосипович, д.ф.-м.н., проф., КНУ, sivil@ukr.net.
8. Вовк Руслан Володимирович, д.ф.-м.н., проф., ХНУ, ruslan.v.vovk@univer.kharkov.ua.
9. Карасевський Анатолій Ілліч, д.ф.-м.н., ІМФ НАНУ, akaras@imp.kiev.ua.
10. Майданов Володимир Андрійович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, maidanov@ilt.kharkov.ua.
11. Полуєтков Юрій Матвійович, д.ф.-м.н., ННЦ «ХФТІ» НАНУ, yuripoluektov@kipt.kharkov.ua.
12. Шевченко Сергій Іванович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, shevchenko@ilt.kharkov.ua.

Секція «Фізика надпровідності»

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

Секція «Фізика магнітних явищ»

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

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

Секція «Фізика молекулярних кристалів»

1. Стржемечний Михайло Олексійович, чл.-кор. НАН України, ФТІНТ НАНУ, голова, strzhemechny@ilt.kharkov.ua.
2. Константинов В'ячеслав Олександрович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, заступник голови, konstantinov@ilt.kharkov.ua.
3. Долбин Олександр Вітольдович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, вчений секретар, dolbin@ilt.kharkov.ua.
4. Булавін Леонід Анатолійович, акад. НАН України, КНУ, 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.
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, klimush@iop.kiev.ua.
9. Остапенко Ніна Іванівна, д.ф.-м.н., ІФ НАНУ, ostap@iop.kiev.ua.
10. Савченко Олена Володимирівна, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, savchenko@ilt.kharkov.ua.
11. Самоваров Володимир Миколайович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, 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.
2. Паль-Валь Павло Павлович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, заступник голови, palval@ilt.kharkov.ua.
3. Коверя Валентин Петрович, к.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, вчений секретар, koverya@ilt.kharkov.ua.
4. Ющенко Констянтин Андрійович, акад. НАН України, ІЕЗ НАНУ, yu.kon@paton.kiev.ua.
5. Мільман Юлій Вікторович, чл.-кор. НАН України, ІІМ НАНУ, milman@ipms.kiev.ua.
6. Лавренченко Георгій Костянтинівич, д.т.н., проф., Українська асоціація виробників технічних газів, Lavrenchenko@paco.net.

7. Нацик Василь Дмитрович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, natsik@ilt.kharkov.ua.
8. Юферов Володимир Борисович, д.т.н., проф., ННЦ «ХФТІ»НАНУ, 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.

Наукові результати вчених України у галузі фізики низьких температур і кріогенної техніки у 2016 році

Секція «Фізика квантових рідин та кристалів»

Методом коливань кварцового камертону, що занурений у рідкий гелій, в області температур 0,5 – 2,3 К проведені дослідження особливостей появи вихорової системи, яка виникає при переході від ламінарного до турбулентного стану течії в надплинних ^4He і розчинах ^3He в ^4He . Встановлено, що при малих збуджуючих силах, прикладених до камертону, спостерігається ламінарний режим течії рідини. При збільшенні збуджуючої сили спостерігається зсув частоти резонансу і збільшення його ширини, що свідчить про виникнення вихорів у рідині і перехід до турбулентного стану течії. Показано, що в надплинних розчинах гелію збільшення концентрації домішки ^3He призводить до зростання стійкості стану рідкого гелію щодо утворення вихорів і переходу в турбулентний стан.

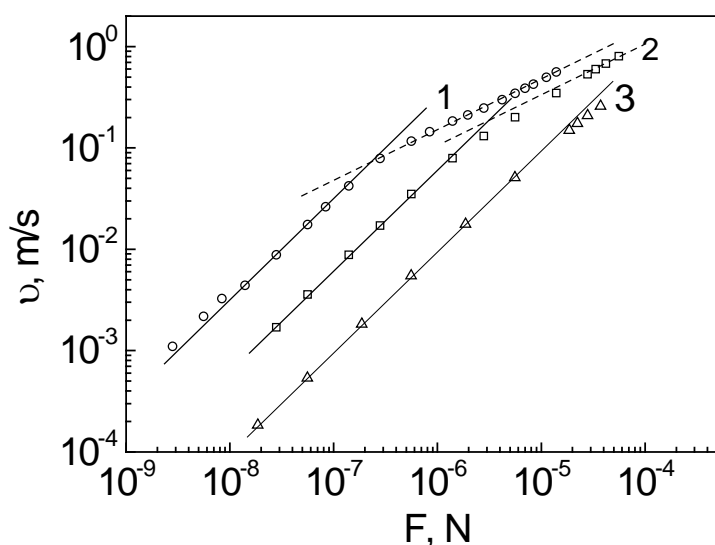


Рис.1.1. Залежності швидкості коливань ніжок камертона від збуджуючої сили при $T = 1,15$ К.

1 – чистий ^4He ; 2 – 5% розчин ^3He в ^4He ; 3 – 15% розчин ^3He в ^4He . Суцільні лінії відповідають залежності $v \sim F$, пунктир – залежність $v^2 \sim F$.

При збуджуючих силах більше 10^{-4} Н спостерігалися прояви кавітації, що проявлялися у вигляді деформації, провалів і розширенні резонансних кривих амплітудно-частотних характеристик камертонів.

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

За допомогою методу кварцового камертону проведено дослідження утворення та розвитку турбулентної течії в надплинному гелії при наднизькій температурі ($T \sim 0,14$ К). Резонансна частота осцилюючого камертону є близькою до 24 кГц. При малих швидкостях

коливання камертону, менших за 4,6 см/с, спостерігається ламінарний режим течії, який відповідає суцільній лінії на рис.1.2. При цьому режимі сила F , яка збуджує коливання, є пропорційною швидкості коливань камертону (v), а амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) камертона, зануреного в He II, добре описуються рівнянням Лоренца (вставка 1 на рис.1.2). У випадку, коли швидкість перевищує 4,6 см/с, спостерігається квазістійка ламінарна течія, і починається відхилення від лінійної залежності $v(F)$. Для випадку, коли $4,6 \text{ см/с} < v < 6 \text{ см/с}$, спостерігається спонтанне утворення та розпад турбулентної течії (вставка 2 на рис.1.2). При подальшому збільшенні швидкості коливань, АЧХ змінюються (рис.1.2, вставки 3 і 4), та турбулентна течія, що вже утворилася (штрих-пунктирна лінія), не розпадається доки швидкість коливань не зменшиться нижче 4,6 см/с. При зменшенні швидкості у такому випадку, стає можливим знову отримати квазістійку ламінарну течію збільшенням швидкості (збуджуючої сили) коливань.

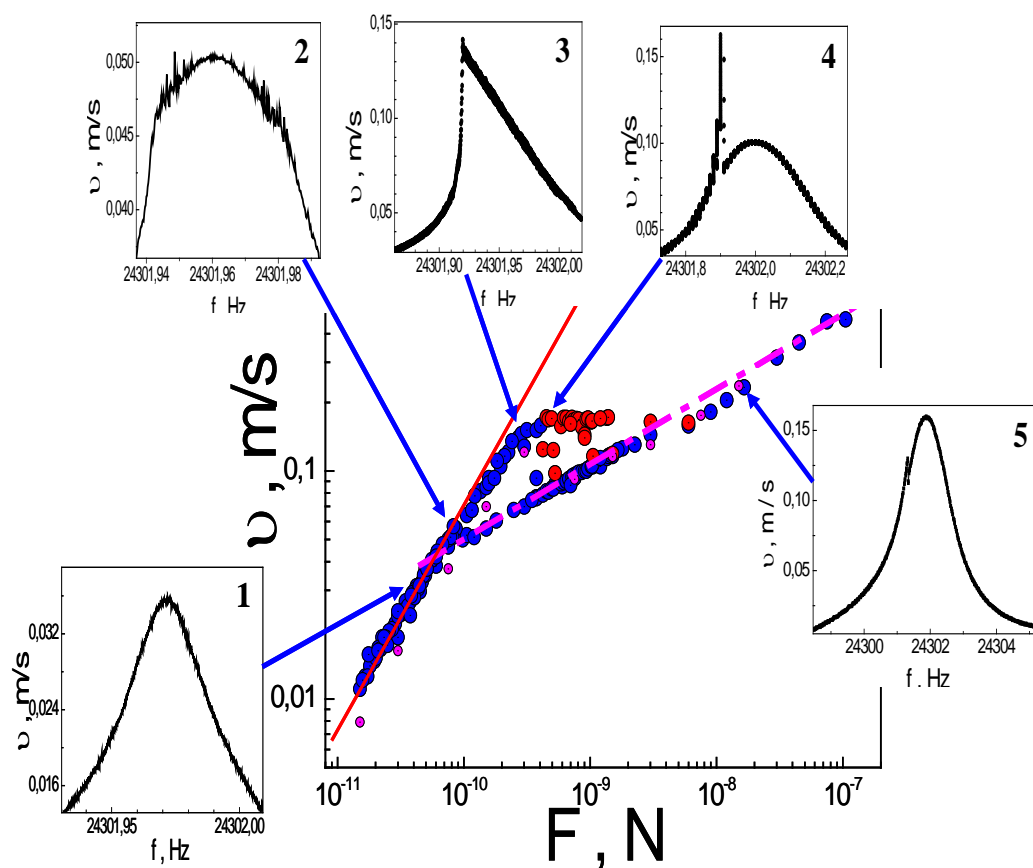


Рис.1.2. Залежність швидкості коливань камертону від прикладеної сили при температурі 0,14 К

Гранична швидкість коливань, при якій не спостерігається квазістійка ламінарна течія, близько 18 см/с (відповідає ● на рис.1.2). При $F > 4 \cdot 10^{-9}$ Н спостерігається тільки турбулентна течія (рис.1.2, штрих-пунктирна лінія та вкладка 5). Така поведінка осцилюючого камертону пов'язана з появою сили тертя, яка нелінійно залежить від швидкості коливань камертону.

Дослідження в вакуумі показали, що при швидкостях коливань камертону аж до 50 см/с (що майже в 3 рази більше за граничну швидкість коливання), відхилення від

лінійності практично відсутні і не спостерігаються аномалії на АЧХ. Це є свідченням того, що нелінійна залежність сили тертя визначається не характеристиками матеріалу камертона, а властивостями навколишньої рідини – надплинного гелію. Подібну поведінку осцилюючого камертона в He II можна описати за допомогою нелінійного рівняння Дуффінга. Величина сили, обумовленої розсіюванням теплових збуджень на утворених квантованих вихорах при $v \geq 4,6$ см/с (так звана сила взаємного тертя) призводить до нелінійної поведінки системи камертон – He II.

(І.А. Гриценко, К.О. Михайленко, С.С. Соколов, Г.О. Шешин. ФТІНТ НАНУ)

З'ясовано вплив опору Капіці на встановлення стаціонарних нерівноважних станів у надплинних розчинах $^3\text{He} - ^4\text{He}$. Розглянуто умови встановлення таких стаціонарних нерівноважних станів при включенні потоку тепла у надплинних розчинах з досить великою концентрацією ^3He . Показано, що стрибок Капіці чинить суттєвий вплив на процес установаження постійного градієнта температури в системі.

Проведено порівняння теоретичних обчислень з експериментальними даними (G.Sheshin et al., JLTP, 146, 403, 2007), одержаними при температурі $T_0 = 278$ мК в розчині з концентрацією 9.8% ^3He . Добре узгодження між експериментом і теорією спостерігається лише при врахуванні опору Капіці (Рис.1.3). З порівняння теоретичних обчислень та експериментальних даних знаходяться коефіцієнт температуропровідності, коефіцієнт теплопровідності та коефіцієнт Капіці.

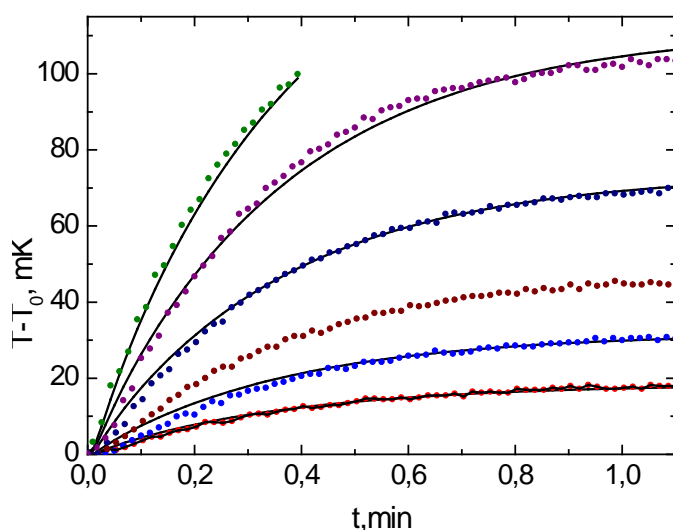


Рис.1.3.

Проведені теоретичні дослідження транспортних процесів, які відбуваються в нових експериментах по вивченню кварцового камертону, який коливається у надплинних розчинах $^3\text{He} - ^4\text{He}$. Вивчено основні механізми перенесення тепла та концентрації в такій системі, що викликані коливаннями камертона. На додаток до відомих дисипативних процесів від віброуючого кварцового камертону, таких як випромінювання першого звуку та взаємодія з тепловими збудженнями, розглядаються й досліджуються ще два механізми, специфічних для розчинів $^3\text{He} - ^4\text{He}$ – внесок другого звуку та ефективної теплопровідності. Обговорено експериментальні умови, за якими ці механізми дають істотний внесок у дисипацію енергії.

(К.Е. Немченко, С.Ю. Рогова, Т.Г. Віхтинська, ХНУ ім. В.Н. Каразіна)

Проведені теоретичні дослідження електричної активності надплинного гелію (He II) при наявності відносного руху нормальної та надплинної компонент з швидкістю \mathbf{w} . Доведено, що при таких умовах в He II виникає електричне поле, яке раніше спостерігалось в експериментах. Згідно з розвинутою нами теорією причинами електричної активності He II є анізотропна залежність енергії квантованого вихорового кільця (КВК) від його імпульсу при наявності \mathbf{w} та існуванні дипольного моменту у КВК. Отримані явні аналітичні вирази для різниці електричних потенціалів, що виникають в стоячій хвилі другого звуку, та в плівці He II, яка бере участь в торсіонних коливаннях. Знайдені залежності різниці потенціалу від часу та \mathbf{w} узгоджуються з експериментальними даними.

(І.М. Адаменко, Є.К. Немченко, ХНУ)

Передбачено нове явище, обумовлене рухом надплинної плівки по поверхні твердого тіла. Теоретично показано, що поширення третього звуку в надтонкій надплинній плівці (товщиною порядку декількох атомних шарів) повинно призводити до неоднорідної поляризації плівки і появи в навколишньому просторі електричних полів, доступних виміру.

Показано, що в разі плівки, що покриває циліндр, радіальне електричне поле поза циліндром може досягати $E_r = 5 \cdot 10^{-8} \text{ В/см}$. Встановлено, що термічно збуджувані вихори навіть поблизу надплинного переходу майже не впливають на величину ефекту. Нижче температури надплинного переходу T_c результат слабо залежить від температури. Вище T_c ефект повинен спостерігатися, поки довжина згасання третього звуку (що залежить від щільності вільних вихорів) більше довжини зразка.

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

Запропоновано теоретичну модель утворення ротонних станів у надплинному ^4He . Виходячи з двохрідинної моделі гелію II, показано, що при флуктуаційному утворенні в надплинному гелії кластерів нормальної фази вони стабілізуються за рахунок їх обертального руху. Виникнення спонтанного обертання кластерів обумовлено зростанням орієнтаційної ентропії системи, яке призводить до оптимізації розмірів кластерів. Встановлено рівняння, яке описує обертальний рух кластерів і знайдено його розв'язок. Показано, що час обертання нанокластеру обмежений і залежить від температури і динамічної в'язкості рідини. Енергія утворення кластера додатна і, подібно вакансіям в кристалі, стабільна концентрація ротонів в гелії II обумовлена зростанням конфігураційної ентропії системи. Таким чином, можна стверджувати, що ротони в гелії II є динамічними структурними дефектами системи.

(А.І. Карасевський, ІМФ НАНУ)

Продовжено експериментальне дослідження знайденої авторами раніше різкої зміни провідності електронного кристалу, який локалізований над надплинним гелієм, в умовах

неповної компенсації притискуючого потенціалу. Встановлено, що при невеликому зменшенні притискуючого потенціалу по відношенню до потенціалу, що відповідає повній компенсації поля шару електронів, відбувається оборотна перебудова структури електронного шару. Різке збільшення електричного опору може бути наслідком цієї перебудови.

З метою виявлення фізичної природи явищ, що спостерігаються в шарі електронів, проведено чисельне моделювання поведінки електронної системи за умов, що можуть бути порівняні з умовами експерименту. Порівняння двох компонент провідності електронного шару, що отримані в експерименті та при моделюванні, показано на рис.1.4.

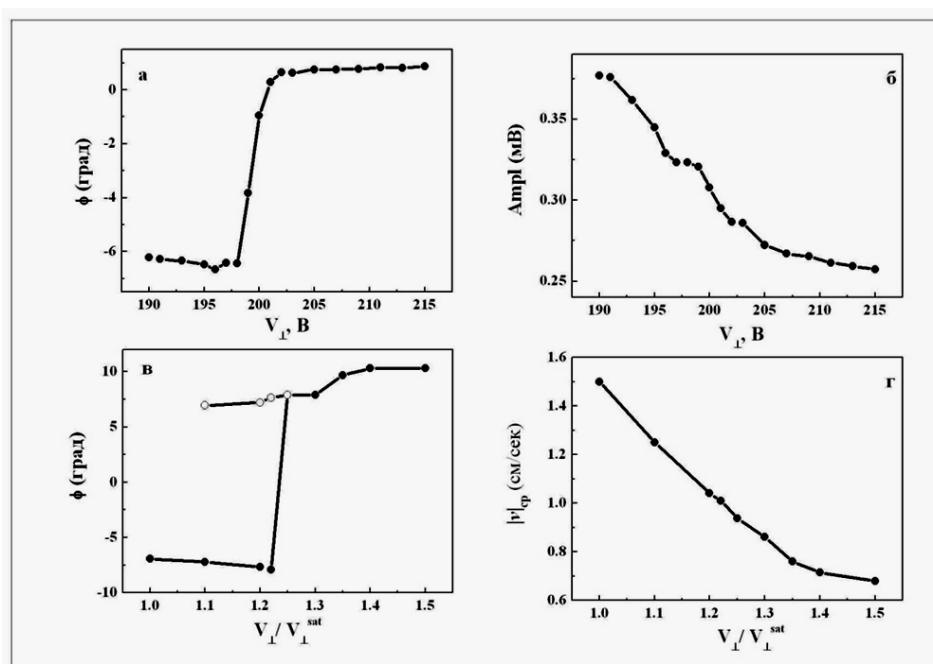


Рис. 1.4. Залежність фази та амплітуди вимірювального сигналу від притискуючого поля при вимірюванні провідності електронного кристала. Експериментальні дані відповідно (а) і (б) та результати моделювання (в) і (г). Відкриті кружки (в) відповідають фазі, маючи на увазі зміну фази на π .

Встановлено, що причиною зростання опору електронного шару при зниженні притискуючого потенціалу, що спостерігається в експериментах, є досить тонкий і аргіогі неочевидний вимірювальний ефект, який пов'язаний з особливостями ємнісних вимірювань транспортних характеристик електронної системи. Ці особливості пов'язані з обмеженим розміром вимірюваної системи та ненульовими розмірами збуджуючого електрода, що призводить до специфічного розподілу збуджуючого поля в експериментальній комірці.

(В.Е. Сивоконь, К.А. Наседкин, И.В. Шарапова, ФТІНТ НАНУ)

Вперше спостережена обмежена дифузія домішок ^3He в нерівноважних надплинних включеннях, які зазвичай утворюються у матриці твердого гелію при швидкому охолодженні. Дифузійні процеси в такій двохфазній системі вивчалися за допомогою ядерного магнітного резонансу (ЯМР) на ядрах ^3He у твердому розчині $^3\text{He} - ^4\text{He}$ з концентрацією 1% ^3He .

Використана техніка спінової луни при наявності градієнта магнітного поля дозволяла одночасно вимірювати коефіцієнти дифузії у кожній з співіснуючих фаз.

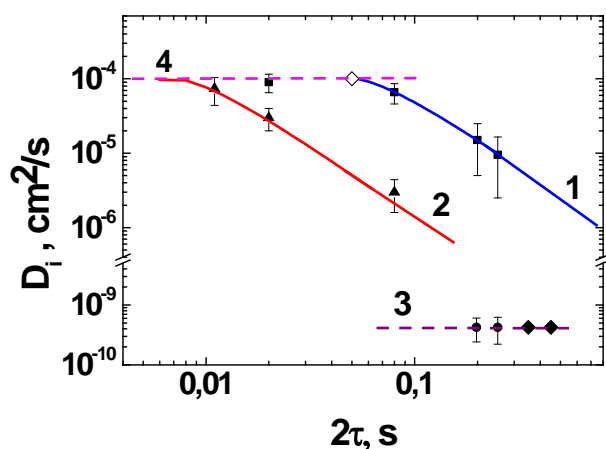


Рис.1.5. Коефіцієнти дифузії у співіснуючих фазах системи ГЦП матриця + надплинні включення: 1 – включення у свіжо вирошеному зразку; 2 – ті ж самі включення через 4,5 години; 3 – ГЦП матриця; 4 – масивна рідина.

На рис.1.5 приведені типові залежності коефіцієнтів дифузії D_i в різних фазах від дифузійного часу 2τ (τ – інтервал часу між двома зондувальними ЯМР імпульсами). Як видно з рис.1.5, при малих τ значення D_i близькі до значень коефіцієнта дифузії у масивному рідкому розчині поблизу кривої плавлення (крива 4). Але з ростом τ значення D_i у включеннях зменшуються за законом $D_i \sim \tau^{-2}$, що притаманно для обмеженої дифузії, коли дифузійна довжина $(2\tau D_i)^{1/2}$ порівнюється з характерним розміром надплинних включень. Порівняння кривих 1 та 2 ілюструє еволюцію нерівноважних включень з часом. Одержані результати дозволили оцінити розмір надплинних включень і встановити, що за 4,5 години вони зменшуються від 80 до 30 мкм.

(О.П. Бірченко, М.П. Міхін, Е.Я. Рудавський, Я.Ю. Фисун, ФТІНТ НАНУ)

Одержано нові відомості про особливості пластичного плинучого твердого ${}^3\text{He}$ у термоактиваційній області при температурах вище $\sim 0,2$ К. За допомогою прецизійної ємнісної техніки вимірювалась швидкість пластичної течії $V(T, \sigma)$ в залежності від температури T та механічної напруги σ . Отримані результати показані на рис.1.6. для молярного об'єму $21,66 \text{ cm}^3/\text{моль}$.

Експериментальні значення швидкості плинучого можна апроксимувати такими виразами:

атомний розмір. При цьому значення енергії активації близькі до енергії вакансій. Результати проаналізовано в рамках дифузійно-вакансійної моделі пластичного плинину.

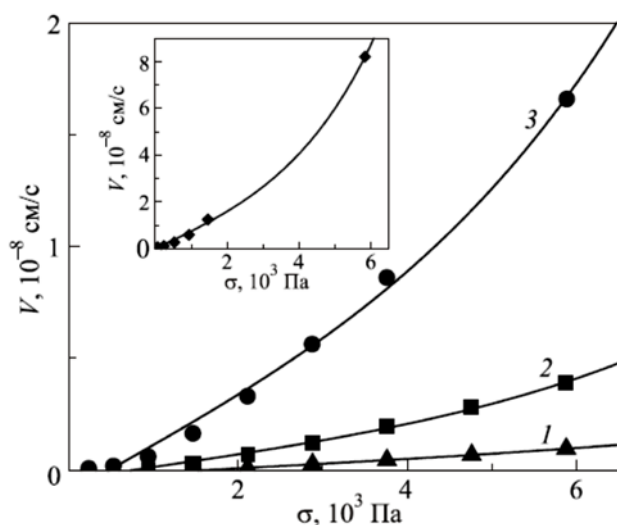


Рис.1.6. Залежність швидкості пластичного плинину твердого ^3He при різних температурах: 1 – 783 мК, 2 – 955 мК, 3 – 330 мК, 4 – 300 мК, на вставці $T = 1440$ мК.

(О.О. Лісунов, В.А. Майданов, В.Ю. Рубанський, С.П. Рубець, Е.Я. Рудавський, С.М. Смирнов, ФТІНТ НАНУ)

Запропонована модель гексагональної щільно упакованої (ГЩУ) фази гелію, що інтерпретує кристал ^4He як політип з хаотичним пакуванням щільно упакованих двовимірних площин з атомів у трикутній ґратці. В такому кристалі зберігаються дванадцять найближчих сусідів у першій та другій координаційних сферах. Навіть зберігається вісь третього порядку поперек плоскостей, але немає трансляційної симетрії вздовж цієї вісі. Такий ГЩК політип може розглядатись як суцільне середовище, в якому анізотропія визначається довжиною кореляції вздовж вісі C_3 . При цьому кристал має специфічний закон дисперсії фононних збуджень з трьома різними основними частотами, що безпосередньо відбивається на термодинамічних властивостях середовища. Зокрема, при певних значеннях параметрів має змінюватись поведінка тиску $P_{ph}(T)$ від

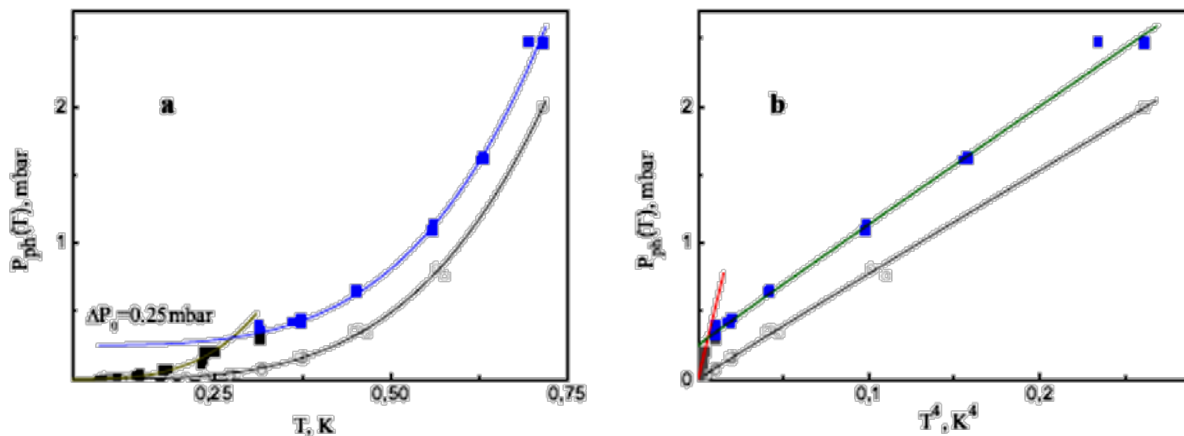


Рис.1.7. Температурна залежність тиску у кристалі ^4He : точки – експеримент, суцільні криві – теорія в координатах P-T (a) та P-T⁴ (b). Нижні криві – досконалий (відпалений) кристал, верхні криві – «дефектний» кристал, підданий попередній деформації.

(К. Чишко, Т. Анцігіна, М. Полтавська, ФТІНТ НАНУ)

Наведено розрахунки залежностей хімічних потенціалів від температури для ідеальних одноатомних газів зі статистиками Бозе-Ейнштейна та Фермі-Дірака в області температур, характерних для колективного ефекту квантового виродження. Поза рамками будь-яких додаткових наближень проведено чисельні розрахунки та побудовано залежності хімічних потенціалів від температури при фіксованій густині числа частинок газів. Отримано наближені поліноміальні залежності хімічних потенціалів від температури, що дозволяють використовувати результати у наступних дослідженнях вже без залучення застосованих чисельних методів. Зручність використання отриманих залежностей продемонстровано на прикладах деформації розподілів для заселеності енергетичних станів при зниженні температури, а також впливу квантової статистики (обмінної взаємодії) на рівняння стану ідеальних газів та деякі їх термодинамічні характеристики. Результати даної роботи по суті об'єднують в проміжній області дві протилежні граничні можливості опису рівноважних станів ідеальних газів, що добре та давно відомі з університетських курсів статистичної фізики, тим самим складаючи цінність також і з педагогічної точки зору.

(А.Г. Сотніков, Ю.В. Слюсаренко, ННЦ ХФТІ НАНУ; К.В. Серeda, ХНУ)

Вивчено вплив теплового шуму в тороїдальних Бозе-Ейнштейнівських конденсатах. Отримано узагальнене співвідношення Арреніуса для такої системи і знайдено вираз для швидкості стохастичних прослизувань між конденсатними фазами.

Розроблено метод оцінки висоти енергетичного бар'єру, що розділяє різні стани надпотоків в БЕК. Параметри, при яких енергетичний бар'єр зникає, узгоджуються з значеннями критичних параметрів для детермінованих прослизувань між фазами, які отримано в рамках динамічного моделювання процесів, обумовлених впливом флуктуацій.

Показано, що врахування теплового шуму знижує поріг прослизування між фазами. Показано що вплив стохастичних прослизувань між фазами виявляється занадто малий, щоб пояснити значне розходження між теоретичними і експериментальними результатами.

(К. Сніжко, Університет Хайфа, Ізраїль; К. Ісаєва, Є. Курятников, С. Вільчинський, О. Якименко, КНУ)

За допомогою кірального кінетичного рівняння з врахуванням кривизни Беррі отримано повну систему аномальних рівнянь Максвелла, які були використані для дослідження релятивістської неоднорідної плазми з кіральною асиметрією. Провівши розклад за степенями вільності електромагнітного поля та просторово-часових похідних, було отримано вирази для електричного та аксіального струмів, а також замкнули систему рівнянь для електричного та кірального хімічних потенціалів.

Було досліджено два режими динаміки плазми, в одному з яких незбурена функція розподілу задається стандартним розподілом Фермі-Дірака, а в іншому – функцією, до якої застосоване перетворення Бусту (другий режим реалізує плазму з дрейфом перпендикулярно магнітному і електричному полям).

Вперше відкрито декілька нових ефектів, пов'язаних з неоднорідностями плазми: кіральна дифузія, два ефекти холлівського типу, перпендикулярні магнітному полю, а також ефект, пов'язаний з індукцією змінного електричного поля.

(О. Боярський, Лейденський університет, Нідерланди; С. Вільчинський, Е. Горба, І. Руденко, КНУ ім. Тараса Шевченка; О. Ручайський, Нільс Бор центр, Копенгаген, Данія; І. Шовковий, університет Арізона, США).

Секція «Фізика надпровідності»

Порівняння розрахованої та експериментально визначеної електронної зонної структури FeSe дозволило зробити висновок, що електрон-електронна взаємодія в цих матеріалах призводить до систематичного зсуву всіх енергетичних зон при якому енергія зон у центрі зони Брилюена зменшується, а у кутках – збільшується (Рис.2.1).

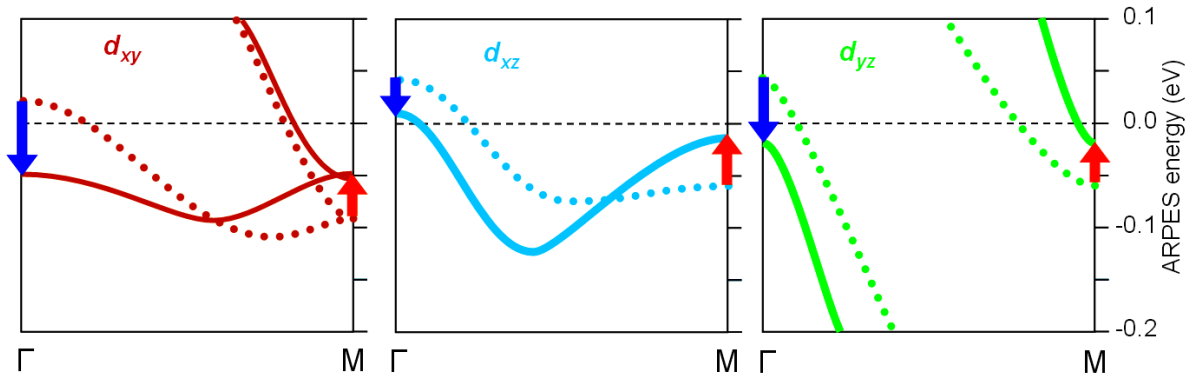
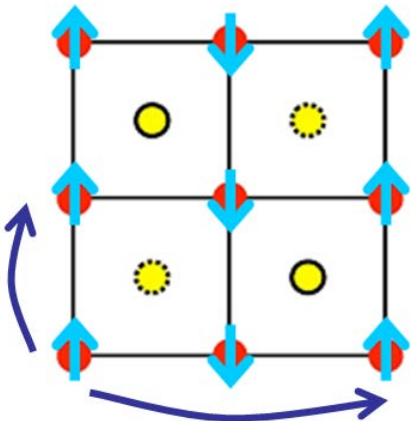


Рис.2.1. Порівняння розрахованих (пунктир) та експериментальних (суцільні лінії) зон FeSe, що мають різний орбітальний характер (розраховані зони перенормовано у 3 рази).



Цей ефект можна пояснити блокуванням перескоків електронів між найближчими сусідами, що може бути наслідком орбітального чи спінового антиферромагнітного впорядкування, характерного для надпровідників на основі заліза (Рис.2.2).

Рис.2.2. Конфігурація спінів на атомах заліза у магніто-впорядковані фазі FeSe та позначення двох типів перескоків.

(Чл.-кор. НАНУ О.А. Кордюк, Ю.В. Пустовіт, ІМФ НАНУ)

Показано, що надпровідні зарядовий і потоковий кубіти можуть бути класифіковані як відповідно ємнісні і індуктивні системи з пам'яттю. Ми показали, що такі мемемнісні та меміндуктивні пристрої проявляють різноманітні квантові ефекти. Зокрема, при впливі періодичного збудження мемемності і меміндуктивності на основі кубітів демонструють незвичайні гістерезисні криві. Наша робота не тільки розширює набір відомих мемемнісних та меміндуктивних систем на пристрої на основі кубітів, але і підкреслює їх унікальні властивості для майбутніх технологічних застосувань.

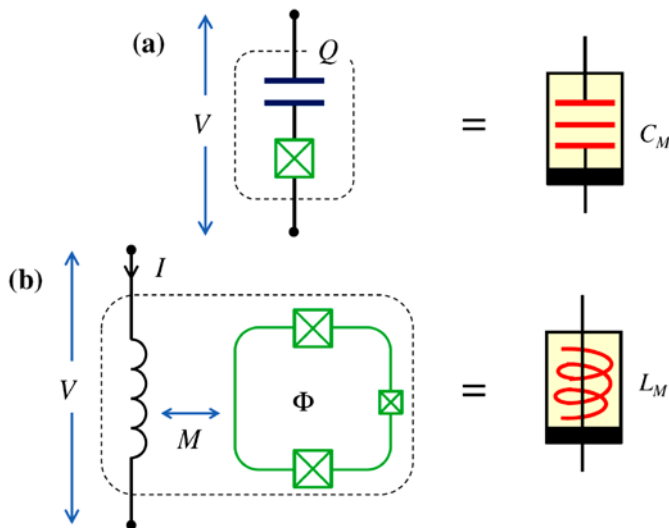


Рис.2.3. Надпровідні кубіти як елементи з пам'яттю. (а) Зарядовий кубіт реалізує мемемнісі систему. (b) Індуктивність, пов'язана з потоковим кубітом, утворює ефективну меміндуктивну систему. Перехрестя позначають контакти Джозефсона; символи мемемності (вгорі) і меміндуктивності (внизу) показані на малюнку справа.

(С.М. Шевченко, ФТІНТ НАНУ)

Теоретично досліджено відбиття хвиль поперечно-електричної та поперечно-магнітної поляризацій від поверхні напівнескінченного шаруватого надпровідника за наявності зовнішнього постійного магнітного поля. Передбачається, що надпровідні шари перпендикулярні межі зразка. Внаслідок сильної анізотропії межі надпровідника, що опромінюється, відбувається трансформація поляризації хвилі при її відбитті. Показано, що, хоча постійне магнітне поле проникає в зразок на порівняно малу глибину, воно якісно впливає на розподіл поля електромагнітної хвилі і, з цієї причини, на коефіцієнти відбиття та трансформації. Таким чином, зовнішнє магнітне поле може служити зручним інструментом для управління трансформацією поляризації хвиль. Отримано аналітичні вирази для коефіцієнтів відбиття і трансформації, а також визначено параметри, при яких відбувається найбільш ефективна трансформація поперечно-електричних хвиль в поперечно-магнітні і навпаки.

(С.С. Апостолов, З.О. Майзеліс, Т.Н. Рохманова, чл.–кор. НАНУ В.О. Ямпольський, ІРЕ НАНУ)

Передбачено та теоретично досліджено нове нелінійне електродинамічне явище, що виникає у пластині шаруватого надпровідника при його однобічному опроміненні плоскою електромагнітною хвилею терагерцевого діапазону. Показано, що поверхневий реактанс зразка та коефіцієнт відбиття хвилі поведуться гістерезисним чином при зміні амплітуди падаючої хвилі. Обговорена аналогія між електродинамічною задачею про розподіл електромагнітного поля в надпровіднику та задачею про механічний рух частинки у центральному полі.

(С.С. Апостолов, чл.–кор. НАНУ В.О. Ямпольський, ІРЕ НАНУ; А.А. Bozhko, North Texas University, USA; М.А. Sorokina, Aston University, UK).

Створено та досліджено тонкоплівкові тунельні переходи MoRe–Si(W)–MoRe, в яких тунелювання електронів відбувається через одну або декілька квантових точок в бар'єрі Si(W). При наявності відносно великого вмісту вольфраму в бар'єрі Si(W) в таких гетероструктурах спостерігається виникнення ефектів Джозефсона (см. рис.2.4).

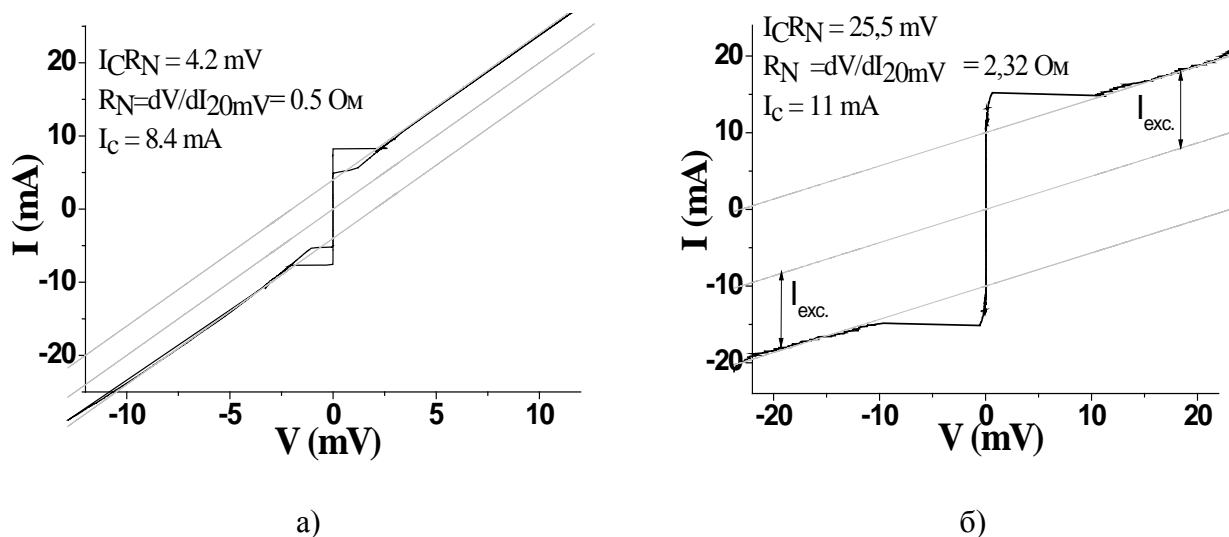


Рис.2.4. ВАХ створених гетероструктур MoRe-Si(W)-MoRe з відносно високим вмістом вольфраму W в бар'єрі Si(W): а) $n_W \sim 11$ ат. % ; б) $n_W \sim 9$ ат. %.

Характеристична напруга $I_C R_N$ у створених джозефсонівських гетероструктур має незвичайно високі значення, одночасно на зацілених ділянках вольт-амперних характеристик таких гетероструктур спостерігається виникнення великих надлишкових струмів $I_{exc.}$, що є свідченням наявності на інтерфейсах гетероструктур інтенсивних андріївських відбивань квазічастинок. При зменшенні вмісту вольфраму W в бар'єрах Si(W) гетероструктур джозефсонівські струми в них зникають, замість цього ми спостерігаємо виникнення на ВАХ цих гетероструктур резонансних піків струму в діапазоні напруг зміщення від 40 мВ до 300 мВ, які розташовані симетрично по напрузі зміщення відносно початку координат. В створених гетероструктурах металеві кластери всередині напівпровідникових бар'єрів Si(W) поведуть себе як квазіодновимірні квантові точки, тому транспорт заряду в гетероструктурах може бути описаний адекватно за допомогою матриць розсіювань в рамках квантової моделі одновимірного транспорту зарядів.

(В.С.Шатернік ІМФ НАНУ, А.П.Шаповалов ІНМ НАНУ, О.Ю.Суворов, М.О. Білоголовський, ІМФ НАНУ)

Раніше в ІРЕ НАНУ було показано, що хвилі типу шепочучої галереї (ШГ) можуть збуджуватися не тільки в діелектричних резонаторах, що мають форму тіла обертання, але і в діелектричних шарах, де має місце віртуальна межа між діелектричними середовищами з різним значенням проникності. Зазначені умови створюються у шарі під провідниковим диском. Резонатор можна реалізувати у вигляді мікросмужкової структури, яка за суттю є квазіоптичним резонатором.

Вперше створено мікросмужковий резонатор з хвилями ШГ на основі ВТНП $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ епітаксильної плівки у вигляді надпровідникового диска на підкладці монокристалу MgO (Рис.2.5. – 2.8.). Резонатор збуджувався за допомогою мікросмужкових ліній передачі у діапазоні 20-40 ГГц (Рис.2.7., 2.8.).

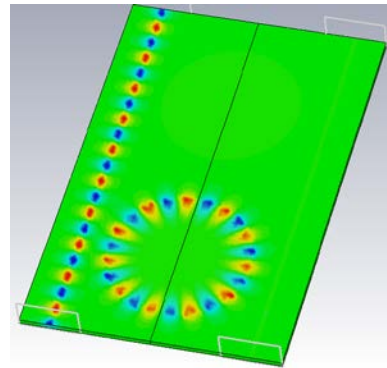
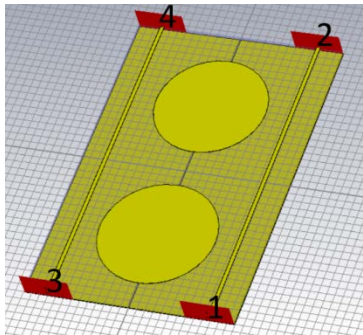


Рис.2.5. Проект для числового експерименту запропонованого ВТНП резонатора з хвилями ШГ.

Рис.2.6. Хвиля у мікросмужковій лінії передачі і хвиля ШГ під ВТНП диском.

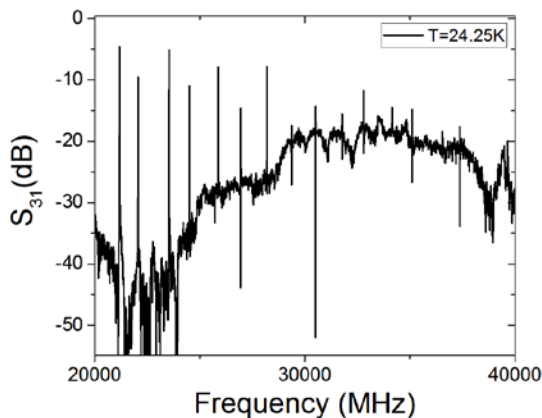


Рис.2.7. Вимірний частотний спектр двох резонаторів при $T = 24, 25 \text{ K}$.

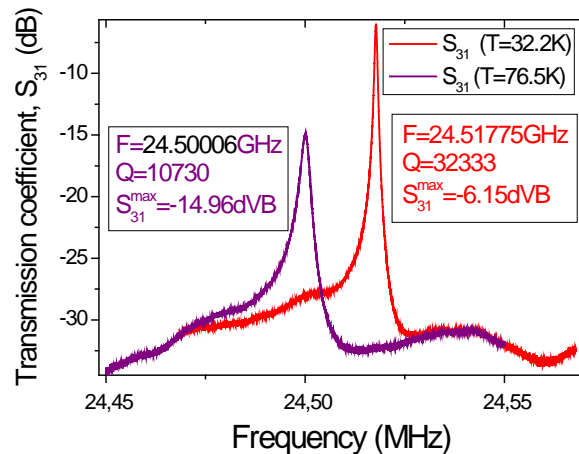
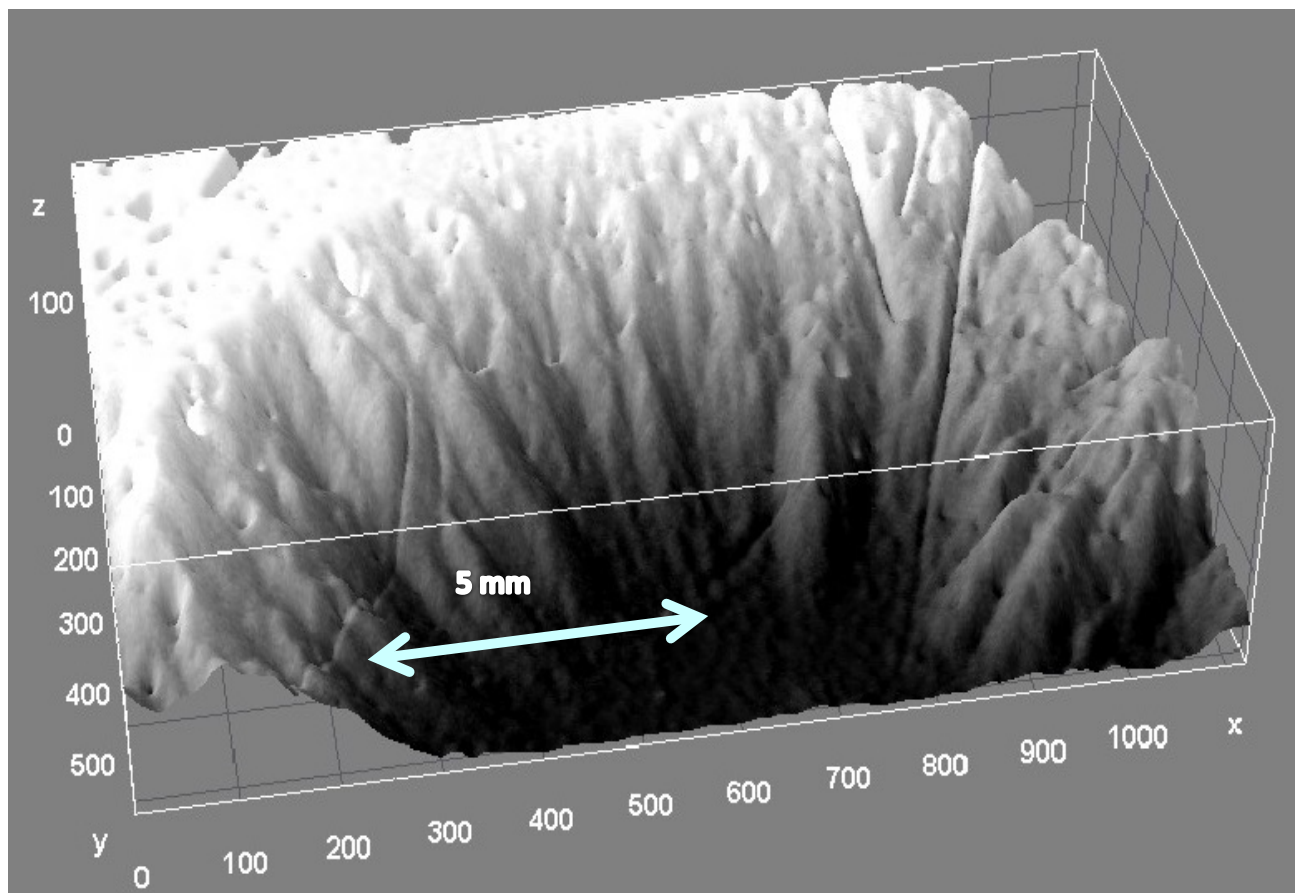


Рис.2.8. Резонансна лінія при двох температурах нижче критичної $T_c = 90^\circ$.

Отримані результати показують вищі значення добротності даного резонатора у порівнянні з мікросмужковими ВТНП резонаторами з основним типом коливань. Вони мають перспективу для використання у дослідженнях ВТНП і діелектриків, а також у мікрохвильових системах, де виникають задачі контролю сигналів при умові малих втрат їх енергії.

(О.А. Баранник, М.Т. Черпак, ІРЕ НАНУ; Ю.-Ш. Хе, Л. Сан, ІФ КАН).

У екструдованому надпровідному NbTi, що він є лідером у технічному застосуванні, магнітооптичним методом встановлено, що динаміка вихрової структури в змінюваному зовнішньому полі призводить до утворення сильно порізаної структури області проникнення



магнітного поля (см. рис., по вертикалі – індукція магнітного поля). Параметр шорсткості ($\alpha = \text{tg}(\log(S(k))/\log k)$, $S(k)$ – спектральна функція) фронту проникаючого потоку має величину $\alpha \approx 0,55$ на рівні мей-снеровського стану (чорна область на рис.) та злегка зменшується при збільшенні поля до 500 Е. Шорсткість структури індукції визначається як стохастичною динамікою вихрової структури, так і неоднорідностями піннінгу, що виникають при екструдованні. Її величина суттєво впливає на стійкість критичного стану, а, отже, і на стабільність всіх надпровідних параметрів, наприклад, транспортних струмів надпровідних кабелів, оскільки стоншення дроту в сучасній технології проводиться методом екструзії та волочіння. Також виконано моделювання порізаних структур індукції магнітного поля з метою чисельного аналізу їх стійкості.

(В. Чабаненко, О. Кучук, ДонФТІ НАНУ; I. Abaloszewa, IP PAN, Poland; C. Romero-Salazar, F. Pérez-Rodríguez, IP BUAP, Mexico)

Переходи Джозефсона в якості базового елемента спроектованих належним чином нанорозмірних СКІВДів мають задовільнити двом основним вимогам, а саме, мати безгістерезисні вольт-амперні характеристики і порівняно слабку залежність надпровідних параметрів від температури в робочому діапазоні. Нами показано, що внутрішнє шунтування

контактів Джозефсона може бути досягнуто за допомогою сильно неоднорідного слабого зв'язку між двома надпровідними електродами з бімодальним розподілом прозорості. При цьому прозорість великої кількості каналів провідності дуже мала, в той час як їх суттєва частина має прозорість, близьку до одиниці. Саме останні канали провідності і реалізують самошунтування в шаруватих структурах Nb/Al–AlO_x–Nb з надтонким оксидом алюмінію AlO_x, що досліджувались нами експериментально в Італії. Порівняння температурної залежності надпровідного струму, розрахованої теоретично для таких джозефсонівських пристроїв, з даними експериментальних вимірів виявилось дуже успішним. Виявлено, що контрольовані зміни в технології виготовлення джозефсонівських гетероструктур призводять до радикальної модифікації температурної поведінки надпровідного струму, яка може цілеспрямовано змінюватись в залежності від прикладних потреб.

(М.О. Білоголовський, ІМФ НАН України, О.С. Житлухіна, ДонФТІ НАНУ, V. Lacquaniti, National Institute for Metrological Research, Turin, Italy).

Проаналізовано вплив мікрохвильового випромінювання на вольт-амперні характеристики (ВАХ) переходів Джозефсона (ПД) $\text{Mo}_{0.56}\text{Re}_{0.44}\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Pb/Sn}$ та $\text{Mo}_{0.56}\text{Re}_{0.44}\text{-AlN-PbSn-I-Pb}$, виготовлених в Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України (Е.М. Руденко та ін.). Показано, що за типових умов плівкові структури $\text{Mo}_{0.56}\text{Re}_{0.44}\text{-Al}_2\text{O}_3\text{Pb/Sn}$ можуть успішно працювати як квадратичні детектори мікрохвильового випромінювання з вольт-ватною чутливістю приблизно $\eta = 20\text{--}100$ В/Вт для діапазону потужностей $P = 0.1\text{--}1$ мВт. При зменшенні потужності сигналу до $P \sim 0.1$ мкВт чутливість детектора зростає до $\eta = 10^3\text{--}10^4$ В/Вт.

Встановлено існування впливу на ВАХ ПД $\text{Mo}_{0.56}\text{Re}_{0.44}\text{-AlN-PbSn-I-Pb}$ сигналу від іншого незалежного одностипного ПД, що керований сталим струмом. Показано, що для випадку малих керуючих струмів, менших за критичний струм переходу, дія одного з переходів на ВАХ іншого нагадує ефект дії на ВАХ НВЧ випромінювання. При перевищенні ж керуючим струмом значення критичного струму, ВАХ ПД зазнає суттєвих змін.

Досліджено ефективність перетворення НВЧ енергії у плівкових структурах на основі $\text{Mo}(x)\text{Re}(1-x)$ і показано, що ефективність конверсії енергії в таких системах лише в декілька разів менша за ефективність конверсії енергії в структурах на основі Nb, і може бути покращена за рахунок подальшого вдосконалення технології виготовлення та експериментального дослідження систем на основі $\text{Mo}(x)\text{Re}(1-x)$.

(Г.А. Мелков, О.В. Прокопенко, В.Ю. Малишев, КНУТШ; Руденко Е.М. та ін., ІМФ НАНУ)

В результаті вивчення закономірностей формування матеріалів на основі дибориду магнію під тиском 2 ГПа встановлено, що у всіх випадках одночасно із утворенням надпровідної фази MgB_2 відбувається формування включень, збагачених на кисень, а також фаз вищих боридів магнію. Включення обох цих типів значно впливають на механізм піннінгу в матеріалі (а відтак і на надпровідні властивості). Дискретний розподіл кисню у наноструктурі MgB_2 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 ($X = 4\text{--}20$), формування яких також приводить до збільшення густини критичного струму в матеріалі, особливо у сильних магнітних полях. Зміна параметрів синтезу значно впливає на надпровідні властивості матеріалу, зокрема, підвищення температури викликає поступовий перехід від зернограничного механізму піннінгу (при 800°C) до точкового (при 1050°C).

Розрахунок густини станів для сполук $\text{Mg}(\text{B}_{1-x}\text{O}_x)_2$ з різною кількістю кисню показало, що всі вони є провідниками з ненульовою густиною станів поблизу рівня Фермі. Якщо атоми кисню заміщують атоми бору, формуючи зигзагоподібні ланцюжки (тобто для сполуки MgB_1O_1 з симетрією P1), досягається рівень енергії зв'язку істотно нижчий, ніж для ідеального дибориду магнію.

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 А/см², 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.

Показана принципова можливість ущільнення надпровідних проводів із MgB₂ під високим тиском без втрати надпровідних властивостей і зміни форми надпровідних жил (вони лише дещо зменшувались в діаметрі). В апараті високого тиску великого розміру (камера діаметром 150 мм) проводи були успішно ущільнені (без розриву і втрати надпровідних властивостей) під тиском 1-2 ГПа при температурі 700 – 800 °С.

(чл. –кор. НАНУ Т.О.Пріхна, А.П.Шаповалов, ІНМ НАНУ)

В рамках класичної механіки вирішується задача про зрив пружної вихорової нитки Абрикосова з протяжного лінійного дефекту в пластині 3D анізотропного надпровідника товщиною $d > 2\lambda$ (λ - лондонівська глибина проникнення) під дією неоднорідно розподіленого транспортного струму, протікаючого у поверхневому екрануючому шарі надпровідника. Досліджено умови виникнення нестійкості запінінгованного стану вихору, і проведені розрахунки відповідної густини критичного струму на поверхні, при якій відбувається депінінг вихорової нитки. Знайдено залежність середньої густини критичного струму від товщини пластини d .

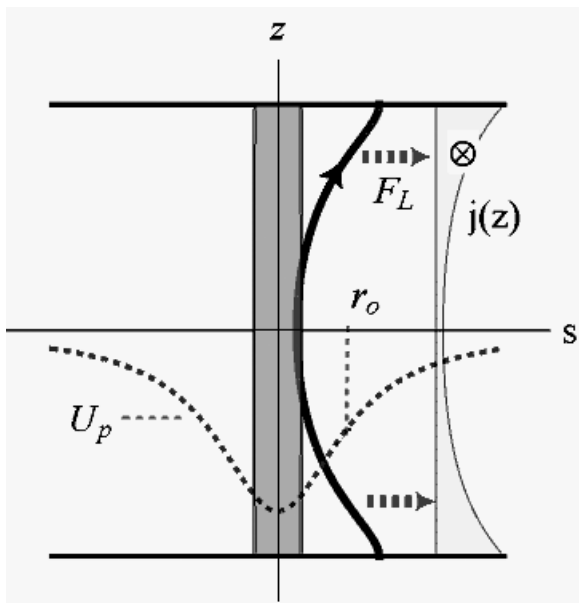


Рис.2.9. Вихорова нитка в потенційній ямі пінінгу лінійного дефекту в присутності поверхневого мейсснерівського струму.

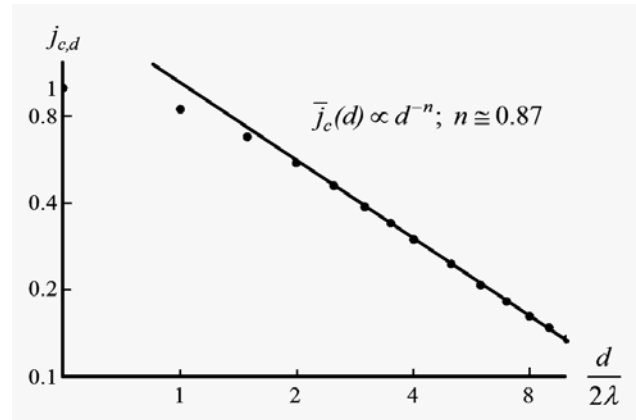


Рис.2.10. Нормована залежність усередненої густини критичного струму депінінгу вихорів з лінійних дефектів від товщини надпровідної пластини.

(О.Л. Касаткін, ІМФ НАНУ)

Секція «Фізика магнітних явищ»

Магнони як квазічастинки з цілим спіном, які можна створювати зовнішньою накачкою, розглядаються як об'єкти для спостереження Бозе-Ейнштейнівської конденсації. В останні роки в цьому напрямку проводяться інтенсивні дослідження. Проте, крім конденсації Бозе-Ейнштейна, можливий інший сценарій динаміки системи з великою густиною магنونів. При надлишковій концентрації, більшій за рівноважну, магنونи внаслідок притягальної взаємодії можуть об'єднатися і утворити включення в кристалах, орієнтація намагніченості в яких протилежна орієнтації намагніченості магнетика. Таке явище подібне до утворення краплин конденсованої фази рідини в перенасиченому парі.

Розглянуто утворення включень нових фаз в непровідному магнетикі з надлишковою густиною магنونів в порівнянні з рівноважною. Вважається, що надлишкова концентрація магنونів створюється зовнішньою накачкою. Просторовий розподіл намагніченості визначається з допомогою рівняння Ландау і Лівшиця з релаксаційним членом, який враховує повздовжню релаксацію намагніченості, дифузію магنونів і створення магنونів зовнішньою накачкою. Вільна енергія системи розглядається в наближенні самоузгодженого поля. Показано, що при інтенсивностях накачки, більших деякого критичного значення, система стає нестабільною стосовно утворення неоднорідних структур, і в магнетикі виникають області нових фаз з орієнтацією намагніченості, протилежною до вектора намагніченості магнетика. Таким чином, відбувається конденсація магنونів в координатному просторі, а не в імпульсному, як при Бозе-Ейнштейнівській конденсації. Включення нової фази (структури), що можуть мати різну форму, є нерівноважними і існують при наявності зовнішньої накачки. Параметри структур залежать від накачки і часу життя магنونів. Розраховані структури у вигляді окремих доменів і ґратки доменів.

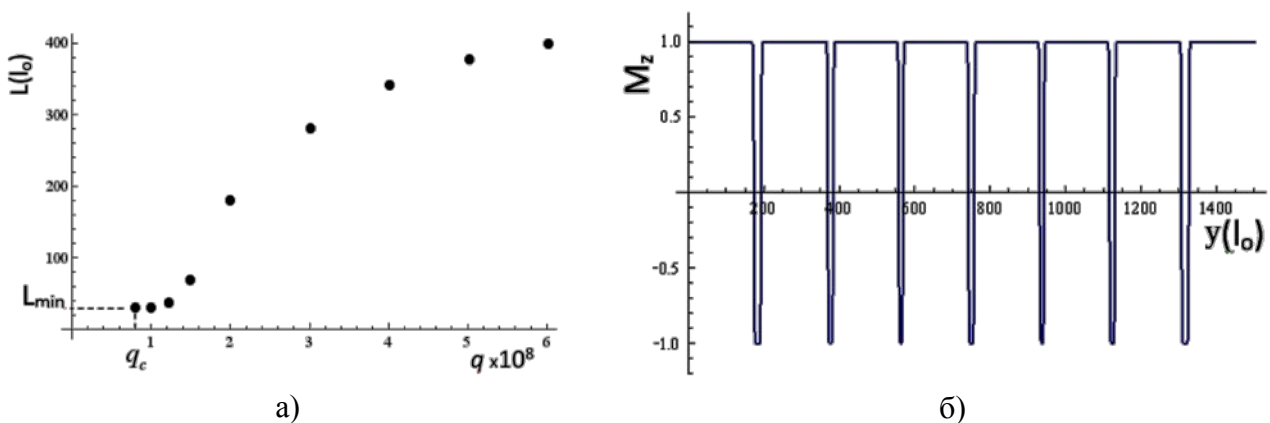


Рис.3.1. (а) – залежність ширини виникаючих при накачці доменів від параметра накачки q і відносних значеннях напруженості магнітного поля $H=0.01$ та швидкості релаксації $\gamma=10^{-6}$. Тут q_c – порогова накачка для створення найменшого домену. Накачка при параметрах $q=10^{-8}$ та $q=6 \cdot 10^{-8}$ зменшує, відповідно, відносну намагніченість на $5 \cdot 10^{-3}$ та $3 \cdot 10^{-2}$. (б) – просторовий розподіл намагніченості при $q=1.5 \cdot 10^{-8}$, $H=0.01$ та $\gamma=10^{-5}$.

Якісний розгляд виникнення таких структур показав, що він подібний до прояву ефектів Бозе-Ейнштейнівської конденсації магنونів. Тому при пошуках Бозе-

Ейнштейнівської конденсації магنونів потрібно враховувати наведений вище сценарій поведінки системи.

(В.Й. Сугаков, ІЯД НАНУ)

Аналітично й чисельно досліджено вплив дисипації на властивості квазісолітонних збуджень у низьковимірних магнетиках (магнітних стрічках смужках) в умовах просторово локалізованого високочастотного накачування циркулярно поляризованим магнітним полем. Проблему проаналізовано в межах методу колективних змінних для ефективної кінцевовимірної динамічної системи. Теоретично описані можливі сценарії регулярної та хаотичної динаміки й проведено порівняння результатів різних підходів чисельного моделювання.

У межах нелінійного рівняння Шредингера із згасанням досліджена проблема квазісолітонних станів у магнітних лініях передачі з легковісного ферромагнетика при точковому впливі високочастотного циркулярного магнітного поля. При виборі розв'язку у вигляді солітонного стану в нескінченній консервативній системі без зовнішнього поля, але із залежними від часу параметрами, отримана система нелінійних рівнянь для повільної еволюції амплітуди, позиції, фази й швидкості локалізованих збуджень.

Доведено, що динаміка квазісолітонних станів при врахуванні згасання в системі має складний характер і істотно залежить від амплітуди прикладеного зовнішнього поля h . Різні сценарії поведінки системи подані на Рис.3.2, як залежність амплітуди прецесії намагніченості a від зовнішнього поля. Аналітично й чисельно отримані розв'язки кінцевовимірної динамічної системи при довільних амплітудах накачування. Знайдена залежність $a = a(h)$ для стаціонарних станів з постійною амплітудою прецесії приведена на Рис.3.2 у вигляді лінії $ob_1b_2b_3b_4$. Показано, що стаціонарні стани стійкі тільки на ділянках ob_1 і b_2b_3 . В інтервалі полів b_2b_1 спостерігається гістерезис польової залежності амплітуди квазісолітону. У більших полях $h > b_3$ модуляційна нестійкість призводить до появи динамічних станів. У результаті послідовності біфуркацій виникають одночастотні стани, що відповідають граничному циклу, відбувається подвоєння періоду, збільшення числа періодів і перехід до хаотичної динаміки (заштрихована область на Рис.3.2.).

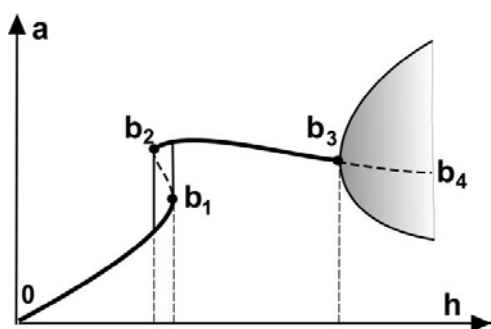


Рис.3.2.

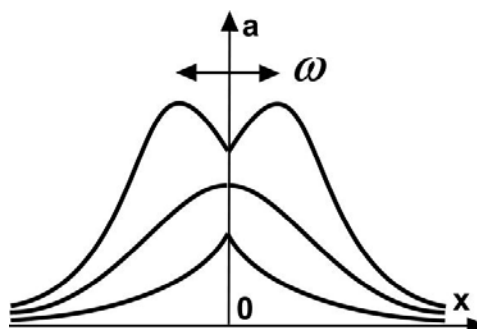


Рис.3.3.

Динамічні стани можна представити як два солітони, що зв'язані в точці накачування і які здійснюють відносні коливання (Рис.3.3).

Проведено порівняння отриманих результатів з даними числового моделювання динаміки в межах вихідного нелінійного рівняння Шредингера, що показало якісний, а в більшості випадків і кількісний збіг результатів.

(В.І. Белан, О.С. Ковальов, ФТІТ НАНУ)

Надшвидкі (фемтосекундні, $\sim 10^{-15}$ с) зміни намагніченості під дією лазерного випромінювання є однією з актуальних напрямків сучасних досліджень в магнетизмі. Виявлення фізичних механізмів, що формують спінову динаміку на таких часових масштабах, має вирішальне значення при створенні приладів спінової електроніки та магنونіки. Реперної точкою у встановленні фізики фемтосекундної динаміки намагніченості є мікроскопічний аналіз особливостей поведінки поздовжньої намагніченості в рівноважному стані системи.

З метою подолання обмежень феноменологічних моделей динаміки намагніченості, методами діаграмної техніки для спінових операторів нами було досліджено поздовжню динаміку намагніченості для двох-підграткового феримагнетика. Підсумовано нескінченну серію діаграм певного типу, що дозволило отримати вираз для поздовжньої сприйнятливості системи $\chi^{zz}(\mathbf{q}, \omega)$, який можна використовувати при всіх значеннях частот ω і хвильового вектору \mathbf{q} , окрім тих, що відповідають гідродинамічному та критичному режимам. Встановлено суттєве перенормування частоти поздовжніх коливань, що обумовлено кількома віртуальними процесами народження та анігіляції поперечних спінових хвиль. А саме, показано, що є канал створення і анігіляції двох акустичних спінових хвиль, який повністю аналогічний феромагнітній системі. Існує також канал народження і знищення двох обмінних спінових збуджень. Третій канал складається з процесів народження та анігіляції акустичного та обмінного магنونів. Інтенсивність перших двох каналів визначається бозевською функцією розподілу спінових хвиль. Проте, процес створення або знищення одного акустичного і одного обмінного магنونів (третій канал) залишається ефективним навіть при відсутності теплових поперечних збуджень і, на нашу думку, він швидше за все, дає основний внесок при фемтосекундному перемагнічуванні.

В цілому, спектр поздовжніх коливань складається з квазі-релаксаційної моди, що зумовлює центральний пік частотної залежності поздовжньої сприйнятливості $\chi^{zz}(\mathbf{q}, \omega)$, та двох мод (акустичної та обмінної) осциляційного типу. Встановлено, що як акустична, так і обмінна моди поздовжніх коливань за енергією розташовані вище, ніж подібні моди поперечних спінових хвиль при тій же температурі та хвильовому векторі. Існування обмінних поздовжніх мод такого типу виявляє нові особливості динаміки намагніченості феримагнітних систем при підвищених температурах, що може бути важливим для розуміння фізики нерівноважних збуджень у феримагнетиках під дією фемтосекундного лазерного випромінювання.

На рис.3.4 наведено приклади (а) діаграмного ряду для $\chi^{zz}(\mathbf{q}, \omega)$ (двох-петельні діаграми) та (б) графічного рівняння для ефективної вершини розсіювання магنونів.

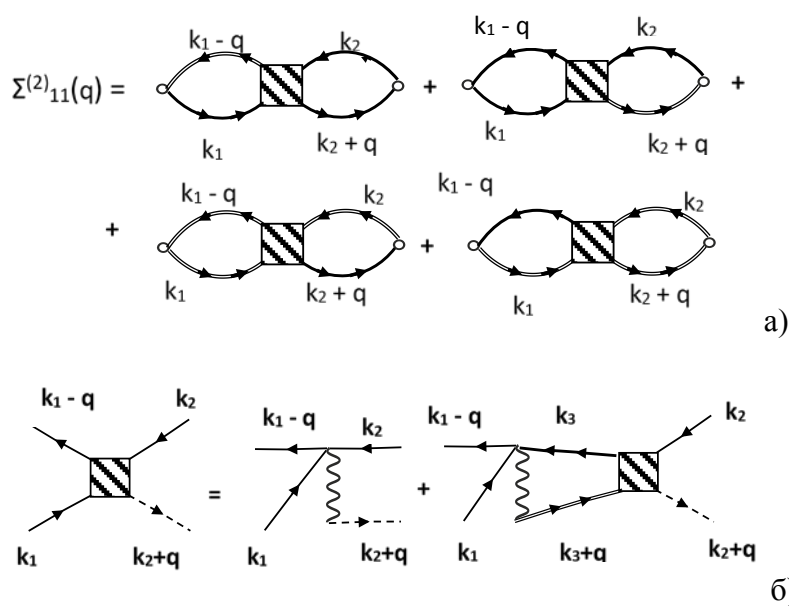


Рис.3.4. (а) діаграмний ряд для $\chi^{zz}(\mathbf{q}, \omega)$ (двох-петельні діаграми) та (б) графічне рівняння для ефективної вершини розсіювання магنونів.

(В.М. Криворучко, ДонФТІ НАНУ)

В кристалі ортофериту диспрізію експериментально виявлено і теоретично описано спричинений дією лазерного імпульсу фазовий перехід із колінарного антиферромагнітного стану в неколінарний стан з слабким феромагнітним моментом. Процес переходу візуалізовано з просторовою роздільною здатністю біля мікрона та з фемтосекундною роздільною здатністю в часі. При малій енергії імпульсу відбувається тільки збудження спінових коливань з частотою, характерною для відповідної магнітної фази. Збільшення енергії призводить до переходу з утворенням нової фази, яка існує в тій частині кристала, на яку діє лазерний імпульс (Рис.3.5).

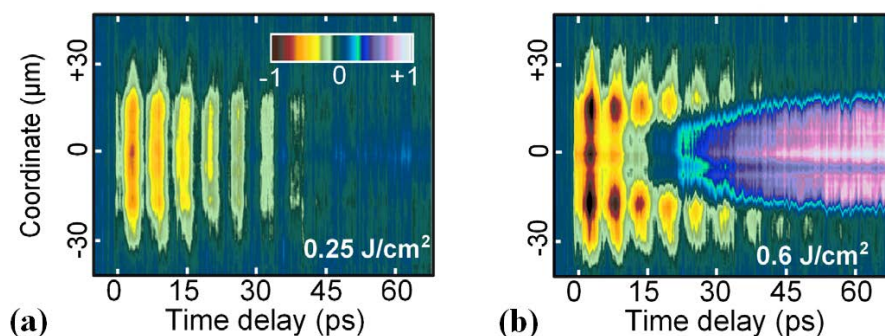


Рис.3.5. Просторово-часова ілюстрація еволюції намагніченості в освітленій ділянці зразка після дії лазерного імпульсу тривалістю 60 фемтосекунд. Енергія лазерного імпульсу: (а) – 0,25 Дж/см², (б) – 0,6 Дж/см².

Встановлено, що цей новий тип надшвидкого переходу відбувається в дві стадії: імпульс спочатку збуджує (за час порядку пікосекунд) когерентні спінові коливання в початковій колінарній фазі, енергія яких потім витрачається на створення і зростання зародків нової (слабко-феромагнітної) фази. В результаті протягом десятків пікосекунд

виникає область неколінеарної магнітної фази із слабким феромагнітним моментом, напрямком якого залежить від поляризації світлового імпульсу і від напрямку вектора антиферомагнетизму в вихідній фазі (Рис.3.6.).

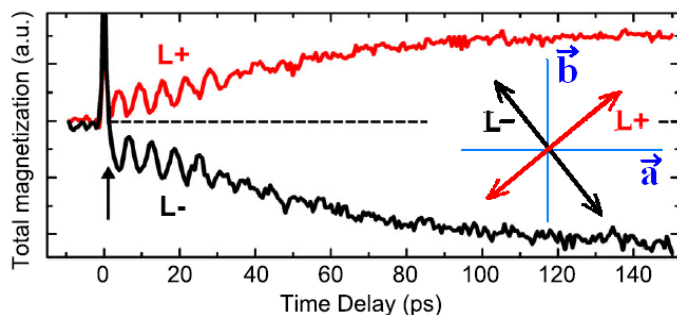


Рис.3.6. Еволюція намагніченості освітленої ділянки кристала після дії лазерного імпульсу. Кожна крива є різниця даних, одержаних в двох експериментах, що проводились при двох азимутах лінійної поляризації ($\varphi = \pm 45^\circ$) лазерного світла (показано подвійними стрілками). Дві криві одержані при протилежних напрямках вектора антиферомагнетизму, який колінеарний осі \mathbf{b} кристала ($L^+(L \uparrow \mathbf{b})$ і $L^-(L \downarrow \mathbf{b})$), \vec{a} і \vec{b} - кристалографічні осі).

(Б.А. Иванов, ИМаг НАНУ и МОНУ; Д. Афанасьев, А.В. Кимель, А. Кирилук и Тео Разинг (Th. Rasing), Университет Радбоуд, Ниймеген, Нидерланды (Radboud University, Nijmegen, The Netherlands); Р.В. Писарев, ФТИ, Ст. Петербург, Россия)

Пояснення дробових плато намагніченості залишається однією з гарячих тем в теорії магнетизму. Зокрема, у магнітній сполуці $\text{SrCu}_2(\text{VO}_3)_2$ з сильною взаємодією всередині спінових димерів, яка описується моделлю Шастри-Сазерленда, на низькотемпературній кривій намагнічування спостережено ряд дробових плато при намагніченостях $1/8$, $2/15$, $1/6$ та $1/4$ від значення насичення. Природа цих плато залишається не до кінця зрозумілою.

Спін-1/2 ортогонально-димерний ланцюжок Гайзенберга, який є одновимірним узагальненням двовимірної моделі Шастри-Сазерленда, належить до знакових моделей серед квантових спінових ланцюжків. Він виявляє ряд особливостей на кривій намагніченості при $T = 0$, зокрема, добре помітні плато намагніченості при її відносних значеннях 0 , $1/4$ та $1/2$, а також безмежну послідовність дрібних дробових плато при $n/(2n+2)$ ($n > 1$), та фазу спінової рідини при полях близьких до стану насичення. Для вивчення основного стану цієї моделі застосовано метод, який ґрунтується на використанні теорії збурень для вироджених станів, де в якості незбуреної частини вибрано точно-розв'язну модель Ізінга-Гайзенберга. Показано, що запропонований метод позбавлений недоліків простішого підходу, де незбуреним гамільтоніаном є система незв'язаних димерів. Результати наближення вже у другому порядку теорії збурень показують добру збіжність діаграми основного стану та намагніченості з даними числових методів (см. Рис.3.7.). Зокрема, продемонстровано, що використаний підхід допускає відтворення послідовності дробових плато між $1/4$ і $1/2$ намагніченостями при подальшому розвиненні теорії збурень, а також описує фазу спінової рідини при сильних

полях. Це дозволяє сподіватись, що аналогічний пертурбативний розклад в околі точного розв'язку для моделі Ізінга-Гайзенберга на ґратці Шастри-Сазерленда дозволить правильно описати послідовність плато намагніченості у $\text{SrCu}_2(\text{VO}_3)_2$ та може бути застосована до інших систем з сильними взаємодіями всередині спінових димерів.

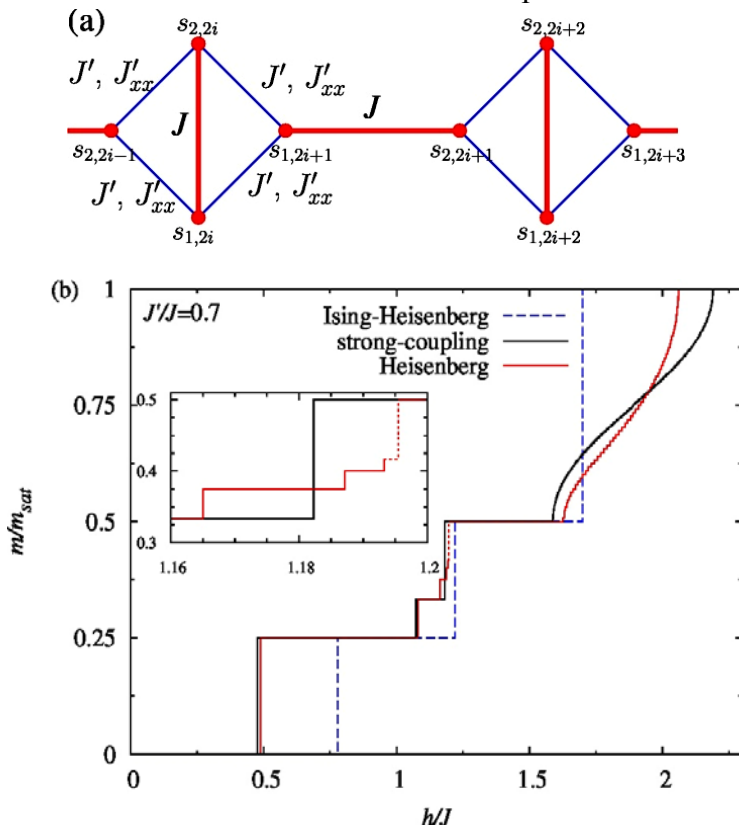


Рис.3.7.

(a) – схематичне зображення спін-1/2 ортогонально-димерного ланцюжка,

(b) – намагніченість моделі при $T = 0$: порівняння запропонованого підходу (*strong coupling*) з результатами числового методу (*Heisenberg*) та з результатами для моделі Ізінга-Гайзенберга.

(Тарас Верхоляк, ІФКС НАНУ)

За допомогою методу Раманового розсіювання світла були вперше досліджені магнітні збудження в квазіодновимірній $S = 1$ галдейновій ланцюжковій спіновій системі монокристала $\text{SrNi}_2\text{V}_2\text{O}_8$. В одержаних спектрах (Рис.3.8.) були виявлені смуги, що відповідають збудженням різних станів спінової системи кристала. Доведено, що низькочастотна магнітна мода з енергією 22 cm^{-1} (Рис.3.8. (a)) відповідає переходу між синглетним та триплетним станами галдейнової фази, різниця енергій яких становить $\Delta = 22 \text{ cm}^{-1}$. Енергія магнітного збудження 222 cm^{-1} ($\sim 7.7\Delta$) (Рис.3.8. (a)) не співпадає із теоретично очікуваними енергіями мультимагнетонних збуджень в галдейновій спіновій системі. Це збудження інтерпретовано як двомагнетонний процес, який відбувається внаслідок близькості енергії основного стану $\text{SrNi}_2\text{V}_2\text{O}_8$ до лінії квантових переходів у магніто-впорядковану фазу на фазовій діаграмі Сакаї-Такахаші.

Вперше, в геометрії розсіювання світла, коли поляризація падаючого і розсіяного світла перпендикулярна до напрямку ланцюжка, і світло падає і розсіюється також перпендикулярно до ланцюжка, спостережено температурно-залежний широкий безщілинний континуум (Рис.3.8. (b)), який інтерпретовано як спіноно-подібні збудження, що пов'язані із симетрійно захищеним $S = 1/2$ топологічним станом на поверхні квазіодновимірної $S = 1$ галдейнової фази.

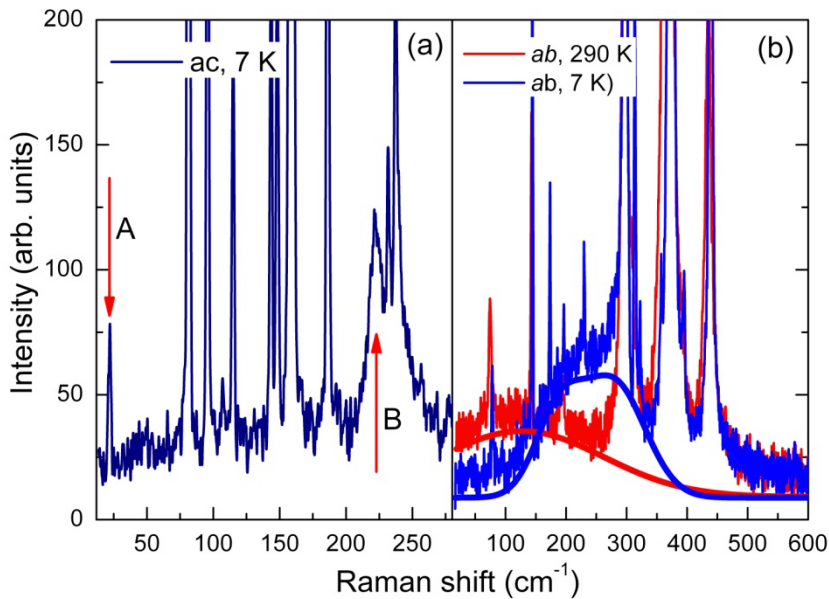


Рис.3.8. Поляризовані спектри розсіяного світла в монокристалі $\text{SrNi}_2\text{V}_2\text{O}_8$ при двох геометріях розсіювання світла. Стрілками на (a) відзначені триpletне (A) і двохмагнетонне (B) спінові збудження. Суцільні жирні лінії на (b) відповідають температурно-залежним спінонно-подібним магнітним збудженням.

(В.П. Гнезділов, В.С. Курносів, ФТІНТ НАНУ; Ю.Г. Пашкевич, ДонФТІ НАНУ; P.Lemmens, ICMP TU Braunschweig, Germany; A. K. Bera, A. T. M. N. Islam, B. Lake, Helmholtz-Zentrum, Berlin, Germany)

Одна з моделей, яка має застосування до пояснення властивостей низки магнітних сполук, є спин-1/2 модель Гайзенберга з різними величинами антиферомагнітних обмінних взаємодій J і J' . Якщо обмінні взаємодії J і J' зв'язують вузли квадратної ґратки так, як показано на рисунку (суцільні червоні відрізки позначають обмінні взаємодії J' , а штрихові сині відрізки позначають обмінні взаємодії J), то у спіновій системі може відбуватися квантовий фазовий перехід (тобто перехід в основному стані при $T = 0$). Його контролює відношення J'/J : якщо це відношення дорівнює одиниці, то маємо порядок типу Нееля, а коли воно прямує до нескінченності, то основним станом є кристал з синглетів, у якому намагніченість підґраток відсутня. Числові дослідження методом квантового Монте Карло показують, що критичне значення J'/J є ≈ 2.52 , а квантовий фазовий перехід є перехід другого роду.

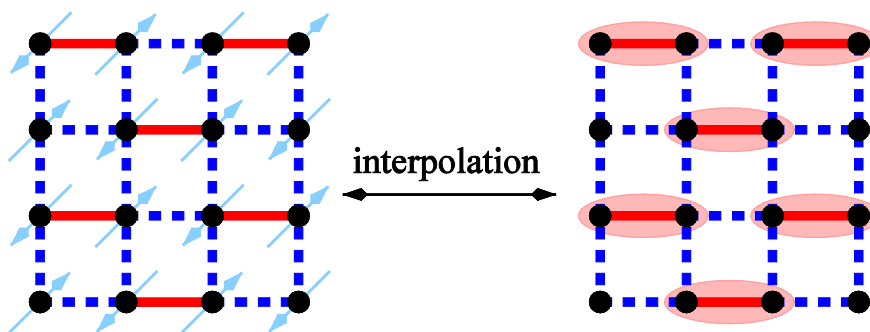


Рис.3.9. Зліва зображено стан типу стану Нееля, а справа зображено стан, що є добутком синглетів на зв'язках J' .

Ми поставили питання про теорію для цього квантового фазового переходу подібну до теорії фазових переходів Ландау. Звичайна заміна операторів середніми значеннями, яка приводить до теорії Ландау, тут не працює. Ідею середнього поля можна реалізувати, скориставшись варіаційною хвильовою функцією, яка інтерполює між двома основними станами у границі $J'/J = 1$ і границі $J'/J \rightarrow \infty$. Ми показуємо, що така теорія є аналогом теорії Ландау. Припускаючи, що варіаційний параметр є просторово неоднорідним, можна прийти і до теорії Гінзбурга-Ландау. Запропоновану схему можна розвинути далі, замінивши ізотропну обмінну взаємодію Гайзенберга обмінною взаємодією XXZ , а також розглянувши більші значення спіну $S > 1/2$. Крім того, у цю схему легко включити взаємодії, наступні після найближчих сусідів на квадратній ґратці: така модель уже не може бути досліджена методом квантового Монте Карло. $J'-J-J_2$ модель у окремому випадку $J'=J=J_1$ перетворюється у відому J_1-J_2 модель на квадратній ґратці. Передбачення нашої теорії для зникнення порядку типу Нееля у цьому випадку $J_2/J_1=1/2$ непогано узгоджується із значеннями 0.4..0.45, які отримані набагато складнішими розрахунками. Нарешті запропонована схема може бути застосовна і до інших, не двопідґраткових ґраток, наприклад, до $J-J'$ моделі на ґратці зірка (star lattice). При цьому просте наближення середнього поля відразу передбачає відсутність магнітного порядку в однорідному випадку $J=J'$. Цей результат погоджується з результатами аналізу з використанням складних методів сучасної теорії багаточастинкових систем.

(Олег Держко, ІФКС НАНУ)

Квазіодновимірні квантові магнітні системи багатьох тіл з взаємодією протягом останніх років становлять значний інтерес для досліджень. Цей інтерес пов'язаний з тим, що протягом останнього десятиріччя було синтезовано багато сполук, магнітні властивості яких подібні до тих, які мають спінові ланцюжки. З іншого боку, квазіодновимірні системи дають можливість порівняти результати експериментів на них з результатами точних квантовомеханічних теоретичних розрахунків. Крім того, одновимірні квантові моделі активно застосовуються при теоретичному вивченні наноструктур, теорії мезоскопічних приладів та побудові теорії квантових комп'ютерів.

В 2016 році в Лабораторії сильних магнітних полів (Німеччина) вивчали високочастотні властивості (електронний спіновий резонанс) низьковимірної органічної сполуки $(C_5H_{12}N)_2CuBr_4$, термодинамічні низькотемпературні властивості якої добре описуються за допомогою моделі спінової драбини (два спінові ланцюжки). Нами було побудовано квантову теорію спінового резонансу для цього класу спінових низьковимірних сполук, яка добре описала високочастотні резонансні характеристики цієї сполуки.

На Рис.3.10 показано температурну залежність ширини лінії електронного спінового резонансу в цій спіновій драбині. Видно, що для інтервалу температур, в якому магнітна система веде себе як одновимірна (приблизно між 3 та 20 К), згода між даними експерименту та теорії добра.

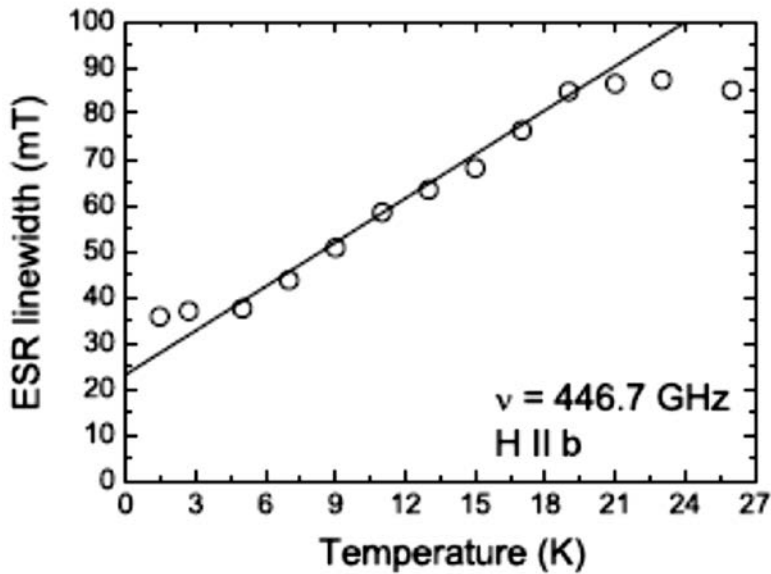


Рис.3.10. Температурна залежність ширини лінії електронного спінового резонансу в квазіодно-вимірній спіновій сполуці $(\text{C}_5\text{H}_{12}\text{N})_2\text{CuBr}_4$ (крива – теорія; символи – експеримент).

(А.А. Звягін, ФТІНТ НАНУ; A. N. Ponomaryov, M. Ozerov, L. Zviagina, S. A. Zvyagin, J. Wosnitza, S. A. Zvyagin, Dresden High Magnetic Field Laboratory Germany; Xiao, C. Landee, Clark University, Worcester, Massachusetts, USA; E. Čížmár, P. J. Šafárik University, Košice, Slovakia; Yu. Povarov, F. Xiao, A. Zheludev, Laboratory for Solid State Physics, Zürich, Switzerland)

Магнітні системи з фрустрацією є одними з магнітних систем, чиї низькотемпературні властивості найскладніше описувати теоретично, тому що фрустрація призводить до термодинамічно великого виродження основного стану системи (або низькоенергетичних станів). Саме тому, такі методи теорії магнітних систем, як теорія середнього поля (в багатьох її модифікаціях) та теорія спінових хвиль (що базується на знанні основного стану) не можуть бути прямо використані для теоретичного опису магнітних явищ в фрустрованих магнетиках. З іншого боку, експерименти з фрустрованими магнетиками виявляють їх риси, що різко відрізняють їх від стандартних магнітно впорядкованих магнітних систем, або від парамагнетиків.

В 2016 році в Лабораторії сильних магнітних полів вивчалися низькотемпературні магніто-акустичні характеристики одного з представників сімейства фрустрованих магнітних систем типу спінового льоду – $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$, в якому магнітна анізотропія не така велика, як в представниках класичного спінового льоду ($\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ та $\text{Ho}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$). Спінова система $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ належать до класу квантового спінового льоду. Нами було побудовано теорію, яка задовільно описує поведінку низькотемпературних акустичних характеристик $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$. На Рис.3.11 приведено залежності швидкості звуку в цій сполуці (представлено дані експерименту та теоретичні розрахунки).

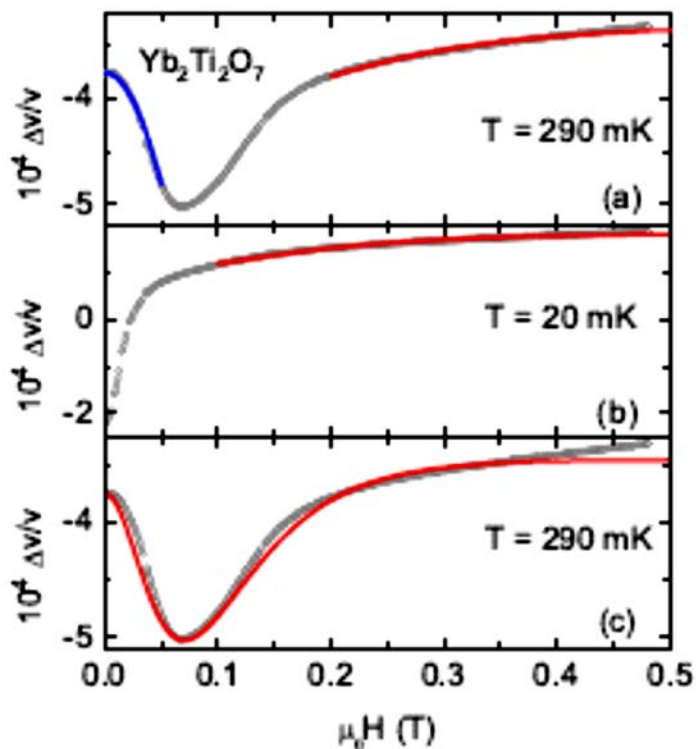


Рис.3.11. Порівняння теоретичних розрахунків (червоні та сині криві) та дані експерименту (сірі пунктирні криві) для $\text{Yb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ при різних температурах.

(А.А. Звягін, ФТІНТ НАНУ, Subhro Bhattacharjee, R. Moessner, Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme, S. Erfanfam, E. L. Green, M. Naumann, Zhaosheng Wang, Hochfeld-Magnetlabor Dresden, S. Granovsky, M. Doerr, J. Wosnitzer, A. Maljuk, S. Wurmehl, B. Büchner, Institut für Festkörperphysik, Technische Universität Dresden, and S. Zherlitsyn, Leibniz Institute for Solid State and Materials Research Dresden, Germany)

Запропоновано ефективну магнітну модель, що описує низькотемпературну поведінку ансамблю електронів на одновимірній ґратці-матриці. В рамках моделі показано, що при скільки завгодно слабкому розупорядкуванні позицій вузлів ґратці-матриці дальній порядок в основному стані руйнується: система розбивається на “ферромагнітні” домени випадкової довжини. Отримана аналітична залежність, що зв'язує типовий розмір цих доменів \bar{l} з параметром розупорядкування позицій вузлів решітки-матриці A . Ефективний гамільтоніан такої системи має вигляд:

$$H = \sum_{m=1}^{N-1} \tilde{J}_m \sigma_m \sigma_{m+1} - \sum_{m=1}^N h_m \sigma_m,$$

де σ_m - стандартні ізінгові змінні ($\sigma_m = \pm 1$), а \tilde{J}_m, h_m - випадкові величини, які залежать від A ($A=0$ відповідає відсутності безладу і $\tilde{J}_m = -1, h_m = 0$). На межі слабого безладу ($A \ll 1$) була отримана функція розподілу доменів за їх довжиною l :

$$w(l) \approx \frac{\varepsilon_{dw}^{mid}}{\sqrt{2\pi D_0}} \exp\left(-\frac{(\varepsilon_{dw}^{mid})^2}{2D_0 l}\right) l^{3/2}.$$

Тут ε_{dw}^{mid} - середня енергія утворення доменної стінки, D_0 - дисперсія енергій доменів. Тоді

середня довжина домену
$$\bar{l} = \left\langle \frac{1}{l} \right\rangle^{-1} = \left(\int_0^{\infty} \frac{w(l)}{l} dl \right)^{-1},$$

а концентрація доменів
$$c_{dom} \approx \frac{1}{\bar{l}} \approx \frac{3A^4}{80} [1 + 2A].$$

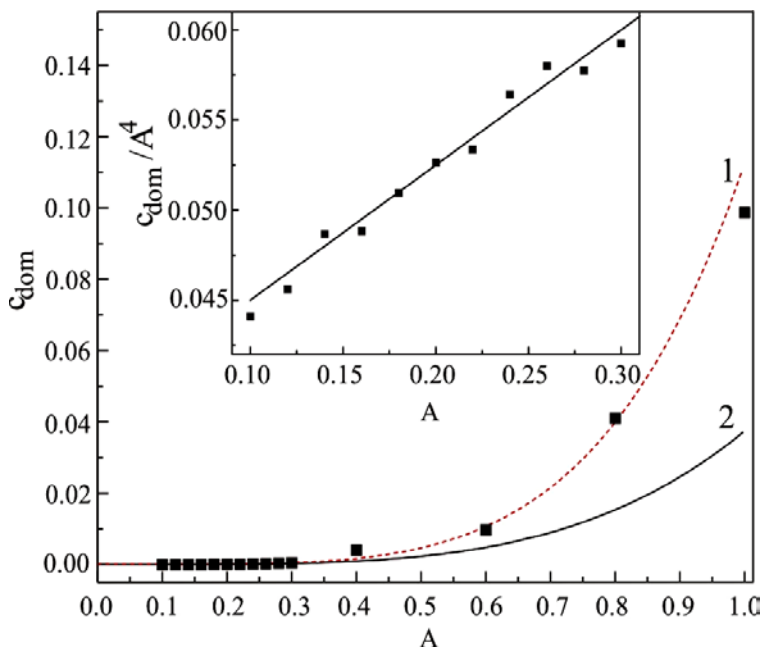


Рис.3.12. Залежність $c_{dom}(A)$.

1 і 2 - залежності

$$c_{dom} = (3A^4/80)(1 + 2A) \text{ і}$$

$$c_{dom} = (3A^4/80).$$

На вставці представлена залежність

$$c_{dom}(A) \text{ в області малого}$$

розупорядкування. Суцільна лінія - залежність

$$c_{dom}/A^4 = (3/80)(1 + 2A).$$

Зафарбовані квадрати - результати чисельного моделювання

(В.В. Славін, О.О. Кривчіков, ФТІНТ НАНУ)

Досліджено особливості феромагнітного резонансу в плівках Ni-Mn-Ga товщиною 1 мкм, осаджених на підігріті монокристалічні підкладинки MgO (001). Тонкі плівки Ni-Mn-Ga, вирощені на нагрітому монокристалічному MgO (001), мають мартенситне перетворення поблизу $t = -70^\circ\text{C}$ між високотемпературною аустенітною кубічною фазою та низькотемпературною мартенситною орторомбічною. Перехід до мартенситної фази супроводжується суттєвим збільшенням ширини лінії феромагнітного резонансу, що пов'язано з виникненням одновісної магнітокристалічної анізотропії та неоднорідних механічних напружень на границі підкладинка – плівка.

Спектр феромагнітного резонансу складається з двох ліній (Рис.3.13), що мають різну температурну поведінку. Одна із ліній є досить симетричною, а її ширина в аустенітному стані практично не залежить від температури. Друга лінія є неоднорідно уширеною, а її ширина змінюється пропорційно до намагніченості зразка. Поведінка першої лінії характерна

для епітаксіальних плівок Гейслерівських сплавів, параметри яких близькі до параметрів ґратки підкладки. Друга лінія є типовою для плівок зі структурованою поверхнею або для плівок, осаджених на підкладці зі структурованою поверхнею (сітки, пористі матриці, тощо).

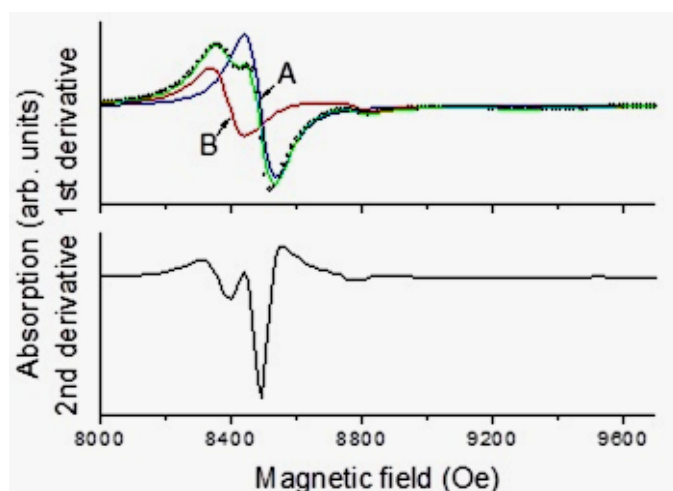


Рис.3.13. Резонансний спектр плівки записаний при 70°C в аустеніті (перша і друга похідна поглинання). Магнітне поле спрямоване перпендикулярно до площини плівки. Розклад спектра на дві лінії, А і В, показано на верхньому графіку.

Виходячи з даних ФМР нами були проведені структурні дослідження методами атомної силової мікроскопії та електронної мікроскопії, які показали, що плівка дійсно складається з двох шарів (Рис.3.14). Нижній шар товщиною 900 нм є епітаксіальною плівкою (001) на підкладці MgO. Верхній шар товщиною порядку 100 нм складається з нанодротів, що орієнтовані вздовж напрямків [110] монокристалічної підкладки і мають строгу кристалічну орієнтацію.

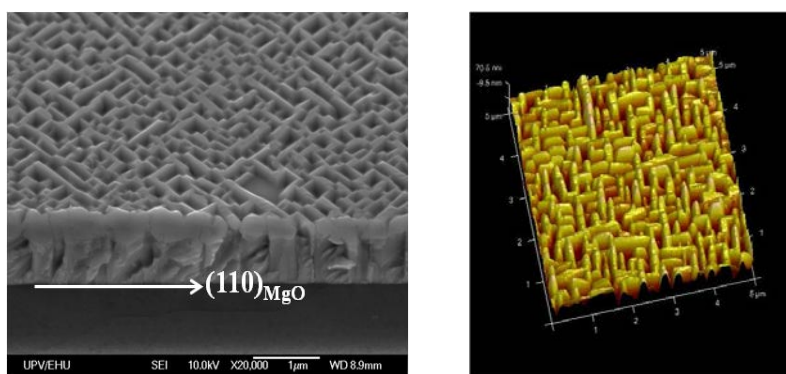


Рис.3.14. Рельєф поверхні плівки, отриманий за допомогою скануючої електронної мікроскопії (ліворуч) і атомно-силової мікроскопії (праворуч)

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

Здатність магнітних наночастинок нагріватися під дією змінного магнітного поля вже знайшла застосування в одному з методів лікування онкологічних захворювань – магнітній гіпертермії (МГТ). Принцип МГТ ґрунтується на тому, що ракові пухлини є більш чутливими до дії тепла, ніж здорові тканини організму. Зокрема, відомо, що нагрівання до температур 42–45°C підвищує чутливість вражених клітин до застосування хіміотерапії або радіотерапії. При цьому дози ліків або опромінення можна значно зменшити, що суттєво ослаблює побічні ефекти. Окрім цього, шляхом нагрівання до 46–50°C можна повністю зруйнувати ракові клітини (процес термоабляції).

Широкому розповсюдженню МГТ заважають ризики нерівномірного нагріву пухлин, а також перегріву і пошкодження прилеглих здорових тканин, оскільки локальний контроль температури в живому організмі утруднений. Використання наночастинок з фазовим переходом із магнітно впорядкованого в невпорядкований стан в інтервалі температур біля 45°C може вирішити цю проблему, оскільки розігрів є ефективним лише нижче температури магнітного впорядкування (T_C). Особливий інтерес з цієї точки зору представляють матеріали типу $(La,Sr)MnO_3$, в яких величиною T_C можна керувати шляхом часткових заміщень в підґратках лантану та марганцю. У даній роботі показана можливість керування магнітними параметрами, височастотними втратами та максимальною температурою нагріву в наночастинках $(La,Sr)MnO_3$ (розміри – біля 30 нм) шляхом часткового заміщення Mn на Fe.

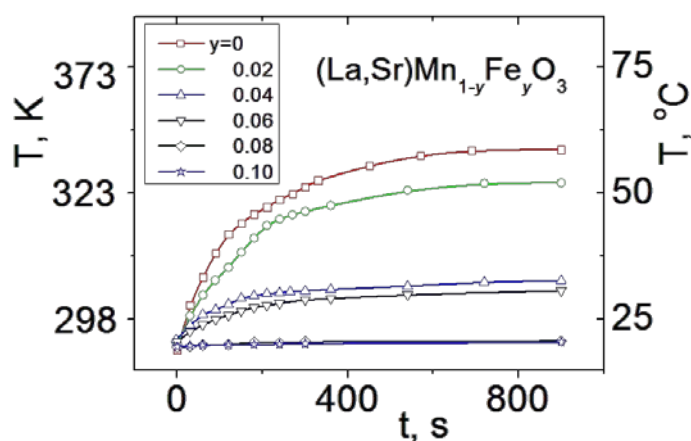


Рис.3.15. Залежність температури нагріву від часу перебування наночастинок $(La,Sr)Mn_{1-y}Fe_yO_3$ у змінному магнітному полі (400 кГц, 9,5 кА/м).

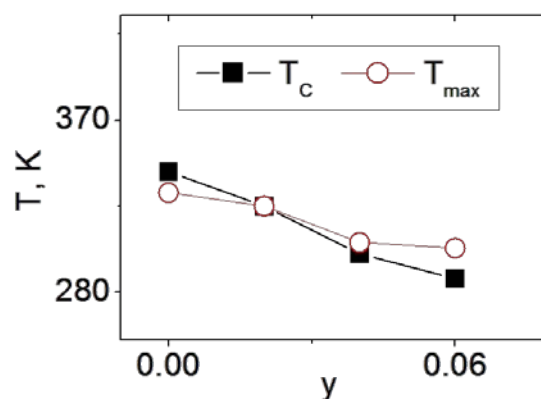


Рис.3.16. Температура Кюрі (T_C) та максимальна температура нагріву (T_{max}) наночастинок $(La,Sr)Mn_{1-y}Fe_yO_3$ у змінному магнітному полі (400 кГц, 9,5 кА/м).

Як видно з рис.3.15 та рис.3.16, дія змінного магнітного поля приводить до ефективного нагріву наночастинок $(La,Sr)Mn_{1-y}Fe_yO_3$ до температур, близьких до T_C , а при переході в парамагнітний стан ефективність нагріву суттєво ослаблюється. Таким чином, варіюючи температуру Кюрі наночастинок, можна керувати максимальною температурою, яка досягається в результаті нагріву. Це означає, що наночастинок на основі заміщених манганітів

є перспективними для застосування в якості матеріалів для саморегульованої магнітної наногіпертермії.

(А.Г. Білоус, С.О. Солопан, Ю. Шлапа, ІЗНХ НАНУ; В.М. Калита, М.М. Кулик, ІФ НАНУ; О.І. Товстолиткін, Т.І. Полек, ІМаг НАНУ та МОНУ).

Методом ЕПР спектроскопії проведено дослідження взаємодії магнітних наночастинок Fe_3O_4 з різними спеціальними лікарськими препаратами. На прикладі типових препаратів показано, що препарати з різними зарядами приводять до зміни поверхневих зарядів магнітних наночастинок і до утворення комплексів в ході такої взаємодії. Ці зміни стану можуть бути впевнено зареєстровані методами ЕПР.

Досліджувались наночастинок магнетиту Fe_3O_4 , синтезовані кріохімічним методом. Розмір наночастинок становить 11 нм. Електростатичний цитрат натрію, регулятор (NaCit), був використаний для перезарядки поверхні наночастинок. Спектри ФМР наночастинок Fe_3O_4 , що змішані з препаратами еозином (Eos) і профлавіном (Pf), приведені на Рис.3.17.

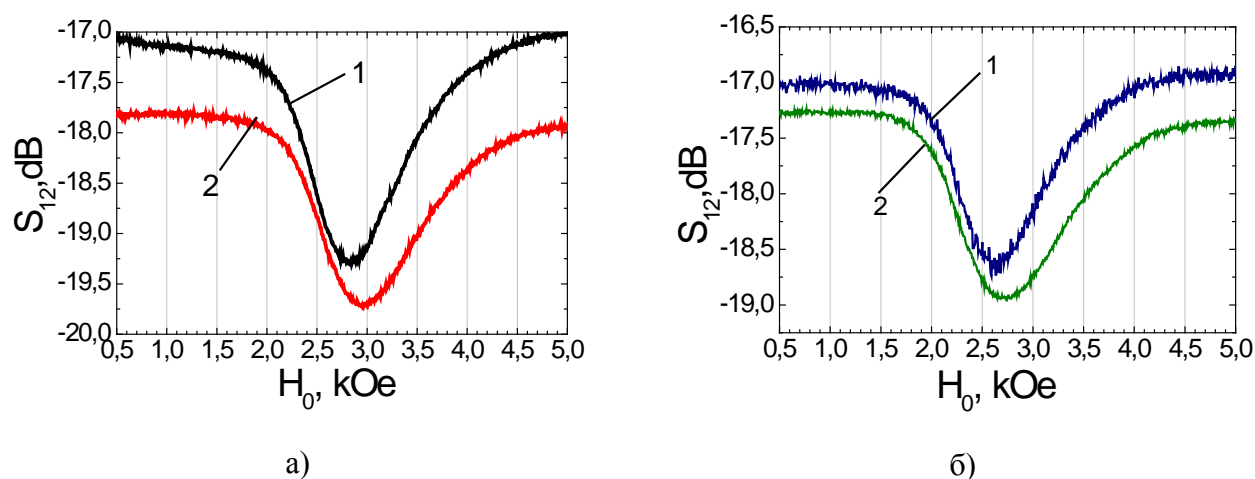


Рис.3.17. ФМР спектри наночастинок Fe_3O_4 при $f = 9.50000 \text{ GHz}$, висушених з суспензій в:
а) Fe_3O_4 в дистильованій воді (1), Fe_3O_4 -Eos в дистильованій воді (2);
б) Fe_3O_4 в водному розчині NaCit (1), Fe_3O_4 - Pf у водному розчині NaCit (2)

Спостережуваний зсув в спектрах ФМР означає, що диполь-дипольна взаємодія між наночастинками зменшується, коли препарати змішують з порошком наночастинок. Це явище можна пояснити утворенням додаткової оболонки із лікарських засобів на поверхні магнетиту, що призводить до збільшення відстані між наночастинками і запобігає їх агрегації. Запропоновано просту емпіричну методику інтерпретування ЕПР-відгуків від таких магнетиків в рамках моделі слабо взаємодіючих сферичних частинок, де враховано лише поверхневу магнітну анізотропію.

Комплексні дослідження ФМР та ІЧ спектроскопії показали, що наночастинок Fe_3O_4 взаємодіють із зарядженими препаратами електростатичним чином. Негативно заряджений Eos препарат зв'язується з магнетитом без попередньої модифікації поверхні наночастинок. Додавання цитрату натрію до системи призводить до перезарядження поверхні наночастинок. Це дозволяє формувати комплекс між магнетитом та позитивно зарядженим препаратом Pf.

Таким чином, перезарядка наночастинок поверхонь забезпечує вибіркове зв'язування препаратів з різним знаком заряду. Формування комплексу призводить до зміни спектральних властивостей, які можуть бути виявлені як методами ІЧ-, так і ФМР- спектроскопії. Таким чином, поєднання обох методів є ефективним і перспективним підходом до вивчення взаємодії магнітних комплексів з об'єктами біологічного походження.

(А.С. Вакула, Т.В. Калмикова, К.Г. Березняк, С.В.Недех, С. И. Тарапов, ІРЕ НАНУ; А.Г. Білоус, ІЗНХ НАНУ)

Магнітна резонансно-силова мікроскопія (МРСМ) є потужним методом дослідження спінової динаміки та релаксації і має медичне та біологічне застосування. У ферромагнітних наноструктурах вона дозволяє досліджувати динаміку спінових хвиль та магнітних вихорів. Фізичним підґрунтям методу є дипольна взаємодія між спінами зразка та спінами магнітного наконечника, що знаходиться на консолі мікрорезонатора. Зміни магнітного стану зразка завдяки дипольній взаємодії передаються до консолі та реєструються завдяки змінам його вібрацій.

Ми провели аналітичний аналіз спектрів та профілів відповідних спінових хвиль, локалізованих в тонкій пермалоевій плівці. Локалізація відбувається завдяки сильно неоднорідному дипольному полю від магнітного наконечника (сфера на Рис.3.18), що грає роль потенційної ями для спінових збуджень. Кількісне узгодження результатів експерименту, мікромагнітного моделювання та результатів аналітичних розрахунків, підтверджує правильність запропонованого теоретичного підходу, що враховує сильну неоднорідність зовнішнього поля. Спінові збудження в представленій теорії вперше розглядаються як власні моди двовимірного квантового осцилятора, що взаємодіють між собою.

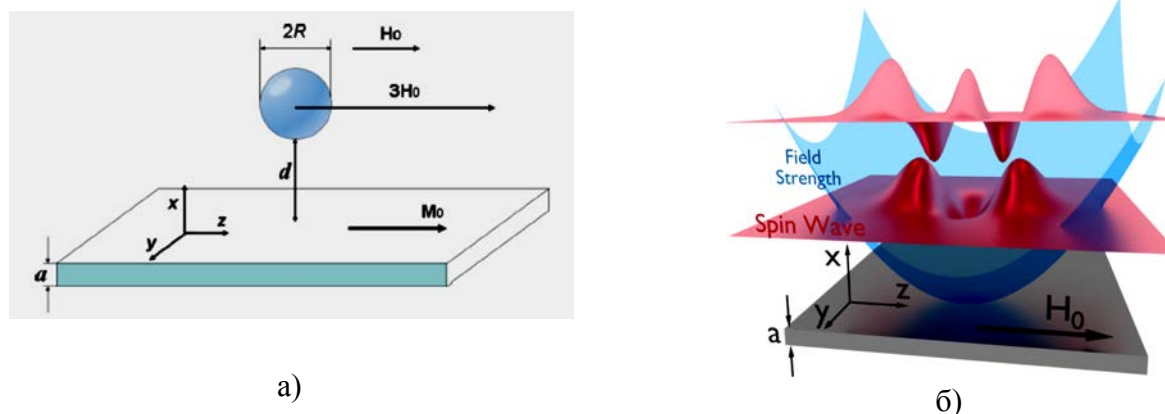
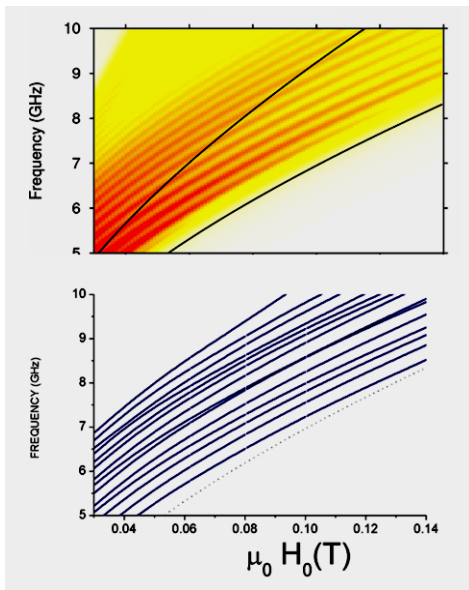
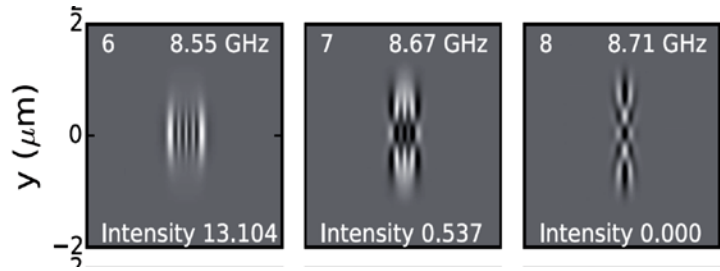


Рис.3.18. Геометрія МРСМ експерименту. Магнітний наконечник у вигляді магнітно ненасиченої кульки радіусу $R = 1$ мкм) із ферромагнітного м'якого матеріалу знаходиться на відстані d від пермалоевої плівки з товщиною $a = 20$ нм. Магнітний момент плівки, завдяки розмагнічуючому полю, не виходить з площини. Спінові хвилі збуджуються в плівці ВЧ полем від 5 до 10 ГГц, а сигнал від них завдяки зворотному зв'язку з наконечником передається до аналізатора у вигляді механічних коливань. Схематична ілюстрація параболічного розподілу поля та локалізованих спінових коливань в плівці в околі кульки. (б).



а)



б)

Рис.3.19. (а) – Залежності частот спінових хвиль, локалізованих в плівці, від зовнішнього магнітного поля. Верхня панель – мікромагнітне моделювання, нижня панель – теоретичний розрахунок. Кожна крива зображає дисперсію певної моди спінової хвилі із відповідним квантовим номером; (б) – Одержаний профіль деяких мод локалізованих спінових коливань, $H_0 = 0,1$ Тл.

Порівняння із експериментом ФМР МРСМ свідчить про те, що і теоретичний розрахунок, і мікромагнітне моделювання кількісно співпадають з експериментальними даними.

(О.В. Тартаківська, ІМАГ НАНУ; М. Пардаві-Хорват, Університет Дж. Вашингтона, США; Р.Д. МакМайкл, НІСТ, США)

В рамках вивчення впливу магнітних домішок на фізичні властивості топологічних напівпровідників проведено експериментальне дослідження магнітної сприйнятливості χ сполуки Bi_2Se_3 з частковим заміщенням вісмуту атомами марганцю, $\text{Bi}_{2-x}\text{Mn}_x\text{Se}_3$ ($x = 0,01 - 0,2$). Для всіх зразків температурна залежність $\chi(T)$, виміряна в інтервалі температур 4,2 – 300 К, описується законом Кюрі-Вейса з константою Кюрі C , що відповідає спіновому стану іонів марганцю $S = 5/2$, і від'ємною парамагнітною температурою Кюрі $\Theta \approx -53$ К, що вказує на антиферомагнітний характер взаємодії між магнітними моментами домішок (Рис.3.20.).

Для зразків з номінальною концентрацією $x = 0,1$ і $0,2$ проведені також виміри впливу всебічного тиску P до 2 кбар на магнітну сприйнятливість при фіксованих температурах 78 і 300 К, які дозволили оцінити баричну похідну $d\Theta/dP \sim -0,8$ К/кбар. Найбільш цікавим і несподіваним результатом досліджень є те, що спостережувана парамагнітна температура Кюрі Θ і її похідна по тиску виявляються практично незалежними від концентрації домішок марганцю, тобто від середньої відстані між іонами Mn. Це дозволяє припустити, що домішки Mn виявляють себе в магнетизмі сполуки Bi_2Se_3 як локалізовані магнітні центри, що створюють властивості подібні до ефекту Кондо з характеристичною температурою $T_K \approx -\Theta/4 \sim 10 - 15$ К. Альтернативним поясненням можуть бути утворення збагачених марганцем кластерів з однаковими питомими магнітними параметрами замість рівномірного

розподілу атомів Mn по кристалу. В цьому випадку температура Θ може визначатися непрямою обмінною взаємодією між магнітними моментами марганцю типу РККІ. В обох підходах величини Θ чи T_K пропорційні густині електронів провідності, і це пояснює чітку кореляцію спостереженої сильної залежності Θ від об'єму з літературними даними про значний ефект тиску на концентрацію носіїв в Bi_2Se_3 .

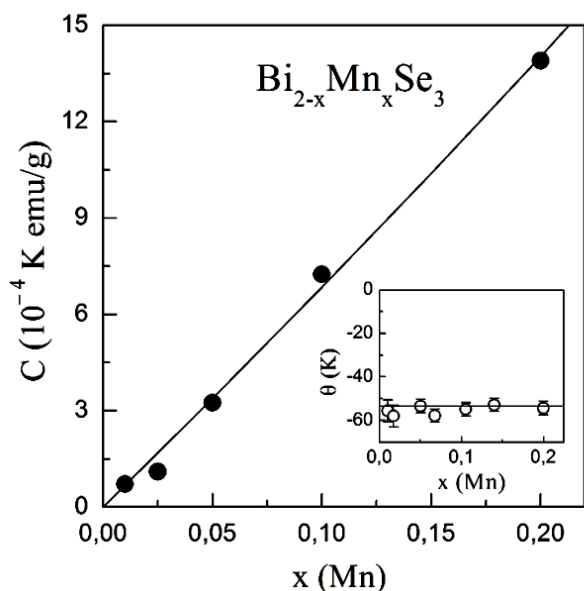


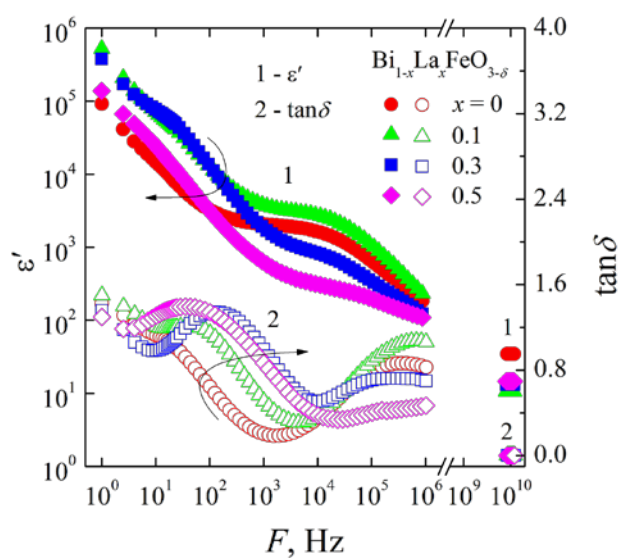
Рис.3.20. Константа Кюрі C для зразків $\text{Bi}_{2-x}\text{Mn}_x\text{Se}_3$ як функція вмісту Mn. Суцільна лінія відповідає опису $C(x)$ в припущенні значення ефективного магнітного моменту іона Mn $\mu_{\text{ефф}} = 5,92 \mu_B$ ($S = 5/2$). На вставці показано залежність від x парамагнітної температури Кюрі Θ

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

До перспективних багатофункціональних магнітних матеріалів спітроніки належать мультифероїк BiFeO_3 із структурою перовскіту, в якому співіснують фазові стани із конкуруючими взаємодіями. Неспівмірність сегнетоелектричного стану ($T_C \approx 1100 \text{ K}$) та циклоїдального магнітного впорядкування ($T_N \approx 650 \text{ K}$) призводить до повного пригнічення магнітоелектричного ефекту, що значно ускладнює його використання в прикладних цілях. Руйнування спінової циклоїди та поява лінійного магнітоелектричного ефекту спостерігається в сполуках $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_{3-\delta}$ при заміщенні вісмуту іонами лантану. Складність отримання однофазного мультифероїка $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_{3-\delta}$ зумовлена особливостями діаграми кристалічних станів системи $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$, летучістю вісмуту вище точки плавлення Bi_2O_3 (817°C) та його термодинамічною нестабільністю на повітрі. Багато експериментальних робіт свідчать про те, що отримання фериту вісмуту методом твердофазного синтезу є складним завданням, вирішення якого можливе тільки у вузьких областях температури, концентрації легування та тиску кисню. Метод швидкого рідкого спікання (RLS), при якому процес утворення матричної структури перовскіту BiFeO_3 відбувається при температурах, що перевищують температуру плавлення легкоплавкої складової Bi_2O_3 (817°C), протікає значно інтенсивніше завдяки більшій швидкості перенесення речовини в рідкій фазі. За таких умов спікання може тривати кілька хвилин, а не десятки годин, як під час твердофазного синтезу.

В експериментальній роботі встановлено закономірності «склад – структура – властивості» однофазних мультифероїків $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_3$, отриманих методом швидкого рідкого

спікання. Використання методу RLS дозволяє синтезувати при температурі 880°C за короткий час ~ 8 min однофазні сполуки $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_{3-\delta}$ із $x = 0.1-0.5$. Кристалічна структура $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_{3-\delta}$ має ромбоєдричний тип спотворення, що є результатом поворотів октаєдрів FeO_6 навколо нахиленої осі. Зниження симетрії при фазовому перетворенні ромбоєдричної



При $T < 13.5$ К магнітне впорядкування в $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$ має характер довгоперіодичної спіралі з нормальною до тригональної осі орієнтацією вектора антиферромагнетизму L . Але в зовнішньому магнітному полі $H_c \approx 9$ кЕ, прикладеному в базисній площині, спіральна структура перетворюється в плоску спін-флоп подібну ($L \perp C_3, L \perp H$).

Для діапазону напруженостей магнітного поля $H > H_c$ (спін-флоп монодомenna фаза) побудована феноменологічна модель, що добре описує експеримент, використовуючи в якості параметрів тільки фактичні незалежно визначені величини обмінних полів в основному та збудженому станах (права панель рис.3.22).

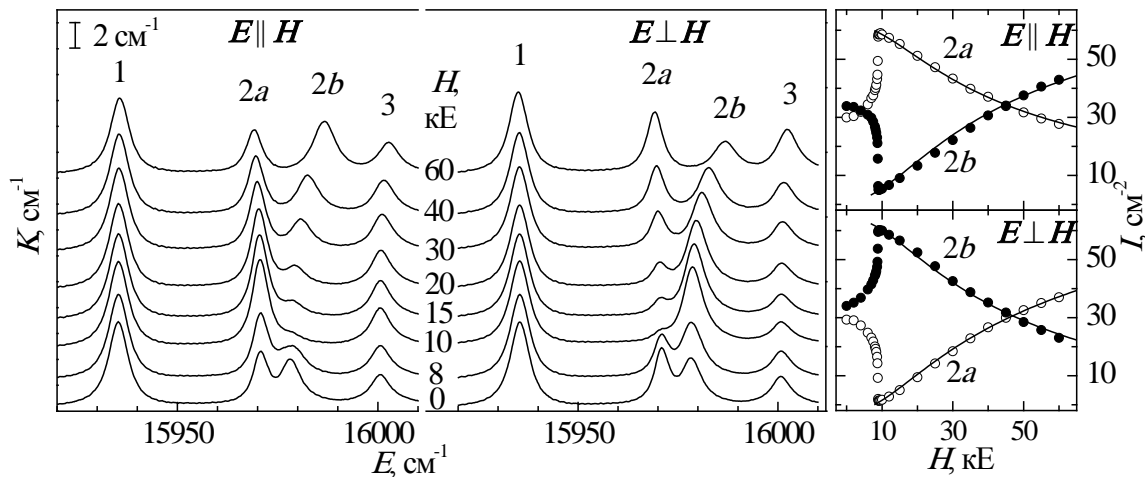


Рис.3.22. Польова залежність поляризованих спектрів поглинання іона Nd^{3+} в області ${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^2H_{11/2}$ переходу в кристалі $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$, тут хвильовий вектор $q \parallel C_3, H \perp C_3, T=2$ К (ліва панель). Інтенсивності $2a$ і $2b$ смуг (права панель): суцільні криві – теорія, кружки – експеримент.

Методами абсорбційної оптичної спектроскопії в кристалах неодимового фероборату встановлено величини обмінної взаємодії між залізною підсистемою та рідкісноземельними іонами, що знаходяться в основному та збуджених станах, і встановлено залежність поляризації електронних переходів від взаємної орієнтації магнітних моментів цих двох підсистем.

(С.Л. Гнатченко, І.С. Качур, В.С. Курносов, В.Г. Пірятинська ФТІНТ НАНУ, О.В. Малаховський, І.А. Гудим, ІФ ім. Л.В. Киренського Сиб. Від. РАН)

Електрична провідність інтерметалічних сплавів Гейслера з загальною формулою X_2YZ , де X та Y – перехідні елементи, здійснюється електронами з одним напрямком спіна. Такі матеріали називаються половинними металами і є перспективними для використання в спінтроніці, зокрема в якості електродів магнітних тунельних контактів та спінових вентилів. Використання сплавів Гейслера в плівкових структурах потребує знання і контролю магнітних властивостей, зокрема, магнітної анізотропії. Було досліджено магнітну

анізотропію епітаксійних плівок сплавів Гейслера $(\text{Co}_2\text{Fe})_x\text{Ge}_{1-x}$ на монокристалічних підкладках MgO (100).

Плівки сплавів $(\text{Co}_2\text{Fe})_x\text{Ge}_{1-x}$ були осаджені в режимі епітаксiального росту методом магнетронного одночасного напилювання із Co_2Fe і Ge мішеней та досліджені з використанням мікроструктурних, магнітометричних і магніторезонансних методів. Виявлено, що в залежності від концентрації Ge, епітаксійні плівки $(\text{Co}_2\text{Fe})_x\text{Ge}_{1-x}$ сплавів можуть мати як острівцеву, так і суцільну монокристалічні структури, а також характеризуватись наявністю магнітних анізотропій різного типу: легко-площинної анізотропії, одноосної анізотропії, анізотропії 4-го порядку та обертальної анізотропії при низьких магнітних полях. Спостережувані магнітні властивості знаходяться в тісній кореляції із мікроструктурою і морфологією плівок.

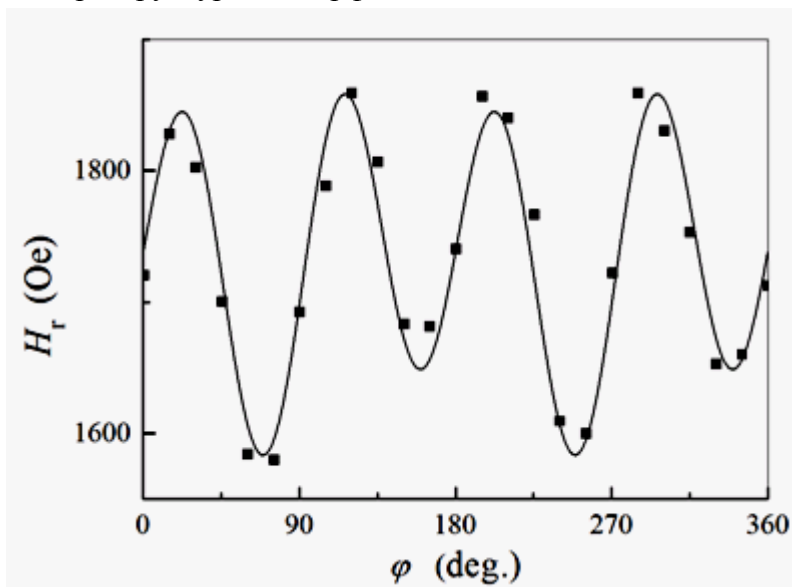


Рис.3.23. Кутова залежність резонансного поля ФМР в площині плівки Представлені результати можуть бути важливими для розуміння і контролю магнітної поведінки плівок сплавів Хойслера з високою спіновою поляризацією при їх використанні в різних магнітних спітронних пристроях.

(А. М. Погорілий, А.Ф. Кравець, В. В. Невдача, Д. Й. Под'яловський, ІМаг НАНУ та МОНУ; С. М. Рябченко, В.М. Калита, М.М. Кулик, А.ф. Лозенко, ІФ НАНУ).

За допомогою методів електронного спінового резонансу (ESR), SQUID магнітометрії і вимірювання електричного опору вивчено еволюцію магнітних і електричних властивостей вузькозонного перовскіту $\text{Nd}_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3$, що має колосальний магніторезистивний ефект, в інтервалі температур 100 – 380 К. Отримане пряме свідчення того, що нижче температури зарядового впорядкування, $T_{co} \sim 212$ К в процесі фазового перетворення система самоорганізовується і відбувається розшарування зразків $\text{Nd}_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3$ на зарядово-впорядковану і зарядово-невпорядковану фази. При нагріванні до $T > T_{co}$ сполука знову стає однофазною.

Найкраща апроксимація експериментального ESR спектра при $T > T_{co}$ може бути досягнута за допомогою однієї резонансної лінії, в той час як при $T < T_{co}$ – за допомогою двох резонансних ліній (Рис.3.24), параметри яких різні (Рис.3.25.). Температурні залежності відносної інтенсивності $I(T)$ ліній нижче температури T_{co} відображають процес перерозподілу фаз: кількість зарядово-впорядкованої фази збільшується з пониженням температури, в той

час як кількість залишкової зарядово-непорядкованої фази зменшується. Процес перерозподілу фаз є оборотним, найбільш інтенсивно він протікає в області температур 220 – 180 К. При низьких температурах, $T < 160$ К, кількості зарядово-впорядкованої і зарядово-непорядкованої фаз відносяться як 3:1.

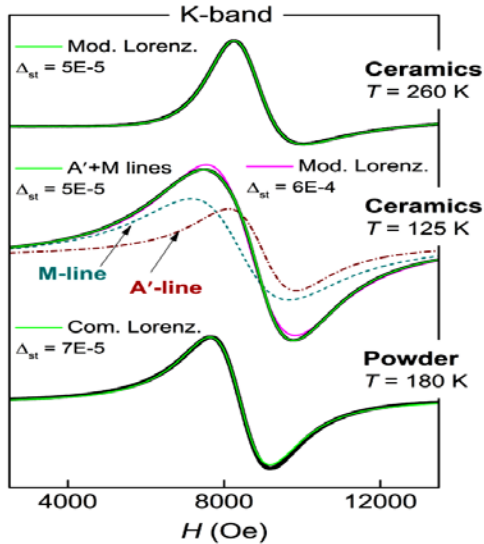


Рис.3.24. Приклади різних апроксимацій експериментальних спектрів ESR: за допомогою одного лоренціана (верхня і нижня криві); за допомогою двох лоренціанів (середня крива).

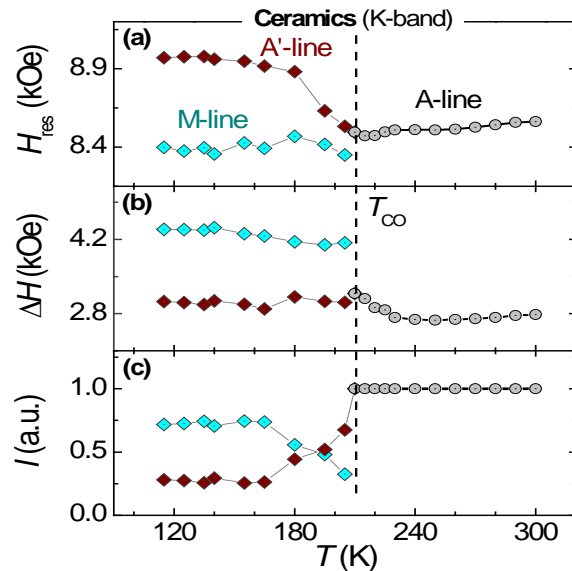


Рис.3.25. Температурні залежності поля магнітного резонансу $H_{res}(T)$ (a), ширини лінії $\Delta H(T)$ (b) і відносної інтенсивності $I(T)$ (c) резонансних ліній (A, A' and M) для кераміки $Nd_{2/3}Ca_{1/3}MnO_3$.

(D.M. Polishchuk, A.I. Tovstolytkin, Інститут Магнетизму НАНУ і МОН; О.Л. Фертман, В.О. Десненко, О. Кравчина, ФТІНТ НАНУ; О.Г. Андерс, ХНУ ім. В.Н. Каразіна; D.D. Khalyavin Rutherford Appleton Laboratory, Chilton, Didcot, United Kingdom; A.N. Salak Aveiro University, Portugal; and A. Feher, P. J. Safarik University, Kosice, Slovak Republik)

Інтерес до широко досліджуваного сьогодні класу мультифероїків визначається перспективами їх практичного застосування в енергонезалежних пристроях, які передбачають можливість керування статичним електричним полем без виділення джоулевого тепла. Рідкісноземельні (РЗ) фероборати, що належать до цього класу, виявилися зручними модельними об'єктами як для вивчення механізмів, що призводять до сильного магнітоелектричного зв'язку, так і для пошуку нових ефектів в кристалах, де можуть співіснувати магнітний, сегнетоелектричний та структурний параметри порядку.

Наші дослідження фероборату самарію виявили нове для мультифероїків явище – магніто-п'єзоелектричний ефект (МПЕ), що полягає в значному зростанні ефективного п'єзоелектричного модуля в магнітовпорядкованій фазі та пригніченні цього зростання магнітним полем. Його походження зумовлене модуляцією (в т.ч. і в спін-флоп фазі)

орієнтації магнітних векторів змінними пружним і електричним полями. В цілому природа МПЕ ефекту близька до явища магнітоємності (МЄ), також властивого для мультифероїків.

Подані нижче результати відносяться до іншого представника сімейства фероборатів – $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$. Ці дослідження були здійснені з метою з'ясування загальних закономірностей прояву МПЕ і МЄ ефектів в таких сполуках. Виявилось, що незважаючи на деякі кількісні відмінності, характеристики цих ефектів близькі для всіх легкоплощинних фероборатів. При значенні магнітного поля, що перевищує поле спін-флопа, орієнтаційні залежності амплітуд МПЕ і МЄ відгуків підпорядковуються синусоїдальному закону, а при збільшенні поля вони

спадають як H^{-2} :

$$\frac{\delta e}{e} \approx \frac{ab \sin^2 2\varphi}{e\chi H^2};$$

$$\frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon} \approx \frac{4\pi a^2 \sin^2 2\varphi}{\varepsilon\chi H^2} \quad (\text{см. також. Рис.3.26}).$$

Знаючи сприйнятливість χ , можна визначити коефіцієнти магнітоелектричного (a) та магнітопружного (b) зв'язків. Для $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$ при 1,7 К $a \approx 450$ мкКл/м², $b \approx 8 \cdot 10^6$ Дж/м³.

З рисунку видно також, що апроксимуючі прямі не проходять через початок координат. Поглиблений аналіз показує, що величина відрізка, який відсікається апроксимуючою МЄ ефект прямою на вісі ординат, визначається співвідношенням вкладів залізної і РЗ підсистем в магнітоелектричну взаємодію. Встановлено, що основний внесок в неї дає РЗ підсистема. Крім того, вклади в МЄ ефект від залізної та РЗ підсистем мають протилежні знаки. Іншими словами, залізна підсистема відіграє роль баласту, який зменшує коливання спінової конфігурації під впливом електричного поля.

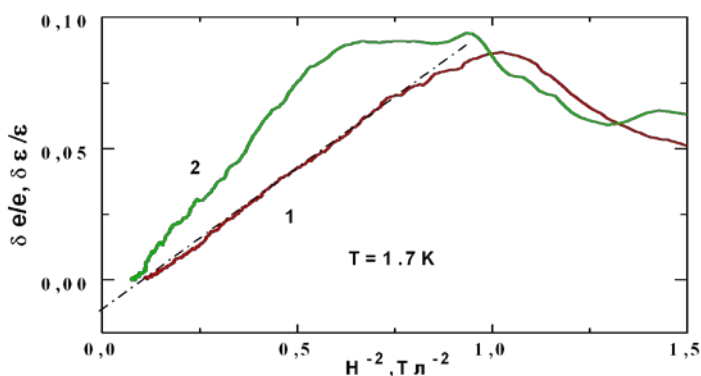


Рис.3.26. Залежності відносних змін діелектричної проникності $\delta\varepsilon/\varepsilon(1)$ та п'єзомодуля $\delta e/e$ (2) від H^{-2} в $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$.

(І.В. Білич, К.Р. Жеков, Т.М. Гайдамак, Г.А. Звягіна, В.Д. Філь, ФТІНТ НАНУ у співпраці з науковцями ІФ ім. Л.В. Киренського Сиб. Від. РАН).

Літєві ортофосфати 3d-перехідних елементів LiMPO_4 , де $M = \text{Co}, \text{Ni}$ на сьогодні добре відомі як перспективні високовольтні катодні матеріали для акумуляторів. Але вони також відомі як магнетоелектрики і як магнетики, що можуть мати інтригуючі властивості (тороїдальне та монопольне впорядкування). Різна орієнтація осей локальної магнітної анізотропії в вузлах і конкуренція взаємодій створює умови для виникнення модульованих структур. Моделі їх спонтанних магнітних структур, незважаючи на неодноразові

нейтронографічні дослідження, не узгоджуються поки що з експериментально виявленим в них ультраслабким феромагнетизмом.

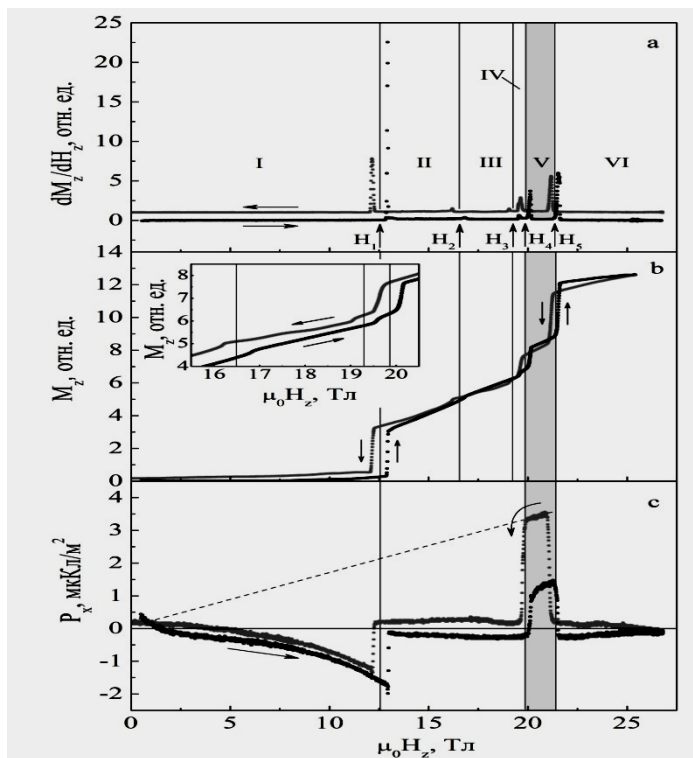


Рис.3.27. Диференційна магнітна сприйнятливості (а), намагніченість (b) та електрична поляризація (с) монокристалічного LiNiPO_4 у імпульсному магнітному полі $H||c$. Вихідна температура зразка 4.2 К. Сірим кольором виділено область існування електричної поляризації у високопольовій фазі V. Криві залежності намагніченості на вставці рисунка (b) у зростаючому та спадаючому полях для більш чіткої демонстрації стрибків рознесені по вертикалі.

Нами проведено виміри електричної поляризації LiNiPO_4 в імпульсному полі до 28 Тл, результати яких представлено на Рис.3.27. разом з результатами магнітних вимірювань. На залежностях добре видно сплески сприйнятливості (а) та стрибки намагніченості (b) і електричної поляризації (с), які вказують на магнітні фазові переходи, що відбуваються під впливом магнітного поля.

Як видно з Рис.3.27.(с) електрична поляризація стрибкоподібно зникає при переході в фазу II. Зникнення поляризації співпадає з ідентифікацією фази II як несумірної, що має спіральну структуру. Звертають на себе увагу гострі сплески поляризації поблизу переходу $I \leftrightarrow II$, що спостерігаються як в зростаючому, так і в спадаючому полях, та наявність нелінійного по полю внеску в електричну поляризацію. Виявлено, що величини лінійного і нелінійного внесків змінюються в залежності від швидкості наростання поля. Із збільшенням амплітуди імпульсу (тривалість імпульсу поля складає близько 30 мс) внесок лінійної складової зменшується, а кубічної – зростає. В умовах використання імпульсів поля малої амплітуди (4 Тл) спостерігається лише лінійна складова поляризації. Окрім того, зміни електричної поляризації в високопольовій фазі V дозволяють зробити припущення, що електрична поляризація цієї фази є результат дії лінійного магнітоелектричного ефекту (див. екстраполяцію $H \rightarrow 0$ на рис.3.27.(b)). Ця ж властивість може вказувати на існування незмінної трансляційної симетрії фази V аж до втрати нею лабільності у полі H_5 .

(В.М. Хрустальов, В.М. Савицький, М.Ф. Харченко, ФТІНТ НАНУ)

Секція «Електронні властивості твердих тіл»

Вперше проведено систематичні розрахунки електронної структури і магнітних властивостей сполук RT_4Al_8 (R – немагнітні елементи Sc, Y, La, Lu і $T = Fe, Mn, Cr$), які відтворюють магнітну підсистему перехідних T -елементів в широкому класі сполук RT_4Al_8 . Ці сполуки демонструють велику різноманітність фізичних властивостей, включаючи можливість реалізації надпровідної фази. В рамках методів функціоналу електронної густини (DFT) розраховані електронні енергетичні спектри і магнітна сприйнятливості χ сполук RT_4Al_8 в парамагнітній фазі, а також їх поведінка при варіаціях об'єму V решітки. Отримані результати вказують на значну величину магнітооб'ємного ефекту, $d\ln\chi/d\ln V$, що є аномально високою в системах RMn_4Al_8 і RCr_4Al_8 . Розрахунки доповнені вимірюваннями магнітної сприйнятливості представницьких сполук RT_4Al_8 як функції температури в інтервалі 4,2 – 300 К та всебічного тиску до 2 кбар.

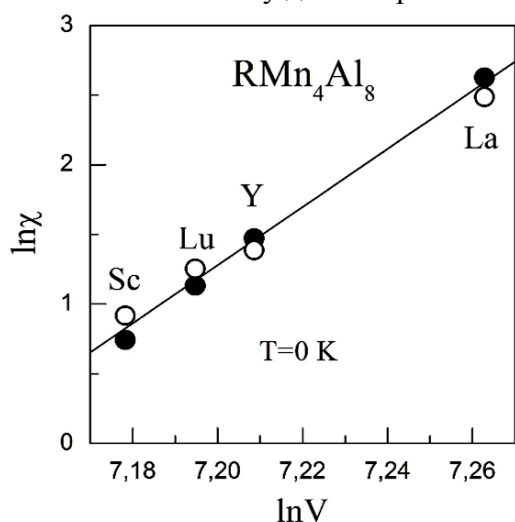


Рис.4.1. Експериментальні (○) і розраховані (●) значення магнітної сприйнятливості сполук RMn_4Al_8 як функції об'єму елементарної комірки в логарифмічній шкалі

Для системи RMn_4Al_8 дані розрахунку корелюють із залежністю магнітної сприйнятливості в ряду $R = Sc, Y, La, Lu$ від об'єму елементарної комірки при нормальних умовах (см. Рис.4.1.). Отримана оцінка ефекту хімічного тиску співпадає з розрахованими та експериментальними значеннями об'ємної похідної $d\ln\chi/d\ln V$ (~ 25 і ~ 20 , відповідно), що вказує на суттєву роль міжатомної відстані в аномальному магнетизмі сполук RT_4Al_8 .

Спостережуване узгодження розрахованих значень з експериментальними даними про магнітну сприйнятливості і її залежність від всебічного тиску підтверджує адекватність DFT методів для описання магнетизму складних інтерметалічних сполук $3d$ -металів.

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

Досліджено фазові переходи в суміші надхолодних бозе- та фермі- атомів у оптичній ґратці на базі моделі Бозе-Фермі-Хаббарда в наближенні середнього поля та жорстких бозонів. Розглянуто випадок безмежно малого переносу ферміонів; враховано одновузлову бозон-ферміонну взаємодію типу відштовхування. Проаналізовано поведінку параметра

порядку бозе-конденсату та термодинамічного потенціалу як функцій хімічних потенціалів частинок при ненульових температурах. Встановлено можливість зміни роду фазового переходу до надплинної фази у режимі фіксованих хімічних потенціалів бозонів та ферміонів. Побудовано відповідні фазові діаграми.

(В.О. Краснов, І.В. Стасюк, ІФКС НАНУ)

Розглянуто квантову модель Гайзенберга на двовимірній ґратці подвійний шар, що складається з двох шестикутних ґраток. Така спінова модель може бути використана для опису властивостей деяких магнітних ізоляторів. Теоретично виявлено, що за наявності зовнішнього магнітного поля ця система має такі фазові переходи як перехід Ізинга-Онзагера при скінченій (низькій) температурі та спін-флоп перехід. Це несподівано, бо взаємодія у моделі ізотропна, а стається це через те, що магнітне поле вводить в гру певний клас станів з низькими енергіями.

(Т.С. Крохмальський, В.Я. Баліга, О.В. Держко ІФКС НАНУ, спільно з Й. Ріхтером, Магдебурзький університет, Німеччина)

Виявлено більш ніж двократне збільшення температури надпровідного переходу T_c (вище 20 К) в точкових контактах субмікронного розміру із залізовмісного надпровідника FeSe (см. Рис.4.2.). Разом з літературними даними про надзвичайне зростання T_c в FeSe під тиском та в моно шарах, спостережений ріст T_c в субмікронного розміру контактах розширяє можливості для пошуку шляхів підвищення T_c в перспективному сімействі залізовмісних надпровідників.

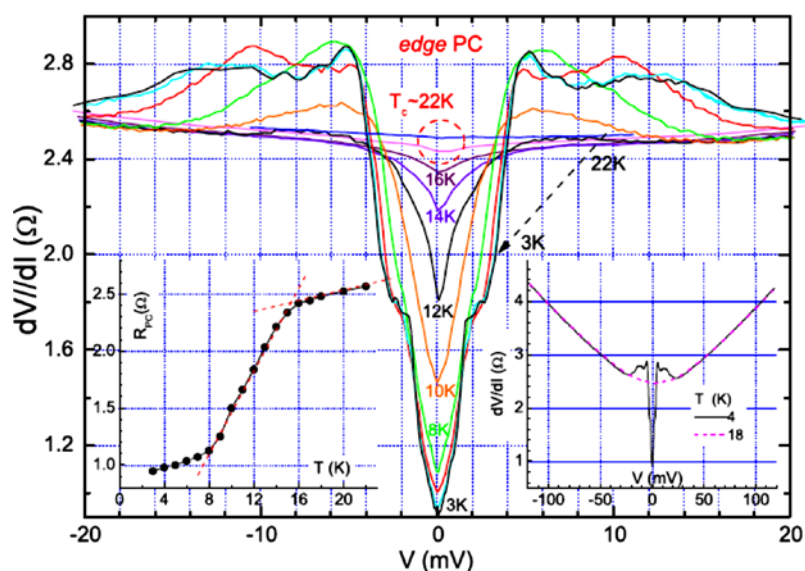


Рис.4.2. Еволюція кривих диференційного опору dV/dI з температурою для точкового контакту утвореного між монокристалом FeSe та тонким мідним дротом.

Відмічені колом дві верхні криві отримані при $T = 18$ і 22 К. На правій вставці показані криві dV/dI виміряні при $T = 4$ і 18 К для більшого зміщення. Ліва вставка демонструє поведінку опору цього контакту в залежності від температури при $V=0$.

(Ю. Г. Найдюк, ФТІНТ НАНУ)

На основі *ab initio* розрахунків повністю релятивістським лінійним методом MT-орбіталей у наближеннях локальної спінової густини (LSDA) і LSDA+*U* отримані результати систематичного вивчення електронної структури і магнітних властивостей складних оксидів з перовскітною структурою $A_2\text{FeReO}_6$ ($A = \text{Ba}, \text{Sr}$ і Ca). Проаналізовано вплив на електронну структуру спін-орбітальної взаємодії, електронних кореляцій та деформацій ґратки. $\text{Ca}_2\text{FeReO}_6$ має значне спотворення зв'язку Fe-O-Re, і його електронну структуру в основному визначають електронні кореляції і спотворення ґратки.

Встановлено, що кореляційні ефекти на Fe збільшуються зі зміною $\text{Ba} \rightarrow \text{Sr} \rightarrow \text{Ca}$. Кореляції на Re є невеликими в сполуках на основі Ba і Sr, але значними в $\text{Ca}_2\text{FeReO}_6$. Оксид $\text{Ca}_2\text{FeReO}_6$ має поведінку ізолятора, тільки якщо теоретична модель містить відносно велику величину локального кулонівського відштовхування $U_{\text{eff}} = 2,3$ eV на Re на додаток до $U_{\text{eff}} = 3,1$ eV на Fe. Розрахунки показали, що спінові і орбітальні магнітні моменти в $\text{Ca}_2\text{FeReO}_6$ є лінійними функціями температури до і після фазового переходу метал-діелектрик, який відбувається при 140 K між низькотемпературною діелектричною і високотемпературною металічною фазами, а в точці фазового переходу вони різко змінюються. З теоретично розрахованої енергії магнітної кристалічної анізотропії (ЕМКА) було виявлено, що вісь легкого намагнічування для низькотемпературної фази $\text{Ca}_2\text{FeReO}_6$ направлена вздовж напрямку \mathbf{b} , що узгоджується з експериментальними даними. Встановлено, що основний внесок в ЕМКА визначається орбітальною магнітною анізотропією на атомі Re. В рамках зонної теорії якісно пояснені експериментальні спектри рентгенівського поглинання і магнітного циркулярного дихроїзму на $L_{2,3}$ краях поглинання Re, Fe і Ba та K краях поглинання Fe, Ca і O.

(В.М. Антонов, Л.В. Бекенцов, ІМФ НАНУ)

Ми розрахували транспортні характеристики тунельного контакту між нанодротом, що має майорановські ферміони на кінцях, та нормальними металевими електродами з різними тунельними енергіями зв'язку (асиметричний тунельний контакт). Відомо, що у контактах з майоранівськими станами спостерігається ненульовий диференціальний кондактанс при нульовому напруженні, а саме – подвоєний квант кондактансу. Ми знаходимо струми $I_{L,R}$ та кондактанси $G_{L,R}$ з відповідних електродів (лівий, правий) на квантовий нанодріт з майоранівськими станами, в низькоенергетичному режимі. Для електрично заземленого надпровідника з квантовим дротом струми крізь лівий та правий тунельний контакт нерівні в загальному випадку асиметричного контакту (тунельні енергії зв'язку не є рівними, $\Gamma_L \neq \Gamma_R$). Ми показуємо також, що для контакту з ненульовою енергією розщеплення майоранівських станів $\varepsilon_M \neq 0$, пік кондактансу на нульовому напруженні можна спостерігати саме в режимі сильної асиметрії, $\Gamma_L \gg \Gamma_R$ (чи навпаки), і т.ч. виявити присутність майоранівських станів в експерименті. Ми також розглядаємо незаземлений контакт. Рівність струмів досягається через переформування ефективних хімпотенціалів електродів. Тоді можна виявити різницю між ВАХ контакту з майоранівськими станами та ВАХ при наявності домішкового енергетичного рівня, при сильній асиметрії $\Gamma_L \gg \Gamma_R$ ВАХ набуває насичення при малих

енергіях. Результати роботи додають корисних методів для виявлення майоранівських станів в експериментах.

(І. В. Криве, А.Д. Шкоп, А.В. Парафіло, ФТІНТ НАНУ)

Вивчено ефекти слабкої локалізації та взаємодії носіїв заряду в двох діркових гетероструктурах $\text{Si}_{0,7}\text{Ge}_{0,3}/\text{Si}_{0,2}\text{Ge}_{0,8}/\text{Si}_{0,7}\text{Ge}_{0,3}$. Досліджено два зразки які, отримані за однією технологією і мають однакову будову, крім одного параметра – ширини квантової ями: 10 нм та 14 нм відповідно. Збільшення ширини провідних каналів у дослідженій структурах призводить до заселення другого квантового рівня. Це встановлено з аналізу спектрів Фур'є осциляцій Шубнікова - де Гааза а також проявилось в позитивній магнітопольової залежності опору системі з більш широким квантовим каналом.

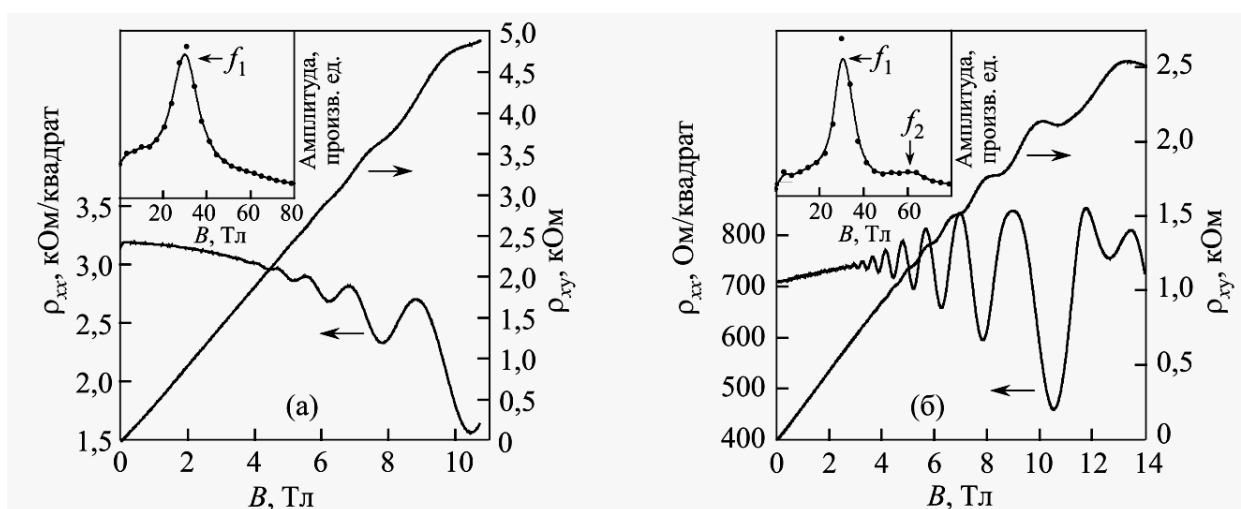


Рис.4.3.

У слабких магнітних полях виявлено прояви ефекту слабкої локалізації двовимірних носіїв заряду в умовах близькості часу спін-орбітальної розсіювання та часу непружного розсіювання, що свідчить про розщеплення спінових станів під впливом збуджуючого потенціалу, який пов'язаний з формуванням двовимірної потенційної ями (механізм Рашби). Аналіз експериментальних даних дозволив визначити час збою фази хвильової функції і час спін-орбітального розсіювання носіїв заряду при різних температурах, а з останньої характеристики знайти величину спінового розщеплення. У більш сильних магнітних полях у разі заселення одного квантового рівня проявляються ефекти взаємодії, обумовлені кулонівською взаємодією з розсіювачем. Визначено значення константи взаємодії в триплетному каналі. У разі заселення двох квантових рівнів домінуючим виявляється механізм розсіювання на фріделівських осциляціях щільності носіїв заряду, які обумовлені електричним полем домішки. Отримано значення повної константи взаємодії. У всіх областях поведінка квантових поправок добре відповідає сучасним теоретичним передбаченням.

(І.Б. Беркутов, В.В. Андрієвський, Ю.Ф. Комнік, Ю.О. Колесніченко, ФТІНТ НАНУ)

Вперше з'ясована природа утворення нестискуємих електронних станів з нульовим електричним опором у фотозбудженому електронному газі над поверхнею рідкого гелію. Показано, що ефект, який експериментально виявлено в Лабораторії фізики низьких температур RIKEN, Японія, пов'язаний з новим явищем: розділенням електронної системи на домени різної щільності під дією мікрохвильового випромінювання

(Ю.П. Монарха, ФТІНТ НАНУ).

Вперше експериментально виявлено гігантське зростання електропровідності наноплівки золота при певних умовах створення нанопокриттів при низьких температурах. Провідність наноплівки зростає більш ніж в 100 разів після досягнення критичної товщини наношару, що зумовлено «вибуховим» переходом з аморфного до полікристалічного стану.

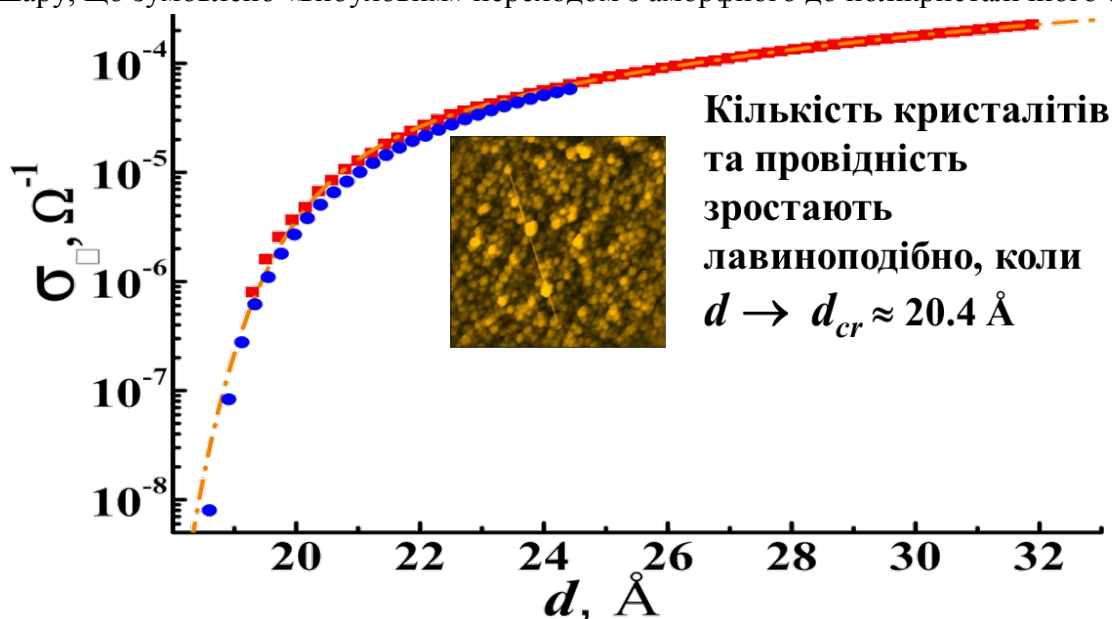


Рис. 4.4

Результати є важливими для вибору мінімально необхідного золотого покриття електродів елементів нано- та мікроелектроніки

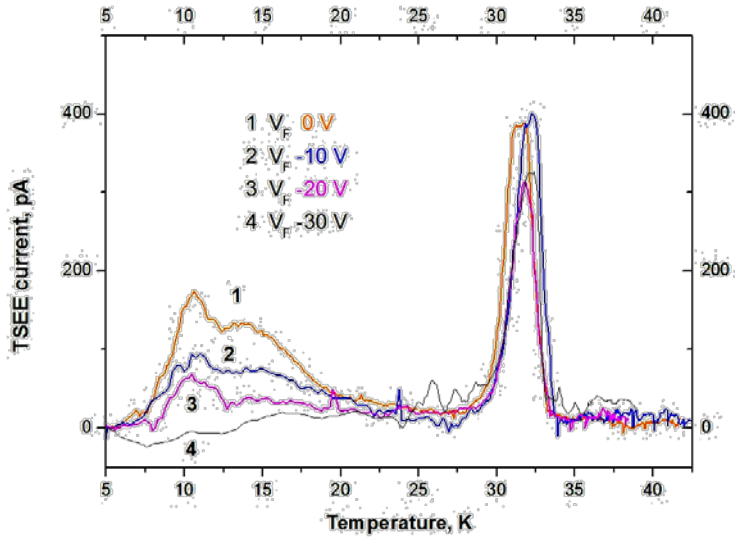
(Є.Ю. Біляєв, ФТІНТ НАНУ).

В гідродинамічному наближенні розглянуто високочастотний транспорт у двовимірному провідному кільці з неоднорідною колінеарною магнітною структурою. Показано, що частотна залежність радіальної електропровідності кільця має резонанси, що відповідають новим гібридним коливанням в такій системі. Частоти цих коливань суттєво залежать від електричного та магнітного полів, що діють на систему, та її спінового стану.

(О.В. Чаркіна, О.М. Калиненко, О.І. Копеліович, П.В. Пишкін, А.В. Яновський, ФТІНТ НАНУ).

Секція «Фізика молекулярних кристалів»

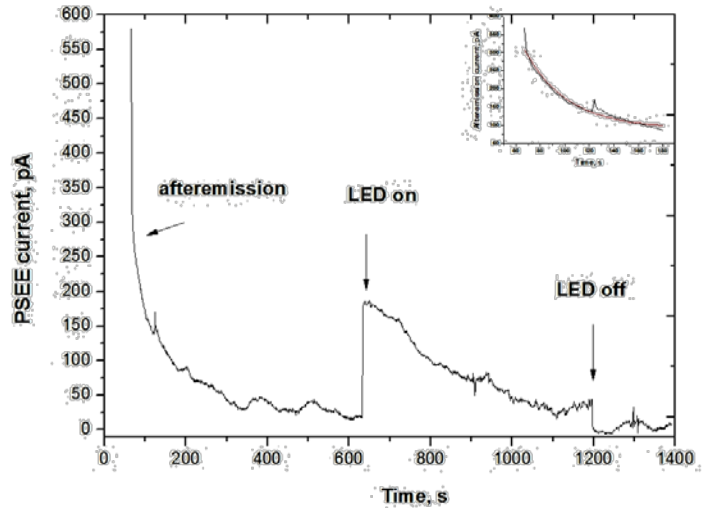
Вперше досягнуто накопичення рекордно високого від'ємного заряду у діелектричних плівках твердого азоту та виявлено участь центрів N_3^- у формуванні електростатичного заряду. Показано, що ці центри дають значний внесок у пост-десорбцію – емісію часток з поверхні опромінених плівок азоту.



a)

Рис.5.1. а) вихід термостимульованої емісії електронів, фотостимульований при різних негативних напругах на детекторі; б) стікання заряду та відрив електронів від N_3 сполук.

б)



Знайдений ефект потрібно брати до уваги для забезпечення безаварійної роботи різноманітних вакуумних пристроїв в умовах радіаційного опромінення, а також елементів космічної апаратури. Цей результат також відкриває шлях до створення накопичувачів заряду нового типу та широкого спектру високотехнологічних застосувань.

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

Вперше експериментально досліджено низькотемпературну динаміку поглинання атомів ^4He мезопористою наностільниковою матрицею МСМ-41 з середнім діаметром пор 2.5 нм. Показано, що в інтервалі 25 – 290 К в кінетиці сорбції атомів ^4He зразком МСМ-41 домінує термоактиваційний механізм ($E_a \approx 164,8$ К, ділянка 1 Рис.5.2.). У інтервалі 12 – 23 К температурна залежність дифузії атомів ^4He в МСМ-41 була практично повністю відсутня, що характерно у разі переважання тунельного механізму дифузії над термоактиваційним (ділянка 2 Рис.5.2.). В інтервалі 6 – 12 К спостерігалася зміна рухливості атомів ^4He в каналах МСМ-41, що, вірогідно, відповідає формуванню при охолодженні (або розпаду при нагріванні) моношару і наступних шарів ^4He на внутрішній поверхні каналів ($E_a \approx 2,67$ К, ділянка 3 Рис.5.2.). При температурі нижче 6 К коефіцієнти дифузії ^4He слабо залежать від температури та набувають мінімальних значень, що, імовірно, відповідає поведінці квантової рідини ^4He в каналах МСМ-41, покритих декількома шарами атомів ^4He (ділянка 4 Рис.5.2.). Означене явище може бути використано при створенні нових виробів для зберігання, селективного розділення та очистки газів, зокрема, ізоотопів гелію.

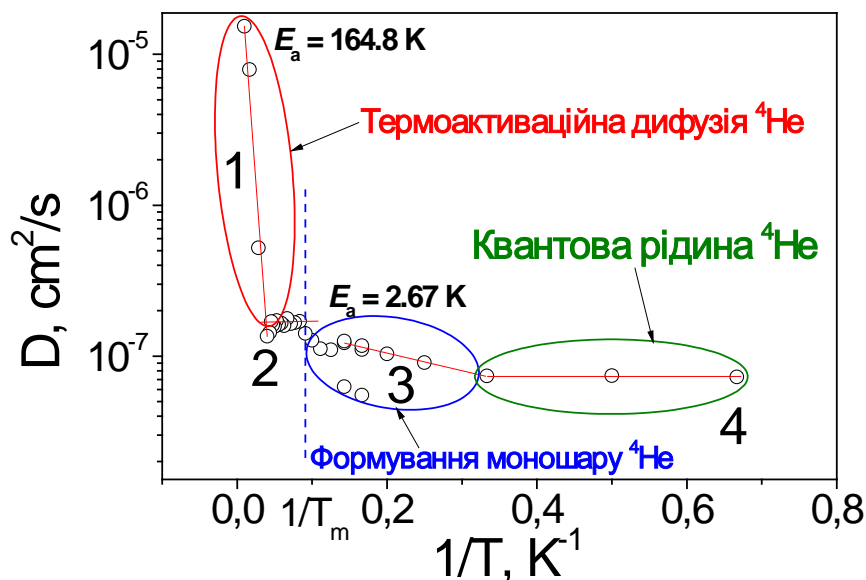


Рис.5.2. Лінійні ділянки залежності $\ln(D)$ від $1/T$ для коефіцієнтів дифузії ^4He в МСМ-41. Пунктирною лінією показана зворотна температура формування моношару (T_m) ^4He на внутрішній поверхні каналів МСМ-41.

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

Досліджено ізохорну теплопровідність двох твердих ізомерів ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$) і ($\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CH}_3$) – пропанолу в «високотемпературній» орієнтаційно впорядкованій фазі на зразках з різними молярними об'ємами в температурному інтервалі від 80 К і до початку плавлення. Ці два ізомери відрізняються положенням гідроксильної групи (ОН) по відношенню до головного вуглецевого ланцюга. Виявлено, що ізохорна теплопровідність зменшується з температурою по залежності значно слабшій, ніж $1/T$ для всіх зразків, при цьому 1-пропанол показує більше відхилення. Запропоновано новий спосіб розрахунків фононного і дифузного внесків у теплопровідність, що засновується на представленні експериментальних даних у відповідних приведених координатах и не потребує спеціальної

комп'ютерної підгонки. Обговорення проводиться у рамках єдиної моделі теплопровідності, що передбачає перенесення тепла фононами і дифузними модами, але з різними початковими умовами. В цих варіантах моделі довжина вільного пробігу фононів $l(\omega)$ приймається рівною половині довжини хвилі фонона ($\lambda/2$), постійній ґратки (a), або $(l(\omega) + \lambda/2)$. Це в свою чергу приводить до наступних залежностей ізохорної теплопровідності від температури:

$$\kappa = A/T^2 + B;$$

$$\kappa = A/T^{3/2} + B;$$

$$\kappa = A/T + B, \text{ співвідносно.}$$

Для наочності ця процедура була також застосована для раніше одержаних експериментальних даних по ізохорній теплопровідності Ag і CO₂. На Рис.5.3. показані дані для Ag в приведених координатах. Видно, що найкращій опис дає припущення, коли $l(\omega)$ обмежується постійною ґратки.

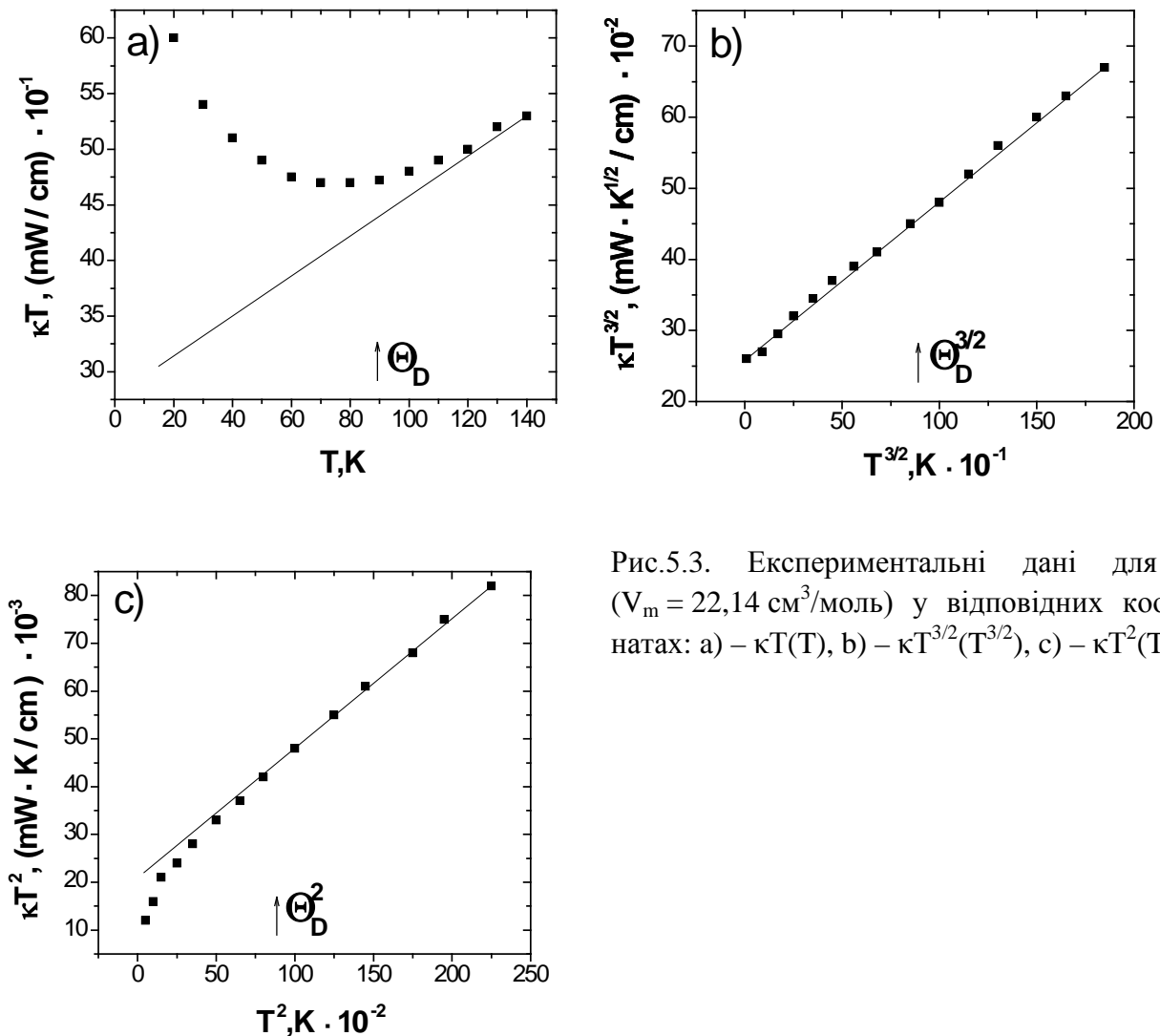


Рис.5.3. Експериментальні дані для Ag ($V_m = 22,14 \text{ см}^3/\text{моль}$) у відповідних координатах: а) – $\kappa T(T)$, б) – $\kappa T^{3/2}(T^{3/2})$, в) – $\kappa T^2(T^2)$.

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

Завершено цикл досліджень впливу на оптичні та структурні характеристики фулериту C_{60} насичення газами H_2 , CO та N_2 . Зокрема з'ясовано, що насичення воднем підвищує температуру орієнтаційного склування T_g , а CO та N_2 викликають протилежний ефект, як це показано на Рис.5.4. Ефект пояснюється подвійним заповненням октаедричних порожнин під час насичення воднем, що викликає асиметричну деформацію кристалічної ґратки і підвищення обертового бар'єру для молекул C_{60} , на відміну від цього механізму двохатомні домішки проникнення заповнюють порожнини поодиночі і викликають розширення ґратки, тим самим зніжуючи згадані вище бар'єри і даючи можливість молекулам C_{60} провертатися при нижчих температурах.

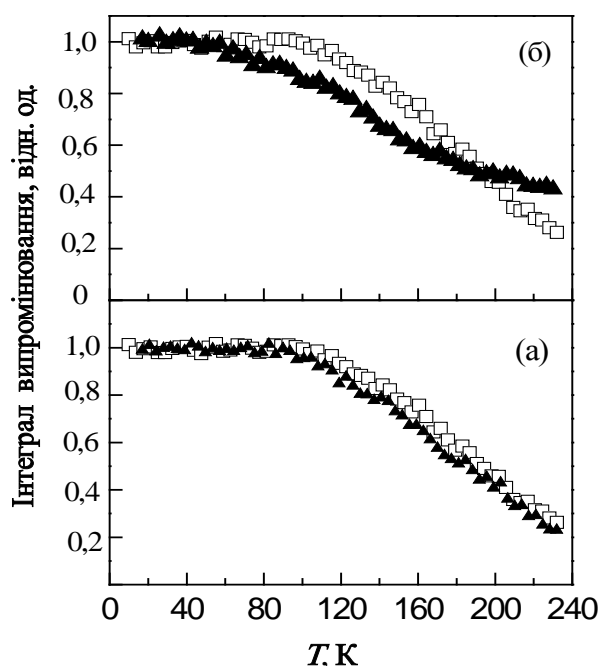


Рис.5.4. Інтегральна інтенсивність випромінювання фулериту C_{60} , чистого (квадрати на обох графіках) та інтеркальованого молекулами N_2 (трикутники, рисунок (а)) та CO (трикутники, рисунок (б)).

(А.І. Прохватулов, П.В. Зінов'єв, В.М. Зорянський, Ю.Є. Стеценко, І.В. Легченкова, В.В. Мелешко, ФТІНТ НАНУ)

Дослідження теплопровідності (κ) монокристалів пара-бромбензофенону (4-BrBP) від 5 до 300 K привели до неочікуваного результату: вище 130 K стає помітний новий ефект, не притаманний регулярним молекулярним кристалам. Цей ефект полягає в тому, що κ має складову, яка добре описується експоненціальною залежністю з характерною енергією близько 715 cm^{-1} (Рис.5.5.), що приблизно відповідає внутрішньомолекулярним коливанням зв'язку C-Br в ізольованій молекулі 4-BrBP. Завдяки ситуації, близької до резонансної, це збудження може мігрувати вздовж відповідних ланцюжків молекул і тим самим переносити внутрішню енергію. Таким чином, зареєстровано і пояснено новий механізм теплопровідності в молекулярних кристалах.

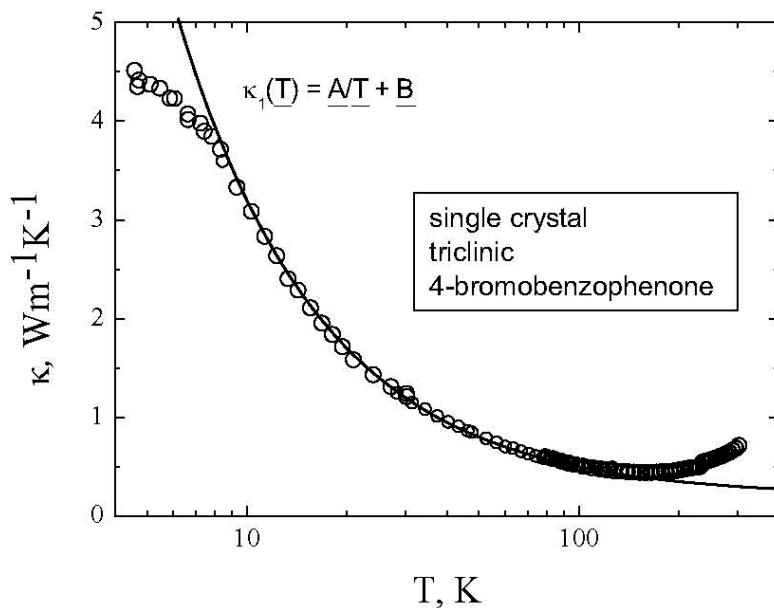


Рис.5.5. Температурна залежність (у напівлогарифмічних координатах) коефіцієнту теплопровідності монокристалу пара-бром-бензофенону вздовж вісі щільної упаковки. Вище 130 К добре помітно зростання κ ; позитивний додатак добре описується експонентою з характерною енергією близько 715 cm^{-1} .

(М.О. Стржемечний, О.І. Кривчіков, Д.І. Злоба, Л.М. Буравцева, Ю.В. Горбатенко, ФТІНТ НАНУ)

Розроблено нову методику аналізу спектрів люмінесценції нанокластерів інертних елементів, які формуються в надзвуковому струмені, що адіабатично розширюється у вакуум. За її допомогою на базі експериментальних досліджень, проведених для кластерів аргону, встановлено залежність частки кластеризованої речовини у струмені від середнього розміру кластерів. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення кластерних джерел короткохвильового сонячного випромінювання з метою випробовування матеріалів, що використовуються у відкритому космосі, а також для розробки нових методик аналізу емісійних спектрів нанокластерів інших речовин, зокрема, молекулярних.

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

Виявлений вплив оптичних коливань на термолюмінесценцію полімерів. Методом термостимульованої люмінесценції (ТСЛ) в інтервалі температур 5 – 40 К знайдений енергетичний спектр пасток носіїв заряду для кількох типів кремнієвих органічних полімерів з різними ступенями упорядкування (полі(ді-н-гексилсилані), полі(метилфенілсилані) і полі(ді-н-пентилсилані)). Отримані значення енергій активації підтверджуються при вимірах на різних підкладках (металі, кварці, сапфірі). Також виміряний спектр комбінаційного розсіяння (КР) полімерів при 300 К і показано, що енергії активації пасток збігаються з енергіями квантів коливань кремнієвих ланцюжків, активних в КР спектрах. Побудована модель, яка описує вплив оптичних коливань полімера на термолюмінесценцію. Згідно моделі співпадання енергій активації і енергій квантів коливань пояснюється передачею енергії коливань до носіїв, що приводить до звільнення носіїв з пасток. Також теорія передбачає обумовлену коливаннями появу структури на термолюмінесцентній кривій у вигляді максимумів і мінімумів. Така структура спостерігається на експерименті. Прояв структури

залежить від ступеня однорідності і впорядкованості полімера, при сильній неупорядкованості і великій ширині смуг КР структура не проявляється. Отриманий зв'язок між оптичними коливаннями полімерів і спектрами ТСЛ може бути корисним для отримання інформації про пастки для носіїв заряду в полімерах.

(В.Й. Сугаков, ІЯД НАНУ; Н.І Остапенко, Ю.В. Остапенко, ІФ НАНУ; О.О. Керіта, КПІ; В.В. Стрельчук, ІФН НАНУ)

Запропонована модель генератора імпульсів екситонних солітонів в напівпровіднику з подвійними квантовими ямами. Вивчені особливості їх збудження зовнішнім стаціонарним освітленням в певній області енергій та руху під дією зовнішнього лінійного потенціалу. Солітони починають рухатись, коли тягуча сила перевищує певне порогове значення. Явище може бути корисним для передачі енергії та інформації в наносистемах.

(І.Ю. Голіней, В.В. Михайловський, В.Й. Сугаков, ІЯД НАНУ)

Здійснено теоретичні та спектральні дослідження компонент композитних матеріалів і наносистем, перспективних для малоенергозатратних джерел світла, сонячної енергетики, спінтроники, наноелектроніки та медицини. Встановлено зв'язок між будовою і типом випромінюючого центру, його спектром та квантовим виходом: методика порівняння інтенсивності люмінесценції дозволила оцінити орієнтовні значення ефективної концентрації барвника-люмінофора для твердих сумішей (тонких плівок) ПЕПК+барвник. Для всіх досліджених сумішей ефективна концентрація складає $\approx 1\%$. Більш точне значення ефективної концентрації може бути отримано за допомогою розрахунків кількості екситонних стрибків з використанням відповідних моделей. В плівках твердих сумішей розчинів ПЕПК та флавону DFOM (з масовою часткою близько 1%) має місце передача енергії електронного збудження від полімеру-матриці до домішки-барвника. Це перенесення енергії збудження проявляється у спектральних характеристиках таких плівок.

(В.М. Ящук, В.В. Косач, КНУ)

Досліджено спектральні властивості біологічних макромолекул та спектри люмінесценції синглетного кисню при збудженні барвників-сенсibilізаторів у різних розчинниках; коливальні спектри води і спиртів у різних агрегатних станах і в матричній ізоляції. Показано, що основними поглинаючими центрами в олігомері d(AGGGTTAGGGTTAGGGTTAGGG) (Tel22), а також у макромолекулі ДНК, є окремі нуклеотиди, оскільки спектр оптичного поглинання Tel22 є близьким до адитивної суми G-, T- і A-нуклеотидів. Невелика відмінність у спектрі поглинання при $\lambda = 295$ нм пов'язана з поглинанням G-квадруплекса.

Основними пастками триплетних електронних збуджень в теломері, а також в макромолекулі ДНК, є комплекси, утворені сусіднім адениновим (A) і тиміновим (T) хромофорами. Цей АТ-комплекс утворений сусідніми А- і Т-хромофорами одного і того ж ланцюга (не А- і Т-комплементарними хромофорами з різних ланцюгів). Цей висновок є справедливим не тільки для теломерів, але і для цілих макромолекул ДНК.

Флюоресценція теломери пов'язана, в основному, з випромінюванням Г-ланки та, можливо, з Г-квадруплексом. Перенесення енергії електронного збудження в теломері є основною причиною домінування АТ-пасток у її фосфоресценції. Пастки синглетних збуджень у теломері діють набагато слабше.

Експериментально показано, що ефективність збудження синглетного кисню залежить як від конфігурації кінцевих груп поліметинового барвника, так і від містка, що з'єднує хромофори. Для ізоструктурних скварелевих барвників, які відрізняються хімічним складом містка, ефективність генерації синглетного кисню є вищою для тіаскварелевого аналога. Цей результат обумовлений різною ефективністю заселення триплетних рівнів відповідних барвників. За допомогою квантово-хімічного моделювання вивчено заселення триплетних станів через низькоенергетичні переходи в скварелієвих барвниках та їх тіааналогах. Пояснена більш ефективна генерація триплетних станів в тіаскварелієвих барвниках порівняно з відповідними материнськими сквареїнами, де ефективно заселення триплетів не відбувається.

(В.М.Ящук, В.Ю.Кудря, А.П.Науменко, КНУ)

Зареєстровано та проаналізовано температурні залежності спектрів ІЧ поглинання води, метанолу та гексанолу в матричній ізоляції, спектри ІЧ поглинання води, гексанолу, нонанолу і деканолу в конденсованому стані, спектри КР води при різних температурах. Визначено особливості кластерної структури вищеназваних об'єктів. Використовуючи результати квантово-хімічного моделювання кластерів води різного розміру, визначено особливості кластерної структури води при різних температурах.

(В.Є. Погорелов, І.Ю. Дорошенко, Є.А. Чернолевська, Є. Васківський, КНУ)

Секція «Низькотемпературне матеріалознавство та кріогенна техніка»

Кріогенна техніка

Наукові дослідження і розробки у галузі кріогенної техніки у 2016 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).

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 ННЦ ХФТІ під керівництвом д.т.н. В.Б. Юферова для розробки технології швидкої регенерації кріонасосів шляхом радіаційного впливу досліджувалася десорбція при низьких температурах. Установа включала вакуумну камеру з азотним кріосорбційним насосом з сорбентом з вуглецевої тканини, радіаційним екраном, що охолоджується рідким азотом, з вікном для входження випромінювання, додатковими кріогенним і дифузійними насосами з рідкоазотними пастками, систему напуску газу, реєстратори тиску, клапани. Під час підготовки сорбенту робочі частини кріонасоса прогрівалися до 300°C, радіаційний екран до 100°C. Десорбційні імпульси мали тривалість від 10 до 400 с. Сорбент попередньо насичувався до 6

можливість досягнення вказаної температури кріостатування. З використанням хвилевого підходу до моделювання роботи генератора проведений аналіз роботи двоступінчатого кріорефрижератора GM, що має холодопродуктивність 0,2 Вт на температурному рівні 4,2 К. Розрахункове значення довжини регенератора з насадкою з ценосфер для такого кріорефрижератора виявилось 320 мм, тобто істотно більше, ніж довжина регенератора з насадкою з інтерметалевих сполук рідкоземельних елементів. Отримане значення довжини не виходить за рамки технічно можливих розмірів регенераторів для кріорефрижераторів GM. Переваги насадки з ценосфер можуть компенсувати збільшення розмірів кріорефрижераторів. (Г.К. Лавренченко, М.Б. Кравченко).

- Виконано дослідження можливості ефективного включення кріогенних повітроділювальних установок, які виробляють кисень, до складу крупних теплоелектростанцій. У нових проектах передбачають використання технології «Oxyfuel Combustion» для вироблення чистої енергії з подальшою підготовкою діоксиду вуглецю до депонування або до виробництва продуктів на його основі. В результаті виробництво енергії обов'язково супроводжується отриманням і використанням продуктів розділення повітря. Кисень застосовується як для підтримки процесу горіння палива, так і для акумуляції енергії у вигляді кріогенної рідини при реалізації технології «Cryogenic Energy Storage». Це дозволяє вирішувати комплекс завдань, пов'язаних із забезпеченням пікового споживання енергії в денний час з одночасним зниженням питомих енерговитрат на виробництво кисню, підвищенням ефективності роботи паротурбінної установки. Кріогенні технології також використовуються в установках для ефективного добування CO₂ з димових газів. У роботі розглядаються основні схемні і технологічні рішення, які застосовуються при розробці і реалізації таких проектів. (Г.К. Лавренченко, О.В. Копитін).

Низькотемпературне матеріалознавство

Наукові дослідження і розробки у області низькотемпературного матеріалознавства у 2016 році проводилися в основному у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАНУ.

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 з метою встановлення фізичних механізмів пластичної деформації в умовах глибокого охолодження досліджені механічні властивості низки високоентропійних, нанокристалічних (НК) та ультра-дрібнозернистих (УДЗ) металів і сплавів в інтервалі температур 0,5 – 300 К.

При формуванні об'ємного нанокристалічного стану ГЦП металів (титану, цирконію) із застосуванням методу кріомеханічної фрагментації зерен виявлено факт досягнення граничної межі подрібнення зерен (~ 35 нм), що обумовлено різким зменшенням активності деформаційного двійникування в нанозернах. Цей результат є важливим з точки зору

практичного використання методу криомеханічної фрагментації зерен для одержання об'ємних нанокристалічних ГЦП металів.

(В.А. Москаленко, А.Р. Смірнов, І.С. Брауде, Р.В. Смолянець, Ю.М. Плотнікова)

Встановлено, що нові високоентропійні сплави CoCrFeNiMn_x ($x = 0 \dots 0.75$) мають високу міцність при криогенних температурах (до 1,4 ГПа при 4,2 К) при збереженні досить високого резерву пластичності, що пов'язано з протіканням процесів пластичної деформації у матричній ГЦК фазі, в той час як частки σ -фази є нездоланими бар'єрами для руху дислокацій. Показано, що закономірності низькотемпературної стрибкоподібної деформації (глибина стрибків напруження, деформація початку стрибків) корелюють з мікроструктурним станом досліджених сплавів.

(О.Д. Табачнікова, О.В. Подольський)

На основі моделі геометрично необхідних дислокацій проаналізовані залежності мікротвердості йодидного і чистого Ті від навантаження на індентор при індентуванні площин базису (0001), призми I роду і призми II роду монокристалів і механічно полірованих поверхонь зразків полікристалів чистого Ті та показано, що результати вимірювань задовільно узгоджуються з положеннями моделі. Мікротвердість НК титану залежить від поверхні індентування (паралельної чи перпендикулярної напрямку кріовальцювання), що є наслідком текстури вальцювання.

(Г.В. Русакова, С.В. Лубенець, Л.С. Фоменко, В.А. Москаленко)

Методами дифракції зворотньорозсіяних електронів (EBSD) та рентгенівського випромінювання визначені основні характеристики мікроструктури ультрадрібнозернистих полікристалів безкисневої міді, підданих прямій (ГЕ) або рівноканальній кутовій гідроекструзії (РККГЕ). Встановлено, що УДЗ зразки після ГЕ й РККГЕ відрізняються орієнтаційною текстурою та долею великокутових границь зерен і, в меншій мірі, середнім розміром зерна і щільністю дислокацій.

(М.В. Ісаєв, С.Е. Шумілін, Т.А. Григорова, П.А. Забродін, В.Г. Гейдаров)

Виведено загальні аналітичні вирази для сил пружної взаємодії між парами точкових дефектів у 2D кристалі с довільною анізотропією та встановлено їх залежність від топологічних зарядів дефектів і відстані між їх центрами.

(В.Д. Нацик, С.М. Смірнов)

Таким чином, у звітний період були одержані важливі наукові результати, які, безсумнівно, сприятимуть зростанню науково-технічного потенціалу України в галузі низькотемпературного матеріалознавства та зміцненню наукової бази для створення нових конструкційних матеріалів. Одержані результати можуть бути використані в різних галузях промисловості (у ядерній енергетиці, аерокосмічній та медико-біологічній техніці, криогенному 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 ФГІНТ ім. Б.І. Веркіна НАНУ, яким керує к.ф.-м.н. В.О. Лотоцька, проводились науково-технічні дослідження у трьох напрямках.

1. Наукові дослідження і розробки у області низькотемпературного і космічного матеріалознавства у рамках теми **Ф8-11** (керівник теми – д.ф.-м. наук П.П. Паль-Валь), розділ теми: **«Фізико-механічні властивості нових полімерних матеріалів космічного призначення в умовах наземної імітації факторів космічного простору»** (керівник розділу – к.ф.-м.н. В.О. Лотоцька).

Встановлено степінь деградації механічних характеристик при одноосьовому розтяганні зі швидкістю $7 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ при 293 К поліімідної плівки (типу ПМА виробництва КНР) товщиною 75 мкм після опромінення потоками протонів і електронів енергією 155 кеВ при щільності потоків часток 10^{16} ч/см^2 . Показано, що опромінення плівки частками зазначеної енергії та щільності потоків призводить до підвищення умовної межі σ_e і зменшенню значень межі σ_p і сумарної деформації $\varepsilon_{\text{общ}}$, причому опромінення протонами супроводжується більш значними змінами характеристик міцності й деформуємісті. Так, при опроміненні електронами й протонами середні значення σ_v зростають, відповідно, на $\sim 3\%$ (e^-) і 11% (p^+), середні значення σ_p зменшуються на $\sim 7\%$ (e^-) і 14% (p^+), а $\varepsilon_{\text{общ}}$ знижуються на $\sim 21\%$ (e^-) і 28% (p^+).

Отримано середні значення характеристик міцності і деформуємісті поліімідних плівок різної товщини (25 і 75 мкм) одного хімічного складу (типу ПМА виробництва КНР) та однакової технології при температурі 4,2 К при одноосьовому розтяганні зі швидкістю $7 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$. Показано, що середні значення меж змушеної еластичності σ_e та міцності σ_p практично не залежать від товщини плівки, значення сумарної деформації до руйнування $\varepsilon_{\text{общ}}$ для більш тонкої плівки зростають в 2 рази. Також спостерігається значна відмінність діаграм розтягання. На діаграмі розтягання плівки товщиною 25 мкм після пружної гуковської ділянки кривої спостерігається добре виражена ділянка непружного подовження, що характеризується періодичними стрибками аж до розриву зразка, і відсутня для більш товстої плівки.

(В.О. Лотоцька, Л.Ф. Яковенко, Є.М. Алексенко, М.І. Величко, І.П. Заріцький, Г.І. Сальтевський)

Для визначення триботехнічних характеристик нових розроблених ППМ НАНУ матеріалів (нестандартні зразки) розроблена вдосконалена методика, виготовлено новий навантажувальний пристрій, нова низькотемпературна вставка для трибометра УТИ-ТВ конструкції ФГІНТ, що дозволяє проводити трибологічні випробування на повітрі, у вакуумі та у вакуумі при низьких температурах за схемою сфера-площина при поступальному ковзанні

індентора (контртела) по круговій доріжці тертя на торцевій поверхні охолоджуваного диска (зразка). Проведено тестові випробування методики по визначенню зносостійкості раніш досліджених зразків композиційного матеріалу ПМ-304 (попередня модифікація) при кімнатній температурі на повітрі та у вакуумі. Отримано збіг даних. Визначена зносостійкість першого (із серії) зразка нового композиційного зносостійкого матеріалу–ПМ-306 розробки ПМ НАНУ у вакуумі при температурі 120 К.

(О.П. Безкорсий, Ф.І. Волобуєв).

2. В період з 15.03.2016 р. по 30.06.2016 р. виконана науково-дослідна робота «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» за договором з ДП «КБ «Південне».

Проведені випробування елементів конструкцій КА Січ-2-1 на стійкість до орбітального термоциклювання (в інтервалі температур експлуатації $-100...+120^{\circ}\text{C}$) і/або комплексному впливу радіаційних ФКП із заданою дозою радіаційного навантаження (спільного впливу потоків протонів і електронів радіаційних поясів Землі дозою $2,11 \cdot 10^6$ рад і електромагнітного випромінювання заатмосферного Сонця в діапазоні довжин хвиль 200 – 2500 нм при щільності потоку 1400 Вт/м^2 , 100 годин орбітального опромінення, і в діапазоні довжин хвиль 5 – 170 нм при щільності потоку $0,07 \text{ Вт/м}^2$, 20 годин орбітального опромінення). Експериментально встановлено рівень деградації критичних характеристик, таких як термооптичні (коефіцієнт випромінювання); резистивні (питомий об'ємний і поверхневий опір), механічні (напруга руйнування при впливі навантаження в напрямку відриву обшивки) наступних об'єктів: матеріалу обшивки каркасів сонячних батарей - ЭДТ-69В+Элур-0,08+ ПМ-А, матеріалу каркасів екрану підсистеми терморегулювання ЭДТ-69В+Элур-0,08 і стільникової конструкції для каркасів сонячних батарей і каркасів екрану підсистеми терморегулювання - ЭДТ-69В+Элур-0,08+пінопласт Rohacell 31 IG.

(В.О. Лотоцька, М.І. Величко, І.П. Заріцький, Г.І. Сальтевський, Л.Ф. Яковенко, Є.М. Алексенко, О.П. Безкорсий, Ф.І. Волобуєв)

3. У рамках договору про наукове співробітництво, укладеному між ФТІНТ ім. Б.І.Веркіна НАН України та НТУ «Харківський політехнічний інститут», присвяченому дослідженню впливу факторів космічного простору на структуру та фізичні характеристики перспективних плівкових наноматеріалів (термін виконання 01.10.2016р. – 30.06.2017р., керівник від ФТІНТ – В.О. Лотоцька) розпочато дослідження квазікристалічних плівок вісмуту товщиною 1,4 – 3,5 мкм, конденсованих на ситалову підкладку при температурі $T_{\text{пл}}$ 40 – 130°C з різною мірою дефектності структури, також однаковою текстурою (001), що паралельна підкладці, або двома – (001) і (012), які були виготовлені для досліджень на кафедрі фізики металів і напівпровідників НТУ «ХПІ».

Проведено опромінення плівок потоками протонів і електронів радіаційних поясів Землі з енергією 160 кеВ при щільності потоків часток 10^{14} і 10^{15} см^{-2} на імітаційному комплексі КІФК ФТІНТ НАНУ і вимірювання гальваномагнітних параметрів плівок до і після

дії ФКП в НТУ «ХПІ». Встановлено, що опромінення потоками протонів щільністю 10^{14} см^{-2} або потоками електронів щільністю 10^{14} і 10^{15} см^{-2} не призвело до змін зазначених гальваномагнітних параметрів. Напроти, при опроміненні потоками протонів щільністю 10^{15} см^{-2} виявлено невелике підвищення величини коефіцієнту Холла R_H , і зниження ефекту магнетоопору, обумовлені утворенням радіаційних дефектів. Експерименти будуть продовжені при більш високих дозах опромінення.

(В.О. Лотоцька, М.І. Величко, І.П. Зарицький, Г.І. Сальтевський)

В період з 05.2016 р. по 12.2016 р. відбувалось обговорення, відпрацювання методик випробування та підписання договорів виконання науково-дослідних робіт з ДП «КБ «Південне» по темам: **«Оцінювання стійкості матеріалів корпусу сканера високої роздільної здатності на космічному апараті «Січ-2М» до факторів космічного простору»** та **«Проведення випробувань щодо впливу факторів космічного простору на зразки чохлів ЕВТІ»**.

Інформація щодо надрукованих у 2016р. книжкових видань: монографій, підручників, науково-пізнавальних видань

1. Р.В. Вовк, А.В. Попов, В.І. Білецький. – Х.: Видавництво ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2016. – 148 с.
2. О.С. Ковальов (ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України), О.В.Єзерська (ХНУ ім. В.Н. Каразіна), З.О. Майзеліс (ХНУ ім. В.Н. Каразіна) та ін.; - Малі коливання. - / ХНУ ім. В.Н. Каразіна/, Х.: Видавництво ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2016.– 111 с.

Участь у підготовці та проведенні наукових конференцій, симпозіумів

1. VII Міжнародна наукова конференція молодих вчених «Фізика низьких температур» (6–10 червня 2016 р., м. Харків, Україна) <http://www.ilt.kharkov.ua/kmu2016/> (Д.ф.-м.н. О.В. Долбин, акад. НАН України В.В. Єременко, д.ф.-м.н. В.А. Майданов, д.ф.-м.н. В.Д. Нацик, д.ф.-м.н. П.П. Паль-Валь, чл.-кор. НАН України Е.Я.Рудавський, д.ф.-м.н. О.В. Савченко, чл.-кор. НАН України М.О. Стржемечний, М.Ф. Харченко, д.ф.-м.н. С.М. Шевченко).
2. Академік НАН України С.Л. Гнатченко входив до програмного комітету V Наукової конференції «Нанорозмірні системи: будова, властивості, технології» НАНСИС 2016 (1–2 грудня 2016, Київ, Україна). <http://nansys2016.icybcluster.org.ua/>
3. Академік НАН України Л.А. Пастур був головою Оргкомітету IV International Conference «Analysis and Mathematical Physics» AMPH-2016 (13–17 червня 2016 р., Харків, Україна) <http://www.ilt.kharkov.ua/amph2016/>
4. Чл.-кор. НАН України Т.О. Пріхна брала участь у роботі організаційного комітету 9-ої Міжнародної конференції «Матеріали і покриття в екстремальних умовах: дослідження, застосування, екологічно чисті технології виробництва і утилізації продукції» (15–19 серпня 2016 г., м. Коблево, Україна). <http://www.pstu.edu/>
5. Чл.-кор. НАН України Т.О. Пріхна брала участь у роботі Міжнародного організаційного комітету «E-MRS – 2016» Fall Meeting of the European Materials Research Society (19–22 вересня 2016, Варшава, Польща). <http://www.european-mrs.com/>
6. Чл.-кор. НАН України Т.О. Пріхна брала участь у роботі оргкомітету Міжнародної Науково – Технічної Конференції «Матеріали для роботи в Екстремальних Умовах» (01–02 грудня 2016 р, м. Київ, Україна).
7. Д.ф.-м.н. М.Т. Черпак приймав участь у роботі програмного технічного комітету, був уповноваженим представником Європейської мікрохвильової конференції «EuMC 2016» (04-06 жовтня 2016 р., Лондон, Великобританія). <https://eventegg.com/eumc-2016/>
8. «9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves MSMW'2016», (June 20-24, 2016, Kharkiv, Ukraine) <http://www.msmw.org.ua/2016/contacts> (Чл.-кор. НАН України С.І. Тарапов, д.ф.-м.н. М.Т. Черпак).

9. Чл.-кор. НАН України В.О. Ямпольський приймав участь у роботі організаційного комітету Міжнародного Ювілейного Семінару “Современные проблемы физики твердого тела”, присвяченого пам’яті чл.-кор. НАН України Емануїла Айзиковича Канера та 60-річчю відкриття циклотронного резонансу в металах (22 – 23 листопада 2016 р., Харків, Україна) <http://www.ire.kharkov.ua/ru/eng-int-juble-seminar.html>
10. Чл.-кор. НАН України Ю.В. Слюсаренко приймав участь у роботі організаційного комітету Наукових читань “Проблеми сучасної теоретичної фізики”, присвячених пам’яті академіка О.И. Ахієзера (1911-2000) (27 жовтня, 2016, Харків, Україна).
11. Д.ф.-м.н. Ю.Г. Найдюк – голова організаційного комітету International Workshop “Advances in preparation and investigation of emergent iron-based superconductors” (May 23-25, 2016, Dresden, Germany).
12. XI Міжнародної конференції «Кріокристали і квантові кристали» (18-24 серпня, 2016 р., Турку, Фінляндія). <http://congress.utu.fi/cc11/> (Чл.-кор. НАН України М.О. Стржемечний, д.ф.-м.н. О.В. Савченко).
13. Д.ф.-м.н. М.В. Косевич входила до програмного комітету міжнародної конференції «SIMS-Europe-2016» (18-20 вересня 2016, Мюнстер, Німеччина). <https://www.sims-europe.org/>
14. ТОВ "Інститут низькотемпературних енерготехнологій" спільно з Асоціацією "СІГМА" (д.т.н. Г.К. Лавренченко) організував і провів міжнародній семінар «Технічне і технологічне забезпечення використання природного газу, КПП і ЗПП як ефективних енергоносіїв» (07 – 10 червня 2016 р., м. Одеса, Україна).
15. ТОВ "Інститут низькотемпературних енерготехнологій" спільно з Асоціацією "СІГМА" (д.т.н. Г.К. Лавренченко) організував і провів міжнародній семінар «Підвищення ефективності і безпеки виробництв продуктів розділення повітря» (06 – 09 вересня, 2016 р., м. Кишинів, Молдавія).

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. «Modern Instrumentation» (О.В. Савченко)
8. «Phase Transitions» (чл.-кор. НАН України І.В. Стасюк).
9. «Physica B: Condensed Matter» (чл.-кор. НАН України М.О. Стржемечний).
10. «Science of Sintering» (чл.-кор. НАН України Ю.В. Мільман).
11. «Semiconductor Physics, Quantum and Optoelectronics» (чл.-кор. НАН України О.Є. Беляєв (заст. гол. редактора), акад. НАН України М.Г. Находкін).
12. «Telecommunications and Radio Engineering» (М.Т. Черпак).
13. «Ukrainian Journal of Physical Optics» (акад. НАН України М.Ф. Харченко).
14. «Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна, серія «Фізика» (Р.В. Вовк (гол. редактор)).

15. «Деформация и разрушение материалов» (чл.-кор. НАН України Ю.В. Мільман).
16. «Електронна мікроскопія і міцність матеріалів» (чл.-кор. НАН України Ю.В. Мільман).
17. «Журнал математичної фізики, аналізу, геометрії» (акад. НАН України Л.А. Пастур (гол. редактор)).
18. «Журнал фізичних досліджень» (чл.-кор. НАН України І.В. Стасюк).
19. «Материаловедение» (чл.-кор. НАН України Ю.В. Мільман).
20. «Металлофізика та новітні технології» (чл.-кор. НАН України В.М. Антонов, чл.-кор. НАН України О.А. Кордюк).
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 С.І. Тарапов, 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, Р.В. Вовк, 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)).

Робота з пропаганди наукових досягнень та висвітлення науково-дослідної діяльності в ЗМІ

1. На обласному телебаченні «ОТБ» 23.12.2016 р. в передачі «Фабрика ідей: інновації» вийшов телесюжет про розробку Г.В. Камарчука.
2. Газета «Время» опублікувала у жовтні 2016 року статтю «Унікальний медичинський прибор розроботан харьковчанами».

3. Харківські вчені навчилися виявляти збудник раку за одним подихом
Інформаційний портал «Tech Today», 17.10.16
4. Неінвазивний метод виявлення канцерогенних штамів бактерії Helicobacter pylori в режимі реального часу – Розробка харківських дослідників, серед яких і вчені ФТІНТ НАН України
Прес-служба НАН України, 04.04.16
5. Харьковские ученые узнают рак по выдоху
Інформаційний портал «Сегодня.ua», 7.11.16
6. В Харькове разработали уникальный медицинский прибор
Інформаційний портал «STATUS QUO», 17.11.16
7. New Form of Carbon Stores Lots of Gas
Стаття в Physics: Focus, February 5, 2016
8. Вчені ФТІНТ НАН України та НТУ "ХПІ" відкрили нову тривимірну форму графену – карбонові стільники
Прес-служба НАН України, 28.03.16

Редакційна група:

КАЛИНЕНКО
Олександр Миколайович

БУРАВЦЕВА
Любов Михайлівна

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

2016