2018

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМИЯ НАУК УКРАЇНИ

Відділення фізики і астрономії НАН України

ЗВІТ про діяльність Наукової ради «Фізика низьких температур і кріогенна техніка»

2018

ЗМІСТ

Вступ 3

Склад Наукової ради з проблеми «Фізика низьких температур і кріогенна техніка» 15

Бюро Наукової ради 15

Члени Наукової ради 16

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

Секція «Фізика квантових рідин та кристалів» 20

Секція «Фізика надпровідності» 31

Секція «Фізика магнітних явищ» 37

Секція «Електронні властивості твердих тіл» 65

Секція «Фізика молекулярних кристалів» 74

Секція «Низькотемпературне матеріалознавство та кріогенна техніка» 69

Кріогенна техніка 80

Низькотемпературне матеріалознавство 82

Інформація щодо надрукованих у 2016 р. книжкових видань 88

Участь у підготовці та проведенні наукових конференцій, симпозіумів 88

Участь у редколегіях наукових видань 89

Робота з пропаганди наукових досягнень та висвітлення науково-дослідної діяльності в ЗМІ 91

Вступ

Сучасний тренд розвитку науки полягає в розширенні та поглибленні наукових зв'язків з метою поєднання взаємодоповнюючих зусиль та максимальної ефективності. Науково-консультативним, координаційним, експертним органом з питань розвитку і координації фундаментальних і прикладних досліджень з проблеми «Фізика низьких температур і кріогенна техніка» в НАН України є Наукова рада з проблеми «Фізика низьких температур і кріогенна техніка» при Відділенні фізики і астрономії НАН України, яка працює при Фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б. І. Вєркіна НАН України.

Діяльність ради здійснюється у взаємодії з секціями НАН України, відділеннями НАН України, структурними підрозділами апарату Президії НАН України. Рада створена з метою сприяння НАН України в реалізації завдань, покладених на неї Законом України «Про наукову і науково-технічну діяльність» і Статутом НАН України.

Постановою Бюро відділення фізики і астрономії НАН України від 22.05.2018 р. (протокол №4) було затверджено Положення про порядок створення та діяльності Наукової ради з проблеми «Фізика низьких температур і кріогенна техніка» Відділення фізики і астрономії НАН України Національної академії наук України та затверджено її склад. Раду очолює Голова – акад. НАН України С. Л. Гнатченко. Заступники голови: д.ф.-м.н., проф. Г. Є. Гречнєв, д.ф.-м.н., проф. Ю. Г. Найдюк, д.ф.-м.н., с.н.с. В. В. Чабаненко, Вчений секретар – к.ф.-м.н., с.н.с. О. М. Калиненко. 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 кріогенна техніка» (очолює С. І. Бондаренко). До складу Ради входять 83 провідних фахівця з фізики низьких температур з Києва, Харкова, Одеси, Львова тощо. В Інтернеті розміщена веб-сторінка Ради www.ilt.kharkov.ua/bvi/structure/naukova_rada_fntkt_u.htm.

Основними завданнями ради є висококваліфікована оцінка стану та перспектив розвитку фундаментальних і прикладних досліджень з наукової проблеми «Фізика низьких температур і кріогенна техніка», підготовка пропозицій щодо їх підтримки, участь в установленому порядку у формуванні та затвердженні тематики наукових досліджень, експертиза проектів і завершених досліджень.

Для виконання своїх завдань рада:

– за дорученням Президії НАН України, секцій, відділень НАН України організовує проведення членами ради аналізу стану і перспектив розвитку в світі та Україні фундаментальних і прикладних досліджень з проблеми, готують пропозиції стосовно розвитку найбільш перспективних з них, доцільності припинення виконання науково-дослідних робіт, що втратили свою актуальність;

– бере участь у проведенні науково-технічної експертизи тематики науково-дослідних робіт та звітів про їхнє завершення, наукових праць, дисертаційних досліджень, підручників, навчальних посібників тощо;

– готує рекомендації щодо впровадження результатів наукових досліджень із проблеми (напряму) у практику;
– надає пропозиції щодо взаємодії науки та освіти, вирішення питань підготовки та атестації наукових кадрів;
– залучається до організації проведення наукових конференцій, симпозіумів, шкіл, семінарів, читань, присвячених пам'яті видатних вчених, тощо;
– створює за необхідності під керівництвом членів ради секції, постійні комісії, тимчасові та експертні групи, залучає до участі в них представників органів державної влади, наукових установ, підприємств, громадських організацій та об'єднань (за погодженням з їхніми керівниками);
– отримує в установленому порядку необхідні для її діяльності інформацію та матеріали;
– готує і подає на розгляд Президії НАН України, бюро секцій, відділень НАН України та оприлюднює доповіді щодо стану і перспектив розвитку наукових досліджень з відповідних проблем;
– готує і за необхідності виносить на обговорення Президії НАН України, бюро секцій, відділень НАН України питання за профілем ради;
– залучається до надання рекомендацій щодо проектів тем науково-дослідних робіт установ НАН України, виконання яких має фінансуватися за кошти державного бюджету;
– залучається до підготовки рекомендацій для робіт, які претендують на висунення на здобуття премій імені видатних учених України, премій для молодих учених та студентів вищих навчальних закладів, які присуджуються НАН України;
– залучається до підготовки рекомендацій для відзначення науковців з використанням різних форм заохочення;
– надсилає в установленому порядку окремі свої рішення та рекомендації, що стосуються проблеми «Фізика низьких температур і кріогенна техніка», до заінтересованих міністерств, відомств, національних галузевих академій наук, керівникам наукових установ та вищих навчальних закладів.

Наразі Рада, в цілому, та Інститут приймають участь у науковій співпраці із зарубіжними та вітчизняними науковими установами та університетами. Ключовими позитивними моментами є:

- об'єднання зусиль у вирішенні актуальних проблем;
- взаємозбагачуючий обмін ідеями і підходами;
- швидкий доступ до найактуальнішої наукової інформації;
- можливість підвищення кваліфікації і наукових стажувань у провідних світових центрах для науковців;
- створення та підтримка іміджу країни як розвинутої в науковому плані держави;
- вирішення проблеми частково застарілого експериментального обладнання інституту і можливість проведення науковцями Інституту експериментальних досліджень на високому рівні;
- заохочення талановитої молоді до роботи в науці.

Особлива увага буде приділятися розвитку двосторонніх наукових зв'язків, особливо через спеціальні програми для молоді. На кшталт, взаємних угод про співпрацю укладених з Інститутом низьких температур і структурних досліджень ПАН (Вроцлав, Польща),

Університетом П.Й. Шафарика та Інститутом експериментальної фізики САН (Кошице, Словаччина) або спільного навчання аспірантів з Університетом Париж-Схід (Марн ла Валє, Франція), Інститутом фотонних технологій (Єна, Німеччина), Університетом Відня (Відень, Австрія).

З метою підсилення участі в міжнародної співпраці та розширення усіх видів підтримки з диверсифікованих джерел, у відповідності до тенденцій розвитку світової науки, передбачається проведення таких заходів, як:

- практика організації та проведення міжнародних конференцій на базі як ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України, так і споріднених за профілем установ НАН України та університетів;
- системна робота з підготовки запитів на участь у міжнародних та вітчизняних грантових і конкурсних програмах з фінансування науки, у тому числі, таких, як програми ЄС Горизонт-2020, CRDF, DFG, CNRS, STCI, програми МОН, НАН України та Національного фонду досліджень України;
- продовження активної співпраці з міжнародними науковими видавництвами, зокрема, з Американським інститутом фізики (США);
- активізація участі науковців у редакційних колегіях престижних закордонних наукових журналів.

Науковий звіт за результатами роботи Ради у 2018 році, який охоплюет найбільш значимі результати у відповідних областях, розміщен на веб-сторінці Ради. Підсумки та результати досліджень, проведених у 2014-2017 рр., підсумовані у наукових звітах, які теж доступні на веб-сторінці Ради.

Основними напрямами наукових досліджень з фізики низьких температур, які знаходяться в полі уваги Ради, у 2018 році були дослідження з надпровідності та електронних властивостей провідних систем, низькотемпературного магнетизму, квантових рідин і кристалів, кріокристалів, низькотемпературної фізики пластичності та міцності, низькотемпературних аспектів біофізики та прикладні дослідження з низькотемпературного і космічного матеріалознавства.

Фундаментальні дослідження з фізики низьких температур, природнім чином, найбільш сконцентровані у ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України, тут же налагоджено виробництво кріогенних рідин (азоту та гелію) для наукових цілей. Експериментальні дослідження ведуться до наднизьких температур рівня десятитисячної долі кельвіна завдяки тому, що у ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України створений комплекс для фізичних досліджень при наднизьких температурах (який Постановою Кабінету Міністрів України від 19.12.2001 р. №1709 затверджено, як об’єкт, що становить Національне надбання України).

Також у ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України розроблено та впроваджено унікальний дилатометричний комплекс для вимірювання теплового розширення з надзвичайно високою чутливістю, що дозволяє вимірювати теплове розширення твердих речовин, зокрема, наноструктурних матеріалів та кріокристалів в інтервалі температур 1,2 – 300 К. Комплекс являє собою надчутливе і високоточне обладнання, яке здатне зареєструвати зміни розміру зразка на величину майже міжатомної відстані. Як в України так і в світі для області температур 1,2 – 300 К аналогів такого дилатометричного комплексу не існує. Найближчий за чутливістю та інтервалом робочих температур аналог знаходиться в Університеті штату

Монтана (США). Проте український комплекс дозволяє проводити виміри при нижчих температурах, що важливо для дослідження впливу квантових ефектів. Власними силами розроблено та запущено в дію SQUID-магнітометр для вимірювання магнітної сприйнятливості та намагніченості твердих тіл в магнітних полях до 50 кЕ при температурах 4,2 – 320 К з можливістю дослідження впливу одновісного тиску. Ведеться розробка диференціального магнітометра для вимірювання магнітної сприйнятливості на змінному струмі в слабких магнітних полях при температурах 78 – 350 К в діапазоні частот 1 – 200 кГц. Проте, ясна річ, що створення такого обладнання вимагає великих затрат, значної концентрації зусиль та часу.

Чимало установ НАН України та закладів МОН України також проводять активні дослідження в галузі фізики низьких температур та кріогенної 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, Донецький фізико-технічний інститут ім. О. О. Галкіна 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. Має свого представника в Раді, Г. К. Лавренченка, 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.

Протягом 2018 року Рада приймала участь у вирішенні таких задач, як формування ключових напрямів досліджень з фізики та техніки низьких температур в Україні, підтримка високого рівня фундаментальних та прикладних досліджень та експертиза запитів на проведення науково-дослідних робіт з низькотемпературної тематики, організація конференцій, координація видавничої діяльності з низькотемпературної тематики, підготовка кадрів, підтримка та розвиток традицій української школи фізики та техніки низьких температур.

Одним з основних моментів координуючої діяльності було науково-організаційне забезпечення міжнародних та українських наукових конференцій.

Профільна міжнародна конференція спеціалістів та молодих вчених «Фізика низьких температур-2018» була організована і проведена у ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України в Харкові з 4 по 8 червня 2018 р. Тематика форуму охоплювала основні напрями досліджень з низькотемпературної фізики, зокрема, низькотемпературний магнетизм, нанофізику, надпровідність, фізику квантових рідин та кріокристалів, теоретичну фізику конденсованого стану, нанобіофізику тощо. З 25 запрошеними лекціями виступили провідні вчені із

Німеччини, Великобританії, Грузії, Нідерландів, Словаччини, Чехії, Іспанії, Японії, Франції, Румунії, Польщі та України. Було представлено 151 доповідь від науковців з різних країн світу. Захід пройшов в атмосфері цікавих дискусій та дружнього обговорення, які стали генераторами нових ідей та планів майбутнього співробітництва. Підготовку та проведення конференції було здійснено Радою молодих науковців та спеціалістів інституту за підтримки Ради з проблеми «Фізика низьких температур і кріогенна техніка» при Відділенні фізики і астрономії НАН України, адміністрації та профспілки інституту. Завдяки самовідданій, сумлінній праці та організаційним зусиллям Оргкомітету конференція пройшла на високому науковому та організаційному рівні.

Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б. І. Вєркіна НАН України разом з Інститутом фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, Інститутом металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України та Вінницьким державним педагогічним університетом ім. М. Коцюбинського та учбових закладів організували та провели 6-у Міжнародну науково-практичну конференцію «Структурна релаксація у твердих тілах» яка пройшла 22 – 24 травня 2018 року у м. Вінниця. Заступник голови секції «Низькотемпературне матеріалознавство та кріогенна техніка» Ради П. П. Паль-Валь активно працював у якості співголови наукового організаційного комітету конференції. Цей захід надав можливість провести плідне обговорення широкого спектру сучасних проблем, пов'язаних із структурною релаксацією і атомним упорядкуванням в металах, сплавах, напівпровідниках, а також з релаксаційними ефектами в композиційних, полімерних, діелектричних високоентропійних сплавах, наноструктурних і аморфних матеріалах, зокрема і при низькій температурі. У великій кількості оглядових і оригінальних доповідей були представлені і узагальнені нові експериментальні і теоретичні результати по фазовим переходам в твердих тілах, управління процесами релаксації внутрішніх механічних напружень в тонкоплівкових системах і кристалах різних типів. Особливе місце в тематиці конференції зайняли доповіді, присвячені методичним аспектам дослідження релаксаційних явищ в нанокомпозитах, фулеритах, монокристалах металів і напівпровідників. Серед них значну увагу було приділено методу акустичної спектроскопії. Серед технологічних методів, способів релаксації насиченого стану в твердотільних об'єктах розглянуті термічні, фотонні, польові, іонні, лазерні та інші обробки. Дискусія була плідною і корисною. Важливо відзначити, що в загальній дискусії та обговоренні окремих докладів по секціях взяли участь провідні вчені України, Молдови, Узбекистану, Угорщини, Чехії, Білорусі, Словаччини, Польщі. Конференція дає високу оцінку ряду нових наукових результатів, отриманих в інститутах Національної академії наук України (ІФП ім. В. Є. Лашкарьова, ІМФ ім. Г. В. Курдюмова, ІПМ ім. І. М. Францевича, ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна, ХФТІ, ДонФТІ ім. О. О. Галкіна, ІСМ ім. В. М. Бакуля), вищих навчальних закладах Києва, Харкова, Вінниці, Львова, Чернівців, Тернополя, Ужгорода, ІваноФранківська (Україна), НВО "Інтеграл "(Мінськ, Білорусія), Бєльцький державний університет імені Алеку Руссо (Бєльці, Молдова), Каракалпацький державний університет (Нукус, Узбекистан), Ташкентський державний технічний університет імені І. Карімова, Інститут фізики матеріалів Академії наук Чеської Республіки та ін.

Крім того, у 2018 році члени Ради та науковці ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України активно працювали в організаційних комітетах та брали участь в підготовці і проведенні ще кількох конференцій. Так, чл.-кор. НАН України М. О. Стржемечний та О. В. Савченко

працювали у складі Програмного комітету 12-ї Міжнародної конференції з фізики кріокристалів «Cryocrystals and Quantum Crystals» (26 - 31 серпня 2018 р., Вроцлав, Польща). О. В. Савченко є членом Програмного комітету 20-ї міжнародної конференції з радіаційних ефектів у ізоляторах, яка відбудеться 19 - 23 серпня 2019 р. у Казахстані (20th International conference on Radiation Effects in Insulators). Академіки НАН України С. Л Гнатченко та М. Ф. Харченко брали участь у роботі Програмного комітету 9-ї Міжнародної конференції спеціалістів та молодих вчених «Фізика низьких температур» (4 - 8 червня 2018 р., Харків, Україна). Молоді науковці ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України – члени молодіжного осередку міжнародного оптичного товариства взяли участь в організації 6-го Міжнародного симпозіуму з оптики та її застосувань (6th International Symposium on Optics and its Applications, OPTICS-2018), 17 - 21 лютого 2018 р., Тренто, Італія та 8-ї Міжнародної конференції з оптоелектронних інформаційних технологій (VIII International conference on Optoelectronic Information Technologies, ODS 2018), 2 - 4 жовтня 2018 р., Вінниця, Україна.

В той же час, науковці беруть активну участь у роботі Міжнародних наукових товариств: перш за все, це Українського фізичного товариства, Європейського та Американського фізичних товариств, а також Математичних товариств: Українського, Американського та Європейського. Крім участі у засіданнях та наукових формах, вчені працюють в комітетах та комісіях.

Академік НАН України Л. А. Пастур є почесним доктором Університету Руру (Німеччина) та Почесним членом Американського математичного товариства. М. В. Косевич є представником від України у International Mass Spectrometry Foundation (http://www.imss.nl/affiliates.html). У 2018 році у структурно оформив свою діяльність і активно працював молодіжний осередок міжнародного оптичного товариства у ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України (ILTPE OSA Student Chapter, http://www.ilt.kharkov.ua/osachapter/eng/index.html.

Обмін актуальною науковою інформацією, знайомство з останніми досягненнями в певних галузях науки забезпечується і тим, що вчені інституту беруть активну участь у організації роботи відкритого Загальнофізичного семінару, що працює при Інституті 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 з наукових установ Львова, Києва та Харкова.

Налагоджена також активна взаємодія та обмін актуальною інформацією в галузі фізичних досліджень між провідними науковими установами Харкова. Організований та працює Харківський міський Загальнофізичний семінар Південно-східного наукового центру НАН України. Семінар відбувається під головуванням акд. НАН України О. О. Коноваленка та чл.-кор. НАН України В. Ф. Клепікова, секретарем семінару є завідувач відділу теоретичної фізики ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України І. В. Кріве. Усього за 2018 рік було проведено 5 міських семінарів, на яких з доповідями виступили харківські вчені.

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 невпорядковані 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 2018 р. журнал надрукував 173 наукові статті, з яких 17 оглядів з актуальних проблем фізики низьких температур та 8 коротких повідомлень. Було видано 6 спеціальних тематичних випусків журналу, а саме: № 3 «Надпровідність і низькотемпературна мікроелектроніка. До 90-річчя від дня народження І. М. Дмитренка», № 6 «До 90-річчя від дня народження О. О. Абрикосова», № 7 «До 90-річчя від дня народження А. М. Косевича», № 9 «Низькотемпературна фізика пластичності та міцності: до 80-річчя від дня народження В. Д. Нацика», № 10 «Актуальні проблеми квантових рідин та кристалів: до восьмидесятиріччя Е. Я. Рудавського та І. М. Адаменка, № 12 «Електронні властивості низьковимірних систем: до сімдесятиріччя від дня народження І.В. Кріве».

Журнал «Физика низких 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. Слід зазначити, що на цей час зазначений журнал є одним з найрентіговіших фізичних журналів України: імпакт-фактор журналу «Физика низких температур» дорівнює 0,86, 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 баз даних Web of Science та Scopus. За даними системи «Бібліометрика науки в Україні», яка призначена для надання суспільству цілісного уявлення про вітчизняне наукове середовище, рейтинг наукового періодичного видання «Физика низких температур», серед інших видань України, що мають бібліометричні профілі, за індексом Гірша в системі Google Scholar складає 50, а саме видання займає 4 місце за цим показником (за п’ятирічним індексом Гірша в системі Google Scholar – 7 місце з індексом h5=30 http://www.nbuviap.gov.ua/bpnu/index.php?page_sites=journals).

Науковці інституту активно працюють в редколегіях наукових журналів з низькотемпературної та суміжних тематик. Наведемо такий перелік:

1. «Journal of Low Temperature Physics», Springer, USA, EU, IF=1,044 (чл.-кор. НАН України Е. Я. Рудавський);
2. «Modern Instrumentation», Scientific Research Publishing, USA, h5=4 (О. В. Савченко)
3. «Physica B: Condensed Matter», Elsevier, EU, IF=1,45 (чл.-кор. НАН України М. О. Стржемечний);

4. «Ukrainian Journal of Physical Optics», ІОФ МОН, Україна, IF=0,488 (акад. НАН України М. Ф. Харченко);
5. «Технічні гази», ТОВ "Інститут низькотемпературних енерготехнологій", Україна, (С. І. Бондаренко);
6. «Физика низких температур», ФТІНТ НАН України, НАН України, Україна, IF=0,86, h5=30 (акад. НАН України С. Л. Гнатченко (гол. редактор), Г. Є. Гречнєв, А. А. Звягін, О. С. Ковальов (заст. гол. редактора), Ю. О. Колесніченко (заст. гол. редактора), І. В. Кріве, Ю. Г. Найдюк, В. Д. Нацик, чл.-кор. НАН України О. М. Омельянчук, акад. НАН України Л. А. Пастур, чл.-кор. НАН України Е. Я. Рудавський, О. В. Савченко, С. С. Соколов (заст. гол. редактора), чл.-кор. НАН України М. О. Стржемечний, В. Д. Філь, акад. НАН України М. Ф. Харченко, С. І. Шевченко), О. В. Долбин (відп. секретар);
7. «Universal Journal of Materials Science», Horizon Research Publishing, USA (чл.-кор. НАН України В. О. Карачевцев, Г. В. Камарчук);
8. «Mass-Spektrometria», RS for Mass Spectrometry, RF, (М. В. Косевич);
9. «Біофізичний Вісник», ХНУ ім. В. Н. Каразіна, Україна, h5=5 (В. О. Карачевцев, М. В. Косевич);
10. «Журнал математичної фізики, аналізу, геометрії» ФТІНТ НАН України, НАН України, Україна, IF=0,531, h5=12 (акад. НАН України Л. А. Пастур (гол. редактор), Ю. А. Амінов, чл.-кор. НАН України О. А. Борисенко (заст. гол. редактора), В. О. Золотарьов, В. П. Котляров, чл.-кор. НАН України Г. М. Фельдман (відп. секретар), акад. НАН України Є. Я. Хруслов (заст. гол. редактора), чл.-кор. НАН України М. В. Щербина);
11. «Український математичний журнал» ІМ НАН України, НАН України, Україна, IF= 0.189, h5=24 (акад. НАН України В. О. Марченко, акад. НАН України Л. А. Пастур, акад. НАН України Є. Я. Хруслов);
12. «Geometric and Functional Analysis» Springer, USA, EU, IF=1,795 (акад. НАН України Л. А. Пастур);
13. «Random Operators and Stochastic Equations», Walter de Gruyter GmbH, Germany, EU, IF=0,73 (акад. НАН України Л. А. Пастур).

Ще одним пріоритетом науково-координаційних зусиль є освітянська діяльність та багаторівнева взаємодія з закладами освіти.

Перш за все, провідні науковці інституту та Ради активно беруть участь у атестації наукових кадрів і наукових установ. Так, зокрема, у ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України працюють 3-и спеціалізовані вчені ради з присудження наукових ступенів доктора (кандидата) наук в галузі фізичних та математичних наук. За 2018 рік на засіданнях рад відбувся захист 2 докторських та 13 кандидатських дисертацій. Крім того, науковці працюють в кількох спеціалізованих вчених радах ХНУ ім. В. Н. Каразіна, Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» тощо.

Проте робота науковців із залучення талановитих дітей та молоді до фізики і математики розпочинається ще з дошкільного період та охоплює дітей усього шкільного віку. Провідний науковий співробітник інституту О. Л. Фертман організувала та опікується центром «Фізматик», який є центром додаткової освіти для талановитих дітей. В його гуртках молодь займається математикою (логіка, комбінаторика, інші нестандартні задачі, підготовка до математичних олімпіад), фізикою (пізнання оточуючого світу: експеримент +

обговорення), программуванням та хімією. До «Фізматика» приходять діти від 5 до 17 років, заняття проходять у групах за віком та інтересами.

Крім того, науковці інституту та члени Ради приймають активну участь у підвищенні рівня викладання природничих наук та математики у школі, співпрацюють з Харківським територіальним відділенням Малої академії наук України та беруть участь в роботі організаційного та експертних комітетів утворених при Харківській обласній державній адміністрації для проведення обласного конкурсу «Найкращий молодий науковець» Харківщини та ряду інших наукових конкурсів.

Та найголовнішим напрямом щодо взаємодії з освітянськими закладами є співпраця з провідними профільними університетами. Слід зазначити, що останніми роками ця взаємодія розширюється та розвивається. Перш за все – за рахунок розвитку спільних науково-дослідних робіт. Наведемо деякі приклади. Так, разом з Харківським національним університетом ім. В. Н. Каразіна було проведено експериментальні та теоретичні дослідження впливу високого гідростатичного тиску на різні механізми електротранспорту сполук $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ різного складу та технологічної передісторії; досліджена теплопровідність в MAX-фазі матеріалу нового класу, який має унікальні властивості і металу, і кераміки, Ti_3AlC_2. Спільно з фахівцями з НТУ «ХПІ» проведено аналіз роботи безщілинної електродної системи, яка реалізується на наноструктурному каналі точкового контакту, і створено математичну модель розчинення каналу точкового контакту в електроліті, яка може бути використана для оптимізації сенсорних пристроїв; досліджено електропровідність точкових контактів на основі тернарного сплаву W-Mo-Co в газоподібних середовищах водню та газу, що видихається людиною та показано, що досліджені зразки демонструють високу чутливість до газових середовищ і можуть бути використані для розробки сенсорів газів. Започатковані спільні дослідження з Харківським державним університетом харчування та торгівлі в галузі розробки нових матеріалів і технологій зберігання харчових продуктів.

Спільна діяльність Ради та ряду провідних університетів Харкова була також спрямована на координацію спеціальних навчальних програм на кафедрах вищих учбових закладів. Науковці інститутів НАН України ведуть спільну з вищими навчальними закладами науково-дослідну та навчальну роботу. Так, зокрема у ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України діють шість філій фізичних та математичних кафедр Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна та Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (перелік філій наведено у формі V-I).

Провідні фахівці ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України читали курси лекцій та вели практичні заняття ще на кількох кафедрах і факультетах Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна, Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харківського національного університету радіофізики та електроніки, Університеті Пердью (США), Краківській гірничо-металургійній академії ім. С. Сташіца (Польща) тощо. У 2018 році науковцями було прочитано курси лекцій та проведені практичні заняття за такими темами: кріотехнології в енергетиці та теплофізиці, низькотемпературні проблеми енергетики, фізика високотемпературних надпровідників, магнітні властивості атома та слабкий магнетизм, фізика магнітних явищ у конденсованому середовищі, магнітовпорядковані речовини, основи фізики магнітних явищ, 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; квантові технології та мезоскопічна фізика, мас-спектрометрія у біофізичних дослідженнях, «medical and biological physics» (in English), 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, minmax теореми та нелінійні рівняння, геометричні засади фізики, гармонічний аналіз операторів, системний аналіз, чисельні методи, диференціальні рівняння з запізненням тощо.

У 2018 р. у ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України проходили стажування троє науково-педагогічних працівників з ХНУ ім. В. Н. Каразіна та Національної академії Національної гвардії України.

У руслі світових тенденцій організація учбового процесу у ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України органічно поєднується з участю студентів-практикантів у проведенні наукових досліджень у сучасних розділів фізики низьких температур та математики, їх залученням до підготовки наукових доповідей і статей за результатами експериментів та розрахунків. Так, в рамках договору з ХНУ ім. В. Н. Каразіна групи студентів відвідували Центр колективного користування «СКВІД-магнітометр MPMS-XL5» для ознайомлення з методами магнітних вимірювань та науково-дослідницькою діяльністю лабораторії. Студенти фізико-технічного факультету НТУ «ХПІ» регулярно знайомляться з роботою Центра колективного користування НАН України «Скраплений азот», який обладнаний унікальною в Україні установкою з виробництва скрапленого азоту StirLIN-8 відомої нідерландської фірми Stirling Cryogenics & Refrigeration BV.

Студенти 6-го курсу фізико-енергетичного факультету ХНУ ім. В. Н. Каразіна приймали участь у дослідженні кавітації в нормальних та надплинних розчинах ^{3}He - ^{4}He; експериментальних дослідженнях одночасного збудження коливань тиску, температури і концентрації у надплинних розчинах ^{3}He-^{4}He; у дослідженні розсіювання фононів на квантованих вихорах у НеП при наднизьких температурах. Студенти 6-го курсу фізичного факультету ХНУ ім. В. Н. Каразіна брали участь у дослідженнях точково-контактних сенсорів на основі нового потрійного сплаву W-Co-Mo, дослідженнях за допомогою лазерної скануючої мікроскопії просторової електродинаміки поодиноких НКВІДів; дослідженнях керованого стохастично-параметричного посилення сигналів зі складним спектром у надпровідних квантових інтерферометрах а студенти 5-го курсу НТУ «ХПІ» – у створенні пристрою для виготовлення точково-контактних сенсорів на основі сполук TCNQ. Активно залучали до співпраці студентів фізичного, фізико-технічного та фізико-енергетичного факультетів ХНУ ім. В. Н. Каразіна теоретики ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України: проводились теоретичні дослідження фріделєвських осциляцій у двовимірному електронному газі зі спін – орбітальною взаємодією; дослідження резонансних збуджень та динаміки квантової чотирьохрівневої системи; спінових транспортних явищ в мезоскопічних системах тощо. Студенти факультету математики і інформатики ХНУ ім. В. Н. Каразіна приймали участь у дослідженнях з сучасних питань геометрії «в цілому»; теорії випадкових матриць; теорії інтегрованих систем; приймали активну участь у роботі семінарів математичного відділення.

Результати наукових досліджень в яких безпосередньо приймали участь студенти увійшли до близько десятку статей в престижних наукових журналах, серед яких Scientific

Reports, Physical Review B, Фізика низьких температур/Low temperature Physics тощо та доповідей на міжнародних наукових конференціях: «Physics of Liquid Matter: Modern Problems» PLM MP-2018 (18 - 22 травня 2018 р., Київ, Україна); IX International Conference for Professionals and Young Scientists «Low Temperature Physics» – ICPYS LTP 2018 /9-ї Міжнародної конференції спеціалістів та молодих вчених «Фізика низьких температур»/ (4 - 8 червня 2018 р., Харків, Україна); VIII International conference on Optoelectronic Information Technologies ODS 2018 /8-ї Міжнародної конференції з оптоелектронних інформаційних технологій/, 2 - 4 жовтня 2018 р., Вінниця, Україна; VIII всеукраїнського з'їзду з електрохімії «Прикладні аспекти електрохімічного аналізу» тощо.

Слід особливо відзначити, що наразі взаємодія з освітянськими закладами виходить на новий, міжнародний рівень. З одного боку, науковці ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України читали лекції та вели навчальні заняття в кількох закордонних університетах: Університеті Пердью (США), Краківській гірничо-металургійній академії ім. С. Сташіца (Польща) тощо. А з іншого боку, ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України започаткував та активно розвиває практику спільної аспірантури і підготовки аспірантів за програмою академічної мобільності разом з Університетом Париж-Схід (Université Paris-Est), м. Марн ла Валє, Франція, Університетом Відня (Австрія). Аспірант Д. С. Карпов проходив стажування в Інституті Фотонних Технологій (Йєна, Німеччина). Студент 6-го курс ФТФ ХНУ ім. В. Н. Каразіна О. В. Івахненко, який працював над магістерською роботою під керівництвом С. М. Шевченка проходив інтернатуру в RIKEN (Інститут фізичних та хімічних досліджень, м. Вако, Японія), студент 5-го курсу ФТФ ХНУ ім. В. Н. Каразіна Ю. Д. Обозний стажувався два місяці під керівництвом О. П. Журавля в Технологічному Інституті Карлсруе (Німеччина).

Наразі, молоде покоління науковців відіграє дуже помітну роль в налагодженні нових зв'язків та встановленні кооперації наукових досліджень, в тому числі і міжнародної. В більшості установ, які ведуть дослідження в галузі фізики низьких температур та кріогенної техніки, активно працюють і Ради молодих вчених. Так, зокрема у ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України Радою молодих вчених і спеціалістів, де головою є О. В. Ватажук, ведеться активна робота з метою всебічного сприяння науковій, дослідницькій та іншій творчій діяльності молодих вчених інституту, а також, залучення до роботи в інституті талановитої наукової молоді та пропаганди наукових знань. Рада опікується організацією та проведенням Міжнародної конференції професіоналів та молодих вчених «Фізика низьких температур», яка загалом проводиться вже більше десяти років поспіль. Крім того, Рада регулярно організує та проводить екскурсії студентів та школярів старших класів до наукових відділів ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України, приймає активну участь у організації та проведенні «Днів науки» та «Фестивалів науки».

У 2018 році члени Ради, науковці ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна НАН України провели чималу роботу з пропаганди наукових досягнень та ознайомлення громадськості з науково-дослідною діяльністю, яка ведеться в галузі фізики низьких температур. Серед заходів, в яких науковці прийняли активну участь є такі: Всеукраїнський фестиваль науки (16 - 18 травня 2018 р.), Всеукраїнські проекти «Дні науки. Весна 2018», «Дні науки. Осінь 2018 /Science week з нагоди Всесвітнього дня науки в ім'я миру та розвитку, Всесвітній день світла тощо. Були, зокрема проведені: Семінар молодих вчених: Всеукраїнська зустріч студентського підрозділу оптичних товариств. (7 червня 2018 р.), Фестиваль «Семінар чудес зі світлом» (протягом травня 2018 р.); конкурс на кращі оптичні проекти для школярів з Харкова та

Харківської області; День фотоніки (22 жовтня 2018 р.) тощо. На протязі року проводились також дні відкритих дверей, під час яких Інститут відвідало близько 160 студентів Національного технічного університету «ХПІ», Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна, школярів гімназій та харківських загальноосвітніх шкіл. Програма днів відкритих дверей включала екскурсії до науково-дослідних відділів (зокрема, до групи теплової обробки зображень та до комплексу для фізичних досліджень при наднизьких температурах, кріогенно-технічного відділу), знайомство з історією фізичних досліджень в галузі фізики низьких температур в Харкові та історією ФТІНТ ім. Б.І. Вєркіна 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 і спеціалістів ФТІНТ ім. Б. І. Вєркіна: М. С. Барабашко, Р. М. Баснукаєва, О. М. Ватажук, Н. В. Гамаюнова, В. Г. Гейдаров, Г. О. Герус, Н. С. Місько-Крутик, Є. В. Петренко, С. М. Попережай, Ю. О. Шаповалов та інші.

В той же час науковці приймають участь у підвищенні рівня викладання природничих наук та математики у школі і провели конкурс на кращі оптичні проекти для молоді з Харкова та Харківської області у кількох категоріях («молодша школа», «середня школа» та «вища школа»); лекцію та презентацію щодо практики проведення науково-популярних заходів для дітей під час семінару для вчителів фізики м. Харкова (29 листопада 2018 р.), майстер-класи для всіх бажаючих дітей від 6 до 10 років з виготовлення оптичних приладів та проведення фізичних іспитів.

Таким чином, члени Наукової ради, науковці інститутів НАН України та МОН України не тільки проводять на високому рівні наукові дослідження, а й активно займаються науково-координаційною та освітньою діяльністю як в Україні, так і на міжнародному рівні, та намагаються налагоджувати та підтримувати ефективну взаємодію з вищими навчальними закладами та установами як України, так і зарубіжних країн.

Враховуючи виклики сьогодення, Рада з проблеми «Фізика низьких температур і кріогенна техніка» могла б відігравати більш значущу роль як науково-експертний та координуючий орган. Для цього було б доцільно розширити її повноваження щодо експертного оцінювання організацій та підрозділів, які працюють за відповідною тематикою, оцінювання науково-дослідних робіт і запитів на отримання наукових грантів, залучати Раду до обговорення робіт, які висунуті на здобуття премій НАН України імені видатних вчених, планів підготовки та видання монографій з низькотемпературної тематики, залучити до планування процесу забезпечення кріогенними рідинами наукових установ тощо.

СКЛАД

Наукової ради з проблеми «Фізика низьких температур і кріогенна техніка»

Голова Наукової ради:

акад. НАН України **Гнатченко Сергій Леонідович**

Заступники голови:

д.ф.-м.н., проф. **Гречнєв Геннадій Євгенович**

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

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

Вчений секретар:

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

Бюро Наукової ради

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

Члени Наукової ради

Секція «Фізика квантових рідин та кристалів»

1. Рудавський Едуард Якович, чл.-кор. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, голова, rudavskii@ilt.kharkov.ua
2. Соколов Святослав Сергійович, с.н.с., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, заступник голови, sokolov@ilt.kharkov.ua.
3. Чаговець Валерій Костянтинович, с.н.с., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, вчений секретар, chagovets@ilt.kharkov.ua
4. Слюсаренко Юрий Вікторович, акад. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ННЦ «ХФТІ» НАНУ, slusarenko@kipt.kharkov.ua
5. Пашицький Ернст Анатолійович, чл.-кор. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ІФ НАНУ, pashitsk@iop.kiev.ua
6. Адаменко Ігор Миколаєвич, проф., д.ф.-м.н., ХНУ, i.n.adamenko@mail.ru
7. Вільчинський Станіслав Йосипович, проф., д.ф.-м.н., КНУ, sivil@ukr.net
8. Карасевський Анатолій Ілліч, д.ф.-м.н., ІМФ НАНУ, akaras@imp.kiev.ua
9. Майданов Володимир Андрійович, с.н.с., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, maidanov@ilt.kharkov.ua
10. Міхін Микола Петрович, с.н.с., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, mikhin@ilt.kharkov.ua
11. Немченко Костянтин Едуардович, проф., д.ф.-м.н., ХНУ, nemchenko@karazin.ua
12. Полуектов Юрій Матвійович, проф., д.ф.-м.н., ННЦ «ХФТІ» НАНУ, yuripoluektov@kipt.kharkov.ua
13. Ровенчак Андрій Адамович, проф., д.ф.-м.н., ЛНУ, andrij.rovenchak@lnu.edu.ua
14. Шевченко Сергій Іванович, д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, shevchenko@ilt.kharkov.ua
15. Шешин Григорій Олександрович, с.н.с., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, sheshin@ilt.kharkov.ua

Секція «Фізика надпровідності»

1. Кордюк Олександр Анатолійович, чл.-кор. НАН України, д.ф.-м.н., ІМФ НАНУ, голова, kordyuk@imp.kiev.ua
2. Шевченко Сергій Миколайович, с.н.с., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, заступник голови, sshevchenko@ilt.kharkov.ua
3. Шатернік Володимир Євгенович, с.н.с., д.ф.-м.н., ІМФ НАНУ, вчений секретар, shat@imp.kiev.ua
4. Омельянчук Олександр Миколайович, чл.-кор. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, omelyanchouk@ilt.kharkov.ua
5. Пріхна Тетяна Олексіївна, чл.-кор. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ІНМ НАН України, prikhna@mail.ru
6. Ямпольський Валерій Олександрович, чл.-кор. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ІРЕ НАНУ, yam@ire.kharkov.ua

7. Білоголовський Михайло Олександрович, проф., д.ф.-м.н., ДонФТІ НАНУ, bel@fti.dn.ua
8. Вовк Руслан Володимирович, проф., д.ф.-м.н., ХНУ, ruslan.v.vovk@univer.kharkov.ua
9. Касаткін Олександр Леонідович, д.ф.-м.н., ІМФ НАНУ, al_kas@i.ua
10. Руденко Едуард Михайлович, проф., д.ф.-м.н., ІМФ НАНУ, rudenko@imp.kiev.ua
11. Чабаненко Віктор Васильович, с.н.с., д.ф.-м.н., ДонФТІ НАНУ, vikchabanenko@gmail.com
12. Черпак Микола Тимофійович, проф., д.ф.-м.н., ІРЕ НАНУ, cherpak@ire.kharkov.ua

Секція «Фізика магнітних явищ»

1. Харченко Микола Федорович, акад. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, голова, kharchenko@ilt.kharkov.ua
2. Звягін Андрій Анатолійович, проф., д.ф.-м.н., 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, проф., д.ф.-м.н., ІМаг НАНУ і МОН, bar@imag.kiev.ua, victor.baryakhtar@gmail.com
5. Локтев Вадим Михайлович, акад. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ІТФ НАНУ, vloktev@bitp.kiev.ua
6. Горобець Юрій Іванович, чл.-кор. АПН МОНУ, проф., д.ф.-м.н., ІМаг НАНУ і МОН, gorobets@imag.kiev.ua
7. Іванов Борис Олексійович, чл.-кор. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ІМаг НАНУ та МОНУ, bivanov@i.com.ua
8. Погорілий Анатолій Миколайович, чл.-кор. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ІМаг НАНУ та МОНУ, apogor@imag.kiev.ua.
9. Рябченко Сергій Михайлович, чл.-кор. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ІФ НАНУ, ryabch@iop.kiev.ua
10. Тарапов Сергій Іванович, чл.-кор. НАН України, ІРЕ НАНУ, tarapov@ire.kharkov.ua
11. Богдан Михайло Михайлович, с.н.с., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, bogdan@ilt.kharkov.ua
12. Голуб Володимир Олегович, с.н.с., д.ф.-м.н., ІМаг НАНУ та МОНУ, golub@imag.kiev.ua
13. Держко Олег Володимирович, с.н.с., д.ф.-м.н, ІФКС НАНУ, derzhko@icmp.lviv.ua
14. Ковальов Олександр Семенович, проф., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, kovalev@ilt.kharkov.ua.
15. Криворучко Володимир Миколайович, проф., д.ф.-м.н., ДонФТІ НАНУ, krivoruc@fti.dn.ua.
16. Пашкевич Юрій Георгійович, проф., д.ф.-м.н., ДонФТІ НАНУ, pashkevi@fti.dn.ua.
17. Салюк Ольга Юріївна, доц., к.ф.-м.н., ІМаг НАНУ та МОНУ, olga@imag.kiev.ua.
18. Товстолиткін Олександр Іванович, проф., д.ф.-м.н., ІМаг НАНУ та МОНУ, atov@imag.kiev.ua

Секція «Електронні властивості твердих тіл»

1. Колесніченко Юрій Олексійович, проф., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, голова, kolesnichenko@ilt.kharkov.ua
2. Грєчнєв Геннадій Євгенович, проф., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, заступник голови, grechnev@ilt.kharkov.ua
3. Терехов Андрій Валерійовіч, к.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, вчений секретар, terekhov@ilt.kharkov.ua
4. Пастур Леонід Андрійович, акад. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, lpastur@ilt.kharkov.ua
5. Шульга Валерій Михайлович, акад. НАН України, проф., д.ф.-м.н., РІ НАНУ, shulga@rian.kharkov.ua
6. Антонов Віктор Миколайович, чл.-кор. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ІМФ НАНУ, antonov@imp.kiev.ua
7. Стасюк Ігор Васильович, чл.-кор. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ІФКС НАНУ, ista@icmp.lviv.ua
8. Татаренко Валентин Андрійович, чл.-кор. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ІМФ НАНУ, tatar@imp.kiev.ua
9. Калиненко Олександр Миколайович, с.н.с., к.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, kalinenko@ilt.kharkov.ua
10. Камарчук Геннадій Васильович, с.н.с., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, kamarchuk@ilt.kharkov.ua
11. Кріве Ілля Валентинович, с.н.с., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, krive@ilt.kharkov.ua
12. Мацуй Людмила Юріївна, проф., д.ф.-м.н., КНУ, matzui@univ.kiev.ua
13. Найдюк Юрій Георгійович, проф., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, naidyuk@ilt.kharkov.ua
14. Порошин Володимир Миколайович, проф., д.ф.-м.н., ІФ НАНУ, poroshin@iop.kiev.ua

Секція «Фізика молекулярних кристалів»

1. Стржемечний Михайло Олексійович, чл.-кор. НАН України, ФТІНТ НАНУ, голова, strzhemechny@ilt.kharkov.ua
2. Долбин Олександр Вітольдович, проф., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, заступник голови, dolbin@ilt.kharkov.ua
3. Зінов`єв Петро Васильович, с.н.с., к.ф-м.н., ФТІНТ НАНУ, вчений секретар, zinoviev@ilt.kharkov.ua
4. Булавін Леонід Анатолійович, акад. НАН України, проф., д.ф.-м.н., КНУ, bulavin221@gmail.com
5. Карачевцев Віктор Олексійович, чл.-кор. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, karachevtsev@ilt.kharkov.ua
6. Малюкін Юрій Вікторович, чл.-кор. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ІМ НАНУ, malyukin@isma.kharkov.ua
7. Буравцева Любов Михайлівна, к.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, buravtseva@ilt.kharkov.ua
8. Довбешко Галина Іванівна, проф., д.ф.-м.н., ІФ НАНУ, Dovbeshko@iop.kiev.ua
9. Забашта Юрій Феодосійович, проф., д.ф.-м.н., КНУ

10. Константинов В'ячеслав Олександрович, с.н.с., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, konstantinov@ilt.kharkov.ua
11. Остапенко Ніна Іванівна, проф., д.ф.-м.н., ІФ НАНУ, ostap@iop.kiev.ua
12. Савченко Олена Володимирівна, проф., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, savchenko@ilt.kharkov.ua
13. Ящук Валерій Миколайович, проф., д.ф.-м.н., КНУ, Vmyashchuk@univ.kiev.ua

Секція «Низькотемпературне матеріалознавство та кріогенна техніка»

1. Бондаренко Станіслав Іванович, проф., д.т.н., ФТІНТ НАНУ, голова, bondarenko@ilt.kharkov.ua
2. Паль-Валь Павло Павлович, с.н.с., 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. Мільман Юлій Вікторович, чл.-кор. НАН України, проф., д.ф.-м.н., ІПМ НАНУ, milman@ipms.kiev.ua
5. Глущук Микола Іванович, к.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, glushchuk@ilt.kharkov.ua
6. Лавренченко Георгій Костянтинович, проф., д.т.н., Українська асоціація виробників технічних газів, Lavrenchenko@paco.net
7. Лотоцька Вікторія Олександрівна, к.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, lototskaya@ilt.kharkov.ua
8. Нацик Василь Дмитрович, проф., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, natsik@ilt.kharkov.ua
9. Соколенко Володимир Іванович, с.н.с., д.ф.-м.н., ННЦ «ХФТІ» НАНУ, vsokol@kipt.kharkov.ua
10. Юферов Володимир Борисович, д.т.н., проф., ННЦ «ХФТІ»НАНУ, v.yuferov@kipt.kharkov.ua

Наукові результати вчених України у галузі фізики низьких температур і кріогенної техніки у 2018 році

Секція «Фізика квантових рідин та кристалів»

В області температур 0,1–0,5 К знайдено нові особливості кінетики фазового розшарування та подальшої гомогенізації твердого розчину ^{4}He в ^{3}He. Розшарування було ініційовано як швидким охолодженням однорідного розчину, так і його охолодженням малими сходинками по температурі. Інформацію про кінетику фазових переходів було одержано за допомогою прецизійного вимірювання тиску твердого гелію при постійному об'ємі. Встановлено, що кінетика гомогенізації суттєво залежить від кінетики попереднього розшарування, зокрема від швидкості охолодження однорідної системи. Показано, що при швидкому охолодженні величина сталої часу гомогенізації більше ніж у 5 разів менше, ніж у випадку повільного охолодження.

Одержані результати узгоджуються з моделлю гомогенного зародкоутворення. Згідно такої моделі ключовою характеристикою кінетики фазового переходу є величина швидкості зародкоутворення I_0, коли кількість частинок у зародку досягає критичного значення n_c. Було показано, що значення I_0 експоненціально залежить від пересичення розчину при розшаруванні, яке дуже зростає при швидкому охолодженні. Це означає, що висока концентрація зародків суттєво полегшує фазовий перехід до гомогенного стану.

(І. А. Гриценко, В. А. Майданов, С. П. Рубець, Э. Я. Рудавський, О. С. Рибалко, ФТІНТ НАНУ)

Проведено експериментальні дослідження коефіцієнта опору квазістійкому ламінарному потоку надплинного ^{2}He при коливаннях кварцового камертона, зануреного в рідину при температурі 140 мК. У результаті аналізу різних адитивних внесків у значення коефіцієнта опору встановлено внесок від процесу балістичного розсіювання фононів на квантованих вихорах надплинного гелію при малих амплітудах коливань ніжок камертона. При збільшенні амплітуди цих коливань і кількості квантованих вихрів виникає новий процес.

Вперше показано, що спостережені експериментальні залежності коефіцієнта опору від швидкості потоку рідини можуть бути пояснені, якщо цей процес складається в багаторазовому перевідбитті фононів усередині клубку вихорів. Побудовано залежність ефективного перетину процесу багаторазового розсіювання від швидкості коливань ніжок камертона.

(І. А. Гриценко, Т. А. Дубчак, Х. О. Михайленко, С. С. Соколов, Г. О. Шешин, ФТІНТ НАНУ)

При температурах вище 1,3 К проведено експериментальне дослідження особливостей релаксації тиску у швидко вирощених кристалах слабкого твердого розчину ^{3}He у ^{4}He. Було використано циліндричну вимірювальну комірку, на торцях якої розміщувались ємнісні датчики тиску. Виявлено, що при вирощуванні кристалів гелію зі швидкістю охолодження вище за 4 мК/с різниця тисків ΔP, що реєструється датчиками при 1,3 К, досягала 2,4 бар. При наступному ступінчастому підвищенні температури величина ΔP зменшувалась, але досягала нуля лише після ретельного відпалу при передплавильних температурах. Зареєстрована кінетика зміни тисків на торцях кристалу при різних температурах, а одержані результати інтерпретуються у рамках моновакансійної моделі дифузійного механізму структурної релаксації.

При інтерпретації експериментальних результатів у рамках цієї моделі одержана температурна залежність коефіцієнта дифузії вакансій ареніусовського типу з енергією активації 7,64 К та передекспоненціальним множником $1{,}34\cdot10^{-2}$см^2/с. Одержана оцінка середньої атомної концентрації вакансій на початку структурної релаксації, яка дорівнює $3{,}3\cdot10^{-3}$. Запропонована модель для описання дифузійної течії по моновакансійному механізму зможе стати основою для розвитку теорії структурної релаксації у кристалах твердого гелію зі складною нерівно важною структурою.

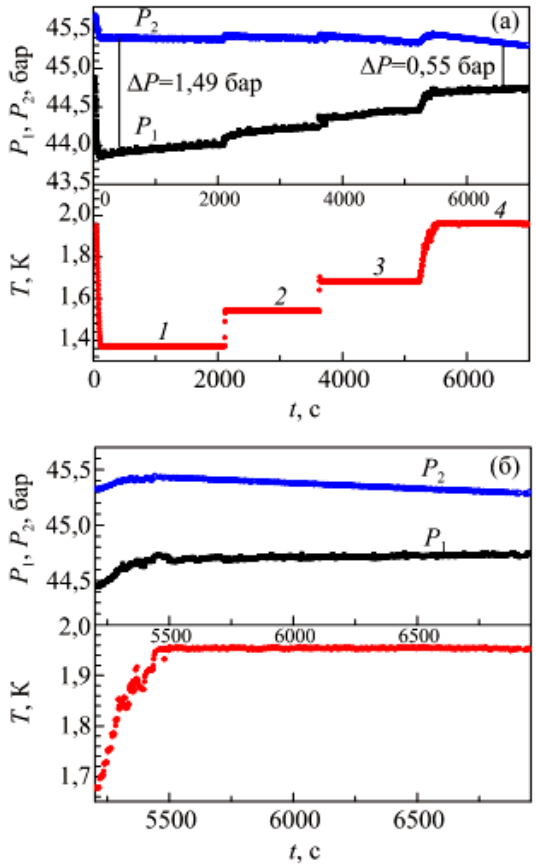


Рис. 1.1. Ступінчатоподібне підвищення температури і відповідні залежності тисків на торцях зразка від часу (а). Четверта сходинка у великому масштабі при Т = 1,95 К: P_1 і P_2 – показання двох датчиків тиску, відповідно (б).

(О. П. Бірченко, М. П. Міхін. Е. Я. Рудавський, С. М. Смирнов, Я. Ю. Фісун, ФТІНТ НАНУ)

Методом імпульсного ядерного магнітного резонансу вперше проведено експериментальне дослідження дифузійних процесів в ^{3}He, адсорбованому наноструктурним матеріалом МСМ-41. Матеріал містив пучки нанотрубок з внутрішніми циліндричними каналами діаметром 2,5 нм. Для вимірювань був використаний метод спінової луни Ханна-Карра-Парселла з послідовністю зондуючих радіоімпульсів 90 – τ – 180, де τ – інтервал часу між імпульсами. Була виявлена наявність у системі двох різних дифузійних процесів, у яких коефіцієнти дифузії відрізняються на порядок величини. Цей результат був підтверджений при використанні незалежного методу мульти-луни з парою зондуючих імпульсів 90 – τ – 120, а також при помітному збільшенні тривалості самих імпульсів. Було також виявлено, що обидва коефіцієнта дифузії залежать від величини τ, що являється характерною ознакою обмеженої дифузії. Одержані результати стимулюють постановку нових задач для подальшого дослідження цієї системи.

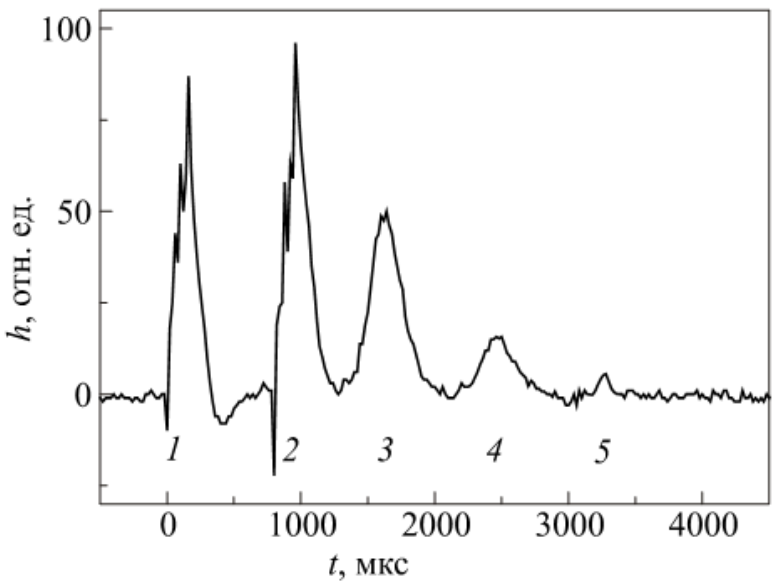


Рис.1.2. Типове розташування зондуючих 90° (1) і 120° (2) імпульсів, а також сигналу звичайної спінової луни (3), першої (4) і другої (5) мультілуни.

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

Методом імпульсного ядерного магнітного резонансу проведено вимірювання ядерної намагніченості ^{3}He, адсорбованого наноструктурним матеріалом МСМ-41 з розміром каналів 2,5 нм. Виявлено, що температурна залежність амплітуди спінової луни після подачі двох зондуючи імпульсів можна описати єдиною залежністю, яка відповідає закону Кюрі. Показано, що амплітуди спінових сигналів, одержаних в експерименті, співпадають з розрахунковими значеннями, зумовленими ядерною намагніченістю спінів ^{3}He у зовнішньому магнітному полі.

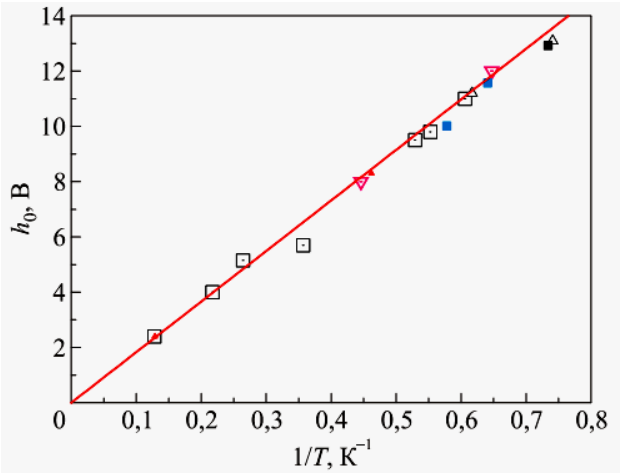


Рис. 1.3. Температурна залежність відносної намагніченості, виміряної для різних зразків з різним покриттям. Різні значки відносяться до серій вимірювань зразків з різним вмістом ^{3}He.

(О. П. Бірченко, М. П. Міхін, А. С. Неонета, Е. Я. Рудавський, Я. Ю. Фісун, ФТІНТ НАНУ)

Експериментально досліджено особливості порушення гідродинамічних потоків у надплинному гелії при змушених коливаннях кварцового камертона, зануреного в рідину. Вивчено нелінійні коливання, які виникають при збільшенні сили, що змушує, і проявляються перекручуванням форми резонансної амплітудно-частотної характеристики в порівнянні з лоренцевими кривими, типовими для гранично малої сили. Нелінійні резонансні криві описані з використанням рівняння Дуффінга, параметри якого встановлені при порівнянні теоретичного розрахунку з експериментальними даними. Залежність швидкості коливань ніжок камертона від сили, що змушує, встановлена з використанням рівняння Дуффінга, виявляється близької до залежності, раніше отриманої для квазіламінарного плину ^{2}He і утримуючої кубічний по швидкості внесок у силу взаємного тертя, обумовленої розсіюванням фононів на квантованих вихрах у турбулентному потоці.

(І. А. Гриценко, Т. А. Дубчак, Х. О. Михайленко, С. С. Соколов, Г. О. Шешин, ФТІНТ НАНУ)

Експериментально досліджено спектр зв’язаних електрон-риплонних коливань у вігнерівському кристалі на поверхні надплинного гелію при різних температурах та збуджуючих напругах, які призводять до деформації спектра. Показано, що при всіх температурах збільшення збуджуючої напруги призводить до появи невісесиметричних коливальних мод, що свідчить про спотворення кристалічної гратки. Можливість збудження невісесиметричних мод в комірці продемонстрована за допомогою моделювання коливань в електронному кристалі методом молекулярної динаміки. При декількох фіксованих частотах виміряно амплітуди відгуку електронного кристала на зовнішнє збудження в залежності від величини збуджуючої напруги та виявлено стрибки при деяких критичних напругах. З використанням критерію Ліндемана встановлена кореляція між критичною напругою та межею стійкості кристалічної гратки. Зроблено висновок, що при досягненні критичного значення ведучої напруги відбувається динамічне плавлення електронного кристала.

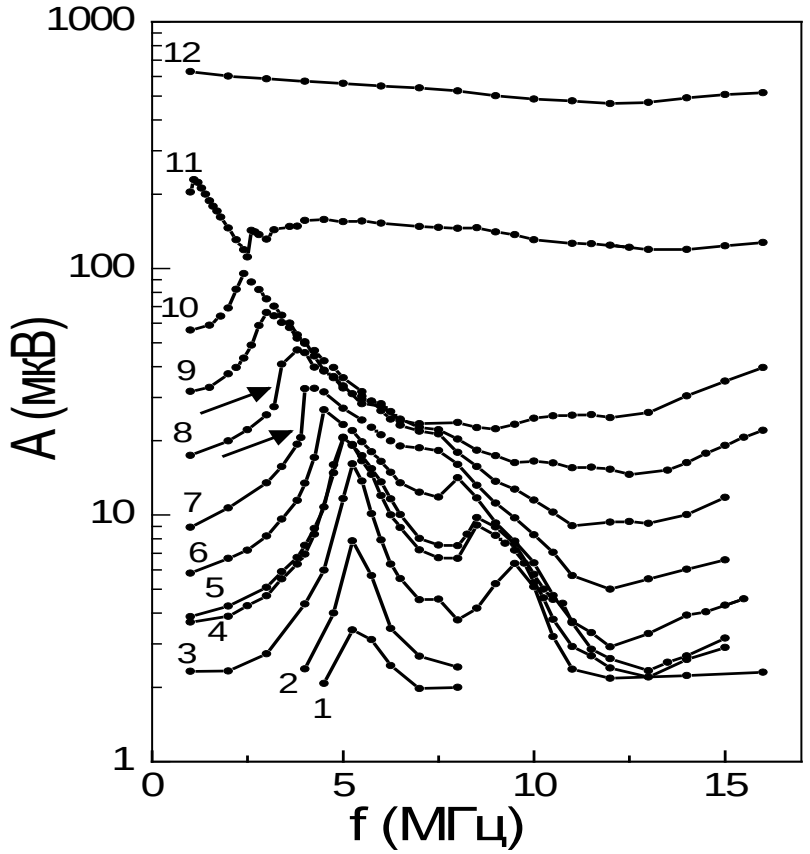


Рис. 1.4. Спектр пов'язаних електрон-ріплонних резонансів у вігнеровському кристалі з поверхневою щільністю $1{,}3\cdot10^{9}$ см$^{-2}$ при притискаючий напрузі В, температурі Т = 75 мк і напругах збудження (мВ): 0,3 (1), 0,5 (2) , 1 (3), 1,7 (4), 1,9 (5), 3 (6), 5 (7), 10 (8), 19 (9), 31 (10), 100 (11) і 355 (12). Стрілки на кривих 7 і 8 вказують на скачки в спектрі.

(В.Ю. Сивоконь, І.В. Шарапова, ФТІНТ НАНУ)

Для встановлення впливу домішок ^{3}He на характер течії надплинного гелію, за допомогою методу камертона, що коливається в рідині, в області температур 0,5 - 2,5 К визначена критична швидкість течії при переході від ламінарного до турбулентного стану в надплинних розчинах ^{3}He в ^{4}He. Вимірювання були виконані в широкій області напруги збудження, 10^{-2} - 20 В або сили збудження 10^{-8} - $2\cdot10^{-5}$ Н. Детально досліджено розчин з концентрацією 15% ^{3}He. Для визначення умов переходу при кожній постійній температурі були використані три залежності параметрів резонансних кривих від сили збудження - частоти і максимальної амплітуди резонансу, а також ширини резонансу. За допомогою отриманих даних була побудована температурна залежність критичної швидкості переходу в турбулентний стан нормального і надплинного розчину ^{3}He в ^{4}He. Аналіз отриманих результатів показав, що додавання частинок домішку ^{3}He збільшує стійкість рідкого гелію до утворення турбулентного стану.

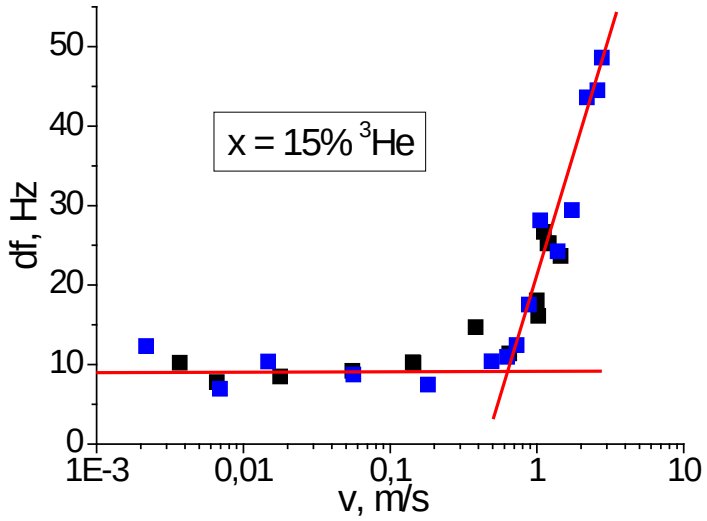


Рис. 1.5. Залежність ширини лінії резонансу від швидкості коливання ніжок камертона.

(В. А. Вракіна, С. С. Капуза, В. К. Чаговець, ФТІНТ НАНУ)

Проведено дослідження температурної залежності провідності квантових крапок (σ) над плівкою рідкого гелію завтовшки d в циліндричних мікропорах структурованої кремнієвої підкладці в межах розсіювання поверхневих електронів (ПЕ) на атомах гелію в газі. Електростатична модель циліндричної пори в поздовжньому електричному полі демонструє переважну локалізацію ПЕ в середині пори. Виміри провідності проведені при температурах 1,65 – 2,48 К і d = (10 – 50) нм. По різкій зміні σ відзначений перехід електронів при температурі T_n до стану поверхневих аніонів (авто локалізації електронів) і навпаки. Зокрема, при d ~ 250 Å значення T_n дорівнює 2,16 К, а зміна σ досягає двох порядків. Зі зменшенням d, відповідно до теорії, зростає енергія зв'язку електрона з підкладкою, ~1/d, що сприяє переходу зі зменшенням T_n та зростанням зміни σ.

Ефект запропоновано використати в моделі "Інфрачервоний приймач на переходах електронів в автолокалізаційні стани над гелиєвою плівкою на структурованої підкладці". ІЧ-зображення визначається еквіпотенційним рельєфом підкладки, викликаним контрастом електронної провідності в порах. Частотний діапазон і чутливість приймача визначаться тепловою чутливістю до випромінювання стінок пор і робочою температурою.

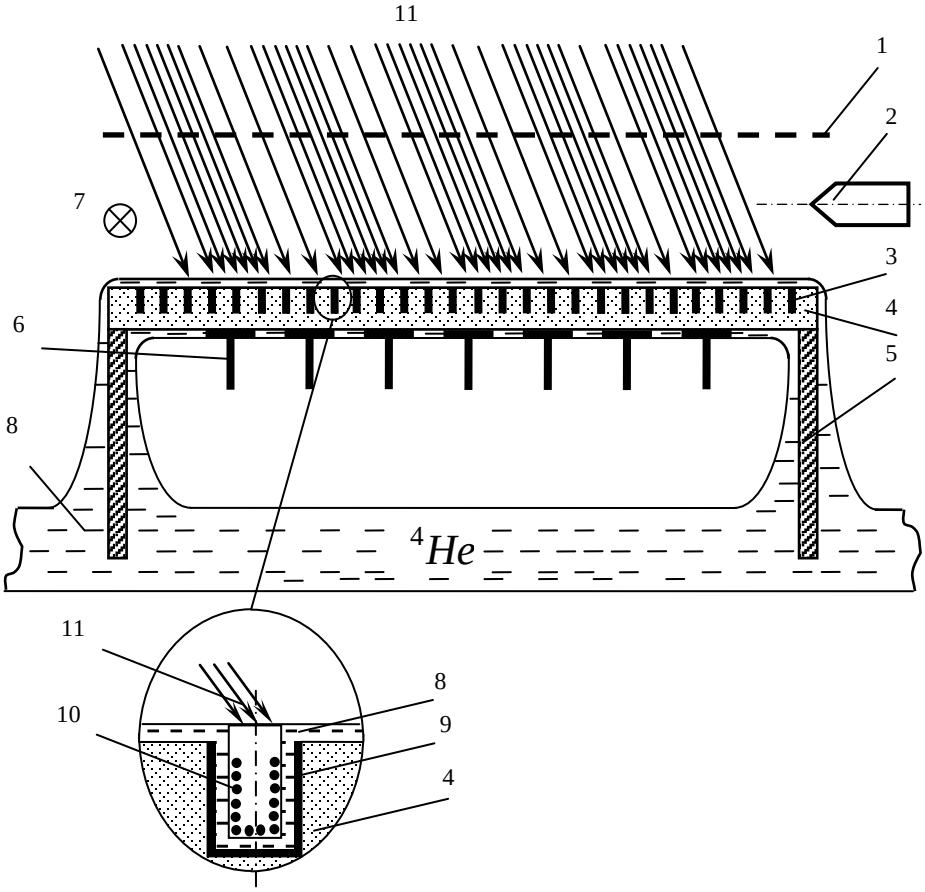


Рис. 1.6.: 1 - колекторна сітка або прозора для ІЧ випромінювання пластина; 2 - джерело вільних електронів; 3 - пориста робоча поверхня структурованої підкладки; 4 - діелектрична підкладка; 5 - підставка; 6 - потенційні мікроелектроди (пікселі); 7 - світлодіод; 8 - плівка рідкого гелію; 9 - поглинає покриття; 10 - електрони; 11 - інфрачервоне випромінювання.

(В. О. Ніколаєнко, Я. Ю. Безсмольний, ФТІНТ НАНУ, О. Г. Пащенко, ХНУРЕ МОНУ)

Проведено дослідження збудження коливань концентрації і температури в хвилях першого, другого звуків і в тепловій хвилі тілами, які коливаються в надплинних розчинах ^{3}He-^{4}He з не малою концентрацією, що перевищує 10% ^{3}He. Зокрема, досліджено можливість випромінювання другого звуку і теплової дисипативної хвилі камертоном який коливається, ефективність такого випромінювання в залежності від концентрації розчину і можливий вплив цього випромінювання на затухання коливань камертона, яке спостерігається в експериментах і не отримало поки теоретичного пояснення. За допомогою загальної системи гідродинамічних рівнянь розчинів отримані дисперсійні співвідношення для хвиль першого і другого звуків і для дисипативної теплової хвилі. Визначено співвідношення між амплітудами в цих модах. Розв'язана задача про втрати енергії стінкою, яка коливається, у всіх нормальних модах і визначені відносні втрати енергії в хвилі другого і першого звуків, а також в тепловій хвилі.

Результат дослідження показує, що втрати енергії тілами, які коливаються в надплинних розчинах ^{3}He-^{4}He, за рахунок теплової хвилі менше потоку енергії в випромінюваної при цьому хвилі другого звуку. Тому внесок дисипативної хвилі стає істотним, якщо в експериментах пригнічують якимось чином випромінювання звукових хвиль. Одна з таких методик широко використовується в експериментах з кварцовим камертоном. У цих роботах для зменшення випромінювання звукових коливань, кварцовий камертон поміщається в жорстку оболонку відповідного розміру. В таких умовах необхідно враховувати повний набір нормальних мод розчину, включаючи теплову хвилю, яка генерується камертоном.

(Т. Г. Віхтинська, К. Е. Нємченко, С. Ю. Рогова, ХНУ)

Розвинуто мікроскопічний підхід до послідовної побудови кінетичної теорії низькотемпературних розріджених газів воднеподібних атомів у зовнішньому електромагнітному полі. Підхід базується на формулюваннях методу вторинного квантування при наявності зв’язаних станів частинок та методу скороченого опису релаксаційних процесів. У рамках розвинутого підходу здобуто систему кінетичних рівнянь для вігнерівських функцій розподілу вільних ферміонів обох сортів та їх зв’язаних станів — воднеподібних атомів із урахуванням впливу на систему зовнішнього й самоузгодженого (середнього) полів. Одержані рівняння руху для вігнерівських функцій розподілу є основою для аналізу нерівноважних процесів та явищ, пов’язаних із впливом зовнішнього електромагнітного поля, у тому числі стохастичного, на низькотемпературні гази лужних металів.

(А. Г. Загородній, ІТФ НАНУ, Ю. В. Слюсаренко, С. М. Шульга, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Показано, що для квазісередніх від добутків польових операторів в системі бозе-частинок може бути отримано ланцюжок рівнянь, аналогічний ланцюжку Боголюбова в теорії класичних газів. У разі, коли досить обмежитися урахуванням тільки квазісередніх від одного польового оператора і добутків двох операторів, отримано замкнуту систему динамічних рівнянь при нульовій температурі, що враховує як одночастинковий конденсат, так і парні кореляції. Досліджено спектр збуджень в просторово-однорідному стані і показано, що він має дві гілки, звукову і гілку з енергетичної щілиною при нульовому імпульсі. Обговорюється можливість існування квазічастинкових збуджень з енергетичної щілиною в надплинному гелії в зв'язку з експериментами з поглинання НВЧ випромінювання.

(Ю. М. Полуектов, ННЦ ХФТІ НАНУ)

На основі квантово-механічного розгляду показано, що запропонований раніше метод апроксимації модулів пружності кристала моделлю ізотропного середовища, випливає з вимоги мінімальної різниці між вільними енергіями кристала і апроксимуючого ізотропного середовища. Сформульовано двохпараметричну модель Дебая, яка, на відміну від стандартної моделі, де вводиться середня швидкість фононів, враховує існування в ізотропному середовищі як поздовжніх, так і поперечних фононів. При урахуванні двох фононних гілок структура густини фононних станів виявляється складнішою, ніж в стандартній моделі і має особливість, що нагадує особливості Ван Хова в реальних кристалах. Як приклад розглянуто

застосування двохпараметричної теорії Дебая до таких кристалів кубічної сингонії, як вольфрам, мідь і свинець. Показано, що розрахунок низькотемпературної теплоємності цих кристалів за допомогою апроксимованих модулів пружності в рамках двохпараметричної моделі призводить до значно кращої згоди з експериментом, ніж у разі стандартної моделі Дебая.

(Ю. М. Полуектов, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Досліджено кутовий розподіл густини енергії анізотропного фононного аркушу при його розповсюдженні в надплинному ^{4}He при довжині імпульсу до 300 нс. Наявність плоского верху на кутових залежностях фононного сигналу пояснюється утворенням «гарячої» ділянки в центральній області аркушу і процесу генерації високоенергетичних (h) фононів в цій центральній ділянці. Насичення ширини плоскої ділянки при довжинах імпульсу поблизу 300 нс пояснюється реалізацією довгоімпульсного режиму.

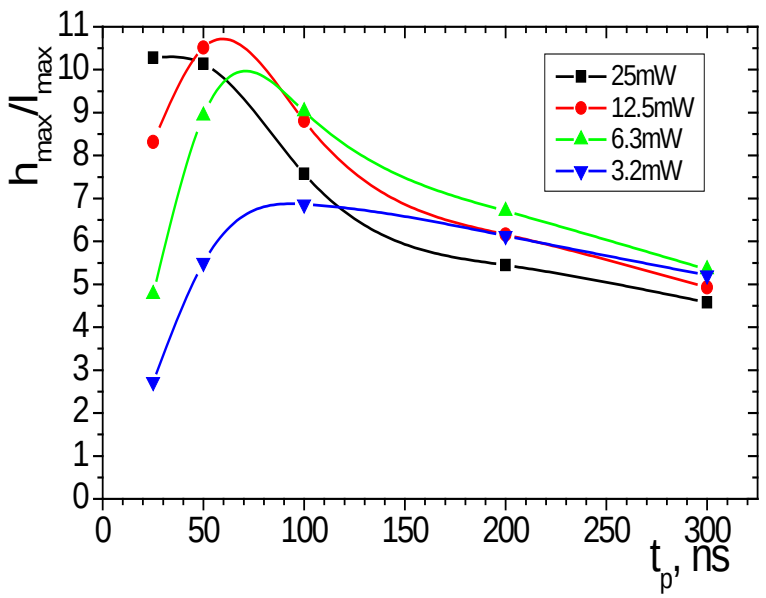


Рис. 1.7. Залежності співвідношення сигналів h_{max}/l_{max} від тривалості імпульсу при потужностях імпульсу 3,2; 6,3; 12,5 і 25 мВт.

(Р. В. Вовк, ХНУ)

Проведено теоретичне дослідження особливостей Бозе-Ейнштейнівської конденсації у сумішах фермі- та бозе-рідин. Доведено, що *p*-хвильова надплинність може бути реалізована в суміші ферміонних та $F = 1$ спінорних бозонних газів. Отримано загальну

систему рівнянь для енергетичних щілин в *s* і *p* каналах та виявлено, що спін-спін взаємодії між бозонними та ферміонними підсистемами сприяють зв'язуванню у *p*-хвилі і водночас пригнічують зв'язування в *s*-канали.

Пропонується спосіб реалізації чистого *p*-хвильового надплинного стану у добрекерованому середовищі ультрахолодних атомарних газів. Доведено, що мультизарядний надплинний потік у тороїдальному конденсаті може бути стійким навіть у випадку надзвукової швидкості потоку. За допомогою чисельного моделювання виявлено існування акустичних аналогів горизонту подій в квантованому надплинному потоці.

(С. Й. Вільчинський, О. І. Якименко, О. Й. Мацишин, А. О. Олійник, В. М. Білошицький, О. Г. Челпанова, КНУ)

За допомогою теоретико-польових методів, досліджено властивості бозе-поляронів — домішкових частинок у взаємодіючих бозе-системах. Зокрема, з використанням оригінального самоузгодженого способу розрахунку функції Ґріна домішки, проаналізовано поведінку одиничного атома ^{3}He в надплинному ^{4}He при абсолютному нулі температури. Показано, що отримані в такий спосіб параметри домішкового спектра добре узгоджуються з результатами Монте-Карло симуляцій та експериментальними вимірами. Аналіз бозе-поляронів у розріджених бозе-сконденсованих газах в області скінченних температур, виявив ряд цікавих особливостей їх поведінки. Так у випадку двовимірних бозе-систем нижче температури фазового переходу Березінського–Костерліца–Таулеса функція Ґріна домішки виявляє неполюсну степеневу сингулярність з неуніверсальним показником. Такі ж особливості функції Ґріна бозе-полярона було знайдено і для тривимірних систем в околі температури конденсації Бозе–Айнштайна.

(І. О. Вакарчук, Г. І. Паночко, В. С. Пастухов, ЛНУ)

Запропоновано функціональну форму чисел заповнення вільних еніонів як модифікацію фактора Ґіббса в статистиці Бозе та Фермі. Відповідні вирази проаналізовано в бозонній та ферміонній границях. Отримані віріальні коефіцієнти збігаються з виразами для вільних еніонів до четвертого та п'ятого віріальних коефіцієнтів (запропонований підхід

можна продовжити й далі) та до другого порядку за еніонним параметром. Обчислено ефективний спектр елементарних збуджень, який відповідає еніонам. Проаналізовано підхід до узагальнення традиційної статистики Бозе–Айнштайна на основі неадитивної ентропії Цалліса, зокрема показано важливість способу введення активності в такій задачі. Розраховано питому теплоємність двох модельних систем, а саме: ідеального тривимірного газу, що підкоряється неадитивній модифікації статистики Бозе–Айнштайна, та системи з лінійним спектром елементарних збуджень, прийнятої за якісне наближення термодинаміки рідкого ^{4}He. Моделі, що ґрунтуються на неадитивних статистиках, також використано в дослідженнях складних систем. зокрема, для вивчення нуклеотидних послідовностей у мітохондріальній ДНК та розподілу частин мови в українських текстах.

(А. А. Ровенчак, ЛНУ)

Запропонована теоретична модель формування аморфної фази при гартуванні рідини. В рамках діркової моделі рідини Я. І. Френкеля показано, що виникнення значного градієнта температури при гартуванні рідини призводить до термодифузії дефектів і їх відтоку з об’єму розплаву, що проявляється в суттєвому зменшенні кількості вільних місць для дифузійного переміщення атомів рідини. Внаслідок термодифузійного процесу відбувається значна перебудови мікроструктури середовища, яка веде до суттєвого зростання в’язкості, зменшення коефіцієнта дифузії і питомого об’єму речовини та зміни механізмів деформації. Проведені відповідні розрахунки розподілу температури, умов термодифузії та розподілу компонент розплаву.

(А. І. Карасевський, ІМаг НАНУ та МОНУ)

Показано, що в розплавах поблизу кривої плавлення, в багатокомпонентних рідинах, щільних газах, а також надплинному гелії однорідний стан середовища може бути нестійким. В середовищі можуть спонтанно утворюватись нанокластери, метастабільна стійкість яких обумовлена зростанням орієнтаційної ентропії при спонтанному обертанні наночастин. При позитивній енергії утворення наночастин їх концентрація визначається зростанням конфігураціонної ентропії системи. Подібно вакансіям в кристалах ротонні кластери являються структурними дефектами розплаву.

(А. І. Карасевський, ІМаг НАНУ та МОНУ)

Запропоновано механізм резонансного поглинання електромагнітного сигналу НВЧ діапазону в надплинній фазі ^{2}He, виявленого раніше в серії експериментальних робіт. Інтерпретація зазначеного ефекту, заснована на рішенні квантовомеханічної задачі про спектр збуджень міжатомного зв'язку He-He (так званий димер $^4He_2$). При низьких температурах електронна підсистема конденсованих фаз гелію, стійких при тиску насичених парів, знаходиться в основному стані в зоні валентності, і динаміка порушень системи зв'язаних атомів ^{4}He визначається взаємодією між фононною і спіновою підсистемами середовища. Спінова підсистема, що складається свідомо з парного числа електронних спінів, описується

спінової матрицею щільності, яка при обліку тільки парного обміну має вигляд гайзенберговського гамільтоніана з позитивною обмінною константою.

(К. А. Чишко, ФТІНТ НАНУ)

Секція «Фізика надпровідності»

Вперше у світі реалізовано контакт Джозефсона на залізовмісних надпровідниках (Fe-НП). Спільні дослідження, що проводились з 2015 року співробітниками відділу надпровідності (О. А. Каленюком та інш.) у Стокгольмі (Швеція) у режимі віддаленого експерименту, дозволили створити високоякісні надпровідні контакти з Fe-НП та вперше у світі реалізувати високоякісний джозефсонівський контакт між Fe-НП та нормальним надпровідником, що, зокрема, дозволило отримати довгоочікуване "фазовочутливе" підтвердження існування надпровідного стану зі змінним знаком надпровідного порядку (так званої s+- надпровідності) у цих матеріалах.

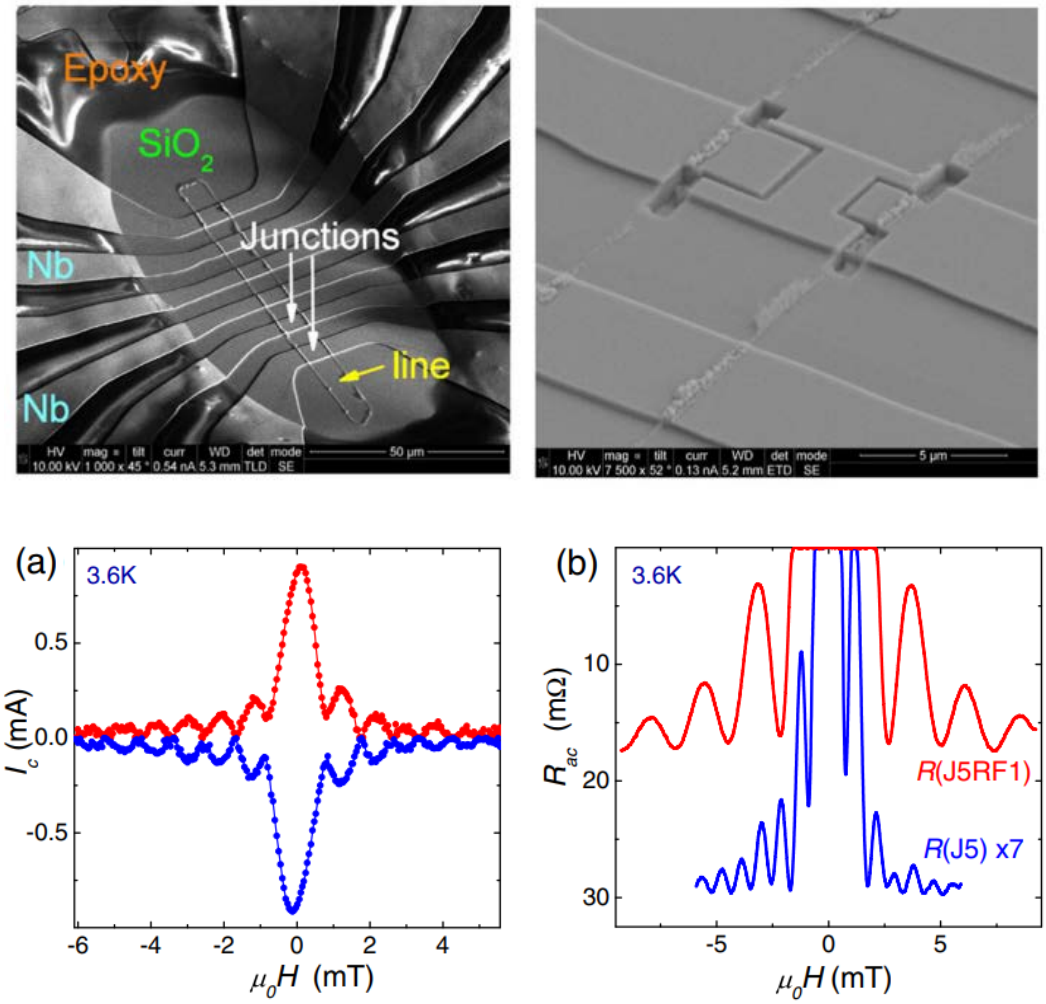


Рис. 2.1. Зображення отримане скануючим електронним мікроскопом одного з виготовлених контактів $Nb/Ba_{1-x}Na_xFe_2As_2$ (згори) та виміряні модуляції Фраунгофера на залежностях $Ic(H)$ (ліворуч знизу) для позитивного та негативного струмів та на залежності змінного опору (праворуч)

(О. А. Каленюк, О. А. Кордюк, ІМФ НАНУ та КАУ, у співробітництві зі Stockholm University та IFW Dresden)

На основі критичного аналізу великої кількості експериментальних данних, переважно отриманих методом фотоелектронної спектроскопії з кутовим розділенням, побудовано електронну фазову діаграму впорядкованих станів надпровідних купратів, згідно з якою головну роль у формуванні псевдощілини відіграє спіновий антиферомагнітний порядок. Це дозволило висунути гіпотезу, за якою високотемпературна надпровідність і в купратах, і в надпровідниках на основі заліза формується за однаковим електронним механізмом, пов'язаним із критичністю топології поверхні Фермі – близкістю поверхні Фермі до топологічного переходу Ліфшица, а також сформувати напрям пошуку надпровідних матеріалів з вищими критичними температурами.

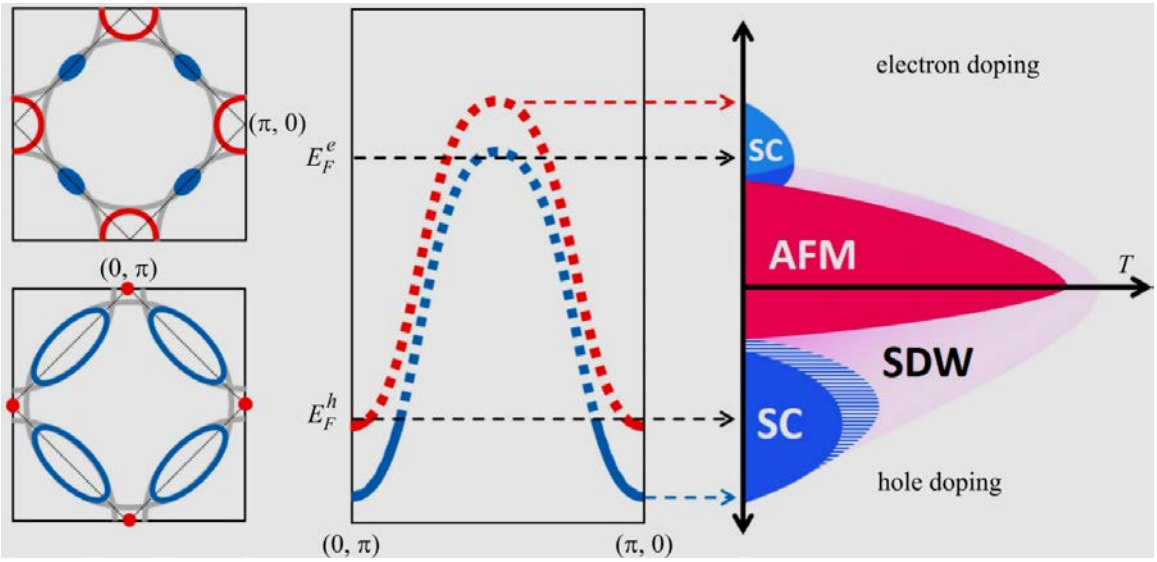


Рис. 2.2. Проекція показового перерізу електронної зонної структури купратів (вздовж границі «магнітної» зони Бріллюена) на їх фазову діаграму, наочно демонструють кореляцію максимальної температури переходу з близькістю «магнітної» поверхні Фермі до топологічного переходу Ліфшиця.

(О. А. Кордюк, Ю. В. Пустовіт, ІМФ НАНУ та КАУ)

Було теоретично досліджено динаміку системи кубіт-резонатор за впливом збудження та дисипативного оточення. А саме, транзмон-кубіт був пов'язаний до резонатора на основі лінії передач; систему, за припущенням, вимірюють через резонатор, отримуючи коефіцієнт проходження. В рамках напів-класичного наближення було отримано аналітичні результати та порівняно з результатами так званого напів-квантового наближення та попередніх експериментів. Було продемонстровано, що температурна залежність зсуву резонансної частоти резонатора може бути застосовано для термометрії системи.

На вставці Рис. 2.3. показано схему транзмон-кубіту, який пов'язаний до резонатора. Така система є базисною системою квантової електродинаміки контурів. Було розглянуто дві ситуації, в яких заселеність рівнів кубітів змінювалась температурою чи періодичним збуджуючим сигналом. На рисунку наведено залежність коефіцієнту проходження сигналу

через резонатор від частоти пробного сигналу та від температури чи амплітуди збуджуючого сигналу.

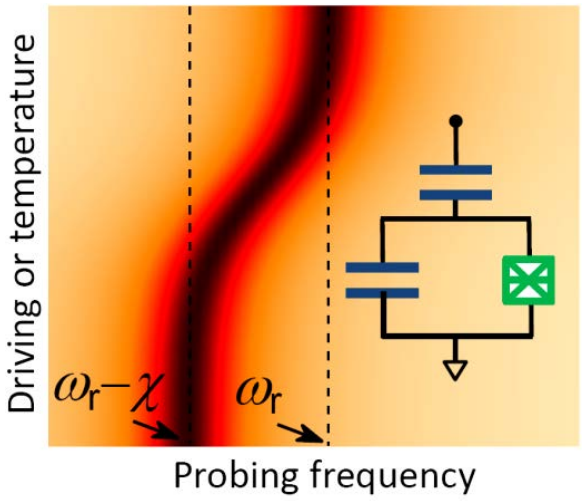


Рис. 2.3. Залежність коефіцієнту проходження сигналу через резонатор від частоти пробного сигналу та від температури чи амплітуди збуджуючого сигналу; схема транзмон-кубіту.

(С. М. Шевченко, ФТІНТ НАНУ)

Теоретично досліджено спектральні властивості лінійних та слабонелінійних терагерцевих локалізованих мод у пластині шаруватого надпровідника. Передбачається, що пластина знаходиться в однорідному діелектричному оточенні, надпровідні шари перпендикулярні поверхні пластини, а моди поперечно-магнітної поляризації поширюються поперек шарів. Отримані дисперсійні співвідношення для симетричних і антисиметричних по магнітному полю мод. Показано, що в певному діапазоні частот і хвильових чисел дисперсія таких мод виявляється аномальною та групова швидкість може звертатися в нуль. Це відкриває можливості спостереження таких незвичних фізичних явищ, як «від'ємне заломлення» та «зупинка світла» для локалізованих мод у шаруватих надпровідниках.

(С. С. Апостолов, Д. В. Кадигроб, З. О. Майзеліс, О. О. Ніколаєнко, В. О. Ямпольський, ІРЕ НАНУ)

Теоретично досліджено передачу терагерцових хвиль через пластину шаруватого надпровідника, відокремлену від двох діелектричних півпросторів просторовими проміжками. Використовуючи метод трансфер-матриць разом з електродинамічним описом джозефсонівської плазми, ми отримуємо аналітичні вирази для коефіцієнту пропускання хвиль та визначаємо умови для ідеальної прозорості пластини. Особливий інтерес дослідження полягає в резонансній прозорості, яка виникає, коли хвиля не поширюється в просторових проміжках. Далеко від резонансу прозорість експоненційно мала завдяки ефекту повного внутрішнього відбиття. Однак збудження електромагнітних хвиль, локалізованих на шаруватому надпровіднику, призводить до значного резонансного посилення прозорості. Більше того, це явище істотно модифіковане для шаруватих надпровідників у порівнянні зі звичайними діелектриками або провідниками. Виявлено, що дисперсійні криві для хвиль, локалізованих на шаруватому надпровіднику, немонотонні, завдяки чому виникає специфічна

залежність коефіцієнта пропускання від кута падіння хвилі. Зокрема, ми передбачаємо наявність двох резонансних піків у цій залежності та їх подальшого злиття в широкий одиничний пік зі збільшенням частоти хвилі.

(С. С. Апостолов, Н. М. Макаров, В. О. Ямпольський, ІРЕ НАНУ)

Нанокомпозитні магнітні матеріали, що складаються з магніто-жорсткої фази, яка забезпечує високу коерцитивну силу, і магніто-м'якої фази, що забезпечує високу намагніченість, можуть стати матеріалами для постійних магнітів наступного покоління для різноманітних пристроїв, що вимагають високої надійності, транспорту, систем генерування, розподілу та використання електроенергії. Нами досліджено властивості спечених магнітів на основі $SmCo_5$, нано-структурованих в атмосфері водню, завдяки індукуванню воднем фазових перетворень в металічних сплавах. Для виявлення тенденцій в залежностях між умовами обробки сплаву $SmCo_5$ у водні і магнітними властивостями (коерцитивна сила, магнітна анізотропія) сплаву дослідили намагніченість матеріалів при різних напрямках магнітного поля в зразку та виміряли петлі гістерезису при різних орієнтаціях поля та при різних максимальних значеннях напруженості поля (1,5 Тл та 9 Тл). Полярні діаграми намагніченості дозволили охарактеризувати рівень анізотропії магнетиків. Петлі гістерезису окремих зразків виявились близькими до прямокутних. Досягнуто рекордно високі значення коерцитивної сили (5 Тл) та відносно високі величини залишкової намагніченості (більше за 43,5 emu/g). З результатів магнітних вимірів виконані оцінки магнітного тиску кращих зразків, наприклад, для пристроїв левітації. В припущенні, що остаточна індукція близька до коерцитивної сили, величина магнітного тиску досягає значення 100 Кг/см2.

(В. В. Чабаненко, В. Ю. Таренков, ДонФТІ НАНУ; І. І. Булик, ФМІ НАНУ; A. Nabiałek, R. Puźniak, IP PAS, Poland; М. Ф. Харченко, ФТІНТ НАНУ)

Виготовлено та досліджено два типи багатошарових гетероструктур, які містять в собі два та три шари надпровіднику S, розділених нанорозмірними напівпровідниковими (суміш Si та Si_xO_y) плівками із металевими (W) нанородами, тут S – MoRe сплав (надпровідник із $T_C \approx 9$ К). У випадку гетероструктур MoRe/допований Si/MoRe спостерігалось утворення областей проковзування фази надпровідного параметру порядку в них під дією зовнішнього НВЧ випромінювання. У випадку гетероструктур MoRe/допований Si/MoRe/допований Si/MoRe спостерігався ефект виникнення дисипаційного стану в MoRe середньому шарі під дією протікаючого струму, виникнення якого приводило до зміни вигляду ВАХ всієї гетероструктури в цілому. Тобто спостерігався ефект перемикання гетероструктури із стану із надпровідним струмом через неї до іншого дисипаційного резистивного стану. Таке перемикання ініціювалось утворенням вищезгаданих областей проковзування фази надпровідного параметру порядку в середній плівці, цей ефект в свою чергу викликався утворенням нерівноважної заселеності рівнів надпровіднику (середньої плівки), що стимулювалось ефектом багаторазових андріївських відбивань квазічастинок на інтерфейсах гетероструктури.

Створені тришарові гетероструктури MoRe/допований Si/MoRe, які демонстрували ВАХ, що містять області від’ємного диференційного опору, що робить їх перспективними до

використань. Показано, що змінюючи вміст вольфраму в кремнії, можливо змінювати форму таких вольт-амперних характеристик, зокрема в області від'ємного диференційного опору.

(В. Є. Шатернік, О. Ю. Суворов ІМФ НАНУ; А. П. Шаповалов, ІНМ НАНУ)

Створення новітніх надпровідних матеріалів для потреб сучасних електротехніки та електроніки вимагає застосування певних високотехнологічних підходів для підвищення струмонесучої здатності високотемпературних надпровідних (ВТНП) плівок та покриттів, а також зменшення їхнього поверхневого опору на високих частотах, зокрема у НВЧ діапазоні. Застосування «нанотехнологічного підходу», а саме – імплантація в матеріал високотемпературного надпровідника діелектричних наночастинок, які відіграють роль сильних точкових (або, при певних умовах, лінійних) центрів пінінгу вихорів Абрикосова, дозволяє суттєво підвищити величину критичного струму і зменшити його залежність від магнітного поля.

В наших роботах за звітний період теоретично доведено, що застосування цього «нанотехнологічного підходу» може також суттєво поліпшити властивості надпровідника при його застосуванні в приладах НВЧ електроніки. Зокрема показано, що імплантація невеликої кількості (3-5 ат.%) діелектричних наночастинок у матеріал ВТНП призводить до зменшення поверхневого опору надпровідника у НВЧ діапазоні та суттєвому (у кілька разів) збільшенню діапазону лінійного відгуку плівкових ВТНП резонаторів, фільтрів, ліній передач. Крім того, пінінг вихорів Абрикосова на точкових дефектах, створених імплантованими наночастинками, призводить до зменшення амплітуди коливань вихорів і, відповідно, до зменшення внеску коливань вихорів у величину поверхневого опору надпровідника на НВЧ. Ці теоретичні результати підтверджуються експериментами різних груп дослідників, виконаними на різних ВТНП плівкових НВЧ системах.

(О. Л. Касаткін, ІМФ НАНУ)

Разом із колегами з Університету імені Коменського (Братислава, Словаччина) розроблено та реалізовано новий пристрій, що базується на зміні резистивного стану в нанорозмірному проміжному шарі оксиду перехідного металу, який розділяє досліджуваний надпровідник та нормальний електрод. Запропонований спосіб дозволяє змінювати прозорість інтерфейсу в широкому діапазоні і, таким чином, зондувати спектри надпровідників в двох граничних режимах: ідеальному (без будь-якого бар'єру) та тунельному.

Результати контрольних експериментів на надпровідному ніобію порівнювались з відповідними теоретичними розрахунками. Для цього було узагальнено відомий формалізм Блондера-Тінкхама-Клайпвіка шляхом заміни постійної щілини на відповідну функцію, яка враховувала індуковану фононами структуру в спектрі провідності відповідних гетероструктур. Показано, що нелінійні особливості з енергіями 16 і 23 меВ обумовлені взаємодією електронів з поперечно та повздовж поляризованими фононами ніобію, відповідно. За допомогою запропонованої методики отримано новітні результати щодо спектру коливань кристалічної ґратки дібориду магнію, надпровідника з температурою надпровідного переходу біля 39 К.

(О. С. Житлухіна, ДонФТІ НАНУ; М. О. Білоголовський, ІМФ НАНУ)

Вперше експериментально показано, що стехіометрія надпровідного дибориду магнію зі структурою AlB_2 з високим рівнем надпровідних властивостей (температурою переходу до надпровідного стану, густиною критичного струму, верхнього критичного магнітного поля та поля необоротності) близька до $MgB_{1,75}O_{0,25}$. Шляхом ab-inito моделювання підтверджена можливість існування твердих розчинів заміщення (бору на кисень) і енергетична вигідність такої стехіометрії, а також те, що домішковий кисень з найбільшим ступенем ймовірності входить у кожну другу площину бору елементарної атомної комірки дибориду магнію, у той час, як кожна друга гексагональна площина бору тієї ж комірки залишається незмінною.

(Т. О.Пріхна, ІНМ НАНУ)

В монокристалах рідкісноземельного фероборату $HoFe_3(BO_3)$, що належить до інтенсивно досліджуваного останнім часом класу мультифероїків, вперше з високою (~ 0.3%) точністю були виміряні швидкості звуку та визначені компоненти тензора пружних сталих. Визначене значення компоненти тензора п'єзоелектричного ефекту в параелектричній фазі (e_{xxx}=1,48 Кл/м^2) більш ніж на порядок перевищує значення п'єзоелектричного модуля для α-кварцу. Ця обставина дозволяє класифікувати $HoFe_3(BO_3)$ як сильний п'єзоелектрик, який може знайти практичне застосування не тільки при низьких, а, навіть, і при кімнатних температурах.

Експериментально досліджено магнетоп'єзоелектричний ефект (МПЕ) та магнетоємність (МЄ) в антиферомагнітному стані кристала. МПЕ, який був вперше нами виявлений у $SmFe_3(BO_3)_4$, полягає в значному зростанні ефективного п'єзоелектричного модуля в магнітовпорядкованій фазі (нижче температури Неєля T_N) та пригніченні цього зростання магнітним полем, Рис.3.1.

При напруженості магнітного поля, що перевищує поле перекиду спінів (поле спін-флопа), H_{SF}, орієнтаційні залежності амплітуд МПЕ і МЄ відгуків підпорядковуються синусоїдальному закону, а при збільшенні поля вони спадають як

$$H^{-2}: \frac{\partial e}{e} \approx \frac{ab\sin^2 2\varphi}{\varepsilon\chi H^2}, \frac{\partial \varepsilon}{\varepsilon} \approx \frac{4\pi a^2 \sin^2 2\varphi}{\varepsilon\chi H^2}.$$

Знаючи магнітну сприйнятливість χ, можна визначити параметри магнетоелектричного (*a*) та магнетопружного (*b*) зв'язків(Рис.3.2). Для $HoFe_3(BO_3)_4$ при 7 К – $a \approx 950$ мкКл/м^2, $b \approx 3 \cdot 10^7$ Дж/м^3. Ці значення виявилися максимальними для кристалів з сімейства феборатів.

Показано, що параметр магнітопружного зв'язку змінює знак при T_S~15 - 20 К, що, ймовірно, приводить до появи гелікоїдального типу магнітного впорядкування.

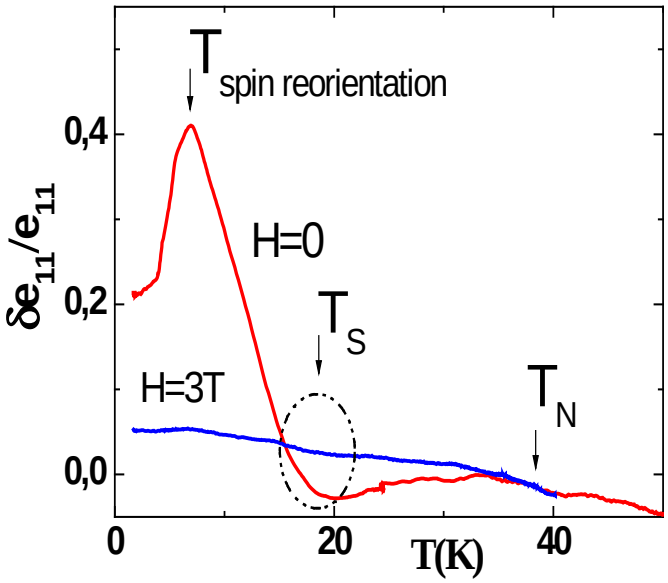


Рис. 3.1. Температурні залежності відносних змін п'єзоелектичного модуля δe/e в $HoFe_3(BO_3)_4$.

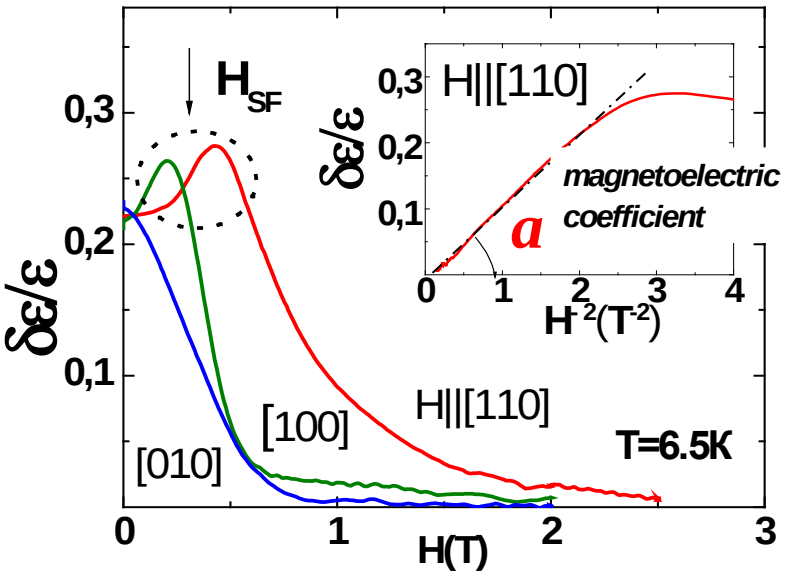


Рис. 3.2. Залежності відносних змі діелектричної проникності ві магнітного поля, орієнтованого вздовж різних кристалографічних напрямків в $HoFe_3(BO_3)_4$.

Вставка - залежність $\delta\varepsilon/\varepsilon$ від H^{-2}.

(М. П. Колодяжна, І. В. Білич, К. Р. Жеков, М. Г. Бурма, Г. А. Звягіна, В. Д. Філь, ФТІНТ НАНУ у співпраці з науковцями Росії)

Вперше проведено дослідження спектрів поглинання світла антиферомагнітного кристалу $HoFe_3(BO_3)_4$ в магнітному полі. Фероборат гольмію представляє інтерес завдяки його яскраво вираженим магнітоелектричним властивостям, природа яких остаточно не з'ясована, а також наявності двох магнітних підсистем (рідкісної землі та заліза), взаємодія між якими призводить до складних магнітних структур і нетривіальних магнітних фазових переходів.

Конкуренція магнітних анізотропій Fe^{3+} та Ho^{3+} спричиняє спонтанний фазовий перехід від легкоплощинної магнітної структури до легковісної при пониженні температури до 4,7 К. В легковісній фазі, крім звичайного спін-флоп переходу в магнітному полі $H||C_3$, має місце нетривіальний фазовий перехід при $H\perp C_3$, результатом якого також є переорієнтація магнітних моментів у базисну площину кристалу.

Досліджено польові залежності поляризованих спектрів поглинання $HoFe_3(BO_3)_4$ в області оптичного переходу $^5I_8 \rightarrow {}^5F_5$ в Ho^{3+} при температурі 2 К. Виявлено, що в магнітному полі, направленому в базисній площині кристалу, спектри в полях $H||a$ і $H||b$ істотно відрізняються (Рис. 3.3.). Така сильна анізотропія поведінки спектрів в магнітних полях в тригональних боратах спостерігається вперше. Вище спін-переорієнтаційного переходу (≈ 10 кЕ) виникає значний лінійний магнітний дихроїзм, що проявляється в σ-спектрах; відмінності інтенсивностей ліній при $H||a$ і $H||b$ спостерігаються також і в π-поляризації. Крім того, в залежності від орієнтації магнітного поля змінюються не тільки інтенсивності, але й енергії електронних переходів, що свідчить про наявність магнітної анізотропії в базисній площині кристалу. Природа її може бути пов'язана з анізотропією магнітострикції кристалу в зовнішніх магнітних полях.

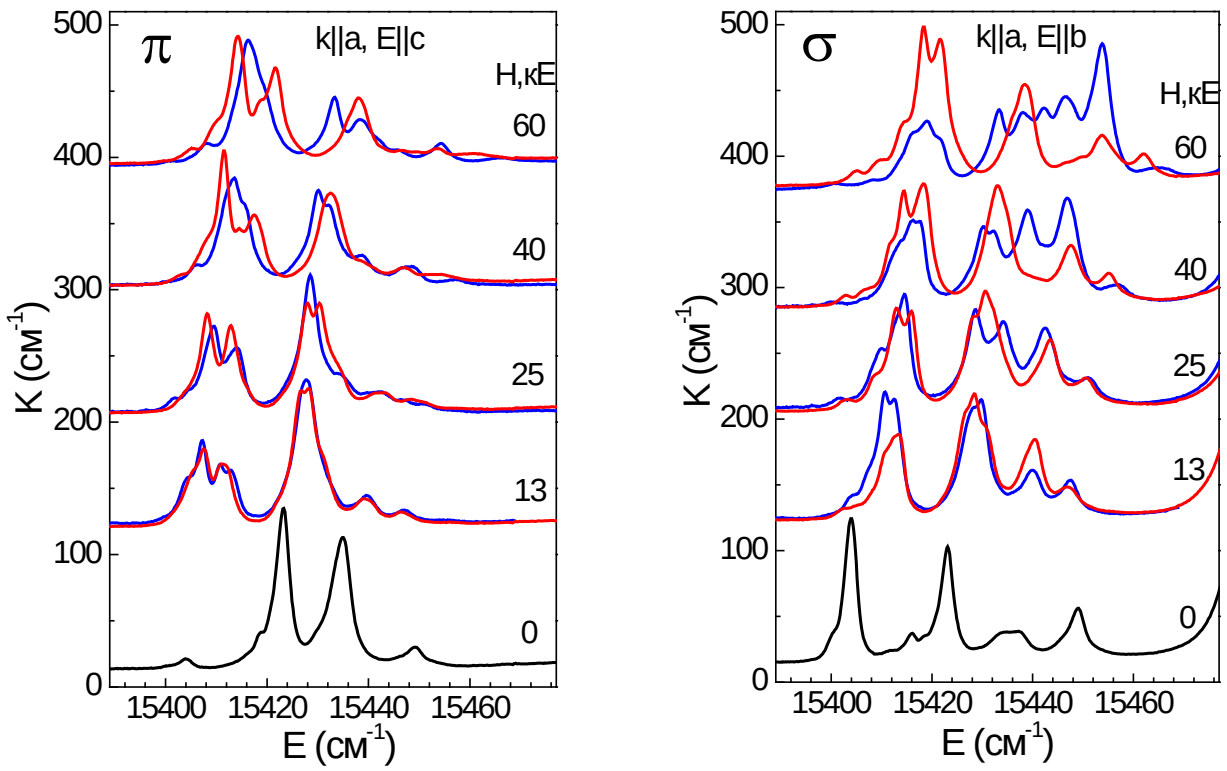


Рис. 3.3. Спектри поглинання $HoFe_3(BO_3)_4$ в області оптичного переходу $^5I_8 \rightarrow {}^5F_5$ в π- та σ-поляризаціях в зовнішньому магнітному полі, направленому в базисній площині кристалу вздовж осей *a* (сині лінії) та *b* (червоні лінії)

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

Празеодимовий фероборат $PrFe_3(BO_3)_4$ належить до сімейства боратів із загальною хімічною формулою $RM_3(BO_3)_4$ (де R – лантаноїд або Y, а M – Al, Ga, Sc, Fe або Cr), представники якого, як мультифероїки з незвичайними властивостями, привертають увагу дослідників протягом останніх кількох десятиліть. Окрім великої різноманітності магнітних і електричних властивостей в мультифероїках спостерігається цілий ряд спонтанних і індукованих магнітним полем фазових перетворень та поява складних спін-модульованих магнітних структур. Вивчення явищ в складних магнітних системах цінне як з фундаментальної точки зору, так і для практичного їх застосування.

При експериментальних дослідженнях особливостей антиферомагнітного резонансу в магнетовпорядкованому стані $PrFe_3(BO_3)_4$ ($T_N = 30{,}5$ K) були детально вивчені польові залежності резонансних мод монокристалічного зразка в широкому інтервалі частот 10 – 143 ГГц ($T = 4{,}2$ K) і в магнітних полях до 7 T для двох орієнтацій зовнішнього магнітного поля $H \parallel c$ та $H \perp c$ (Рис. 3.4.). Показано, що магнеторезонансні властивості фероборату празеодиму добре описуються у рамках простої моделі двохпідграткового антиферомагнетика з анізотропією типу «легка вісь». Визначено енергетичну щілину магнітних збуджень

(134,3±0,5) ГГц та зроблено оцінку величини ефективного поля магнітної анізотропії (1,9±0,1) кЕ. Результати аналізу та уточнюючі експерименти в невеликих нахилених полях ($\angle(H,c)=3°$) свідчать про першородний характер спін-орієнтаційного фазового перетворення в дослідженій сполуці.

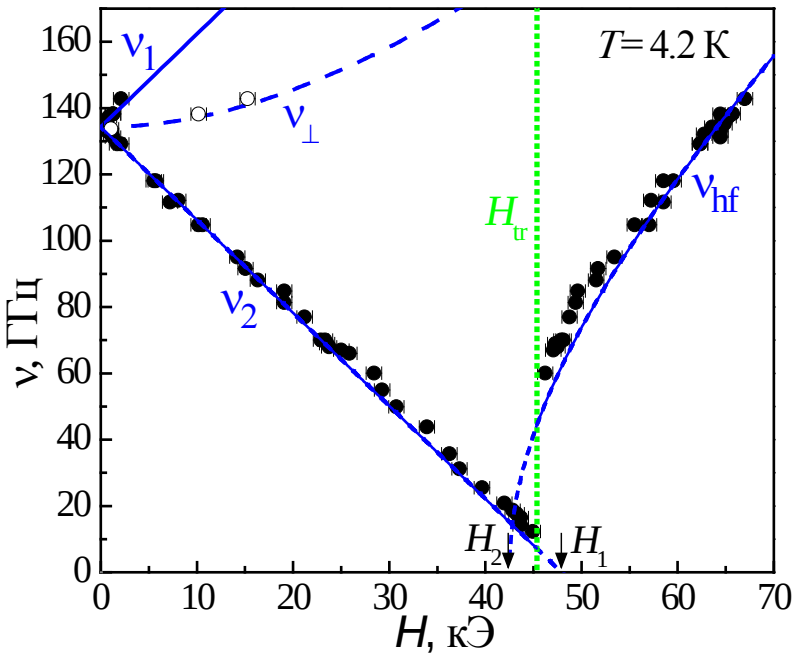


Рис. 3.4. Частотно-польова залежність мод антиферомагнітного резонансу в монокристалі $PrFe_3(BO_3)_4$ для двох орієнтацій магнітного поля $H \parallel c$ (●) і $H \perp c$ (○). Суцільними ($H \parallel c$) і переривчастою ($H \perp c$) лініями показано розрахункові криві ν(H), отримані в рамках простої моделі для одноосного двохпідграткового антиферомагнетика. Вертикальною пунктирною лінією показано поле фазового переходу H_{tr} = 45,4 кЕ. Стрілки вказують на поля лабільності, отримані для низькопольової (H_1) і високопольової (H_2) фази антиферомагнетика

(О. М. Блудов, В. О. Пащенко, М. І. Кобец, В. А. Бедарев, Д. М. Меренков, С. Л. Гнатченко, ФТІНТ НАНУ; І. А. Гудим, ІФ РАН)

Проведено дослідження температурної залежності магнітної сприйнятливості $\chi(T)$ монокристала $GdCr_3(BO_3)_4$ в температурному діапазоні 2–300 К для двох орієнтацій зовнішнього магнітного поля $H \parallel c$ и $H \perp c$ (Рис. 3.5.). Встановлено, що магнітні моменти в гадоліній-хромовому бораті впорядковуються антиферомагнітно при T_N = 7,0 К. При T > 10 К магнітні властивості кристала є просторово ізотропними, що підтверджує суто спіновий стан іонів Cr^{3+} (S=3/2) та Gd^{3+} (S=7/2). Показано, що магнітна сприйнятливість $\chi(T)$ сполуки $GdCr_3(BO_3)_4$ при $T > T_N$ найкращим чином описується одновимірною спіновою моделлю для системи ланцюжків іонів Cr^{3+} (S=3/2) з феромагнітним обміном $2J/k$ = –13,6 К та з

антиферомагнітною взаємодією між ланцюжками $2J'/k = +0{,}72$ К, при цьому гадолінієва підсистема підмагнічена антиферомагнітно завдяки обмінній (f–d)-взаємодії ($\theta_{Gd} = -2{,}8$ К).

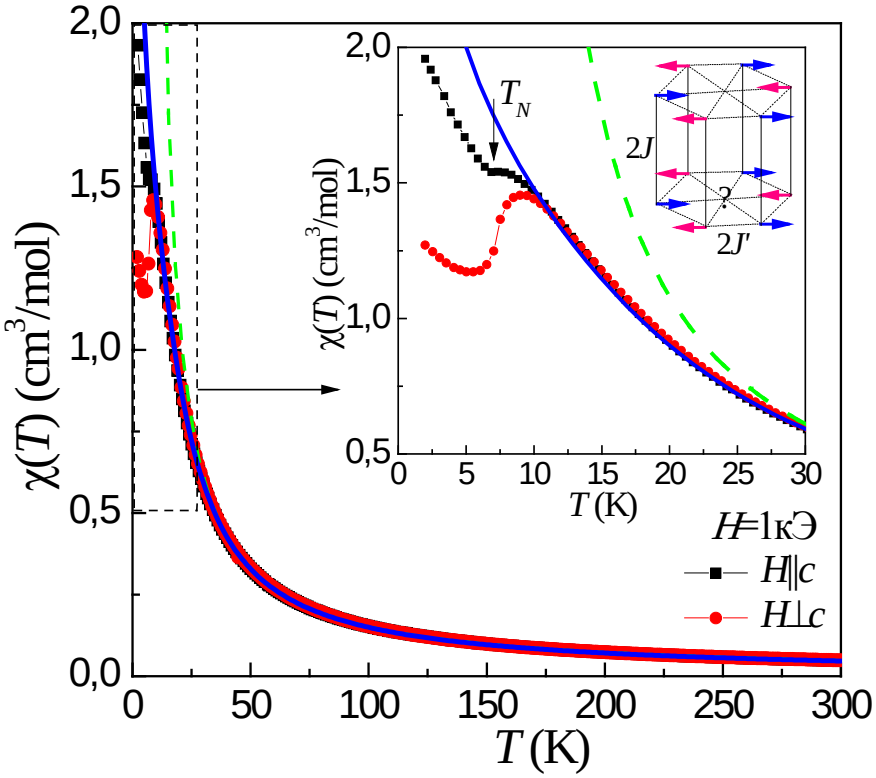


Рис. 3.5. Температурна залежність магнітної сприйнятливості $\chi(T)$ монокристала $GdCr_3(BO_3)_4$ при $H \parallel c$ (■) і $H \perp c$ (●). На вставці показана низькотемпературна частина $\chi(T)$ в інтервалі 2-30 К. Пунктирна і суцільна лінії - розрахункові криві в рамках моделі Кюрі-Вейсса ($\mu_{eff} = 10{,}6\ \mu_B$, $\theta = 7$ К) та моделі одновимірної системи феромагнітних ланцюжків з антиферомагнітним міжланцюжковим зв'язком ($2J/k = -13{,}6$ К, $2J'/k = 0{,}72$ К, $\theta_{Gd} = -2{,}8$ К)

Проведено також експериментальні дослідження антиферомагнітного резонансу в монокристалі $GdCr_3(BO_3)_4$ в діапазоні частот 17–38 ГГц при температурі 4,2 К. Визначено величину енергетичної щілини у спектрі спінових хвиль (25,5±0,5) ГГц. Показано, що високочастотні властивості гадолінієвого хромоборату добре описуються в рамках моделі двохпідграткового антиферомагнетика з анізотропією типу «легка площина» (суцільна і пунктирна лінії на Рис. 3.6.).

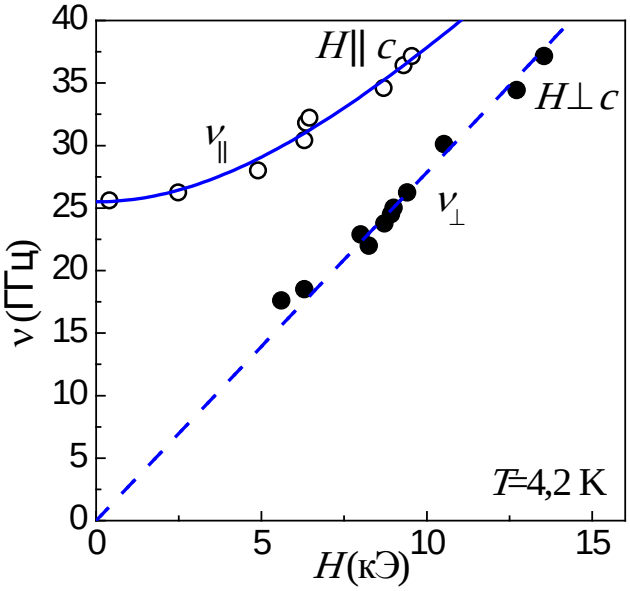


Рис. 3.6. Частотно-польова залежність мод антиферомагнітного резонансу в монокристалі $GdCr_3(BO_3)_4$ при $H \| c$ (○) і $H \perp c$ (●). Суцільною і пунктирною лініями показано розрахункові криві ν(*H*), отримані в рамках моделі для двохпідграткового антиферомагнетика з анізотропією типу «легка площина».

(О. М. Блудов, Ю. О. Савина, М. І. Кобец, В. О. Пащенко, С. Л. Гнатченко, ФТІНТ НАНУ; В. В. Мальцев, М. М. Кузьмін, М. І. Леонюк, МДУ РАН)

Рідкісноземельні подвійні молібдати, що містять іони диспрозію та ербію, демонструють унікальні властивості – в цих сполуках в фазі, що не є магнітно впорядкованою, вдається керувати структурними перетвореннями за допомогою зовнішніх магнітних полів. Відомо, що магнітне поле величиною до 5 Т може змінити низькотемпературну ($T<T_c$=14 К) кристалічну структуру парамагнітного молібдату $KDy(MoO_4)_2$ на структуру, близьку до високотемпературної. В такому разі магнітне поле має пригнічувати пружні спотворення, які спостерігаються в кристалі при спонтанному фазовому переході типу кооперативного ефекту Яна-Теллера при T_c=14 К. Особливий інтерес представляють дослідження поведінки електронних збуджень іонів Dy^{3+} в магнітному полі. На рисунку показано залежність енергій електронних збуджень e1, e2, і e3 та фононного збудження ph від магнітного поля до 12 Т, що отримані з експериментальних Фур'є - спектрів пропускання (**$E_\omega \| c$**, H||*b*, k|| *b*). В залежності від магнітного поля для двох ліній e1 та e2, що відповідають переходам між зеєманівськими компонентами основного та збудженого рівнів, спостерігається їх «розштовхування» (червоне коло). В області, де перетинаються електронні та фононне збудження, така поведінка свідчить про нелінійний характер їх взаємодії. Поза цієї області напівширина фононного збудження аномально мала та його поведінка добре простежується (мал. b, d, $\Delta \sim 1.5$ см$^{-1}$).

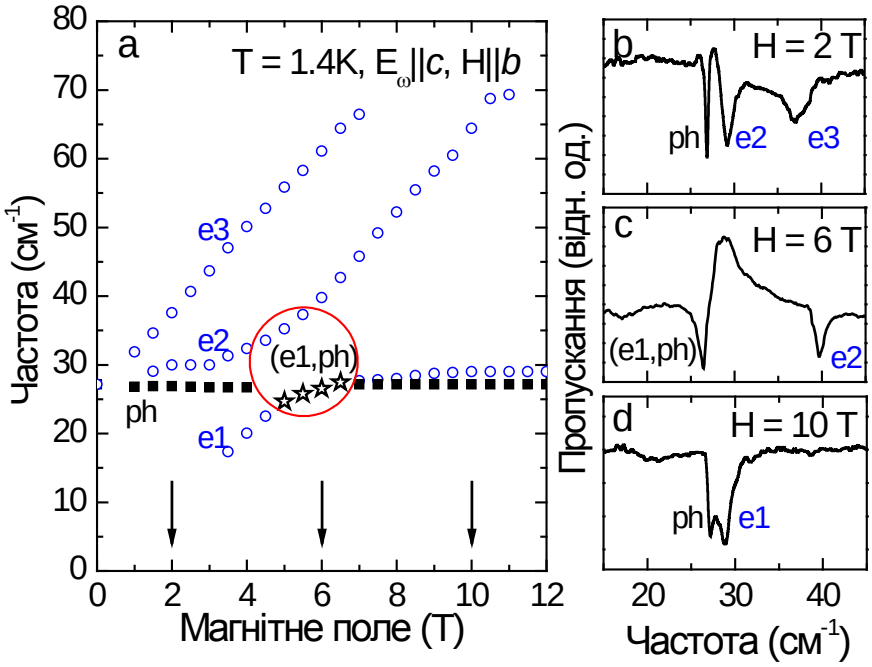


Рис. 3.7. a – частотно-польова залежність низькочастотних збуджень в магнітоеластику $KDy(MoO_4)_2$, отримана із Фур'є спектрів пропускання в ДІЧ діапазоні ($E_\omega||c$, $H||b$, T = 1.4 K). Криві e1, e2, e3 – енергії електронних збуджень в зовнішніх магнітних полях, крива ph – фононне збудження. Червоне коло показує область енергій, в якій не вдається чітко розділити електронні та фононні збудження. b, c, d – вигляд спектрів пропускання в магнітних полях 2, 6 та 10 T, одержаних із Фур'є спектрів пропускання.

(Н.М. Нестеренко, Х.В. Кутько, ФТІНТ НАНУ; Д.Л. Каменський, High Field Magnet Laboratory (HFML–EMFL), The Netherlands)

Серед плівок феромагнітний / нормальний метал добре відомі своїми магнеторезистивними властивостями багатошарові наноплівки Co/Cu. Гігантський магнеторезистивний ефект в цих плівках при низьких температурах досягає 85% і суттєво залежить від структури інтерфейсу між шарами металів. Незважаючи на взаємну нерозчинність кобальту та міді, атоми Cu за певних умов здатні дифундувати на поверхню шару Co. Дифузія атомів міді призводить до утворення інтерфейсів у вигляді суміші Co і Cu, до появи пор і створення 3D островків кобальту на поверхні міді. Магнеторезистивні властивості багатошарових наноплівок Co/Cu в значній мірі визначаються розсіюванням електронів провідності на цих суперпарамагнітних утвореннях з атомів кобальту.

З метою виявлення особливостей поведінки магнето-оптичних ефектів в плівках Co/Cu в залежності від товщини шарів нормального металу були проведені експериментальні дослідження ефекту Керра в багатошарових плівках $[Co/Cu(111)]_{20}$, що різняться між собою

товщинами шарів міді при незмінній товщині кобальту [Co(4 моноатомних шари) / Cu(0.6 ÷ 2.0 nm)]$_{20}$, виготовлених методом магнетронного розпилювання. Виходячи з результатів проведених досліджень побудовано розподіли магнітних кластерів за величиною магнітних моментів і встановлено, що у плівках, між магнітними шарами яких існує антиферомагнітний обмінний зв'язок, кількість малих кластерів суттєво збільшена. Виявлена закономірність вказує на те, що неоднорідності електричного поля, спричинені стоячими електронними хвилями в шарі міді, які виникають при певній його товщині, суттєво впливають на структуру шару кобальту, що формується на ньому.

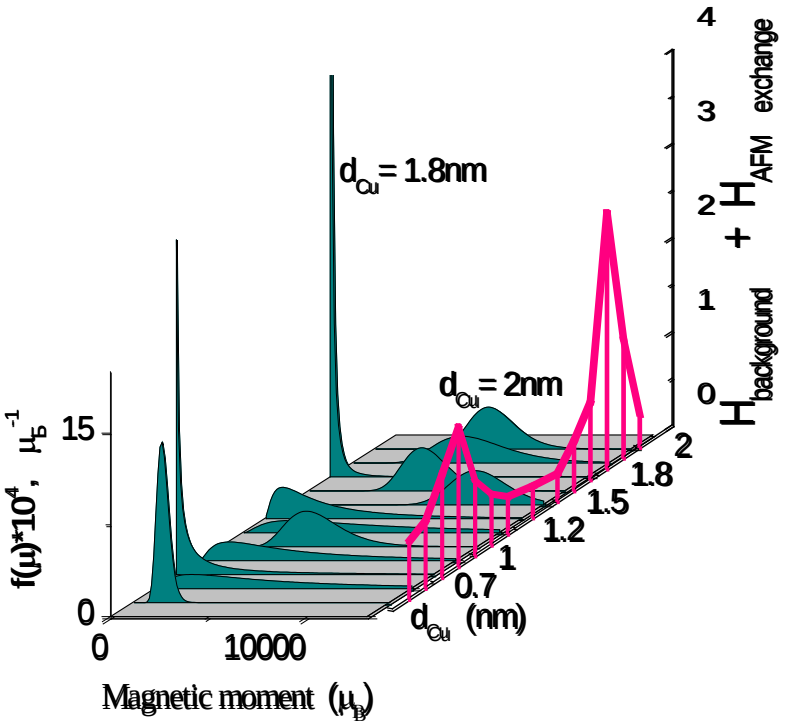


Рис. 3.8. Логнормальні розподіли СПМ кластерів за величиною їх магнітних моментів, які були отримані для плівок [Co/Cu]$_{20}$ при апроксимації їх залежностей *θ(H)* функціями Ланжевена. Параметри підбору цих функцій відповідають кривим апроксимацій, що описують експериментальні точки в найкращий спосіб з пріоритетом в області сильних магнітних полів. Справа показана залежність від товщини шарів міді в плівках визначеної суми двох полів – поля АФМ обмінної взаємодії між шарами кобальту та поля намагнічування феромагнітних дефектів структури, подібних до міжшарових мостиків.

(І. М. Лукієнко, М. Ф. Харченко, ФТІНТ НАНУ; О. М. Стеценко, НТУ «ХПІ» МОНУ)

Магнітокалоричні ефекти, зокрема ефект зміни температури матеріалу під дією зовнішнього магнітного поля, вже давно використовуються в лабораторіях для досягнення наднизьких температур (температур, нижчих за десяті долі Кельвіна). Нещодавнє відкриття гігантського магнетокалоричного ефекту поблизу кімнатної температури привело до ідеї застосування цього ефекту в промисловості та побуті. Однак, магнетокалоричних систем для керування температурою мікророзмірних елементів до цього часу розроблено не було.

У роботі D.M. Polishchuk *та ін*. (Phys. Rev. Mater. **2**, 114402 (2018)) вперше запропоновано інноваційний підхід до локальної температурної стабілізації мікророзмірних елементів електронних схем (мікрохолодильників, теплообмінників, охолоджувачів мікро- та наносенсорів, тощо) з застосуванням магнітних багатошарових наноструктур з гігантським магнітокалоричним ефектом на основі перехідних металів групи заліза. У цих структурах в процесі прикладання відносно слабкого магнітного поля (~ 10 мТ) відбувається різка зміна характеру непрямого обміну між феромагнітними шарами F_{free} та F_{pin} через прошарок розбавленого феромагнетика f в околі його точки Кюрі T_C^f і спостерігається гігантська ізотермічна зміна магнітної ентропії ($S \approx$ -10 мДж см$^{-3}$ К$^{-1}$) з поглинанням чи виділенням тепла. Ця обставина дозволяє використовувати магнітне поле для керування температурою самої структури та мікророзмірного елементу електроніки, з яким вона може знаходитись в безпосередньому тепловому контакті.

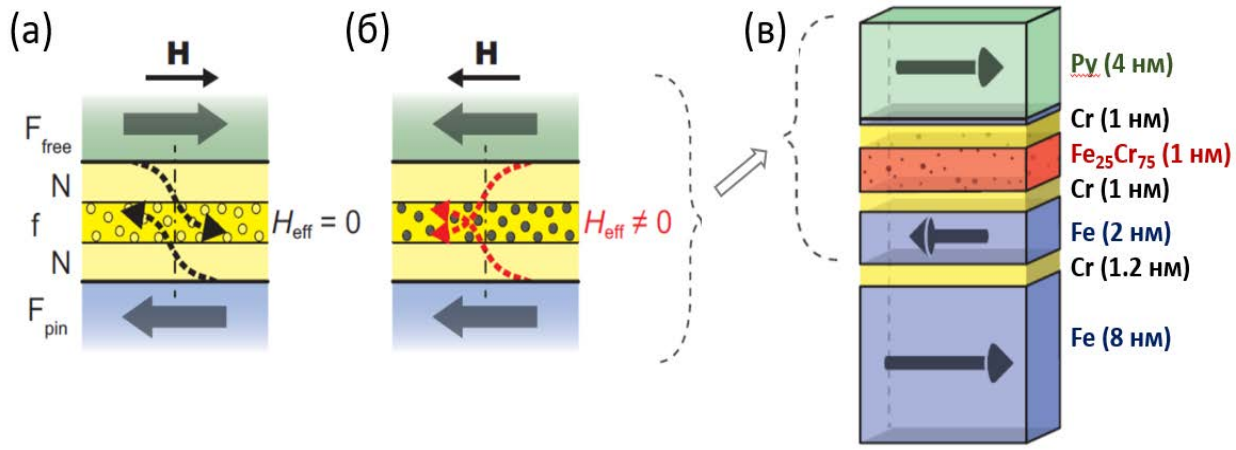


Рис. 3.9. Ілюстрація зміни магнітної конфігурації та ефективного поля в області прошарку розбавленого феромагнетика f під дією зовнішнього магнітного поля. Показано випадки антипаралельної (а) та паралельної (б) конфігурації магнітних моментів феромагнітних шарів F_{free} та F_{pin}. Панель (в) ілюструє будову магнітної наноструктури, що досліджувалася в роботі.

Показано, що запропоновані структури можуть бути значно ефективнішими за кращі існуючі магнітокалоричні матеріали та системи, що використовуються в холодильних системах з адіабатичним розмагнічуванням. Оскільки структури виготовлені виключно на основі 3d-перехідних металів, це визначає їх високу економічну доцільність та дружність до довкілля.

(Д. М. Поліщук, Ю. О. Тихоненко-Поліщук, А. Ф. Кравець, О. І. Товстолиткін, А. М. Погорілий, ІМаг НАНУ та МОНУ; E. Holmgren, V. Korenivski, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden)

Досліджено властивості композитного матеріалу, магнітоактивного еластомеру, (МАЕ) в якому магнітні частинки при певних умовах можуть змінювати свої положення під дією магнітних сил. Показано, що аномальні магнітні і пружні властивості магнітоактивного еластомеру на основі м'яко-еластичної матриці полідиметилсилоксану з введеними в неї мікрочастинками магніто-м'якого карбонільного заліза є наслідком зміщень магнітних частинок в еластомері під дією магнітних сил. У вузькому інтервалі температури (T), у околі 220 К, спостерігається ефект блокування зміщень частинок за рахунок «солідізації» матриці полімеру, який виявлено з вимірювань намагніченості МАЕ в протоколах вимірювання при пониженні температури в прикладеному полі (FC) та при збільшенні температури у полі після охолодження без поля (ZFC). При $T < 220$ К, коли матриця стає пружно-жорсткою, а частинки блоковані, намагнічування МАЕ безгістерезисне і характеризується негативним значенням константи Релея. При температурі більшій за температуру «солідізації», коли частинки розблоковані, в намагнічуванні змінюється знак константи Релея, а в польовій залежності магнітної сприйнятливості з'являються максимуми та виявляється специфічний «защемлений» (pinched) гістерезис, що є наслідком реструктуризації магнітоактивного еластомеру за рахунок зміщення магнітних частинок.

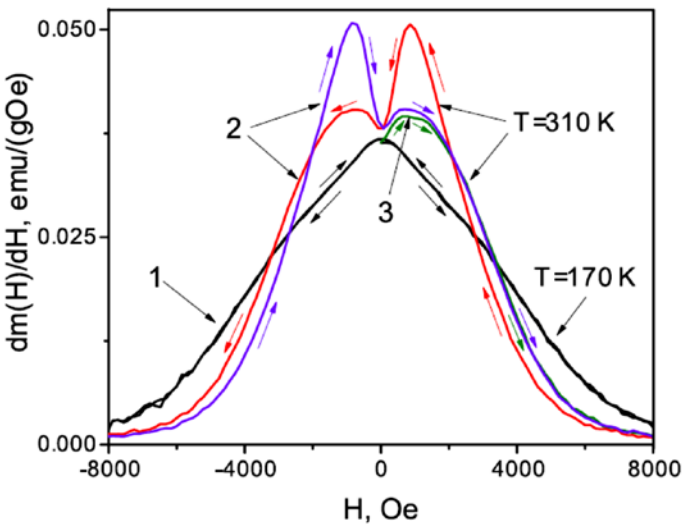


Рис. 3.10. Залежності магнітної диференційної сприйнятливості *dm(H)/dH* магнітоактивного еластомеру (мікрочастинки карбонального заліза в матриці полідиметилсилоксану) від напру-женості зовнішнього магнітного поля при різних температурах – нижчої (170 К) (1) і вищої (310 К) (2) за температуру «солідизації» (близько 220 К) магнітного еластомеру. Початкова ділянка *dm(H)/dH* залежності при 310 К первісної залежності позначена цифрою 3.

Крім того, експериментально показано, що при намагнічуванні зразка магнітоактивного еластомеру з обмеженням його розмірів конструкцією кювети, у яку він вміщений (заборона магнітострикції), в зразку формується магнітна анізотропія з легкою віссю у напрямі намагнічування, тобто, відбувається перебудова ближнього порядку взаємного розташування магнітних частинок у МАЕ. Результати можуть бути використані при конструюванні функціональних пристроїв з використанням магнітоактивних еластомерів

(В. М. Калита, М. М. Кулик, А. В.Боднарук, А. Ф. Лозенко, С. М. Рябченко, ІФ НАНУ; А. А. Снарський, ІПРІ НАНУ; науковці з Німеччини)

Перовскитні магнетики порівняно легко можуть сильно змінювати свої фізичні властивості при зміні температури та під впливом магнітного поля. Вони можуть слугувати модельними об’єктами для вивчення спонтанних і індукованих полем магнітних фазових перетворень і, крім того, заміщені манганіти–перовскити завдяки високій чутливості їх магнітних станів до зовнішніх чинників можуть також бути перспективними матеріалами для розробок чутливих сенсорів надвисокочастотних полів, що мають дуже малий час релаксації.

Методом електронного парамагнітного резонансу (ЕПР) було досліджено допований стронцієм наноструктурований манганіт-перовскит $La_{0.78}Sr_{0.22}MnO_3$. Типовий ЕПР-спектр зразків цієї структури, зареєстрований в режимі сканування робочої частоти при температурі зразка T=290 К, приведено на Рис. 3.10. Видно, що ширина ЕПР-піків практично не залежить від величини зовнішнього магнітного поля (H_{res}). Детальний аналіз ЕПР-експериментів в області температур T = 77-290 К в діапазонах частот f = 7-35 ГГц, та магнітних полів від 0,1 до 10 кЕ показав, що відсутність залежності форми піків від величини поля, разом з майже лінійним характером залежності резонансної частоти від поля при температурах вищих за 250 К, вказує на те, що досліджений об'єкт знаходиться у суперпарамагнітному стані.

Треба відмітити, що при зниженні температури від 290 К ширина ЕПР-піка різко падає (на величину до 30%) при T>250 К, а потім, із досягненням температур близько 100 К, знову різко підвищується. Проведений аналіз дозволив зробити висновок, що досліджений наноструктурований манганіт треба розглядати як типову магнітну наносистему з неколінеарним впорядкуванням магнітних моментів наночастинок лише при температурах T < 100 К. В області 100 К<T<250 К теплові коливання "розривають" магнітні зв'язки і система перебуває в проміжному стані, а при T > 250 К структура переходить в суперпарамагнітний стан.

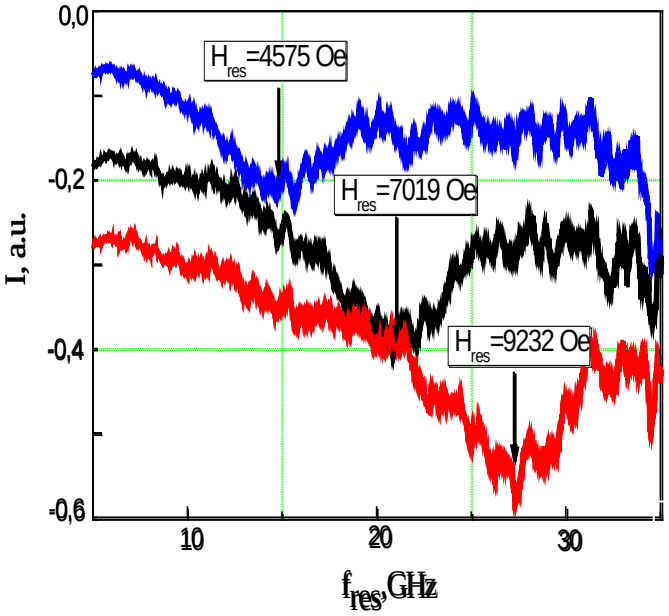


Рис. 3.10. Типові ЕПР-спектри наноструктурованого манганіту $La_{0.78}Sr_{0.22}MnO_3$ в режимі скануванні частоти при T=290 К.

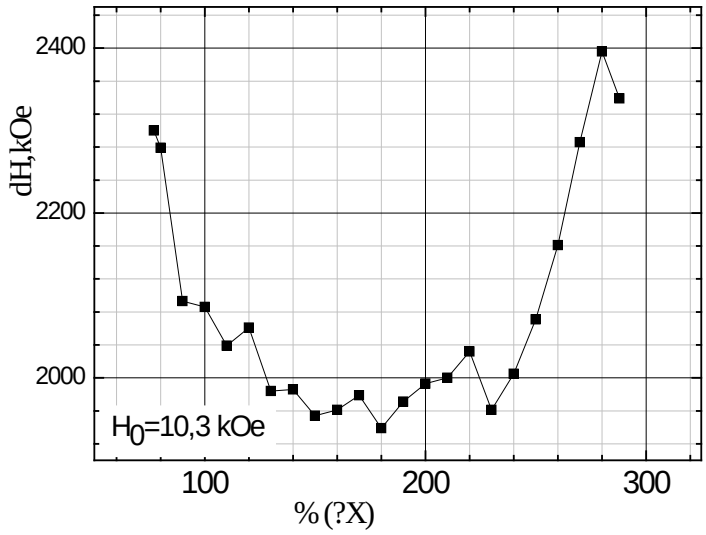


Рис. 3.11. Температурна залежність ширини ЕПР-піку.

Таким чином, одержані результати дозволили визначити інтервали температур існування суперпарамагнітного та впорядкованого магнітного станів наноструктурованого манганіту $La_{0.78}Sr_{0.22}MnO_3$.

(Т. В. Калмикова, А. С. Вакула, С. В. Недух, С. І. Тарапов, ІРЕ НАНУ; А. Г. Белоус ІЗНХ НАНУ; В. В. Криворучко, ДонФТІ НАНУ; Р. В. Сухов, ХНУ)

Сплави з магнітним ефектом пам’яті форми активно досліджуються, оскільки вони мають незвичайні фізичні властивості, такі, як: магнітний ефект пам’яті форми, індукована магнітним полем надпружність, прямий і зворотній магнетокалоричний ефект, тощо. Одним з найбільш цікавих явищ, яке спостерігається в цих матеріалах в однофазному стані, є явище гігантського магнітоопору. Досліджено магніторезистивні властивості епітаксіальних плівок сплаву з ефектом пам’яті форми $Ni_{52,3}Mn_{26,8}Ga_{20,9}$ в температурному діапазоні 100-370 К, що значно нижче температури мартенситного перетворення. Показано, що формування нанодвійникової структури в епітаксіальних плівках з феромагнітним ефектом пам'яті форми, які знаходяться в мартенситному стані, призводить до утворення неколінеарної магнітної структури. Це спричиняє виникнення від'ємного магнетоопору, який експериментально спостерігається в широкому температурному діапазоні. Аналогічний ефект також можна очікувати в метамагнітних сплавах з ефектом пам'яті форми з тонкою двійниковою структурою, в яких спостерігається феромагнітній обмін всередині двійникових варіантів та антиферомагнітний обмін на границях двійників. Важливим прикладним аспектом описаного магнеторезистивного ефекту є можливість генерувати спінові хвилі з заданими частотами за допомогою імпульсів електричного струму в періодичних нанодвійникових структурах, які утворюються в епітаксіальних плівках сплавів з магнітним ефектом пам'яті форми. Цю властивість можна використовувати в пристроях магноніки.

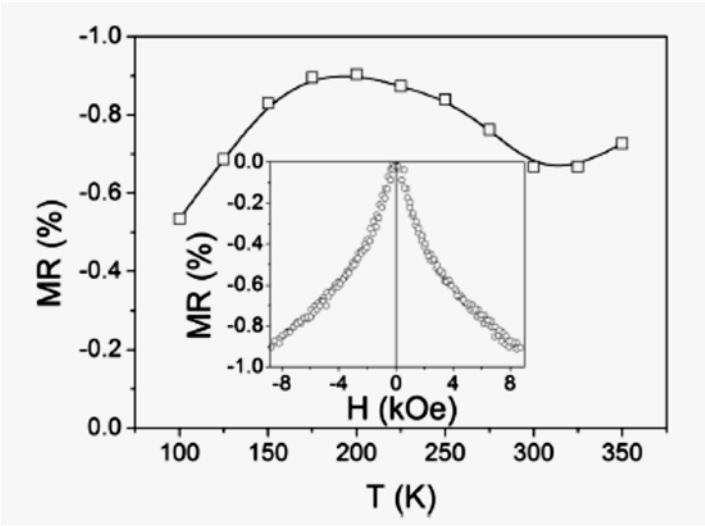


Рис. 3.12. Температурна залежність магнетоопору в магнітному полі H=9кE. На вставці показана залежність магнітоопору від магнітного поля при T=200K.

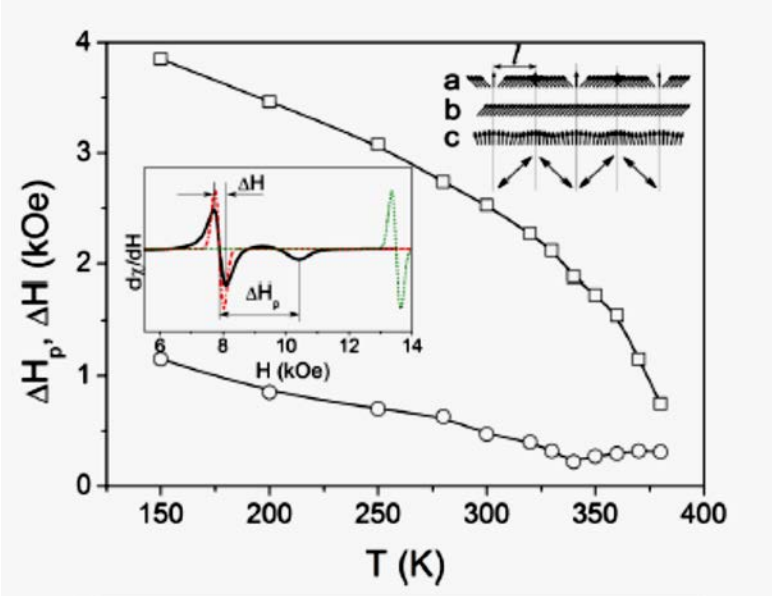


Рис. 3.13. Залежність параметрів лінії ФМР ΔH_p (□) та ΔH (○) від температури. На верхній вставці: схематичне зображення розподілу магнітних моментів в нанодвійникованій плівці для різних співвідношень між довжиною обмінної кореляції δ та шириною двійника *l*: $\delta << l$ (a), $\delta > l$ (b) та $l \sim \delta$ (c). Лінії з подвійними боковими стрілками позначають напрямки легкої осі магнітокристалічної анізотропії в двійникових варіантах. На вставці представлено типовий спектр ФМР, що спостерігається в плівці при T = 290 K для перпендикулярного до площини плівки магнітного поля (суцільна лінія). Для порівняння показані розрахункові спектри для випадків сильного обмінного зв'язку між варіантами двійників (лінія точка-точка) та без зв'язку (точка-лінія).

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

Розширення функціональних можливостей елементів сучасних систем шляхом комбінування різних магнітних матеріалів та цілеспрямованого впливу на межу розділу (інтерфейсну область) стає переважаючою стратегією останніх років. Розробка і дослідження композитних наночастинок з ядром одного хімічного складу і оболонкою іншого хімічного складу (core/shell наночастинок) займає особливе місце в її впровадженні, оскільки така

діяльність забезпечує краще фундаментальне розуміння магнітних взаємодій і дає змогу досягти бажаних магнітних характеристик для практичних застосувань в різних галузях промисловості та народного господарства.

Нами виконано аналіз поведінки магнітних наночастинок шпінельного структурного типу з ядром одного хімічного складу і оболонкою іншого хімічного складу в залежності від змін температури та магнітного поля. Досліджено дві групи core/shell наночастинок, $CoFe_2O_4/Fe_3O_4$ та $Fe_3O_4/CoFe_2O_4$, з фіксованим діаметром ядра (≈4,1 nm і ≈6,3 nm для першої і другої групи, відповідно) та товщиною оболонок до 2,5 nm. Виявлено, що для обох груп наночастинок додавання оболонки сильно впливає на форму петлі гістерезиса і характер температурної залежності намагніченості. Показано, що, крім керування намагніченістю насичення, використання core/shell архітектури дозволяє контролювати ефективну константу анізотропії в широкому діапазоні значень. Зроблено висновок, що покриття наночастинок оболонками призводить до одночасної появи двох ефектів: по-перше, воно змінює параметри core/shell інтерфейсу (межі розділу між ядром і оболонкою), а по-друге, – приводить до того, що наночастинки набувають комбінованих характеристик ядра та оболонки.

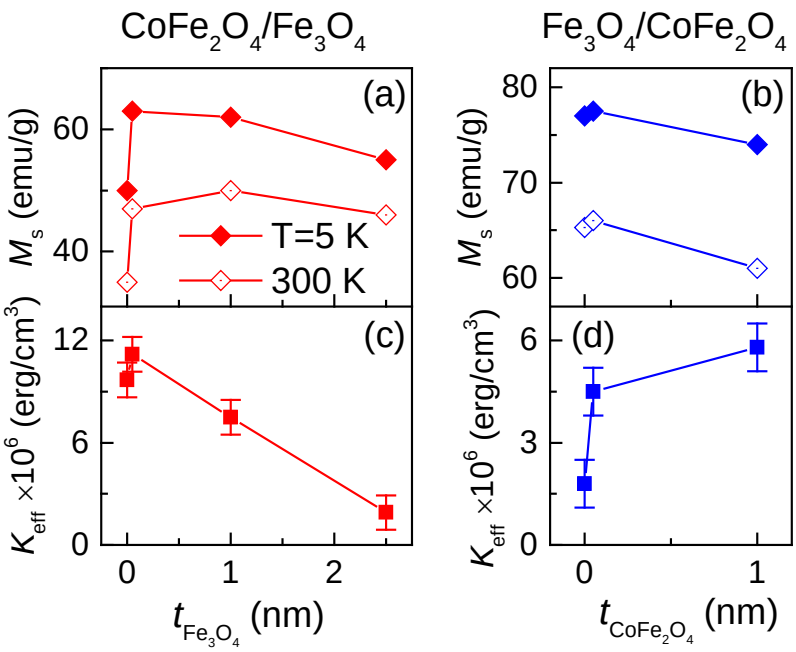
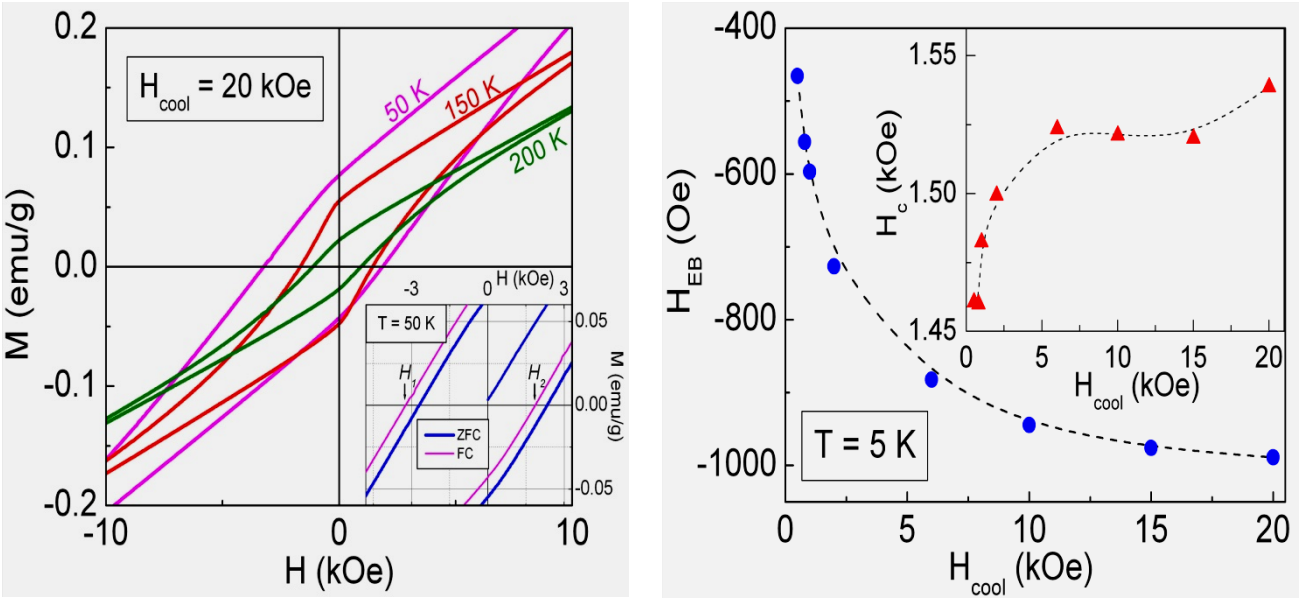


Рис. 3.14. Залежності намагніченості насичення (a,b) та ефективної константи анізотропії (c,d) від товщини оболонки для $CoFe_2O_4/Fe_3O_4$ та Fe_3O_4/CoFe2O4 core/shell наночастинок.

Отримані результати можуть бути використані для оптимізації параметрів core/shell магнітних наночастинок для їх використання в різних областях технології і медицини.

(Д. М. Поліщук, О. І. Товстолиткін, ІМаг НАНУ та МОНУ; С. О. Солопан, А. Г. Білоус, ІЗНХ НАНУ; N. Nedelko, A. Slawska-Waniewska, Institute of Physics, Warsaw, Poland)

Вперше виявлено обмінний зсув петель гістерезису у новому перспективному мультифероїку $BiFe_{0.5}Sc_{0.5}O_3$, який недавно було синтезовано в умовах високого тиску. Обмінний зсув виникає при охолодженні зразка в магнітному полі до температури, нижчої за температуру магнітного впорядкування (Рис. 3.15. а)). Він свідчить про магнітне фазове розшарування зразків цієї сполуки в магнітно впорядкованому стані. Показано, що одержаний перовскіт $BiFe_{0.5}Sc_{0.5}O_3$, який є структурно однофазним в умовах кімнатної температури, нижче температури Неєля, $T_N \sim 220$ K, складається, як мінімум, з двох магнітних нанорозмірних фаз: антиферомагнітної та слабоферомагнітної. Величина поля обмінного зсуву H_{EB} немонотонно залежить від магнітного поля охолодження H_{cool} (Рис. 3.15. б)) і температури. Ефект обмінного зсуву зникає при нагріванні зразка вище температури Неєля, T_N, що пов'язано із зникненням магнітного впорядкування. Знайдений ефект є перспективним для практичного застосування в якості різноманітних сенсорів.



а) б)

Рис. 3.15. а) Петлі магнітного гістерезису нового мультифероїка $BiFe_{0.5}Sc_{0.5}O_3$, виміряні при температурах 50 - 150 К після охолодження в магнітному полі H_{cool} = 20 kOe (FC). На вставці: центральна область петель гістерезису, виміряних при температурі 50 К після охолодження в нульовому магнітному полі (ZFC) і після охолодження в магнітному полі H_{cool} = 20 kOe (FC). б) Залежність ефекту обмінного зсуву від магнітного поля охолодження $H_{EB}(H_{cool})$ при температурі 5 К. На вставці: поміряна при температурі 5 К залежність коерцитивної сили H_c від величини магнітного поля охолодження $H_{EB}(H_{cool})$.

(О. Л. Фертман, О. В. Федорченко, В. О. Десненко, ФТІНТ НАНУ; V. V. Shvartsman, D. C. Lupascu, S. Salamon, H. Wende, Університет Дуйсбурга-Ессена, Німеччина; A. I. Vaisburd, ХНУ; A. Stanulis, R. Ramanauskas, Дослідний інститут енергетичної безпеки, Університет Суонси, Великабританія; N. M. Olekhnovich, A. V. Pushkarev, Yu.V. Radyush, МНТЦ, Мінськ, Білорусь; D. D. Khalyavin, Лабораторія Резерфорда, Великобританія; A. N. Salak, CICECO, Університет Авейро, Португалія)

Модифіковані іонами Bi лантан-стронцієві манганіти $La_{0.7}Sr_{0.3-x}Bi_xMnO_3$ зі структурою перовскіту відносяться до класу багатофункціональних матеріалів, які проявляють магнітні та діелектричні властивості з високими значеннями магнітоопору, магнітокалоричного ефекту, намагніченості, температури Кюрі, магнітної та діелектричної проникності. Пошук і дослідження нових нестехіометричних складів $La_{0.6}Sr_{0.15}Bi_{0.15}Mn_{1.1}B_xO_{3-\delta}$ з B = Cr, Fe, Co і Ni відноситься до актуального напрямку наукових досліджень в галузі фізики магнітних явищ конденсованого стану. Заміщення надстехіометричного марганцю 3*d*-іонами перехідних металів може істотно розширити область застосування даного класу металооксидів. Підвищений інтерес представляє одержання однофазних сполук вісмут-вміщуючих рідкісноземельних манганітів з високими значеннями магнітної і діелектричної проникності та малими втратами електромагнітної енергії в широкому частотному діапазоні.

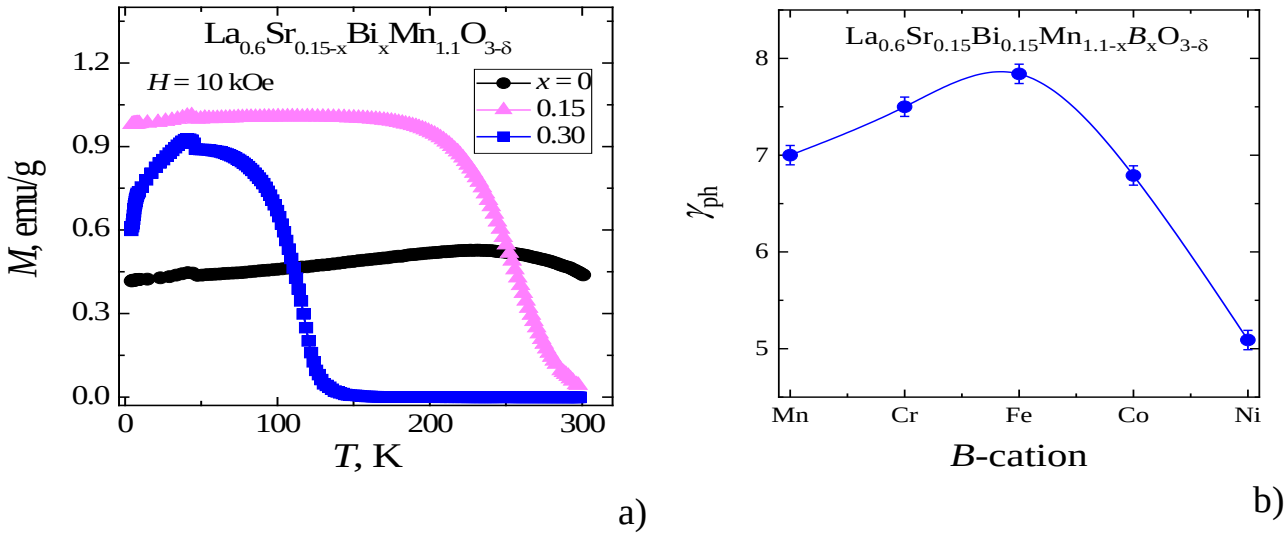


Рис. 3.16. a) Вплив вісмуту на температурну залежність намагніченості $M(T)$ кераміки $La_{0.6}Sr_{0.3-x}Bi_xMn_{1.1}O_{3-\delta}$ b) вплив заміщення надстехіометричного марганцю на константу електрон-фононної взаємодії γ_{ph} в складах $La_{0.6}Sr_{0.15}Bi_{0.15}Mn_{1.1-x}B_xO_{3-\delta}$, ($B$ = Cr, Fe, Co, Ni).

Нами досліджено структуру та функціональні властивості модифікованих іонами вісмуту лантан-стронцієвих манганітів із заміщенням надстехіометричного марганцю 3*d*-іонами. з допомогою рентгеноструктурного, термогравіметричного, чотириконтактного резистивного, магніто-резистивного і магнітометричного методів та йодометричного титрування, скануючої електронної мікроскопії, діелектричної та ЯМР ^{55}Mn спектроскопії. Визначено склад $La_{0.6}Sr_{0.15}Bi_{0.15}Mn_{1.1}O_{3-\delta}$, що володіє найбільшою величиною намагніченості M та магнітоопору поблизу температури Кюрі (Рис. 3.16. a)). Встановлено, що заміщення B-катіонів марганцю 3*d*-іонами в манганітах $La_{0.6}Sr_{0.15}Bi_{0.15}Mn_{1.1-x}B_xO_{3-\delta}$ із B = Cr, Fe, Co і Ni не впливає на тип та параметри ромбоедричної структури. Заміщення марганцю 3*d*-іонами призводить до збільшення опору, зниження температур Кюрі та фазового переходу «метал-діелектрик», зменшенню магнітоопору та збільшенню температурного діапазону магнітного фазового розшарування. У наближенні моделі полярону малого радіуса пораховано радіус полярону та константу електрон-фононної взаємодії $5<\gamma_{ph}<8$ для всіх складів

$La_{0.6}Sr_{0.15}Bi_{0.15}Mn_{1.1-x}B_xO_{3-\delta}$ із x = 0, 0.2 і 0.3. Високі значення константи γ_{ph} свідчать про часткову локалізацію e_g-електронів марганцю. Вперше доведено, що найбільший вплив на зміну функціональних властивостей, що відбувається при заміщенні марганцю залізом, пов'язано із максимальним значенням константи γ_{ph} = 7.7 для B = Fe (Рис. 3.16. b)).

(О. В. Пащенко, М. О. Лєдєньов, Г. Г. Левченко, ДонФТІ НАНУ; Д. Д. Татарчук, НТУУ «КПІ» МОНУ)

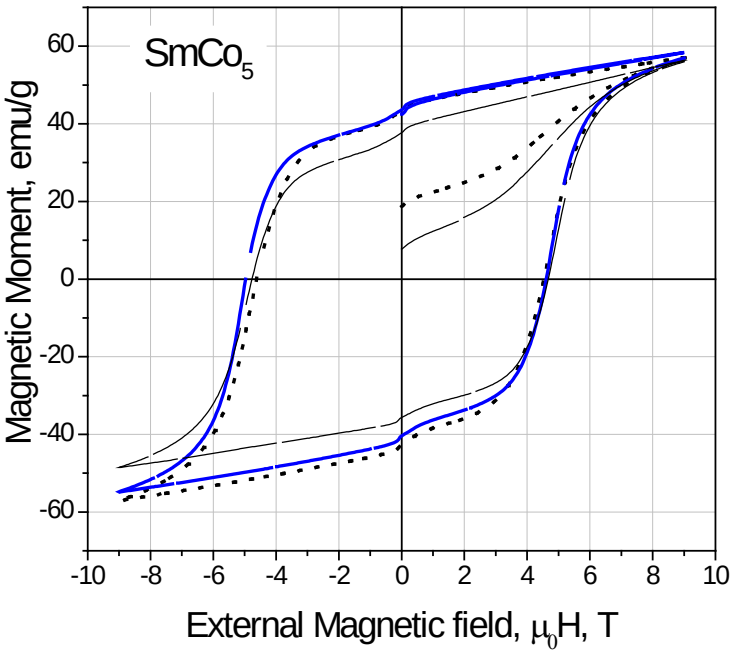
Нанокомпозитні магнітні матеріали, що складаються з магніто-жорсткої фази, яка забезпечує високу коерцитивну силу, і магніто-м'якої фази, що забезпечує високу намагніченість, можуть стати матеріалами для постійних магнітів наступного покоління для різноманітних пристроїв, що вимагають високої надійності, транспорту, систем генерування, розподілу та використання електроенергії.

Нами досліджено властивості спечених магнітів на основі $SmCo_5$ (Фізико-механічний інститут ім. Карпенка НАНУ, Львів), нано-структурованих в атмосфері водню, завдяки індукуванню воднем фазових перетворень в металічних сплавах. Комбінована обробка матеріалу включала початкове подрібнення мікроструктури шляхом механохімічного помелу до розміру зерна в декілька мікрон та термічну обробку сплаву (гідрування, диспропорціонування, десорбування, рекомбінування). В результаті розмір зерна частинок знизився до 35 – 100 нм. Експериментально встановлено, що сформувати анізотропію у сплавах можна шляхом диспропорціонування і рекомбінування за умов, що після диспропорціонування частково залишається основна фаза сплаву.

Для виявлення тенденцій в залежностях між умовами обробки сплаву $SmCo_5$ у водні і магнітними властивостями (коерцитивна сила, магнітна анізотропія) сплаву дослідили намагніченість матеріалів при різних напрямках магнітного поля в зразку та виміряли петлі гістерезису при різних орієнтаціях поля та при різних максимальних значеннях напруженості поля (1,5 Тл та 9 Тл). Полярні діаграми намагніченості дозволили охарактеризувати рівень анізотропії магнетиків. Петлі гістерезису одного із зразків показано на Рис. 3.17. Вони виявились близькими до прямокутних. Досягнуто рекордно високі значення коерцитивної сили (близько 5 Тл) та відносно високі величини залишкової намагніченості (більше за 43,5 emu/g).

На Рис. 3.17. показано магнітні гістерезисні петлі, одержані при намагнічуванні зразка кубічної форми із розміром ребра 2.2 мм і масою 56.72 мг. Три петлі, показані суцільною жирною, пунктирною та тонкою суцільною лініями, відповідають трьом орієнтаціям поля вздовж трьох ребер виготовленого кубічного зразка. Одержані значення намагніченості в максимальному полі лежать в інтервалі від 48 до 58 emu/g, а залишкова намагніченість складала величини від 36.1 до 43.6 emu/g. Зареєстровані напруженості коерцитивного поля складали від 4.6 до 4.95 Тл.

Рис. 3.17.



(В. В. Чабаненко, В. Ю. Таренков, ДонФТІ НАНУ; І. І. Булик, ФМІ НАНУ; A. Nabiałek, R. Puźniak, IP PAS, Poland)

Матриці сегментованих феромагнітних нанодротів є перспективним матеріалом для реалізації технологій тривимірної спінтроніки наступного покоління. Проте ефект взаємодії наночастинок у щільно упакованих тривимірних масивах досі залишається не вивченим, і більшість теоретичних методів дослідження таких структур базуються на наближенні невзаємодіючих частинок. Таке припущення очевидно не підходить до масивів сегментованих феромагнітних нанодротів, в яких комбінація міжсегментної та міждротовоої взаємодії приводить до утворення далекодіючих магнітних кореляцій. Для експериментального дослідження цієї проблеми в Інтитуті NIST (США) було використано унікальні можливості методу малокутового розсіяння поляризованих нейтронів (PASANS). Співробітники Інституту магнетизму НАН України виконали відповідні теоретичні розрахунки для визначення тривимірної картини магнітного упорядкування.

Було досліджено гексагональні масиви сегментованих магнітних нанодротів з структурою Fe_xGa_{1-x} /Cu та такими геометричними параметрами: діаметр сегментів 35 нм, відстань між нанодротами в гексагональній матриці 100 нм, товщини магнітного/немагнітного сегментів в першій серії зразків складали 12 нм / 5 нм, в другій – 46 нм / 20 нм. Було доведено, що конкуруючі взаємодії в таких структурах індукують складний далекодіючий магнітний порядок, що включає в себе антиферомагнітну впорядкованість та планарний феромагнетизм між нанодротами та фан-структуру в границях окремого сегментованого нанодроту. Було вивчено залежність магнітного впорядкування таких магнітних структур від зовнішнього магнітного поля та від магнітних і геометричних параметрів зразку. Результати експериментальних досліджень добре узгоджуються з теоретичними обчисленнями.

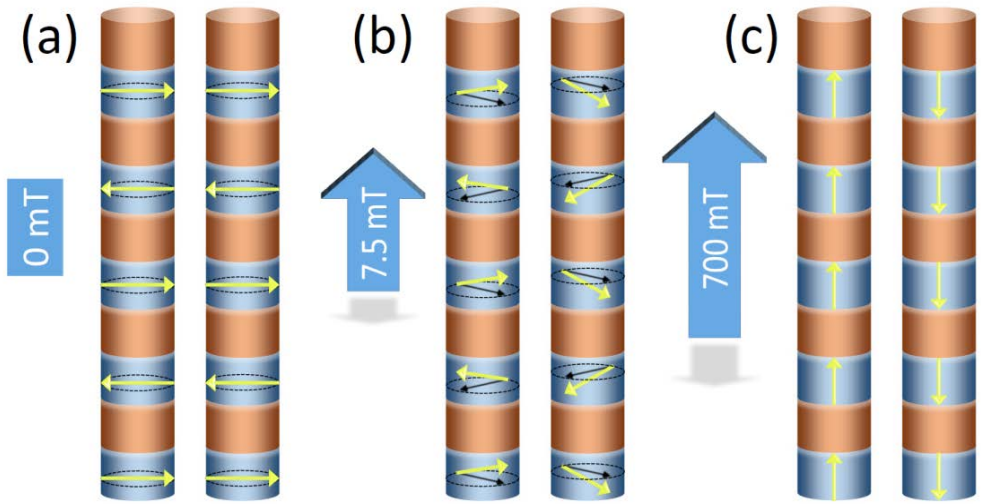


Рис. 3.18. Магнітна конфігурація при зовнішніх полях (a) 0 mT, (b) 7,5 mT, and (c) 700 mT, прикладених вздовж вісі нанодротів. Напрямок намагніченості в магнітних сегментах (Fe_xGa_{1-x}) позначено жовтими стрілками. При полі 7,5 mT показано антиферомагнітну міждротову впорядкованість вертикальних компонент намагніченості та феромагнітну площинних. При полі 700 mT встановлюється феромагнітний порядок в межах окремого дроту та антиферомагнітний між дротами.

(О. В. Тартаківська, ІМ НАНУ; A. J. Grutter, K. L. Krycka, J. A. Borchers, NIST Center for Neutron Research, United States; K. M. Reddy, Bethanie J. H. Stadler, University of Minnesota, United States; E. Ortega, A. Ponce, University of Texas at San Antonio, United States)

Пошук механізмів, що дозволяють ефективно керувати динамікою спінів є однією з головних цілей дослідницької діяльності в магноніці. Недавні експериментальні дослідження продемонстрували, що завдяки спін-орбітальній взаємодії існує можливість впливати статичним електричним полем, на динаміку намагніченості навіть у таких центросиметричних магнетиках як YIG ($Y_3Fe_5O_{12}$).

Нами, для геометрії Даймона-Ешбога, досліджено вплив зовнішнього електричного поля на розповсюдження спінових хвиль у тонкій феромагнітній пластині. Показано, що зовнішнє електричне поле призводить до зсуву мінімуму спектру спінових хвиль. Цей ефект визначається взаємодією типу Дзялошинського-Морія (ДМ) і наводиться в системі завдяки впливу зовнішнього електричного поля на спін-орбітальну взаємодію магнітних іонів. Величина зміщення лінійно залежить від прикладеного електричного поля і його знаку. Індукована електричним полем взаємодія ДМ зумовлює невзаємність характеристик спінових хвиль з протилежними хвилевими векторами. Продемонстровано, що довжину хвилі, групову швидкість і невзаємність спінової хвилі у хвилеводі можна ефективно змінювати зовнішнім електричним полем (см. JMMM, v.**474** (2019) p.9-13).

Таким чином, встановлена можливість контролю потоку енергії спінової хвилі у тонких феромагнітних плівках зовнішнім електричним полем. Ці результати відкривають новий важливий напрям у спіновій електроніці, а саме – можливість впливати зовнішнім електричним полем на характер розповсюдження спінових хвиль в пристроях магноніки.

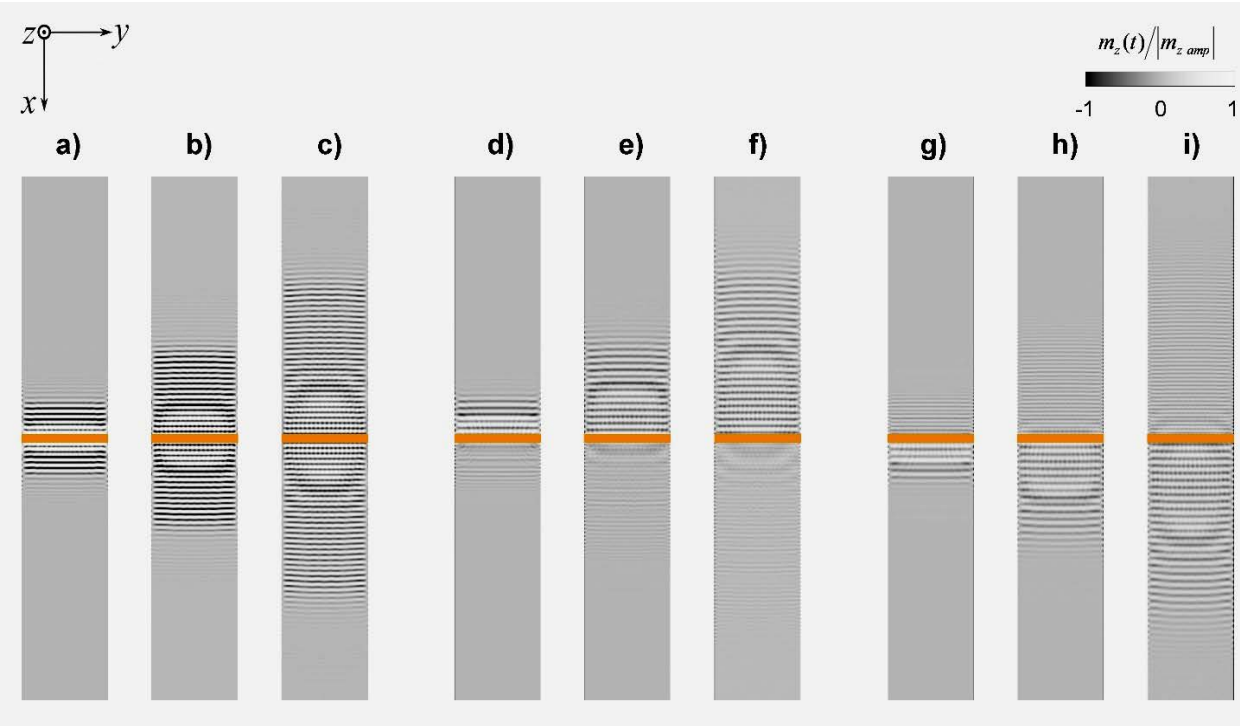


Рис. 3.19. Показані результати мікромагнітного моделювання еволюції у часі збудження намагніченості $m_z(t)$ (спінової хвилі) у плівці $Y_3Fe_5O_{12}$ товщиною d = 20 nm для інтервалів Δt після впливу зовнішнього магнітного поля на частоті 8,90 GHz (оранжева лінія – збуджуюча антена). E = 0: (a) Δt = 2 ns, (b) Δt = 5 ns, (c) Δt = 9 ns; E = 0,15V/nm: (d) Δt = 2 ns, (e) Δt = 5 ns, (f) Δt = 9 ns; E = –0,2V/nm: (g) Δt = 2 ns, (h) Δt = 5 ns, (i) Δt = 9 ns.

(В. М. Криворучко, А. С. Савченко, ДонФТІ НАНУ)

Раніше, (робота М. И.Кобец, К. Г.Дергачев, С. Л.Гнатченко и др., Антиферомагнитный резонанс в $Mn_2P_2S_6$, ФНТ, **35**, 1197 (2009)) завдяки цілеспрямованому експерименту з низькотемпературним загартуванням – швидким охолодженням до гелієвої температури – в квазідвовимірному антиферомагнетику $Mn_2P_2S_6$ з структурою типу «спінова зірка» були зафіксовані піки поглинання ВЧ поля в щілині магнонного спектру, що «випадали» (прямокутники на Рис. 3.20.a)) з залежності, отриманої при повільному охолодженні (суцільна лінія на Рис. 3.20.a)). Встановлено, що цей ефект пов’язаний з утворенням при швидкому охолодженні доменних границь, що розташовані перпендикулярно напрямку слабкого магнітного зв’язку. В межах дискретної моделі Гайзенберга і рівнянь Ландау-Ліфшиця проблему було розглянуто теоретично (А. С.Ковалев, Резонансные свойства доменных границ в низкоразмерных антиферромагнетиках, ФНТ, **44**, 91 (2018)). При цьому в якості матеріальних параметрів магнетика використано тільки експериментальні дані для внутрішньошарового J та міжшарового J_0 обміну а також для двох констант магнітної анізотропії β_1 і β_2. Теоретичні польові залежності частот резонансу (лінії C і C' на Рис. 3.20.b)) різної симетрії добре узгоджуються з експериментальними даними. Зсув частоти локальної моди від границі магнонного спектру дорівнює $\Delta\Omega \sim J_0/\beta$. Отримані результати можна розглядати як підтвердження наявності резонансних мод АФМ доменних границь.

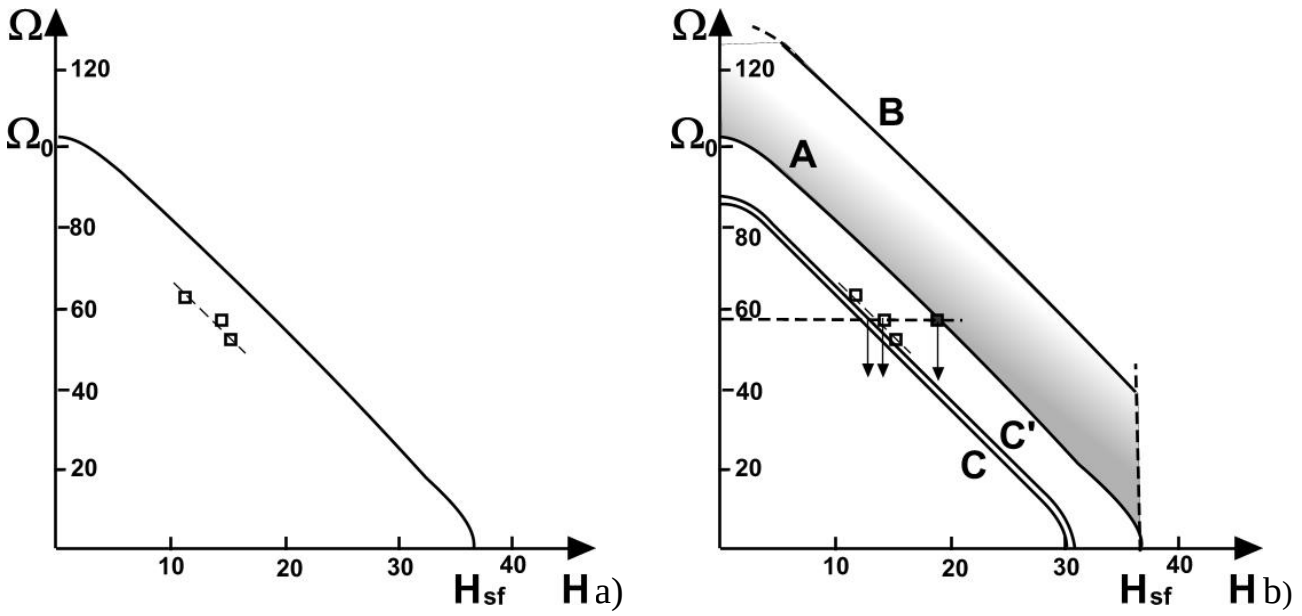


Рис. 3.20. Експериментальні (a) та теоретичні (b) польові залежності частоти АФМ резонансу доменних границь (C) і спінових хвиль (A-B) в $Mn_2P_2S_6$.

(О. С. Ковальов, ФТІНТ НАНУ)

Теоретично досліджено вплив магнітного поля на спектр збуджень спінових нанокластерів в анізотропних феромагнітних ланцюжках. Магнітні нанокластери, як групи спінів, протилежно орієнтованих до спінів матриці, були виявлені у квазіодновимірних ізінговських магнетиках завдяки ефекту резонансного поглинання ними НВЧ поля, який отримав назву спін-кластерного резонансу. Було теоретично передбачено їх існування і у гейзенбергівських квазіодновимірних анізотропних магнетиках, про що повинна була б свідчити наявність локальних піків поглинання при частотах, менших межі спектру спінових хвиль. Було точно розв'язано спектральну задачу для локалізованих коливань спінового нанокластера довільного розміру у анізотропному феромагнітному ланцюжку в рамках дискретної моделі Такено–Хомма, яка повністю враховує обмінну взаємодію між спінами, магнітну анізотропію та зовнішнє магнітне поле. Знайдено явні вирази для внутрішніх мод коливань нанокластерів та розраховано їхні частотні залежності від параметрів обміну та магнітного поля (Рис. 3.21.). Показано, що внутрішні моди спінових кластерів складаються з пар коливань, які локалізовані на границях кластера – двох мод, частоти яких спадають по параметру обміну до нуля, поки одна з них не стає модою нестійкості (лінії 1 і 2 на Рис. 3.21. а)), та двох мод протифазних коливань, частоти яких відщеплюються від краю суцільного спектра (лінії 8 і 9), – та всіх інших мод, чиї частоти зростають з параметром обміну, поки не відбувається їх гібридизація з високочастотними модами (лінії 3–7). Залежність частот від магнітного поля демонструє біфуркаційний характер появи нових внутрішніх мод (лінії 3,4,5 на Рис. 3.21. б)) із суцільного спектру (лінія 6) та подальшу їх локалізацію. Отримані результати можуть бути використані для пояснення піків локальних частот, що лежать нижче частоти однорідного резонансу в квазіодновимірних феромагнетиках зі спіновими

кластерами, та ефектів локалізації збуджень в магнітних метаматеріалах, які створені із молекулярних магнітних нанокластерів.

а) б)

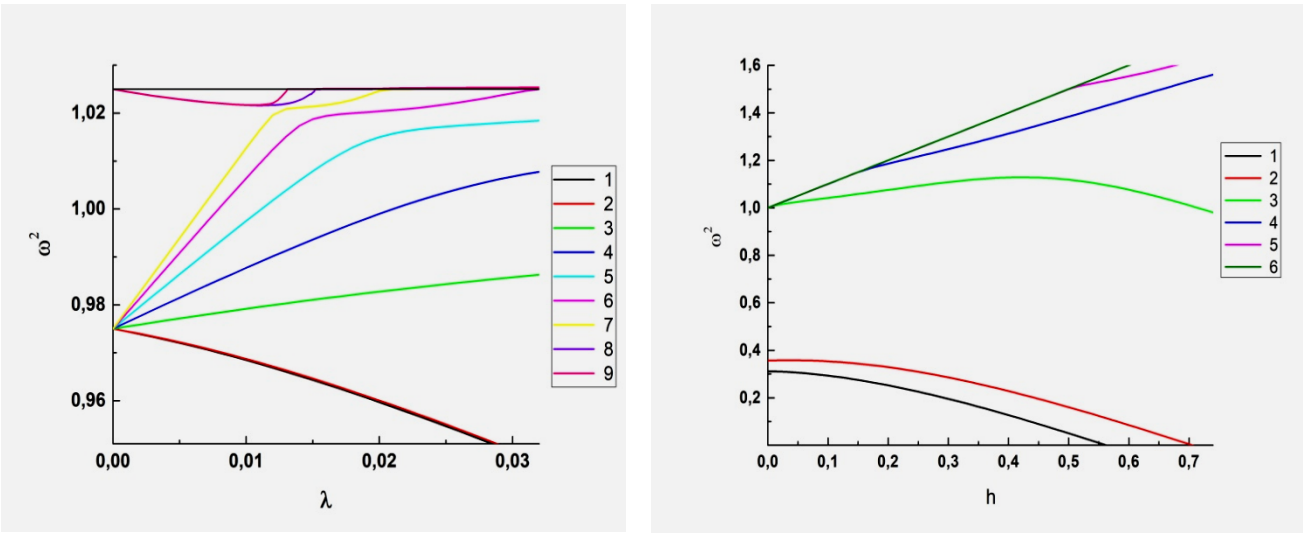


Рис. 3.21.:а) Квадрати частот локалізованих коливань нанокластера з числом спінів 7 як функції параметру $\lambda = J / A$ – відношення констант обмінної взаємодії та легковісної анізотропії при значенні магнітного поля $H = 0{,}025A$. (б) Квадрати частот локалізованих коливань нанокластера з числом спінів 4 як функції параметру $h = H / A$ при значенні параметру $\lambda = 0{,}5$.

(М. М. Богдан, О. В. Чаркіна, В. І. Бєлан, ФТІНТ НАНУ)

Розраховано ентропію негейзенбергівського феромагнетика з сильними обмінними взаємодіями четвертого порядку по спіну в залежності від температури магнетика. Виявлено аномально велику зміну ентропії при індукованому магнітним полем фазовому переході першого роду поблизу точки Кюрі. Завдяки сильній негейзенбергівській взаємодії величина температури трикритичної точки може бути більшою температури стійкості парамагнітної фази (PM). Якщо різниця між величинами цих температур невелика, то фазовий перехід першого роду до феромагнітної фази (FM) може відбуватися у невеликому і доступному в експерименті магнітному полі. Проаналізовано польову поведінку намагніченості та знайдено температурну залежність величини поля магнітного фазового переходу між феромагнітним та парамагнітним станами, побудовано *H–T* фазову діаграму.

Встановлено, що величина стрибка ентропії при індукованому магнітним полем фазовому переході першого роду у негейзенбергівському феромагнетику може бути майже на порядок більшою порівняно з випадком зміни ентропії у точці Кюрі для гейзенбергівського феромагнетика. Показано також, що представлення модельної вільної енергії потенціалом Ландау 6-го ступеня лише якісно описує поведінку ентропії при фазовому переході першого роду між парамагнітною та феромагнітною фазами, що обумовлено не малою зміною величини параметру порядку у точці фазового переходу.

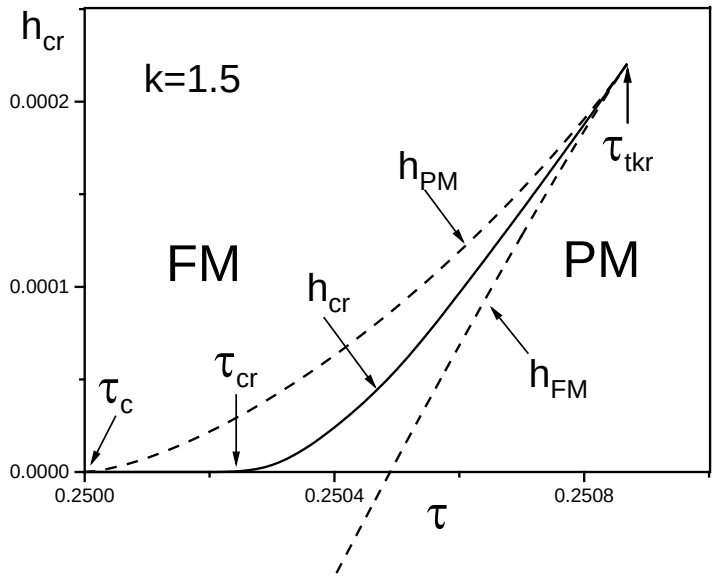


Рис. 3.22.

На Рис. 3.22. наведено фазову діаграму феромагнетика, для якого відношення k константи парного (білінійного) обміну до константи чотириспінового обміну становить 1.5. Температура та магнітне поле нормовані на величини білінійного міжспінового обміну та гейзенбергівського обмінного поля, відповідно. Лінія фазового переходу першого роду $h_{PM}(\tau)$ між парамагнітною та феромагнітною фазами позначена суцільною лінією, а границі стійкості фаз – пунктирними кривими, верхня з якої $h_{FM}(\tau)$ є границею стійкості парамагнітної фази, а нижня $h_{cr}(\tau)$ – межею стійкості феромагнітної фази. Точка Кюрі τ_c знаходиться зліва від трикритичної точки τ_{tkr}, а їх різниця припускається досить малою. Опубліковано у ФНТ 44, 424 (2018).

(Г. Ю. Лаванов, НАУ МОН; В. М. Калита, ІФ НАНУ; В.М. Локтєв, ІТФ НАНУ)

В останні роки велику увагу дослідників звертають на себе магнітні системи з фрустрацією обмінних взаємодій. Причина такої уваги полягає в тому, що квантові спіни в в системах залишаються невпорядкованими, незважаючи на велику взаємодію між ними. Відсутність впорядкування зумовлена фрустрацією спін-спінових зв'язків. Спінові фрустрації руйнують далекий магнітний порядок. Однак в типових фрустрованих магнітних системах близькі кореляції є дуже сильні. Часто такі магнетики за відсутність далекого магнітного впорядкування та наявність близьких кореляцій між спінами називають колективними парамагнетиками.

Однією з найбільш відомих фрустрованих систем є так звана система спінового льоду. Типовим представником класу спінових льодів є титанати рідкісноземельних металів з формулою $Re_2Ti_2O_7$, де Re – рідкісноземельний іон, в яких стан спінового льоду реалізується при низьких температурах. Нещодавно групою експериментаторів з Технічного університету Дрездена були виміряні низькотемпературні магнетострикційні характеристики монокристалу $Yb_2Ti_2O_7$. Нами було побудовано теорію магнетострикції для випадків класичного та

квантового спінових льодів. Для класичного спінового льоду характерна взаємодія між магнітними моментами ізинговського типу, тоді як для квантового – гейзенбергівська взаємодія. Згідно з нашими теоретичними розрахунками тип міжспінової взаємодії визначає також характеристики магнетострикції у системі. Проведений аналіз теоретичних результатів та даних експериментів показав (см. Рис. 3.23.), що температурна та магнетопольова залежність магнетострикції в $Yb_2Ti_2O_7$ більш подібна до залежностей в квантових спінових льодах. Таким чином, можна зробити висновок, що результати спільних експериментальних і теоретичних досліджень фрустрованого магнетика $Yb_2T_{i2}O_7$ показали, що цей кристал належить до класу квантових спінових льодів (M. Doerr, T. Stotter, M. Rotter and A.A. Zvyagin, J. Magn. Magn. Mater. 49, 378-384 (2018)).

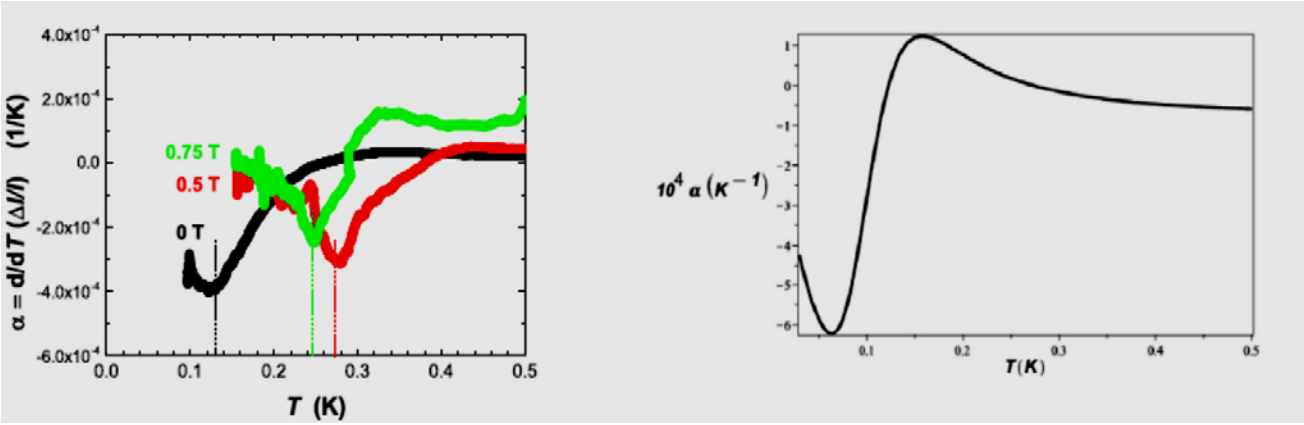


Рис. 3.23. Температурна залежність коефіцієнта лінійного розширення α при магнетострикції кристала $Yb_2Ti_2O_7$. Ліворуч – дані експерименту при різних значеннях зовнішнього магнітного поля, паралельного [111] осі кристалу (в Теслах). Праворуч – результати теоретичного розрахунку.

(А.А. Звягін, ФТІНТ НАНУ; разом з фізиками з Технічного Університету Дрездена, Німеччина)

В даний час інтенсивно досліджуються скірміони, топологічно нетривіальні спінові структури в тонких магнітних плівках, (см. Рис. 3.24.а)). Скірміони можуть бути досить малими (десятки нанометрів), їх рухом легко керувати за допомогою електричних струмів. Їх можна застосовувати для створення нових систем зберігання і обробки інформації. По суті, ці системи схожі на системи пам'яті на циліндричних магнітних доменах, але в масштабі нанометрів, що забезпечує значно більшу щільність запису, економічність і швидкодію. Основна фізична проблема полягає в стабілізації скірміонів щодо колапсу. Для її розв’язання пропонувалося використовувати так звані кіральні магнетики, що не мають центру інверсії.

Ми показали [A. V. Bezvershenko, A. K. Kolezhuk, and B. A. Ivanov, Stabilization of magnetic skyrmions by RKKY interactions, Phys. Rev. B 97, 054 408 (2018)], що скірміони стабільні для тонкої плівки звичайного (який не має кіральних властивостей) магнетика, що знаходиться в контакті з плівкою немагнітного металу або з шаром графена. Джерелом стабілізації служить нелокальна взаємодія Рудермана-Кіттеля-Касуі-Іосіди (РККІ) спінів

магнетика через електрони провідності немагнітної підкладки. Була визначена енергія скірміону як функція його радіуса R з врахуванням енергії стандартної обмінної взаємодії, взаємодії РККІ і магнітної анізотропії. Показано, що якщо подвоєний імпульс Фермі в підкладці є близьким до довжини одного з векторів оберненої гратки $\mathbf{g}$, тобто при $k_F a = \sqrt{n^2 + m^2}$, де n і m – цілі числа, a – міжатомна відстань, енергія має мінімум при значенні радіуса порядку десятків нанометрів. Для підкладки у вигляді одношарового графена стабілізація скірміону досягається в двох найбільш симетричних випадках розташування магнітних атомів – над атомами вуглецю, або ж в центрі вуглецевих шестикутників.

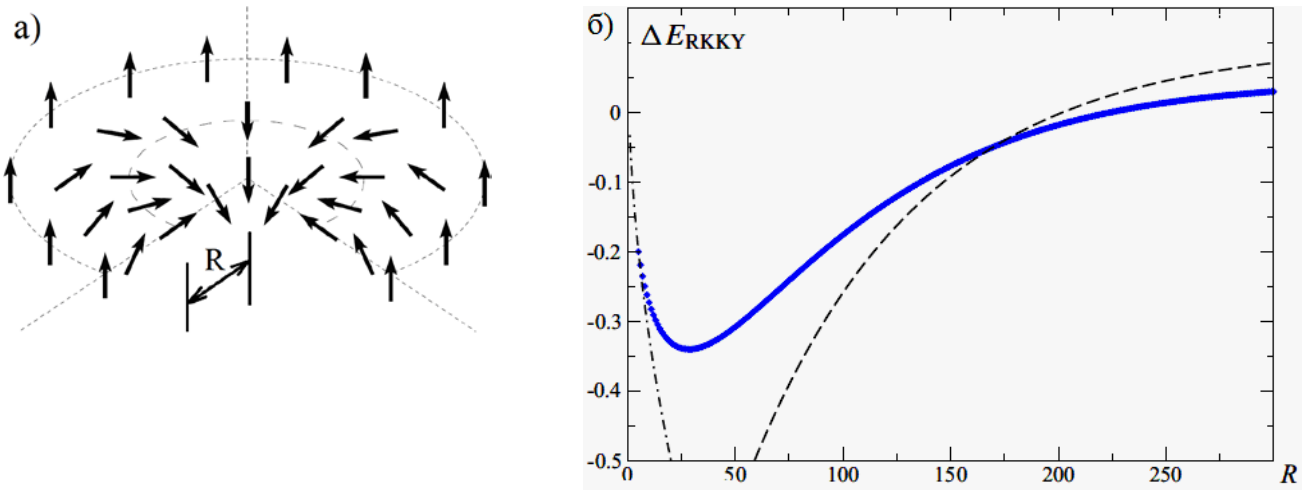


Рис. 3.24.: а) Схематично показані орієнтації спінів в скірміоні; б) Енергія скірміону (в одиницях обмінного інтеграла РККІ) як функція його радіуса (в одиницях постійної гратки) для випадку підкладки з нормального металу.

(Б. А. Іванов, ІМаг НАНУ і МОНУ; Алла В. Безвершенко і Олексій К. Колежук, Інститут високих технологій, КДУ)

Магнетоелектричні матеріали та спінові фероелектрики, які можуть одночасно виявляти магнітний та електричний порядок, особливо важливі з огляду на можливе застосування у різних електронних та спінтронних пристроях. Наразі відомо декілька фізичних механізмів, які пояснюють сильний зв'язок локальних магнітних моментів з електричною поляризацією матеріалів.

Основною ідеєю роботи було дослідження впливу деформації на фізичні властивості магнетоелектрика. Для цього було вибрано спін-1/2 *XY* модель магнетоелектрика на ланцюжку із зиґзаґ геометрією в магнітному $h=(h_z,0,0)$ та електричному $\mathbf{E}=(E_x,E_y,0)$ полях з механізмом Кацури-Наґаоси-Балацького, який пов'язує електричну поляризованість зв'язку з магнітним потоком через нього (см. Рис. 3.25.). З допомогою унітарного перетворення задача зводиться до димеризованого спін-1/2 *XY* прямого ланцюжка і розв'язується точно, використовуючи одновимірне перетворення Йордана-Віґнера. Було проаналізовано фазову діаграму системи в основному стані, та встановлено, що електричне поле руйнує магнітний порядок, а також індукує щілину у спектрі збуджень фази квантової спінової рідини. У випадку відсутнього

електричного поля ми приходимо до звичайного (прямого) *XY* ланцюжка, в якому з ростом магнітного поля має місце один квантовий фазовий перехід з фази безщілинної спінової рідини у фазу з насиченою намагніченістю. Такий ланцюжок, як відомо, демонструє підсилений магнетокалоричний ефект поблизу поля насичення в основному стані.

Електричне поле, прикладене в *xy*-площині непаралельно до осей *x* та *y*, призводить до появи двох гілок у спектр магнонних збуджень із щілиною між ними. У результаті цього в системі в магнітному полі має місце каскад квантових фазових переходів магнетоневпорядкована фаза → спінова рідина → фаза з насиченою намагніченістю. Це проявляється у магнетокалоричному ефекті: ізоентропи мають різкі нахили поблизу обох критичних магнітних полів (см. Рис. 3.26.). Таким чином зовнішнє електричне поле створює можливість керувати магнетокалоричним ефектом. Результати опубліковано в статті (O. Baran, V. Ohanyan, T. Verkholyak, Spin-1/2 *XY* chain magnetoelectric: Effect of zigzag geometry. *Phys. Rev. B*, 2018, vol. 98, p. 064415).

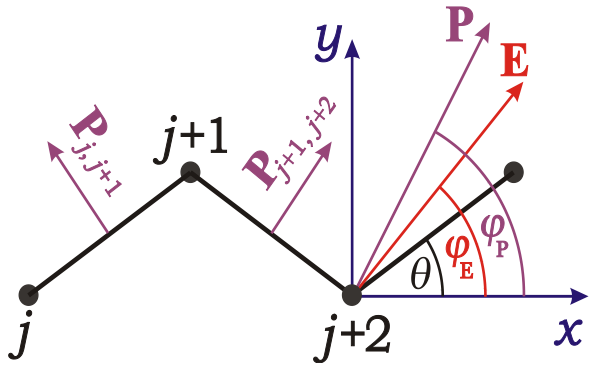


Рис. 3.25. Зиґзаґ ланцюжок, де приведені осі координат, вектори електричного поля $\mathbf{E}=(E_x,E_y,0)$ та електричної поляризації ланцюжка $\mathbf{P}=(P_x,P_y,0)$, а також вектори поляризації $\mathbf{P}_{j,j+1}$, $\mathbf{P}_{j+1,j+2}$ двох сусідніх зв'язків.

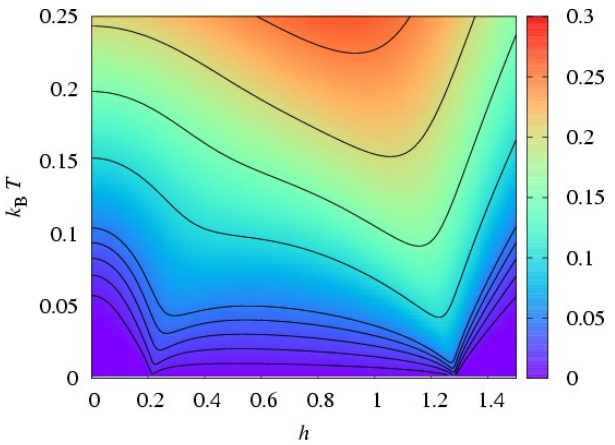


Рис. 3.26. Градієнтні зображення ентропії як функції магнітного поля та температури для зиґзаґ ланцюжка при $\theta=\pi/8$, $\varphi_E=\pi/16$ для $|\mathbf{E}|=2$. Лінії з постійною ентропією відповідають таким її значенням: S/k_B=0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25.

(О. Р. Баран, ІФКС НАНУ; Т. М. Верхоляк, ІФКС НАНУ)

Граничні умови для параметрів порядку на інтерфейсі між феромагнітними (FM) і антиферомагнітними (AFM) матеріалами були отримані у підході суцільного середовища. Три параметри порядку розглядаються всередині інтерфейсу: намагніченість M феромагнетика та намагніченості магнітних підграток M1 і M2 антиферомагнетика. Користуючись граничними умовами, розраховано коефіцієнти відбиття і проходження спінової хвилі при її розповсюдженні в системі ФМ/АФМ.

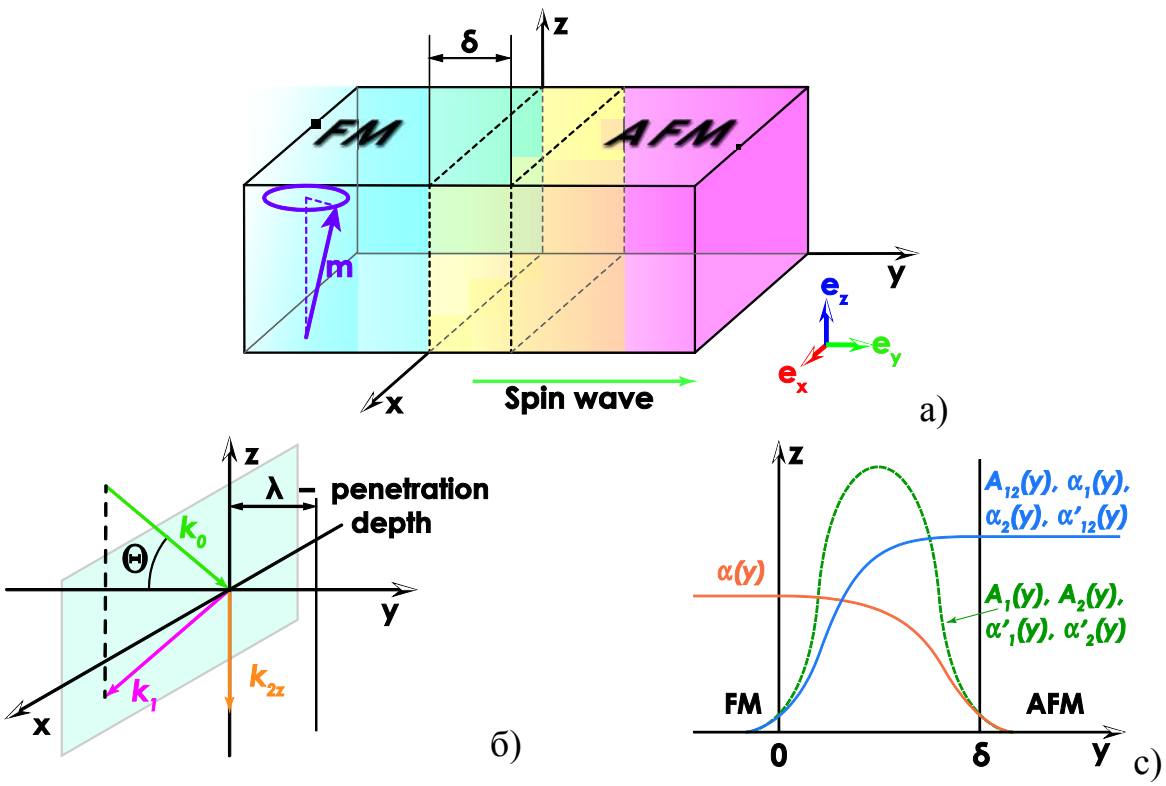


Рис. 3.27. а) З допомогою феромагнітного шару створюються спін-хвильові збудження в антиферомагнітному шарі; б) падаюча спінова хвиля на інтерфейс; с) типічна координатна залежність обмінного зв'язку в інтерфейсі між шарами.

(О. Бусел, О. Горобець, Ю. Горобець)

Дослідження магнетоелектричних явищ завжди викликало інтерес науковців можливостями «перехресного» керування магнітними та електричними властивостями, відповідно, електричним та магнітним полями. Однак довгий час ці досліджувані ефекти були досить слабкі. Тільки на початку нашого століття у сегнетоелектрику – антиферомагнетику $TbMnO_3$ з модульованим спіновим упорядкуванням було спостережено величезний магнетоелектричний ефект. Це значно підсилило інтерес до сегнетомагнетиків з модульованою спіновою структурою.

Проведено феноменологічний аналіз енергетичного спектру електромагнонних збуджень, які можуть виникати у сегнетомагнетику $TbMnO_3$ після поляризаційного флопу, тобто після переорієнтації магнітним полем електричної поляризації від P //z до P //x, завдяки дії механізму Дзялошинського – Морія. Електромагнони, тобто гібридні спін–фононні збудження, які існують лише у сегнетомагнітних сполуках, можуть виникати під дією змінних полів – як електричного, так і магнітного. Розглянуто збудження електромагнонів електромагнітними хвилями у сегнетомагнетику $TbMnO_3$ для напрямків змінного електричного поля вздовж та поперек спонтанної електричної поляризації P_x. Доведено, що при напрямку електричного поля вздовж спонтанної поляризації низькочастотні електромагнони терагерцевого діапазону мають дві добре визначені частоти, що залежать від температури. При напрямку електричного поля поперек поляризації механізм

Дзялошинського – Морія не призводить до збудження низькочастотних електромагнонів, що погоджується з результатами проведених досліджень спектрів Раманового розсіювання світла.

(І. Є. Чупис, ФТІНТ НАНУ)

Секція «Електронні властивості твердих тіл»

Вейлівські напівметали (ВН) створюють основу для вивчення топологічної надпровідності і реалізації на їх основі т.з. майоранівських ферміонів, які є базою для відмовостійких квантових обчислень і квантового компьютера. Проте, відомі на даний час ВН мають надто низьку критичну температуру T_c~0.1К. В проведених дослідженнях $MoTe_2$ за допомогою мікроконтактів (МК) виявлено зростання T_c до 5К, тобто більше ніж на по-рядок. За допомогою виміру андреєвських спектрів «м'яких» контактів, які чутливі саме до поверхневих властивостей, продемонст-ровано, що «високотемпературний» надпровідний стан у масиві та на поверхні має різну природу. Останній демонструє безщілинний надпровідний стан (см. Рис. 4.1.), що очікується для поверхневої топологічної надпровідності. Таким чином показано, що $MoTe_2$ є платформою для дослідження топологічної надпровідності і може бути привабливим для потенційних застосувань в надпровідникових приладах та для квантових обчислень.

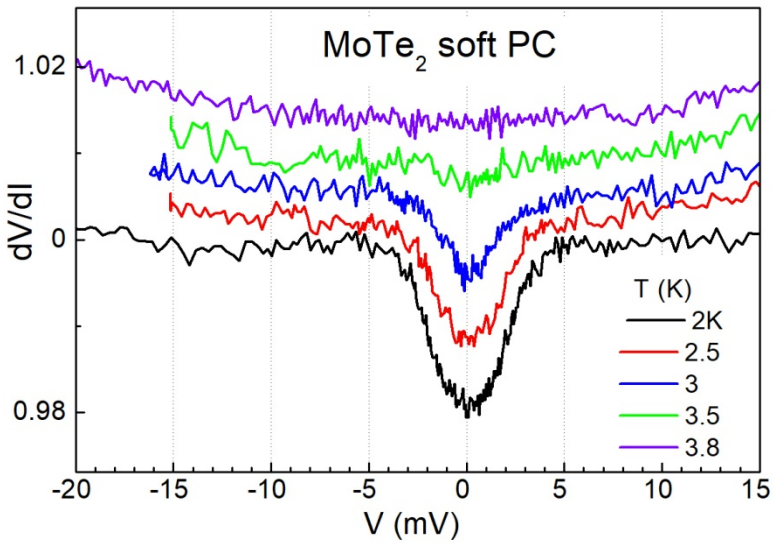


Рис. 4.1.

(Ю. Г. Найдюк, О. Є. Квітницька, Д. Л.Башлаков, ФТІНТ НАНУ)

BiMn тверді розчини цікаві тим, що мають високі значення коерцитивної сили при кімнатній температурі і зі збільшенням температури вона зростає до значень, що перевищують коерцитивну силу в постійних магнітах на основі рідкоземельних елементів. У той же час звертає на себе увагу той факт, що, незважаючи на величезну кількість робіт присвячених вивченню магнітних властивостей BiMn сплавів, дослідження поведінки електричного транспорту в них майже не проводилися. Нашою групою проведено детальне дослідження структурних, магнітних та магніторезистивних властивостей текстурованого полікристалу $Mn_{3.69}Bi_{95.69}Fe_{0.69}$ в інтервалі температур 5 – 300 К та полях до 140 кЕ.

Встановлено, що досліджуваний твердий розчин містить дві фази: вісмутовую матрицю з включеннями αBiMn і має текстуру. Показано, що в магнітному полі температурні залежності електроопору поводяться немонотонним чином, а магнітоопір є позитивним у всій області температур і досягає максимальної величини 3033% в магнітному полі 140 кЕ для орієнтації, коли магнітне поле перпендикулярне транспортному електричному струму. Виявлено сильну анізотропію електроопору при вимірюваннях в магнітному полі. Передбачається, що аномальна поведінка температурних залежностей електроопору в $Bi_{95.69}Mn_{3.69}Fe_{0.62}$ в порівнянні з чистим вісмутом пов'язана зі зміною ступеня перекриття між електронними і дірковими ділянками поверхні Фермі під впливом магнетизму αBiMn фази, а також величини і напрямку зовнішнього магнітного поля.

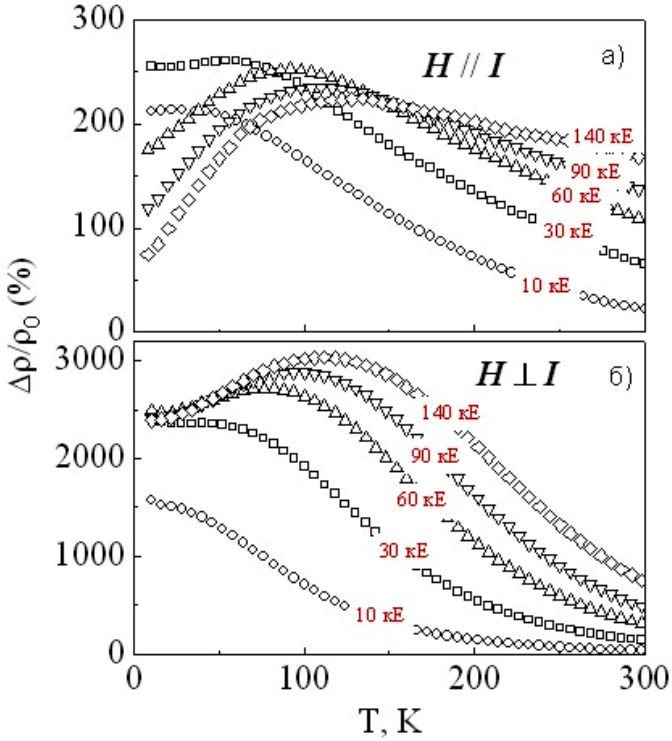


Рис. 4.2.

(А. В. Терехов, А. Л. Соловйов, О. Н. Блудов, А. І. Прохватілов, В. В. Мелешко, І. В. Золочевський, Е. В. Христенко, ФТІНТ НАНУ, А. Д. Шевченко, О. М. Івасишин, ІМФ НАНУ, З. Д. Ковалюк, ІПМ НАНУ, К. Рогацкій, Я. Цвік, А. Лось, INTiBS PAN)

Досліджено латеральний біполярний електричний транспорт в багатоперіодних $n\text{-}In_{0.08}Ga^{0.92}As/GaAs$ гетероструктурах з тунельно-зв'язаними подвійними квантовими ямами з різною рухливістю носіїв при температурах 4.2 – 160 K. Наявність двох типів носіїв заряду – електронів і дірок – ідентифікується через спостереження міжзонної електролюмінесценції (ЕЛ). Виявлено, що вольт-амперна характеристика має складну нелінійну форму, а зміни струму супроводжуються модифікацією інтенсивності та спектру ЕЛ. Ми спостерігали коливання струму та інтенсивності ЕЛ з частотою десятків МГц, які виникають при електричних полях, значно нижчих порогового поля необхідного для нестабільності Ганна. Коливання інтенсивності ЕЛ виникають у протифазі до коливань

струму. Електричні та оптичні вимірювання показують, що неосновні носії (дірки) постачаються з анодного контакту зразка. Просторове розділення електронів і дірок у структурах з подвійними квантовими ямами забезпечує аномально великі часи електрон-діркової рекомбінації та довжини дрейфу дірок. Досліджена поведінка струму та ЕЛ може бути інтерпретована як сукупний ефект просторового розділення електронів і дірок та динаміки їх переходів між нелегованими та легованими квантовими ямами. На наш погляд, вивчені ефекти просторового переносу при високопольовому біполярному електричному транспорті, зокрема, високоінтенсивна міжзонна електролюмінесценція з макроскопічно великих площ може бути корисною для великої кількості оптоелектричних застосувань.

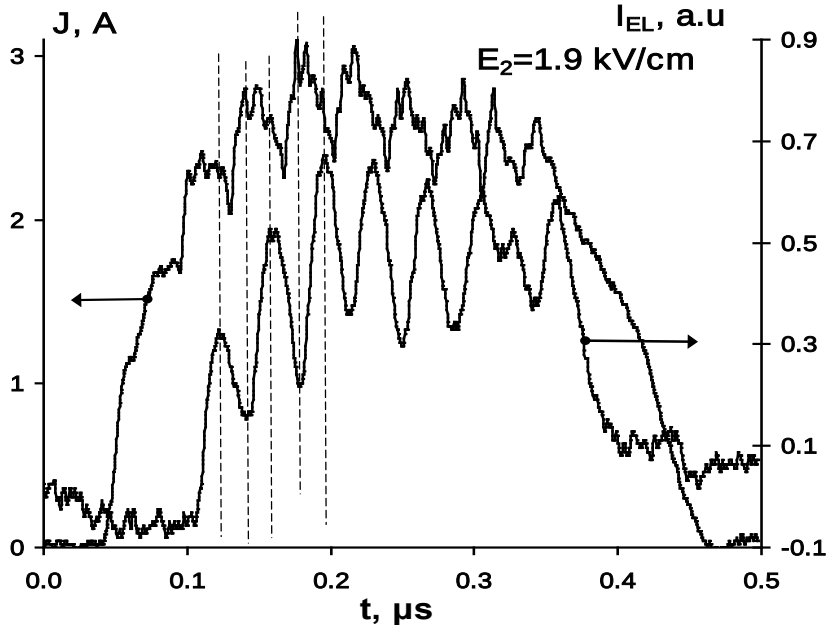


Рис. 4.2. Форма імпульсів електролюмінесценції і току для електричного поля E= 1.9 kV/cm

(М. М. Винославський, П. А Більовський, В. М. Порошин, О. С. Пилипчук. ІФ НАНУ; В. О. Кочелап ІФН НАНУ)

На основі *ab initio* розрахунків повністю релятивістським лінійним методом МТ-орбіталей отримані результати вивчення електронних і магнітних властивостей гетероструктур-мульти-фероїків, які складаються з феромагнітного складного перовскітного оксиду Sr_2CrReO_6 (SCRO) і сегнетоелектрика $BaTiO_3$ (BTO). Зокрема, встановлено, що як моношарова (1×1×1) гетероструктура SCRO/BTO, так і її модифікації (2×2×1) і (1×1×2) є напівметалічними феромагнетиками (їх зонний спектр має щілину на рівні Фермі для одного напрямку спіну і перетинає рівень Фермі для іншого). Величини спінового та орбітального магнітного моментів як на Cr, так і на Re в гетероструктурах SCRO/BTO збільшуються за абсолютними значеннями у порівнянні з SCRO, але це збільшення не є значним. Рентгенівські спектри поглинання атомів Ba, Ti, Cr і Re та спектри рентгенівського магнітного циркулярного дихроїзму (РМЦД; різниця спектрів поглинання ліво- та правополяризованого рентгенівського випромінювання, яка пов’язана з наявністю локальних магнітних моментів)

атомів Cr і Re майже не змінюються в гетероструктурах SCRO/BTO у порівнянні з BTO і SCRO. В гетероструктурі SCRO/BTO на атомах Ba і Ti з'являються невеликі магнітні моменти, які зумовлюють, зокрема, появу на цих атомах незначного РМЦД. Показано, що енергія магнітної кристалічної анізотропії в гетероструктурі $[SCRO/BTO]_{1\times1\times2}$ спадає майже у 2 рази у порівнянні з $[SCRO/BTO]_{1\times1\times1}$.

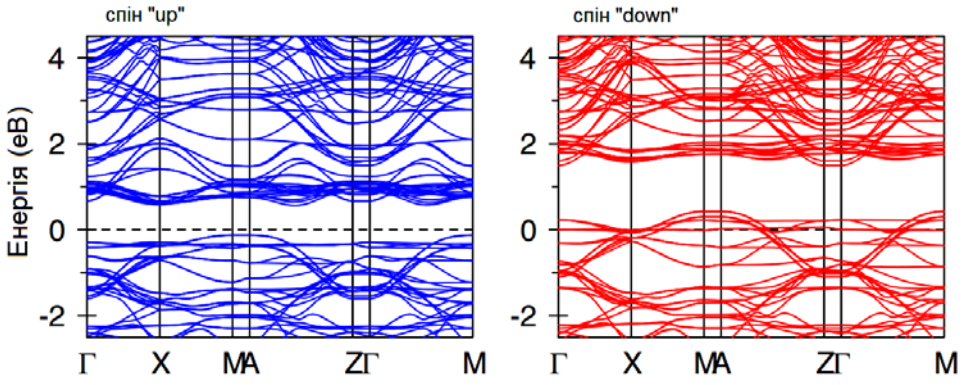


Рис. 4.3.

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

Відомо, що іони Co^{3+} з електронною конфігурацією $3d^6$ в кобальтитах $RCoO_3$, які мають перовскитоподібну кристалічну структуру, можуть існувати у трьох різних спінових станах, що відповідають низькому (LS, S=0), проміжному (IS, S=1) і високому (HS, S=2) значенням спіну (см. Рис. 4.4. ліворуч). Енергії цих станів визначаються конкуренцією між розщепленням іонних енергетичних рівнів кристалічним полем на t_{2g} і e_g стани та внутрішньоатомною обмінною взаємодією Хунда. В результаті стани іонів Co^{3+} з різним спіном мають порівняно близькі значення енергії, а їх відносне положення виявляються дуже чутливими до таких факторів, як температура, тиск і магнітне поле. Ці фактори можуть генерувати різні спінові кросовери і забезпечують спостережувану своєрідну поведінку та різноманітність фізичних властивостей $RCoO_3$. Найбільш виразно спінові кросовери проявляються в магнетизмі кобальтита $LaCoO_3$, де іон La не має магнітного моменту, і магнітна сприйнятливість цілком визначається індукованим температурою переходом електронів іона кобальту з низького LS до більш високого IS спінового стану.

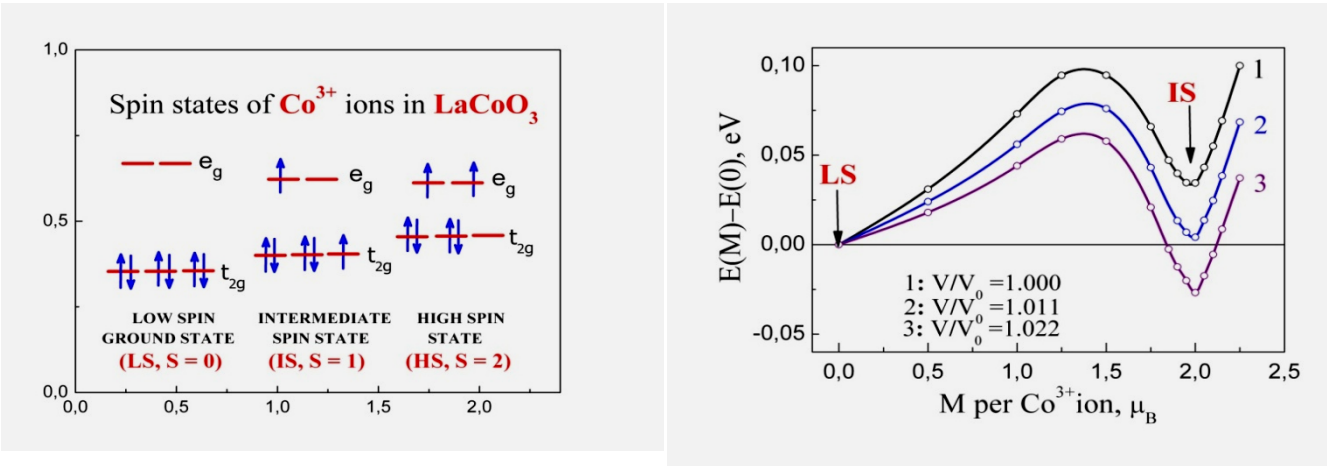


Рис. 4.4. Спінові стани іонів Co^{3+} (ліворуч) і розрахована залежність повної енергії на іон кобальту від його магнітного моменту для різних значень об'єму (праворуч).

В роботі вперше експериментально досліджений вплив всебічного тиску на магнітну сприйнятливість сполуки $LaCoO_3$ та теоретично пояснені механізми реалізації спін-кросоверних процесів. Розраховані методом фіксованого спінового моменту різниця енергій LS і IS станів та її сильна залежність від об'єму (см. Рис. 4.4. праворуч) узгоджуються з результатами аналізу експериментальної залежності ефектів тиску в сприйнятливості від температури. Визначена в $LaCoO_3$ аномальна об'ємна залежність енергії збудженого спінового стану свідчить про значний внесок в явище спін-кросоверу варіацій міжатомних відстаней під впливом фізичного тиску, термічного розширення, а також заміщення R елементів (хімічний тиск), що визначає значну об'ємну залежність прояву явища спін-кросоверу в магнітних, транспортних і структурних властивостях споріднених сполук $RCoO_3$.

(А. С. Панфілов, Г. Є. Гречнєв, І. П. Кобзар, А. О. Легенька, В. О. Пащенко, ФТІНТ НАНУ)

Дослідженням чисельними методами впливу на електронну структуру графенового шару одночасної дії перпендикулярного зовнішнього магнітного поля, одновісного розтягання та невпорядкованих дефектів було виявлено особливості на кривій густини електронних станів в околі так званих енергетичних рівнів Ландау. З'ясовано, що при розтяганні графенового шару вздовж будь-якого напрямку (нееквідистантні) рівні Ландау зміщуються до нульового рівня (незміщеного за будь-яких значень відносної деформації). Одночасний вплив перпендикулярного магнітного поля й одновісного розтягання графенового шару вздовж «зиґзаґового» напрямку сприяє наявності в його енергетичному спектрі забороненої зони: щілина стає виразнішою та навіть ширшою за утворену лише завдяки «зиґзаґовому» розтяганню.

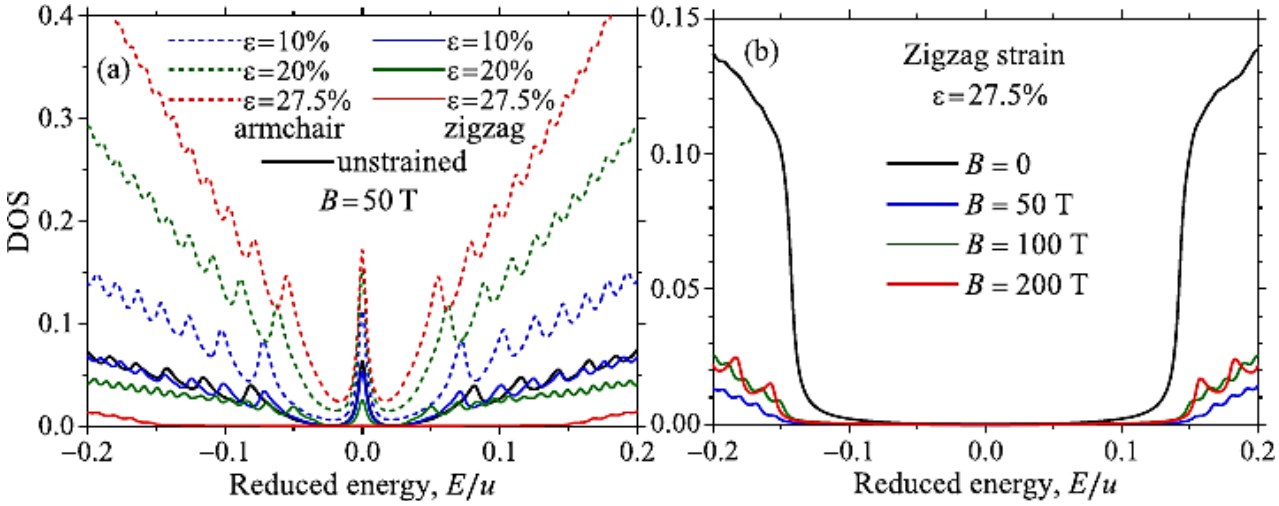


Рис. 4.5. Густина електронних станів для графенового шару, підданого діям зовнішнього магнітного та деформаційного полів: за фіксованого магнетного поля індукцією у 50 Т та різних відносних («крісельних» або «зиґзаґових») розтягань ($0 < \varepsilon < 27{,}5\%$, зліва); за фіксованої «зиґзаґової» деформації $\varepsilon = 27{,}5\%$ та різних значень індукції магнітного поля ($0 < B < 200$ Т, справа)

З'ясовано, що наявність точкових або лінійних дефектів у графеновому шарі понижує піки Ландау, розмиває їх і може навіть повністю пригнітити, залежно від вмісту дефектів, їхньої розсіювальної «потужности» й ефективного радіуса дії.

(Т. М. Радченко, В. А. Татаренко, ІМФ НАНУ у співпраці зі співробітниками КиївНУ МОНУ)

Для усунення протиріч, виявлених у сучасній науковій літературі, щодо впливу різних деформацій на електронні та транспортні властивості графенового шару, зокрема на утворення забороненої зони в його електронному енергетичному спектрі, проведено чисельні розрахунки кривих густини електронних станів для великого сімейства комбінацій деформацій розтяганням і зсувом. Встановлено, що неруйнівні деформації зсувом можуть спричиняти щілину шириною до 3 еВ, а комбіновані деформації (зсувом і розтяганням) — аж до 6 еВ. Такі значення енергетичної щілини в графеновій електронній зонній структурі істотно перевищують відповідні значення як для силіційових матеріалів, так і для інших матеріалів мікро- та наноелектроніки. Чисельно розраховані діаграми заборонених зон було порівняно з іншими розрахованими аналітично чи то чисельно з перших принципів результатами і було з'ясовано можливі причини того, що у деяких експериментальних міряннях на деформованих полікристалічних графенових зразках заборонена зона взагалі не спостерігалася; запропоновано способи усунення цієї «проблеми».

(Т. М. Радченко, В. А. Татаренко, ІМФ НАНУ у співпраці зі співробітниками КиївНУ МОНУ)

В межах рівняння Дірака і димерної моделі з розподілом Бернуллі. доведено, що при певних співвідношеннях маси частинки і амплітуди потенціалу реалізується супердифузійний режим руху. У разі ненульової маси існує єдина точка, в якій показник Ляпунова стає нулем. Для димерної моделі «випадкових мас» доведено відсутність локалізованих станів.

Вивчено балістичний транспорт у каналі, що складається із двох шарів, припускаючи, що на інтерфейсі між ними здійснюється негативне переломлення траєкторій часток, що рухаються по каналу. Показано, що у квазікласичному наближенні межа із негативним переломленням грає у балістичному транспорті роль розсіювання назад і тому може суттєво впливати на транспорт через довгі та вузькі канали навіть у випадку досконалого інтерфейсу. Вивчені властивості розглянутих каналів можуть бути корисні при побудові транзисторів з графену.

(Л. А.Пастур, В. В.Славін, А. В.Яновський, ФТІНТ НАНУ)

Проведено детальне експериментальне дослідження магнетоопору нанокомпозиційного матеріалу, який являв собою пресовані порошки половинного металу (half-metal) CrO_2, тобто металу, в якому на рівні Фермі є електрони тільки однієї спінової орієнтації (Рис. 4.6.).

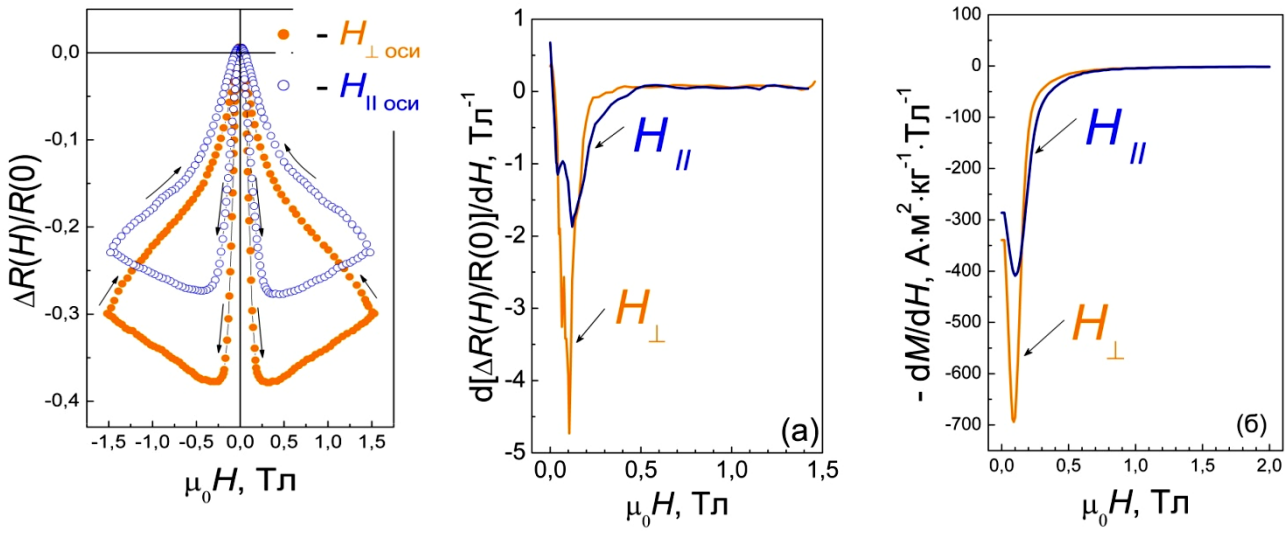


Рис. 4.6.

Порошки складалися з наночастинок CrO_2, вкритих діелектричними оболонками різного складу і різної товщини. У такій системі реалізується спін-залежний електронний транспорт і тунельний магнітоопір (ТМО), який може досягати значної величини (до 45% при низьких температурах). Було встановлено, що величина ТМО порошків CrO_2 залежить від напрямку магнітного поля щодо осі пресування і від магнітної сприйнятливості (dM(H)/dH) уздовж і перпендикулярно цій осі. ТМО швидко зростає в магнітному полі з ростом магнітної сприйнятливості. Виявлений ефект може бути використаний для пошуку оптимальних умов синтезу нанопорошків з характеристиками, які підходять для використання в спінтроніці і для створення пристроїв з надвисокою щільністю запису інформації.

(Н. В. Далакова, Є. Ю. Біляєв, В. А. Горелий, ФТІНТ НАНУ)

Розглянуто транспортні властивості заснованого на квантовій точці термоелектричного пристрою, що має магнітні електроди і знаходиться в зовнішньому магнітному полі. Для електронів без взаємодії методом рівнянь руху знайдено точні вирази для термоелектричних коефіцієнтів. Встановлено, що в режимі максимальної потужності термоелектрична добротність запропонованого спінтронного пристрою в декілька разів перевищує ту саму величину для неполяризованих електронів. Проаналізовано вплив електрон-електронної взаємодії на термоелектричну добротність, і показано, що в границі сильного кулонівського відштовхування термоелектрична добротність досягає оптимальних значень, передбачених для електронів без взаємодії.

(О. О. Ільїнська, І. В. Кріве, ФТІНТ НАНУ; Ю. Д. Зубов, А. А. Крохін, Університет Північного Техасу, Дентон, США)

Створено і досліджено лабораторну партію газових сенсорів на основі сполук органічного провідника TCNQ. Показано, що розроблені сенсори є ефективним інструментом для аналізу газу, що видихається пацієнтами, в режимі реального часу і демонструють високу чутливість і вибірковість по відношенню до продуктів життєдіяльності різних штамів бактерії *H. pylori*. Таким чином, вперше створений ефективний портативний інструмент для розробки інноваційних скринінгових технологій неінвазивної діагностики станів організму людини, що характеризуються гастродуоденальною патологією, і диференціації толерантних і канцерогенних штамів інфекції *H. pylori*.

(Г. В. Камарчук, В. О. Гудименко, О. С. Заїка, О. М. Плетньов, ФТІНТ НАНУ; О. П. Поспєлов, Д. О. Гарбуз., НТУ «ХПІ»; Л. В. Камарчук, ІОЗДП НАМНУ; А. В. Кравченко, ХНУ ім В.Н. Каразіна)

Досліджено нестійкості, результатом яких є бозе-конденсація та/або модуляція «зміщень» у системі квантових частинок, які описуються двостановою моделлю Бозе–Хаббарда з врахуванням взаємодії між зміщеннями частинок у різних вузлах ґратки. Вивчено можливість модуляції з подвоєнням періоду ґратки, а також однорідного зміщення частинок з рівноважних позицій. Проаналізовано умови реалізації згаданих нестійкостей та фазових переходів до надплинної фази та «впорядкованої» фази (зі замороженими зміщеннями), вивчено поведінку параметрів порядку та побудовано фазові діаграми – як аналітично (для основного стану), так і числовим способом (при ненульовій температурі). Показано, що надплинна фаза може з'явитися як проміжна між нормальною та «впорядкованою» фазами. В той час як фаза «суперсолід» є термодинамічно нестійкою і не реалізується. Обговорено застосовність отриманих результатів до ґраток з локальними потенціалами типу подвійних ям.

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

Вивчено основний стан квантового антиферомагнетика Гайзенберга на двошарах із різною геометрією (квадратна, шестикутна) за допомогою варіаційного підходу. Запропоновано пробні варіаційні хвильові функції для опису станів моделі при T = 0 за відсутності магнітного поля. Порівнюючи отримані варіаційні енергії в різних областях, побудовано фазові діаграми основного стану квантового антиферромагнетика Гайзенберга на квадратному і шестикутному двошарах за відсутності магнітного поля. Здійснено порівняння отриманих результатів із одержаними раніше.

(В. Я. Баліга, О. В. Держко, ІФКС НАНУ)

Розглянуто термодинамічну поведінку спін-1/2 феромагнітної моделі Гайзенберга на ґратці пірохлору. Опис для низьких температур здійснювався в рамках лінійної теорії спінових хвиль, для температур нижче критичної — методом двочасових функцій Гріна в наближенні Тяблікова. Обчислені термодинамічні величини (намагніченість, теплоємність, динамічний структурний фактор) порівнюються з відповідними результатами для простої кубічної ґратки, еквівалентної ґратці пірохлору в наближенні середнього поля.

Спостерігається ефект, так званого, впливу геометричної фрустрації при скінченних температурах: наприклад, зменшення критичної температури в порівнянні з кубічною ґраткою.

(Т. І. Гутак, Т. Є. Крохмальський, О. В. Держко, ІФКС НАНУ)

Досліджено основні стани тривимірної моделі Ізингового типу в зовнішньому полі на гексагональній ґратці з трикутних драбинок. В моделі є два типи вузлів з різними спінами на вузлах різного типу. Для пошуку основних станів використано метод основних променів і основних конфігурацій кластерів. Як кластери розглянуто чотири типи елементарних трикутників. Знайдено велику різноманітність основних станів з різною намагнетованістю. Багато з них – з частковим безладом. Результати теоретичних досліджень застосовано до сім'ї сполук $SrRE_2O_4$ (RE = Er, Ho, Dy, Gd, Tb, Yb, Tm). Пояснено деякі експериментальні дані, зокрема для сполуки $SrEr_2O_4$. Запропоновано провести детальніше дослідження кривої намагнетованости для цієї сполуки, щоб переконатися в правильності теоретичних передбачень.

(Ю. І. Дубленич, ІФКС НАНУ)

Секція «Фізика молекулярних кристалів»

Вперше встановлено, що таутомерна рівновага класичних основ нуклеїнових кислот та їх аналогів може суттєво змінюватись під впливом слабких ван-дер-ваальсових сил, діючих з боку оточуючого середовища молекулярних кристалів аргону. Використовуючи низькотемпературну ІЧ-спектроскопію у матрицях (кристалах) інертних газів і теоретичні квантово-механічні *ab-initio* розрахунки, показано, що структурні (таутомерні) переходи молекул 2-гідроксіпіримідину (аналог основ нуклеїнових кислот), ізольованого в кристалі аргону, відбуваються у тримерних комплексах шляхом синхронного тунелювання двох протонів. Розрахована структура комплексу, який утворюється після тунелювання, показана на Рис. 5.1. В цьому комплексі дві молекули утворюють водневозв'язаний димер, а третя молекула 2-гідроксіпіримідину утворює стекінг комплекс з цим димером, який додатково стабілізовано ще одним водневим зв'язком.

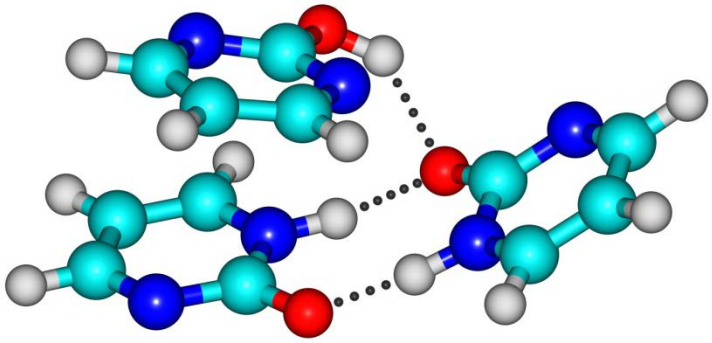


Рис. 5.1. Розрахована квантово-механічним методом MP2/aug-cc-pVDZ структура тримерного комплексу 2-гідроксіпіримідину

(О. М. Плохотніченко, С. Г. Степаньян, ФТІНТ НАНУ)

Методом прецизійної ємнісної дилатометрії в температурному інтервалі 2–250 К досліджено температурну залежність коефіцієнтів лінійного теплового розширення (КЛТР) монокристала α-(BEDT-TTF)$_2$NH$_4$Hg(SCN)$_4$, де BEDT-TTF – біс(етілендітіо)-тетратіафульвален, уздовж кристалографічного напрямку **b** (перпендикулярно до шарів кристалу). Нижче 4 К виявлені від'ємні значення КЛТР, ймовірно, обумовлені флуктуаціями заряду при наближенні температури вимірювань до температури переходу в надпровідний стан T_c. Висловлено припущення, що перегини температурної залежності КЛТР, які спостережені в температурному інтервалі 25–45 К , пов'язані з процесами упорядкування-розупорядкування NH_4^+ іонів. Пагорбоподібна аномалія КЛТР, яка виявлена при температурі близько 200–220 К, може бути викликана процесами перерозподілу заряду і пов'язаними з ними флуктуаціями міжмолекулярної взаємодії.

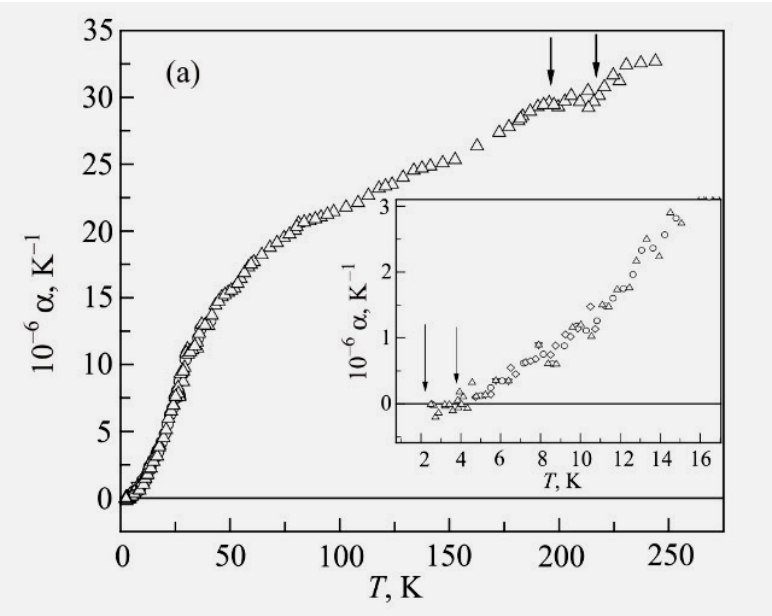
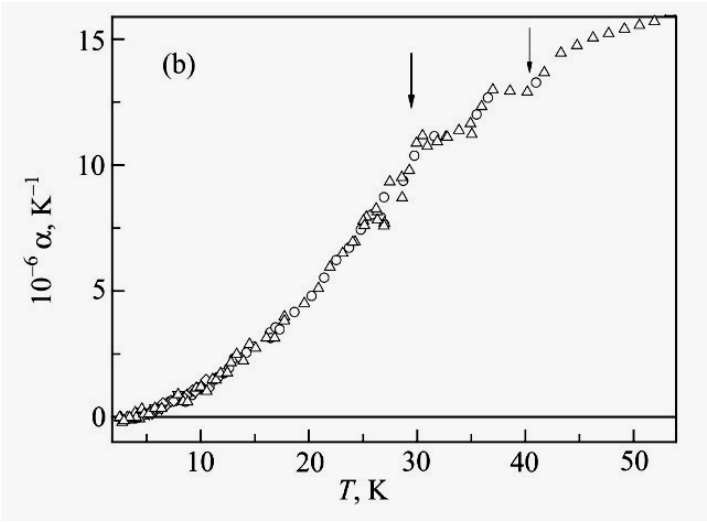


Рис. 5.2. Коефіцієнти теплового розширення зразка α-(BEDT-TTF)$_2$NH$_4$Hg(SCN)$_4$ в напрямку кристалографічної осі **b** (перпендикулярно до шарів кристалу)
a) 2-250 K; b) 2-55 K.



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

Досліджено ізохорну теплопровідність твердого розчину $Kr_{0.63}Xe_{0.37}$ для трьох зразків з різними молярними об'ємами в температурному інтервалі від 80 K до початку плавлення, а також теплопровідність потрійного ($Kr_{0.63}$ $Ar_{0.185}$ $Xe_{0.185}$) і чотирьохкомпонентного ($Kr_{0.63}$, $Ar_{0.12}Xe_{0.12}$ $(CH_4)_{0.13}$) твердих розчинів. Теплопровідність всіх твердих розчинів виявилася близькою до розрахованої нижньої межі теплопровідності κ_{min} і слабко залежною від температури, щільності, концентрації і додавання інших компонент, як і передбачалося МНМД розрахунками з використанням потенціалу Леннарда – Джонса для аргону. Показано, що для твердих розчинів коефіцієнт, відповідальний за фононний внесок, істотно залежить від

щільності (молярного об'єму) і концентрації домішки, в той час як коефіцієнт, що описує дифузійний внесок, практично постійний

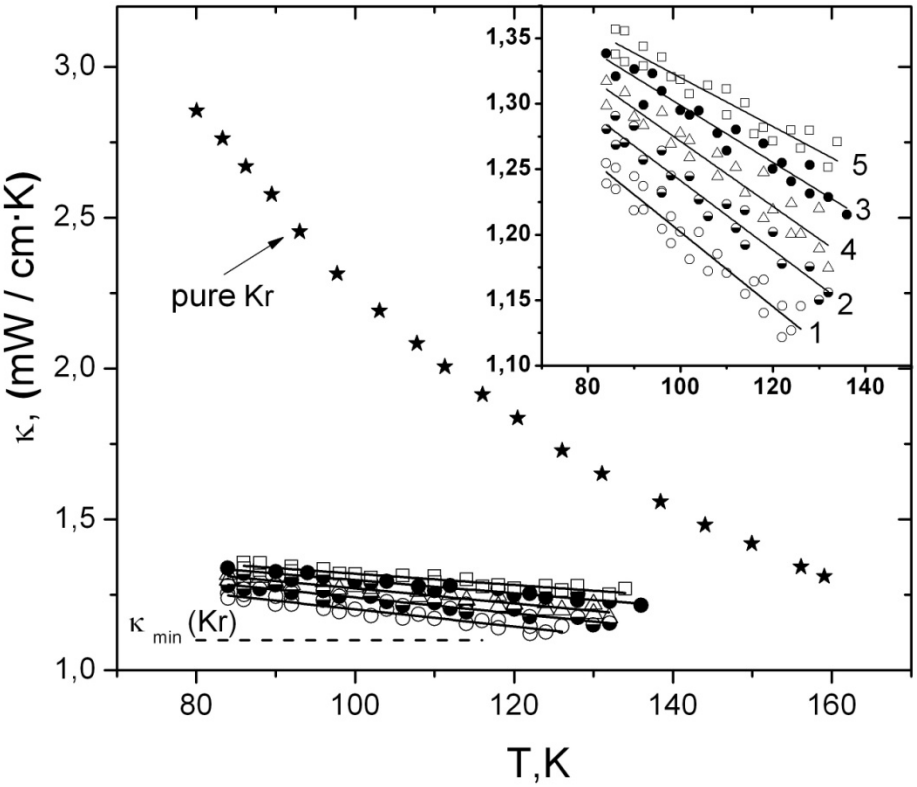


Рис. 5.3. Ізохорна теплопровідність твердого розчину $Kr_{0.63}Xe_{0.37}$ для трьох зразків з різними молярними об'ємами V_m: 32.0; 31.5 и 31.2 см^3/моль, (позначені як №1-3, співвідносно), а також потрійного $Kr_{0.63}$ $Ar_{0.185}$ $Xe_{0.185}$ (№4, трикутники) і четверного $Kr_{0.63}$ $Ar_{0.12}$ $Xe_{0.12}$ $(CH_4)_{0.13}$ (№5, квадрати) твердих розчинів..

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

Методами коливальної спектроскопії та конфокальної мікроскопії проведено дослідження поведінки нуклеїнових кислот в обмеженому об'ємі фотонного кристалу. Показано, що при інфільтрації ДНК з водного розчину в пори фотонного кристалу, молекула ДНК частково втрачає свою водну оболонку та переходить в новий конформаційний стан, який можна охарактеризувати як P-форму. Дані ІЧ спектроскопії показують підсилення коливальних мод ДНК в фотонному кристалі в 10 раз, та відсутність смуг, які відносяться до основ ДНК. Такі зміни можна пояснити впливом обмеженого середовища та сильно локалізованого електромагнітного поля в порожнинах фотонного кристалу. Розглянута система може бути моделлю поведінки ДНК в клітинному ядрі.

(Г. І. Довбешко, О. П. Гнатюк, В. В. Бойко, ІФ НАНУ)

Добре відомий метод сенсибілізації люмінесценції кристалічного нафталіну завдяки підмішування молекул незаміщеного бензофенону був модифікований у тому сенсі, що ініціюючою домішкою був бромо-заміщений бензофенон (2-BrBP), який кристалізувався у нейтральній матриці октану. Експериментальним методом дослідження була часороздільна реєстрація фосфоресценції. Побудована і розв'язана повна система рівнянь для опису кінетики переносу триплетних збуджень з молекул 2-BrBP на нафталін та наступного висвітлення цих збуджень. Оскільки швидкості висвітлення 2-BrBP і нафталіну дуже сильно різняться, світіння нафталіну підлягає нестандартному модифікованому експоненціальному законові, який був вперше одержаний теоретичним шляхом. Суттєвою обставиною, яка не тільки ускладнює опис світіння нафталіну, але й призводить до нових закономірностей, є достатньо великий час фосфоресценції, що була зареєстрована за допомогою стандартних «швидких» експериментальних методик.

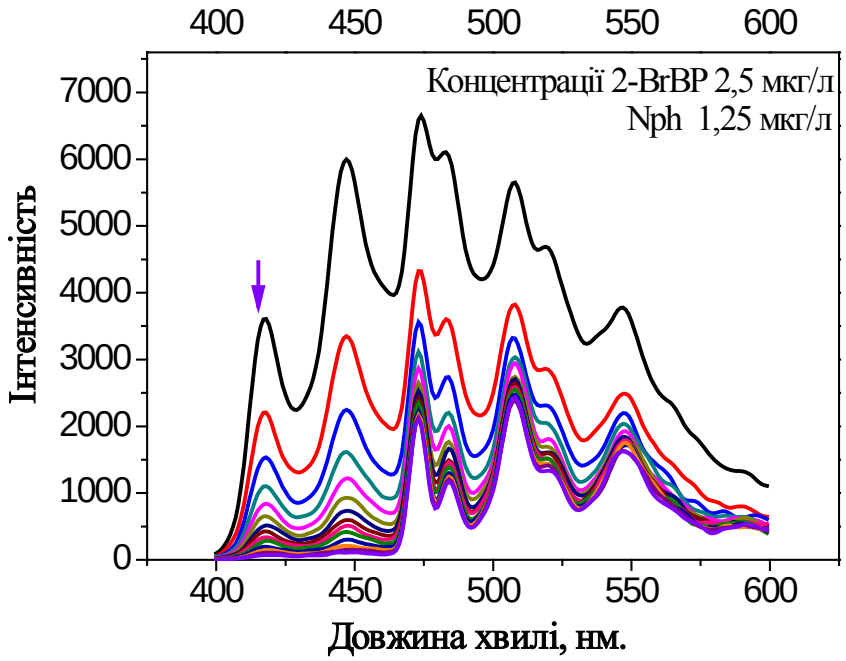


Рис. 5.4. Часо-роздільні спектри фосфоресценції потрійної суміші нафталіну та орто-бромбензофенону в октані. Добре видно, що по завершенню фосфоресценції орто-бромбензофенону домішка нафталіну «світить» досить інтенсивно і довго.

(Д. І. Злоба, О. С. Пишкін, М. О. Стржемечний, Л. М. Буравцева, ФТІНТ НАНУ)

Спектроскопічні дослідження співвідношення Ce^{3+}/Ce^{4+} на різних етапах взаємодії перекису водню з наночастинками оксиду церію показали ключову роль дифузії кисню в окисно-відновлювальних процесах в наночастинках CeO_{2-x}. Показано, що участь процесів дифузії у відновленні антиоксидантних властивостей нанокристалів CeO_{2-x} після взаємодії з активними формами кисню є ключовим фактором, обмежуючим антиоксидантну дію зазначених нанокристалів, що робить її залежною від температури та розмірів наночасток.

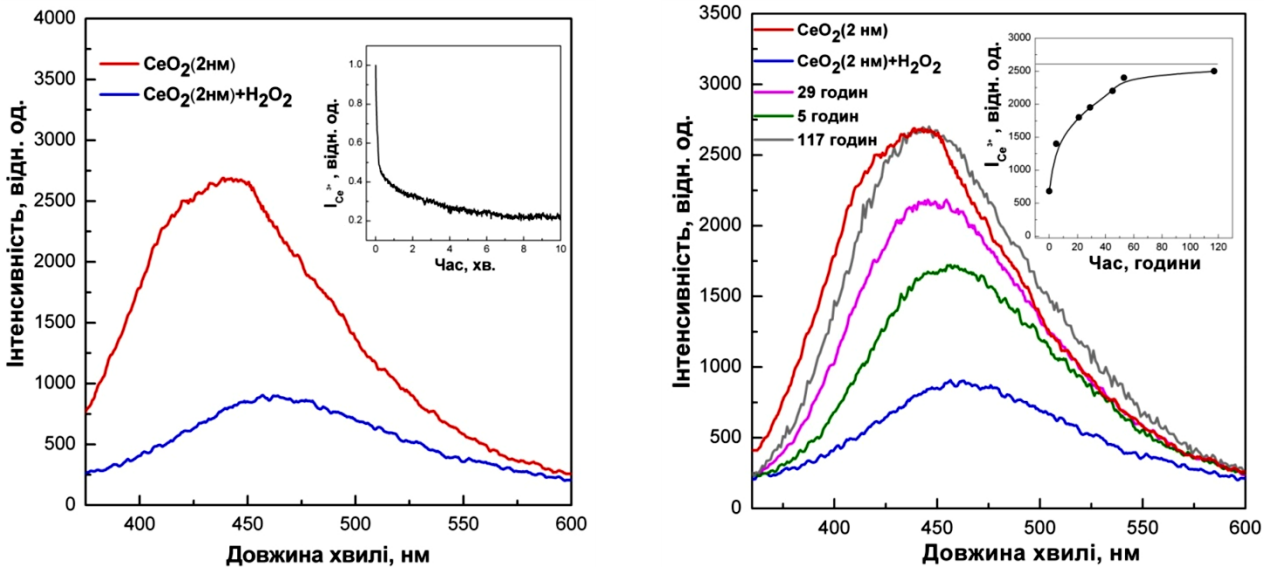


Рис. 5.5. Спектри люмінесценції колоїдних розчинів нанокристалів CeO_{2-x} (2 нм) до і відразу після додавання H_2O_2 та відновлення початкової люмінесценції нанокристалів CeO_{2-x}. На вставках – динаміка зміни інтенсивності Ce^{3+} люмінесценції, t = 22 ºC

(Ю. В. Малюкін, П. О. Максимчук, В. В. Семінько, І. І. Беспалова, ІСМА НАНУ)

Показана можливість використання наночастинок оксиду церію для детектування перекису водню у водних розчинах. Детектування H_2O_2 ґрунтується на залежності інтенсивності Ce^{3+} люмінесценції для наночастинок CeO_{2-x} від концентрації перекису водню у водному розчині. Підвищення концентрації H_2O_2 від 1,25 мМ до 200 мМ призводить до монотонного зменшення інтенсивності Ce^{3+} люмінесценції з лінійною концентраційною залежністю в напівлогарифмічних координатах, що відкриває можливість створення ефективних люмінесцентних сенсорів на основі даних наночасток.

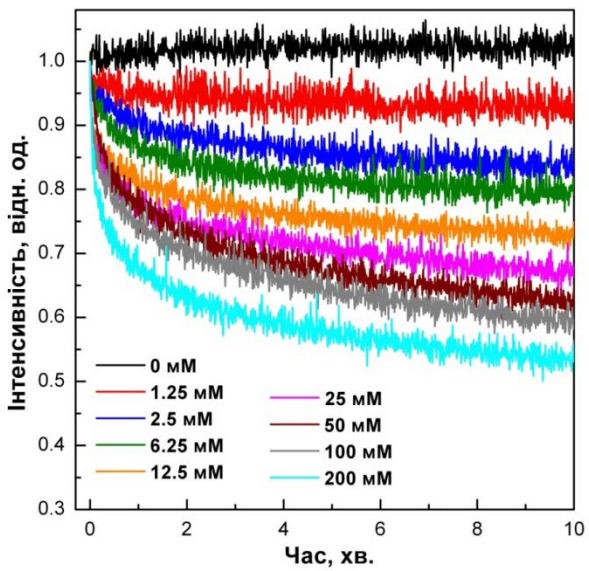


Рис. 5.6.Динаміка зміни інтенсивності Ce^{3+} люмінесценції (430 нм) після додавання різних концентрацій H_2O_2 до колоїдних розчинів нанокристалів CeO_{2-x} (2 нм)

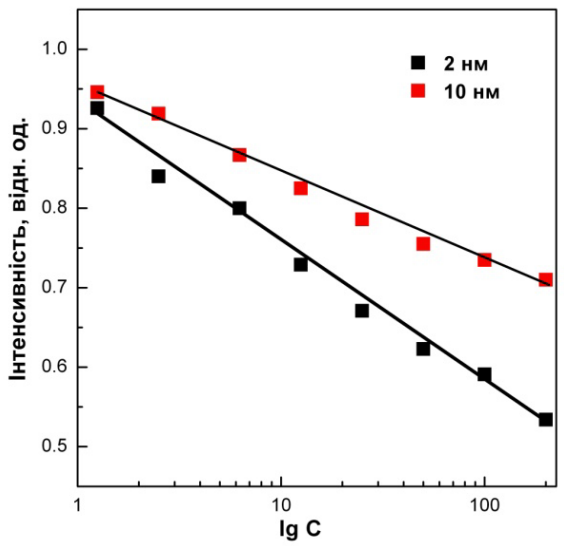


Рис. 5.7. Залежність інтенсивності Ce^{3+} люмінесценції нанокристалів CeO_{2-x} від концентрації H_2O_2 у водних розчинах (10 хв. після додавання H_2O_2)

(Ю. В. Малюкін, В. В. Семінько, П. О. Максимчук, І. І. Беспалова, ІСМА НАНУ)

Секція «Низькотемпературне матеріалознавство та кріогенна техніка»

Кріогенна техніка

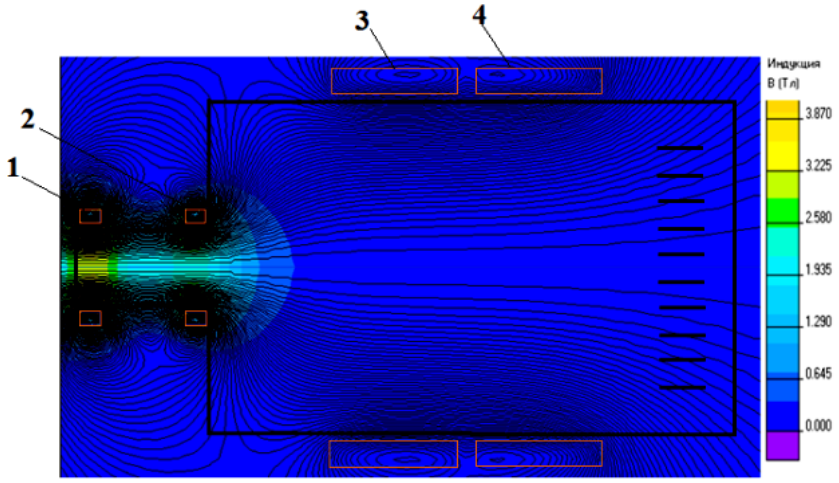
Наукові дослідження і розробки у галузі кріогенної техніки у 2018 році проводилися в основному у ФТІНТ імені Б. І. Вєркіна НАН України, ННЦ “Харківський фізико-технічний інститут і в ТОВ “Інститут низькотемпературних енерготехнологій (м. Одеса).

У ФТІНТ імені Б. І. Вєркіна НАН України 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.

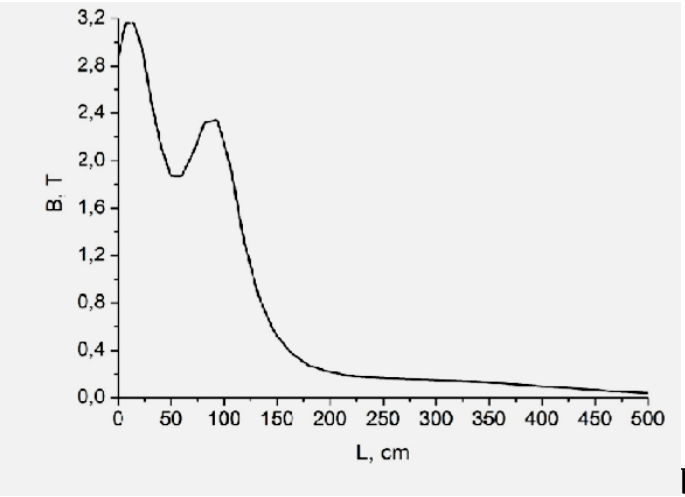
У ННЦ ХФТІ під керівництвом д.т.н. В. Б. Юферова для імітації очищення відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) від продуктів поділу на стадіях магнітоплазмової переробки ВЯП розробляється демонстраційно-імітаційний сепаратор – макет плазмового фільтра мас опроміненого оксидного палива. Основною системою експериментальної установки є магнітна система, яка включає чотири соленоїда. Визначено параметри даних соленоїдів, і розраховано аксіальний розподіл магнітного поля плазмового сепаратора, що забезпечує поділ важких і легких іонів. Магнітна система плазмового джерела складається з двох надпровідних соленоїдів. Обмотка соленоїдів розрахована на Nb-Ti надпровідник з щільністю струму ~10^4 А/см^2. Для отримання високого ступеня іонізації плазми в плазмовому джерелі створюється магнітне поле пробкової конфігурації з максимумами B_z~3.5 Тл та B_z~2.5 Тл для двох соленоїдів 1 та 2, відповідно (см. Рис. 6.1.). З плазмового джерела плазма рухається в область дрейфу з магнітним полем, що зменшується, та плазмовий потік розширюється. В області сепарації з однорідним магнітним полем, де плазма беззіштовхувальна, відбувається просторова сепарація важких і легких іонів по масах. Однорідне магнітне поле в області сепарації створюється системою водоохолоджуємих соленоїдів 3,4 (см. Рис. 6.1.). Параметри соленоїдів представлені в таблиці.

Соленоїд	Щільність струму, А/м^2	Перетин обмотки, м^2
1	$1.3*10^8$	0,15
2	$9*10^7$	0,15
3	10^6	1,90
4	10^6	1,90

Таблиця: **Параметри соленоїдів**



a



b

Рис. 6.1. Аксіальний розподіл магнітного поля плазмового сепаратора*:* **a** – *зображення*, **b** – *графік*.

(В. Б. Юферов, В. О. Ільічова, В. В. Катречко, О. С. Свічкар, С. В. Шарий, Д. В. Вінніков, В. І. Ткачов, О. М. Озеров, ННЦ ХФТІ НАНУ)

В даний час підприємством ВКФ «Кріопром» (м. Одеса) ведеться розробка і виготовлення кріогенних повітророзподільних установок (ПРУ) нового покоління, які повинні працювати при середньому тиску повітря, що переробляється. У таких установках реалізуються різні режими виробництва кисню та азоту в рідкому або газоподібному станах. Обов'язковим є режим видачі газоподібного кисню під тиском 16 МПа. Для цього в ПРУ передбачають або кисневий компресор, або кисневий рідинний насос. При цьому задаються питанням, чому віддати перевагу. У ТОВ "Інститут низькотемпературних енерготехнологій" під керівництвом д.т.н. Г. К. Лавренченка виконано порівняння показників ПРУ, які працюють за схемою із стисненням продукційного кисню в компресорі і зі стисненням в насосі рідкого кисню з подальшим його нагріванням до температури навколишнього середовища. Проведений термодинамічний аналіз дозволив отримати безрозмірний критерій. Фізичний сенс його полягає в тому, що він характеризує відношення роботи, що витрачається

в кисневому компресорі, до додаткової роботи, яку необхідно витратити для компенсації термодинамічних втрат, пов'язаних з роботою насоса рідкого кисню. Розрахунки показали, що при отриманні газоподібного кисню з тиском 16 МПа в ПРУ, що працює по циклу середнього тиску, витрата енергії на стиснення кисню в схемі з насосом виявляється приблизно в 1,5 рази менше витрати енергії при використанні кисневого компресора. Проведено також аналіз термодинамічних втрат у великотоннажних ПРУ, які працюють по циклам низького тиску на металургійних комбінатах України. При виробництві в них продукційного кисню під тиском схема з насосом рідкого кисню стає більш ефективною при тиску кисню, що видається, нижче 7-8 МПа. При більш високому тиску продукційного кисню необхідно використовувати кисневі компресори.

(Г. К. Лавренченко, ТОВ «Інститут низькотемпературних енерготехнологій»; М. Б. Кравченко, Інститут холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського, ОНАХТ)

Низькотемпературне матеріалознавство

Наукові дослідження і розробки у області низькотемпературного матеріалознавства у 2018 році проводилися в основному у ФТІНТ імені Б. І. Вєркіна НАН України, ННЦ “Харківський фізико-технічний інститут” та Інституті проблем матеріалознавства (ІПМ) ім. Францевича.

У звітний період у відділі фізики реальних кристалів ФТІНТ імені Б. І. Вєркіна НАН України під керівництвом д.ф.-м.н. П. П. Паль-Валя для встановлення фізичних механізмів пружної, непружної та пластичної деформації в зоні низьких температур були досліджені температурні залежності механічних властивостей наноструктурних (НС) та ультрадрібнозернистих (УДЗ) металів, високоентропійних сплавів (ВЕСів) і полімерних композицій в інтервалі температур 0,5 – 320 К.

Виявлено високу еластичність аморфного полімеру – полістиролу при мікроіндентуванні у середовищі азоту при температурах 77 – 140 К. Цей полімер відноситься до класу лінійних термопластів і зазвичай проявляє високу еластичність вище температури склування Tg = 373 К, а при $T < Tg$ має механічні властивості склоподібного крихкого матеріалу. Висока еластичність полістиролу обумовлена адсорбційною активністю азоту і формуванням завдяки цьому локальної зони фібрилярно-пористих наноструктур (крейзів) з високим рівним пружної післядії. Зареєстрований ефект має значний інтерес для фізичного та прикладного низькотемпературного матеріалознавства.

(Л. С. Фоменко, Г. В. Русакова, С. В. Лубенець, ФТІНТ НАНУ)

Для нового класу високоміцних ВЕСів $Ti_{30}Zr_{25}Hf_{15}Nb_{20}Ta_{10}$ та CoCrFeNiMn з ОЦК та ГЦК гратками виявлено покращення співвідношення міцності та пластичності при низьких температурах. Встановлено, що в інтервалі 4,2 – 350 К мікроскопічні механізми пластичної

деформації у ВЕСах та традиційних сплавах є ідентичними. Ці результати можуть бути використані для прогнозування поведінки нових матеріалів в екстремальних умовах їх експлуатації при конструкторських розробках кріогенної та космічної техніки.

(О. Д. Табачнікова, Ю. О. Шаповалов, ФТІНТ НАНУ)

Вивчено еволюцію структури плівки поліміду ПМ-А (типу Kapton H) після впливу низьких температур і деформації при температурах рідкого азоту та рідкого гелію та деформації при 300 К. На дифрактограмі вихідної плівки товщиною 0,08 мм спостерігався тільки широкий пік (гало) на малих кутах, що свідчило про її аморфний стан. Витримка зразків як при 77 К, так і при 4,2 К призводить до появи додаткового максимуму з боку менших кутів. Це свідчить про утворення областей стиснення в процесі низькотемпературного старіння за рахунок впорядковування макромолекул та утворення джгутів. Одноосьова деформація плівок при температурах 77 К та 4,2 К по-різному впливає на структурний стан поліміду. В результаті деформації при 77 К відбувається стиснення джгутів. Деформація при 4,2 К призводить до розриву джгутів з їх подальшою хаотизацією.

(І. С. Брауде, В. Г. Гейдаров, ФТІНТ НАНУ)

Проведено співставлення теорії тунельно-стрибкової дифузії точкових дефектів у квантових кристалах з результатами експериментальних досліджень вакансійної повзучості кристалів ^{3}He та ^{4}He. Одержано емпіричні оцінки для енергетичних і тунельних параметрів вакансій як локалізованих квантових збуджень у цих кристалах.

(В. Д. Нацик, С. М. Смірнов, ФТІНТ НАНУ)

Виявлено, що у НС сплаві AZ31, підданому рівноканальному кутовому пресуванню (РККП), пластична деформація розвивається стрибкоподібно. Встановлено, що це є наслідком лавиноподібної динаміки дислокацій в умовах низьких температур та високих напружень плину. Масштаб лавини (амплітуда стрибків напруження) залежить від щільності дислокацій, яка значно зростає внаслідок РККП. При зменшенні щільності дислокацій амплітуда стрибків зменшується, але їх дисперсія зростає.

(М. В. Ісаєв, С. Е. Шумілін, Т. В. Григорова, П. А. Забродін, ФТІНТ НАНУ)

При дослідженні температурних залежностей поглинання ультразвуку у наноструктурних волокнистих композитах Cu-Fe с різним вмістом волокон заліза при $T < 100$ К виявлені піки акустичної релаксації, обумовлені термоактивованим зародженням пар перегинів на дислокаціях в мідній матриці, а також міграцією геометричних перегинів у вторинному рельєфі Пайєрлса. Встановлено, що зростання кількості волокон заліза не впливає систематичним чином на параметри низькотемпературної динамічної релаксації. Величини динамічного модуля Юнга виявились близькими до розрахованих за правилом сумішей у наближенні рівних деформацій. Деякі відмінності, що спостерігаються, можуть бути обумовлені утворенням текстур при приготуванні зразків.

(П. П. Паль-Валь, ФТІНТ НАНУ)

Таким чином, у звітний період були одержані важливі наукові результати світового рівня, 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 при інженерно-технічних розробках в різних галузях промисловості (у ядерній енергетиці, аерокосмічній та медико-біологічній техніці, кріогенному приладобудуванні, та ін.). Вони можуть стати корисними при підготовці лекцій, а також підручників та учбових посібників для вищих навчальних закладів.

У відділі низькотемпературного та космічного матеріалознавства ФТІНТ імені Б. І. Вєркіна НАН України, яким керує к.ф.-м.н. В. О. Лотоцька, проводились наукові дослідження і розробки у області низькотемпературного і космічного матеріалознавства у рамках теми **Ф8-12** (керівник теми – д.ф.-м.н. 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).

Проведено в інтервалі температур 4,2 – 293 К та при швидкості деформації $7 \cdot 10^{-4}$ $с^{-1}$ дослідження механічних властивостей поліімідної плівки типу kapton H (виробництва КНР) товщиною 25 мкм, що використовується в конструкціях космічних апаратів (КА). Встановлено стадійність, характер деформаційних кривих та складові сумарної деформації до руйнування. Визначено зберігання високої еластичності плівки аж до 4,2 К. Виявлено стрибкоподібний характер деформації при 4,2 К та деформаційний рельєф, відсутній при деформації плівок іншої товщини та при більш високих температурах. Зберігання високої еластичності плівки має високе прикладне значення, як терморадіаційних покриттів для приладів кріогенної космічної оптики, що працюють при наднизьких температурах.

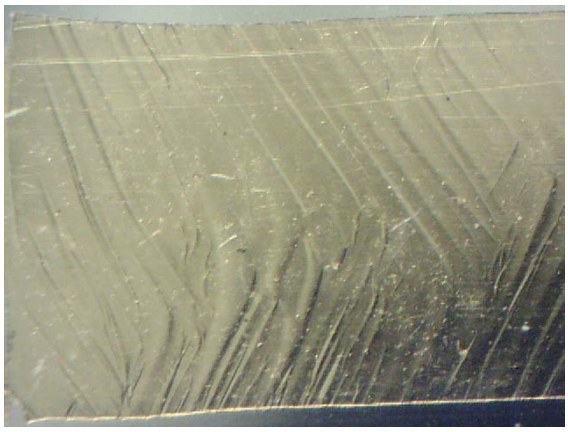


Рис. 6.2. Рельеф на поверхні руйнованої при 4,2 К плівки, що зберігається при відігріванні до кімнатної температури.

(В. О. Лотоцька, Л. Ф. Яковенко, Е. М. Алексенко, ФТІНТ НАНУ, В. В. Абраімов, Wen Zhu Shao, Харбінський політехнічний інститут, м.Харбін, КНР)

Проведено дослідження впливу електромагнітного випромінювання заатмосферного Сонця у діапазоні довжин хвиль 200 – 2500 нм з щільністю потоку 1400 Вт/м^2 протягом 100 год. на механічні властивості плівки товщиною 75 мкм при 293 К. Встановлено, що сумарна деформація плівки до руйнування при одноосьовому розтяганні зберігається практично на тому же рівні, що і в вихідному стані, але відбувається перерозподіл складових сумарної деформації – зростання внеску оборотної високоеластичної деформації та зменшення внеску необоротної деформації. Також виявлено підвищення границі змушеної еластичності.

(В. О. Лотоцька, Л. Ф. Яковенко, Є. М. Алексенко, Н. І. Величко, І. П. Зарицький, Г. І. Сальтевський, ФТІНТ НАНУ, В. В. Абраімов, Wen Zhu Shao, Харбінський політехнічний інститут, м.Харбін, КНР)

За договором з АТ «ФЕД» виконано роботу з розробки програми-методики випробувань та випробування дослідного зразка теплового акумулятора на виконання робочих функцій (герметичність) в інтервалі температур 20 – 100 ^{o}C в реальних умовах експлуатації. Розроблена методика випробувань встановлює процедуру визначення потоку гелієвої течі з виробу – зразка теплового акумулятора (ТГА), заповненого газоподібним гелієм до тиску $P_o = 36$ бар при $T_0 = 25$ ^{o}C, що випробується у середовищі кріогенного вакууму 6 порядку ($4 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.) та при підвищенні температури акумулятора до 85 – 100 ^{o}C. Розроблена методика забезпечує визначення величини потоку гелієвої течі до 10^{-9} –$\cdot 10^{-10}$ м$^3 \cdot$Па/сек з досліджуємого зразка.

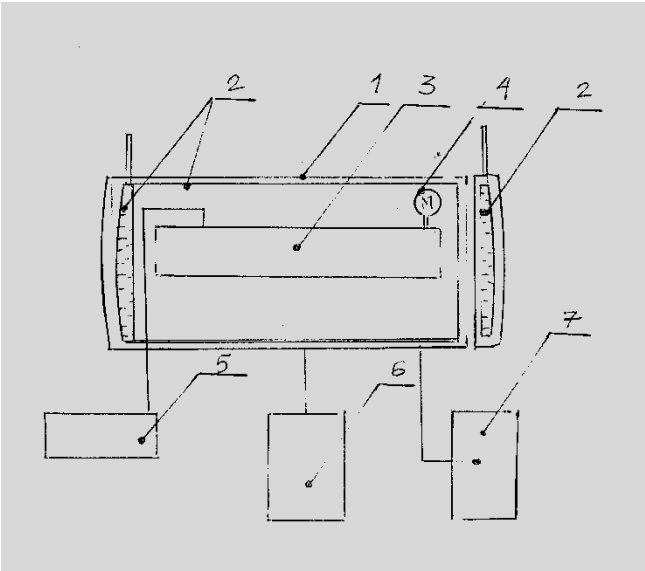


Рис. 6.3. Схема стенда для випробувань на герметичність: 1 – вакуумна камера; 2 – азотний екран; 3 – зразок акумулятора ТГА; 4 – манометр; 5 – блок вимірювання температури; 6 – вакуумний пост; 7 - гелієвий течашукач ПТИ-10

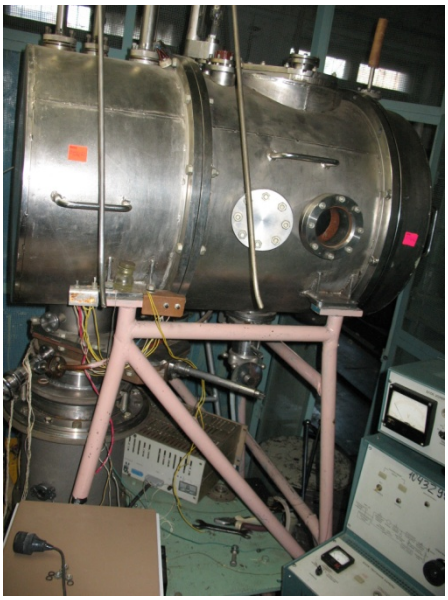


Рис. 6.4. Загальний вид стенда для випробувань на герметичність

У 2018 р. було виконано випробування першого дослідного зразка ТГА. Роботи з цього напрямку будуть продовжені у 2019 р.

Також на протязі 2018 року виконувалось відпрацювання методик випробування та обговорення умов договірних документів на виконання науково-дослідної роботи з ДП «КБ «Південне» по темі: «Дослідження стійкості зразків матеріалів, що застосовуються на космічних апаратах, до факторів космічного простору».

У ІПМ під керівництвом чл.-корр. НАН України Ю. В. Мільмана у 2018 р. розроблено уявлення про теоретичну міцність і теоретичну пластичність при дислокаційному механізмі деформації. Ці величини визначаються за величиною твердості при 0 К і відповідають міцності і пластичності при 0 К. Розроблено методику побудови кривих залежності межі текучості і пластичності від температури з екстраполяцією на 0 К.

У відділі фізики твердого тіла і конденсованого стану речовини ННЦ ХФТІ НАН України (завідувач – д.ф.-м.н. Соколенко В. І.) у 2018 р. проводились наукові дослідження спрямовані на розвиток уявлень про низькотемпературні фізичні механізми пластичної деформації, дисипативні й релаксаційні процеси і структурні перетворення в металевих матеріалах, що впливають на їх фізико-механічні властивості.

Показано, що в процесі низькотемпературної (77 К) повзучості ніобію попередньо деформованого волочінням на великі ступені діє механізм виснаження дислокацій навіть при напруженнях, що перевищують межу текучості. Розвиток процесів низькотемпературної повзучості в сильно спотворених фрагментованих структурах не описується в рамках класичних уявлень. Спостерігається перехід від логарифмічної повзучості до степеневої, характерної для більш високих температур. В зміні закону пластичної течії визначальну роль відіграє формування нових структур, менш напружених і більш стійких до змін геометрії діючих напружень і швидкості деформації.

(Є. В. Карасьова, О. В. Мац, В. І. Соколенко, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Зіставленням температурних аномалій щільності носіїв заряду ВТНП-купрату $Bi_{1.6}(Pb_{0.4})Sr_2Ca_2Cu_3O_{10+x}$ і особливостей параметрів кристалічної ґратки продемонстрована реалістичність концепції спарювання одночасткових діркових збуджень на поверхні Фермі в синглетні пари. Виявлено аномалії теплопровідності, що корелюють з наявністю спарених квазічасткових станів. Обидва види аномалій свідчать про існування трьох стадій температурної еволюції псевдо щілини.

(В.О.Фролов, В.І. Соколенко, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Проведено акустичні дослідження (поздовжній ультразвук, частота 50 МГц) в області температур 77 – 300 К високочистих ГЩУ металів (Cd – >99,999%, Hf – зонноплавлений). У кадмії для швидкості звуку виявлено ізотопічний ефект першого порядку (лінійна залежністю від різниці мас ізотопів для зразків ^{106}Cd - збагачення до 66,4% і ^{116}Cd - збагачення до 82,2%),

що свідчить про вплив ізотопного складу на змінення фононного спектру, і для загасання ультразвуку – ефект другого порядку, пов'язаний з нерівномірним розподілом ізотопів і додатковим релаксаційним механізмом розсіювання фононів. У монокристалічному гафнії визначено незалежні адіабатичні константи тензора пружності c_{11} і c_{33} і показано їх збільшення при зниженні щільності дислокацій. Встановлено, що резонансні і релаксаційні особливості в поведінці поглинання ультразвуку в гафнії обумовлені коливаннями дислокаційних сегментів в «долині» потенційного рельєфу Пайєрлса і подоланням цього рельєфу.

(О. С. Булатов, О. В. Корнієць, В. С. Клочко, Г. П. Ковтун, М. М. Пилипенко, Д. А. Солопіхін, О. Е. Кожевніков, П. Н. Вьюгов, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Досліджено зміни низькотемпературної пластичності та руйнування монокристалічного хрому в результаті термоциклювання в режимі 373↔77 К. Показано суттєве (на ≈20 К) зниження температури в’язко-крихкого переходу, що пов’язується з багаторазовими фазовими перетвореннями з парамагнітного в антиферомагнітні AF_1 і AF_2 стани і навпаки, і протіканням релаксаційних процесів поблизу концентраторів напружень внаслідок переміщення стінок доменних структур та циклічних стрікційних деформацій, що компенсує зміну об’єму, яка викликана перегрівами та переохолодженням зразка внаслідок швидкої зміни температури.

(В.І.Соколенко, В.М.Горбатенко, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Показано суттєве (25…35%, H=5,3…6,8 Тл) збільшення критичних струмів композиційного надпровідника на основі Nb_3Sn в результаті малоінтенсивного ультразвукового впливу (УЗВ), причому вплив ультразвуку при T=77 К є більш ефективним, ніж при 300 К. В рамках механізму взаємодії вихору з межею зерна, заснованого на розсіянні електронів на межі, зниження при УЗВ напружень, що стискають, в шарах Nb_3Sn призводить до зростання елементарної сили пінінгу за рахунок зменшення довжини когерентності, збільшення температури надпровідного переходу і коефіцієнта електронної теплоємності.

(В.І. Соколенко, В.І.Карась, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Інформація щодо надрукованих у 2018р. книжкових видань: монографій, підручників, науково-пізнавальних видань

1. Вовк Р. В. Нові керамічні композиційні матеріали інструментального призначення / Р. В. Вовк, Е. С. Геворкян, В. П. Нерубацький та інші – Х: Видавництво ХНУ ім. В. Н.Каразіна, 2018. – 231 с.
2. Попов А. В. Оптика: навчальний посібник / А. В. Попов, Р. В. Вовк, В. І. Білецький – Х: Видавництво ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2018. – 102 с.
3. Білецький В. І. Атомна та ядерна фізика: Навчально-методичний посібник [для студентів нефізичних спеціальностей університетів] / В. І. Білецький, Р. В. Вовк, В. Ю. Гресь, Д. В. Чібісов – Х: Видавництво ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2018. – 77 с.
4. Доценко І. С. Методи математичної фізики (розділ "Спеціальні функції"): навч. посібник / І. С. Доценко, С. І. Доценко, О. О. Приходько.– Київ, 2018. – 118 с. – Електронне видання.
5. Горобець Ю. І. Фізика. Механіка: навч. посібник / Ю. І. Горобець, О. Ю. Горобець, А. М. Кучко, С. О. Решетняк, А. М. Красіко, М. Г. Мусієнко, Т. М. Ніколаєва, П. О. Юрачківський, Л. Г. Лосицька – К.: Видавництво КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 190 с.

Участь у підготовці та проведенні наукових конференцій, симпозіумів

1. IX Міжнародна наукова конференція спеціалістів та молодих вчених «Фізика низьких температур» (ICPYS – LTP 2018) (04 – 08 червня, 2018 р., Харків, Україна) (Акад. НАН України С. Л. Гнатченко, д.ф.-м.н. Г. Є. Грєчнєв, к.ф.-м.н. М. І. Глущук, д.ф.-м.н. О. В. Долбин, к.ф.-м.н. О. М. Калиненко, д.ф.-м.н Г. В. Камарчук, чл.-кор. НАН України В. О. Карачевцев, к.ф.-м.н.В. П. Коверя, д.ф.-м.н. Ю. О. Колесніченко, чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк, д.ф.-м.н. І. В. Кріве, д.ф.-м.н. В.А. Майданов, д.ф.-м.н. В.Д. Нацик, д.ф.-м.н. Ю. Г. Найдюк, чл.-кор. НАН України О. М. Омельянчук, д.ф.-м.н. П.П. Паль-Валь, акад. НАН України Л. А. Пастур, чл.-кор. НАН України Е.Я.Рудавський, д.ф.-м.н. О.В. Савченко, д.ф.-м.н. С. С. Соколов, чл.-кор. НАН України М.О. Стржемечний, акад. НАН України М.Ф. Харченко, д.ф.-м.н. В. В. Чабаненко, д.ф.-м.н. С.М. Шевченко). http://www.ilt.kharkov.ua/icpys2018/
2. Академік НАН України Л. А. Пастур був головою Оргкомітету VI Міжнародної наукової конференції «Analysis and Mathematical Physics» AMPH-2018 (18 – 22 червня 2018 р., Харків, Україна) http://www.ilt.kharkov.ua/amph2018/
3. Доктор ф.-м.н. С.М. Шевченко брав участь у роботі Summer School and Conference for Young Researchers on Modern Quantum Technologies (10 – 14 вересня 2018, ІТФ ім. М.М. Боголюбова НАН України) https://kau.org.ua/news/massmedia/98-school-qt-2018
4. Чл.-кор. НАН України Т. О. Пріхна входила до складу Міжнародного організаційного комітету 14th International Ceramics Congress, Symposium-CF High and Ultra High

Temperature Ceramics and Composites for Extreme Environments (CIMTEC-2018) (June 4-8, 2018, Perugia, Italy) http://2018.cimtec-congress.org/14th_ceramics_congress

5. Чл.-кор. НАН України Т. О. Пріхна входила до складу Міжнародного організаційного комітету Applied Superconductivity Conference (Asc 2018) (October 28 – November 2, 2018,Washington State Convention Center, Seatle, USA) https://bcryo.org.uk/applied-superconductivity-conference-asc-2018
6. Чл.-кор. НАН України Т. О. Пріхна входила до складу Міжнародного організаційного комітету 2018 Sustainable Industrial Processing Summit and Exhibition (SIPS 2018) (November 4-7, 2018, Rio Othon Palace, Rio De Janeiro, Brazil) https://www.flogen.org/sips2018/
7. Чл.-кор. НАН України М.О. Стржемечний та д.ф.-м.н. О. В. Савченко входили до складу програмного комітету 12th International Conference on Cryocrystals and Quantum Crystals (CC 2018) (August 26–31, 2018, Wrocław, Poland) http://cc2018.intibs.pl/
8. Д.ф.-м.н. Г. І. Довбешко була ініціатором і брала участь в організації міжнародної конференції «90-річниця відкриття комбінаційного розсіяння» 90th Anniversary of Inelastic Light Scattering (Raman Scattering) Discovery (17-18 травень, 2018, Київ, Україна)
9. Чл.-кор. НАН України Ю.В. Малюкін був заступник голови організаційного комітету школи-семінару для молодих вчених «Сцинтиляційні процеси і матеріали для реєстрації іонізуючого випромінювання» (05 - 08 вересеня, 2018, Харків, Україна) http://school.isma.kharkov.ua/about.php
10. Д.ф.-м.н. П. П. Паль-Валь був співголовою та д.ф.-м.н.В. Д. Нацик був членом наукового організаційного комітету VI International scientific - practical conference «Structural relaxation in solids» (22-24 травня 2018 р., Вінниця, Україна) https://vspu.edu.ua/science/new-style/confer.php

Участь у редколегіях наукових видань

1. «Condensed Matter Physics» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк (заст. гол. редактора), акад. 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. «Functional Materials» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Малюкін (заст. гол. редактора)).
8. «Modern Instrumentation» (О. В. Савченко)
9. «Phase Transitions» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк).
10. «Physica B: Condensed Matter» (чл.-кор. НАН України М. О. Стржемечний).
11. «Science of Sintering» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
12. «Semiconductor Physics, Quantum and Optoelectronics» (чл.-кор. НАН України О. Є. Бєляєв (заст. гол. редактора), акад. НАН України М. Г. Находкін).
13. «Telecommunications and Radio Engineering» (М. Т. Черпак).

14. «Ukrainian Journal of Physical Optics» (акад. НАН України М. Ф. Харченко).
15. «Universal Journal of Materials Science», Horizon Research Publishing, USA (чл.-кор. НАН України В.О. Карачевцев, Г. В. Камарчук).
16. «Біофізичний Вісник», ХНУ ім. В. Н. Каразіна (чл.-кор. НАН України В. О. Карачевцев)
17. «Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна, серія «Фізика» (Р. В. Вовк (гол. редактор), чл.-кор. НАН України В. О. Ямпольський).
18. «Деформация и разрушение материалов» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
19. «Електронна мікроскопія і міцність матеріалів» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
20. «Журнал математичної фізики, аналізу, геометрії» (акад. НАН України Л. А. Пастур (гол. редактор)).
21. «Журнал фізичних досліджень» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк).
22. «Журнал нано- та електронної фізики» (чл.-кор. НАН України В. А. Татаренко).
23. «Материаловедение» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
24. «Металофізика та новітні технології» (чл.-кор. НАН України В. М. Антонов, чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк, чл.-кор. НАН України В. А. Татаренко).
25. «Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології» (чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк, чл.-кор. НАН України В. А. Татаренко(від.секретар)).
26. «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).
27. «Радиофизика и радиоастрономия» (акад. НАН України В. М. Шульга).
28. «Сверхтвердые материалы» (чл.-кор. НАН України Т. О. Пріхна).
29. «Технічні гази» (Г. Є. Лавренченко (гол. редактор), С. І. Бондаренко).
30. «Український фізичний журнал» (чл.-кор. НАН України С. М. Рябченко (заст. гол. редактора), акад. НАН України Л. А. Булавін, акад. НАН України В. М. Локтєв, 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, В. М. Ящук).
31. «Український математичний журнал» ((акад. НАН України Л. А. Пастур).
32. «Успіхи фізики металів» (чл.-кор. НАН України В. А. Татаренко).
33. «Фізичний збірник НТШ» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк).
34. «Фізична інженерія поверхні» (акад. НАН України М. Г. Находкін).
35. «Физика низких температур» (акад. НАН України С. Л. Гнатченко (гол. редактор), І. М. Адаменко, Р. В. Вовк, Г. Є. Гречнєв, О. В. Долбин (від.секретар), А. А. Звягін, О. С. Ковальов (заст. гол. редактора), Ю. О. Колесніченко (заст. гол. редактора), чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк, І. В. Кріве, Ю. Г. Найдюк, В. Д. Нацик, чл.-кор. НАН України О. М. Омельянчук, акад. НАН України Л. А. Пастур, чл.-кор. НАН України Е. Я. Рудавський, О. В. Савченко, С. С. Соколов (заст. гол. редактора), чл.-кор. НАН України М. О. Стржемечний, В. Д. Філь, акад. НАН України М. Ф. Харченко, С. І. Шевченко, чл.-кор. НАН України В. О. Ямпольський).
36. «Фізика і хімія твердого тіла» (акад. НАН України М. Ф. Харченко).

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

1. Тільки об'єднуючи науку і виробництво ми зможемо отримати розвинуту економіку. Юлія Світлична
   Прес-служба ХОГА 13.02. 2018
2. Премією Вольфа у галузі математики за 2018 р. нагороджено члена-кореспондента НАН України Володимира Дрінфельда й Александера Бейлінсона На відзначення циклу їхніх інноваційних робіт із алгебраїчної геометрії, теорії зображень і математичної фізики
   Прес-служба НАН України, 16.02.2018
3. У Харкові встановлено меморіальну дошку на честь відомого українського математика Наума Ілліча Ахієзера
   Прес-служба НАН України, 31.05.2018
4. 9-а Міжнародна конференція спеціалістів та молодих вчених «Фізика низьких температур» 2018
   Прес-служба НАН України, 15.06.2018
5. 6-а Міжнародна конференція «Аналіз і математична фізика»
   Прес-служба НАН України, 26.06.2018
6. Про призначення грантів Президента України для підтримки наукових досліджень молодих учених на 2018 рік Розпорядження Президента України №105/2018-рп від 16 липня 2018 р.
   Прес-служба НАН України, 24.07.2018
7. Обрано склад Наукової ради Національного фонду досліджень України
   Прес-служба НАН України, 17.09.2018
8. Президент Украины отметил государственными наградами ученых Харьковской области
   Прес-служба ХОГА 08 декабря 2018
9. Співробітники НАН України отримали державні нагороди з нагоди 100-річчя Академії
   Прес-служба НАН України, 10.12.2018
10. Північно-Східний науковий центр НАН України та МОН України у партнерстві з Харківською обласною державною адміністрацією провів Урочисті збори, присвячені 100-річчю Національної академії наук України
    Прес-служба НАН України, 20.12.2018
11. Академік НАН України Ю. В. Слюсаренко продовжував працювати у складі Наукового комітету Національної ради України з питань розвитку науки і технологій.
12. Р. В. Вовк, виконуючи обов'язки декана фізичного факультету, був куратором проекту Літніх фізичних таборів школярів, активно залучав до наукової роботи студентів факультету, забезпечивши їх участь у роботі філії кафедри фізики низьких температур в ФТІНТ НАНУ та міжнародних програмах (Словаччина, Бельгія, Польща та інші.)

13. Член- кор. НАНУ О. А. Кордюк брав участь в організації «Свята науки» в Інституті металофізики НАН України та популярна лекція «Надпровідність, високотемпературна і не дуже», 12 травня 2018, Київ.
14. Член- кор. НАНУ О. А. Кордюк брав Участь у ФізМат Дні в Інституті математики НАН України з популярною лекцією «Як стати фізиком-експериментатором», 17 листопада 2018, Київ
15. Інтерв'ю журналу Тиждень.ua - Олександр Кордюк: «Наша мета — не відплив, а циркуляція мізків», 10 грудня 2018.

Редакційна група:

КАЛИНЕНКО
Олександр Миколайович

БУРАВЦЕВА
Любов Михайлівна

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

2018