

2020

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Відділення фізики і астрономії НАН України

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

ЗМІСТ

Вступ	3
Склад Наукової ради з проблеми «Фізика низьких температур і кріогенна техніка»	14
Бюро Наукової ради	14
Члени Наукової ради	15
Наукові досягнення вчених України у галузі фізики низьких температур і кріогенної техніки у 2020 році	
Секція «Фізика квантових рідин та кристалів»	19
Секція «Фізика надпровідності»	26
Секція «Фізика магнітних явищ»	32
Секція «Електронні властивості твердих тіл»	54
Секція «Фізика молекулярних кристалів»	58
Секція «Низькотемпературне матеріалознавство та кріогенна техніка»	64
Кріогенна техніка	64
Низькотемпературне матеріалознавство	68
Інформація щодо надрукованих у 2020 р. книжкових видань	73
Участь у підготовці та проведенні наукових конференцій, симпозіумів	73
Участь у редколегіях наукових видань	74
Робота з пропаганди наукових досягнень та висвітлення науково-дослідної діяльності в ЗМІ	75

Вступ

Наукова рада з проблеми «Фізика низьких температур і криогенна техніка» при Відділенні фізики і астрономії НАН України яка працює на базі ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, за положенням, є єдиним координуючим органом з досліджень в галузі фізики низьких температур. Рада здійснює оцінку та координацію дослідницьких робіт з цієї проблеми в Україні, дає оцінку стану та перспектив розвитку фундаментальних і прикладних досліджень, бере участь у формуванні та затвердженні тематики наукових досліджень, експертизі проектів і завершених досліджень.

Положення про порядок створення та діяльності Наукової ради з проблеми «Фізика низьких температур і криогенна техніка» Відділення фізики і астрономії НАН України було затверджено Постановою Бюро відділення фізики і астрономії НАН України від 22.05.2018 р. (протокол № 4). До 10.03.2020 р. Раду очолював акад. НАН України С.Л. Гнатченко, а до її складу входило шість секцій: «Фізика квантових рідин та кристалів» (очолював чл.-кор. НАН України Е.Я. Рудацький); «Фізика надпровідності» (очолював чл.-кор. НАН України О.А. Кордюк); «Низькотемпературний магнетизм» (очолює акад. НАН України М.Ф. Харченко); «Електронні властивості твердих тіл» (очолював Ю.О. Колесніченко); «Фізика молекулярних кристалів» (очолював чл.-кор. НАН України М.О. Стржемечний); «Низькотемпературне матеріало-знавство та криогенна техніка» (очолював С.І. Бондаренко). До складу Ради входило 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.

Наразі організаційна та кадрова структура Ради потребує оновлення з метою підвищення ефективності її роботи та внаслідок необхідності урахування кадрових змін. Така робота з оновлення, як планується, буде проведена у 2021 році.

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

Основна увага, з точки зору ради, повинна приділятися розвитку фундаментальних та прикладних досліджень в актуальних напрямках фізики і математики за низькотемпературною тематикою з метою пошуку нових фізичних явищ та ефектів, пояснення їх природи, побудови їх теоретичного опису та розробки шляхів і методів їх практичного застосування. Дослідження мають охоплювати усі перспективні, з сучасної точки зору, сфери наукової діяльності фізики низьких температур, як то:

- низькотемпературний магнетизм;
- фізику квантових макроскопічних явищ;
- фізику квантових рідин, квантових та кріокристалів;
- фізику твердого тіла;
- нанофізику та нанотехнології, включаючи нанобіофізику;
- низькотемпературне матеріалознавство;

- низькотемпературне та космічне приладобудування тощо.

З метою реалізації цих завдань державі доцільно було б активно підтримувати наступні напрями наукової діяльності:

- розвиток фізики квантових кооперативних явищ на макро- і нанорівнях з метою побудови максимально повної фізичної картини поведінки систем з сильним зв'язком між електричними, магнітними і структурними властивостями та топологією;
- розробку фізичних основ квантової інженерії новітніх систем та матеріалів: наностільників, мультифероїків, нанокомпозитів, нанобіогібридів, топологічних надпровідників, наноструктурних кристалічних матеріалів, наносистем квантової інформатики (кубітів, спінових ланцюжків) тощо;
- побудову якісного та кількісного опису фізичних явищ як передумови керованого синтезу систем та матеріалів із заданими властивостями, необхідними для практичного застосування;
- створення та розбудову нових математичних підходів та методів опису фізичних та біологічних процесів, що протікають при низьких температурах.

Разом з тим, слід взяти до уваги, що профільні наукові установи змушені працювати у вкрай важких умовах. Наразі, основні проблеми та слабкі сторони їх діяльності породжені ставленням до природничих наук з боку держави за «залишковим» принципом у поєднанні з примітивним підходом «самоокупності» наукових досліджень. Внаслідок невиконання Закону «Про наукову і науково-технічну діяльність» і розміру фінансування, яке виділяється державою на наукову діяльність, відбувається знищення кадрової та матеріальної бази науки в країні. На жаль, державою не створено умов ні для збереження, ні, тим більше, для оновлення кадрового наукового потенціалу. Наразі, обдарована молодь не бачить перспектив в науці в Україні і не має будь-яких вагомих стимулів щоб обрати наукову роботу в галузі природничих наук. Тож, враховуючи ще і складність цього виду діяльності, необхідність багаторічної важкої праці та самовіддачі для досягнення успіху, лише поодинокі особи вибирають цей життєвий шлях. Проте, з відсутністю скільки-небудь серйозної державної підтримки, неможливістю успішно працювати, конкурувати із закордонними колегами, і мати при цьому пристойні життєві умови, більшість молодих науковців або назавжди залишає науку, або займається нею за кордоном. Досить скоро це може призвести до ланцюгової реакції і втрати тих основ, які підтримували рівень багатьох інших галузей: освіти та виробничої сфери.

Іншим серйозним наслідком такого ставлення держави до науки є відсутність у більшості наукових центрів можливості придбання сучасного науково-експериментального обладнання. За рідкими виключеннями, обладнання практично не оновлювалось протягом десятиріч. Це стосується не тільки відсутності сучасних дослідницьких та вимірювальних комплексів (без яких не обходиться будь-яка сучасна закордонна лабораторія), а й досить простих, але дуже необхідних вимірювальних приладів.

Таким чином, серед проблемних питань можна вказати наступні:

- зміщення вікового балансу наукових співробітників у бік науковців старшого віку та зменшення притоку молоді;
- зниження конкурентоспроможності на світовому рівні експериментальних досліджень через недофінансування оновлення парку експериментального та технологічного обладнання, тож вкрай необхідне оновлення наукового устаткування, оскільки науково-експериментальна база інститутів складається з морально та фізично застарілого обладнання;

- низка результатів світового рівня могли б знайти успішне прикладне застосування, якби не відсутність державної підтримки та економічної зацікавленості бізнесу у фінансуванні інноваційних проектів і бюрократичні перешкоди;
- потребує оновлення і технологічна база установ з одержання скраплених водню і гелію та налагодження постачання самих інертних газів в достатній кількості для низькотемпературних досліджень.

Стратегія збереження та розвитку існуючого наукового потенціалу як НАН України, так і взагалі усієї країни, як вважає Рада, крім реального зростання фінансування наукових досліджень в Україні, повинні включати і низку таких заходів, як:

- підвищення рівня і посилення міждисциплінарного характеру досліджень;
- оптимізацію наукової та технічно-допоміжної структури наукових установ з урахуванням сучасних світових тенденцій розвитку науки та перспектив розвитку науки в Україні;
- посилення конкурентних засад фінансування досліджень;
- збереження та розвиток експериментальної бази досліджень, поліпшення матеріально-технічного забезпечення інститутів;
- розвиток інформаційного та інформаційно-технічного супроводження усіх сфер діяльності установ;
- підтримання та розвиток видавничої діяльності інститутів, перш за все – для видання журналів, які здобули вагомий міжнародний науковий рейтинг та індексуються провідними наукометричними базами даних Web of Science та Scopus;
- збереження та зміцнення кадрового потенціалу на основі розвитку та підтримки наукових шкіл, що склалися в НАН України; залучення до проведення наукових досліджень талановитої молоді через співпрацю з закладами освіти від школи до вишів; систематичної робота з підготовки наукових кадрів вищої кваліфікації тощо;
- подальша інтеграція українських установ до міжнародної наукової кооперації за підтримки держави, яка б створила законодавчі умови для реалізації такої співпраці для бюджетних установ;
- розвиток сфери надання науко-технічних, науково-експертних та консультаційних послуг;
- науково-освітня і просвітницька діяльність для донесення до суспільства важливості ролі науки та її значимості для існування держави.

Наразі, завдяки наявному кадровому та науково-технічному потенціалу Рада має можливість надавати науково-консультаційні послуги наступним цільовим аудиторіям: Національній академії наук України; Міністерству науки та освіти України; Комісіям та комітетам, що створені органами державної влади України усіх рівнів, НАН України та ЄС; Науковим установам України та зарубіжжя; Зкладам вищої освіти України та зарубіжжя; Науковим видавництвам України та зарубіжжя. Зазначимо, що своїх представників у складі Ради мають численні установи НАН України та заклади МОН України, які проводять активні дослідження в галузі фізики низьких температур та кріогенної техніки. Серед них: Інститут фізики НАН України, Інститут фізики напівпровідників ім. В.С. 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, ТОВ «Інститут низькотемпературних енерготехнологій».

На протязі року за профілем Ради надавались наступні консультаційні послуги:

- розгляд та експертиза проєктів із виконання наукових досліджень і розробок, що подаються для участі в конкурсних відборах Національному фонду досліджень України, НАН України, МОН України, ЄС та зарубіжним науковим фондам (European Research Council, Fulbright Visiting Scholar Program (USA), Israel Scientific Foundation, National science centre of Poland, The United States Department of Energy, Office of Basic Energy Sciences, Czech Technical University in Prague, тощо);
- рецензування циклів робіт, що висуваються на здобуття Державних премій України в галузі науки і техніки;
- експертна оцінка ефективності діяльності наукових установ, підготовка та подання експертного висновку щодо результатів експертного оцінювання ефективності діяльності наукових установ МОН України;
- участь у роботі експертних комісій Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти України з акредитації освітніх програм, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти;
- рецензування монографій, підручників та навчальних посібників, що подаються до опублікування. Загалом прорецензовано більше десятка рукописів монографій, підручників та учбових посібників;
- рецензування наукових статей, загалом, наукова експертиза та рецензування статей проводились на замовлення більше ніж 30 наукових журналів, серед яких такі престижні, як Nature Communications, Physical Review Letters, Physical Review, Journal of Applied Physics, Europhysics Letters тощо;
- рецензування робіт, що подаються на здобуття наукових ступенів. Зокрема, у ФГІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України працюють 3-и постійні спеціалізовані вчені ради з присудження наукових ступенів доктора (кандидата) наук в галузі фізичних та математичних наук. Крім того, були створені дві спеціалізовані ради для разового захисту дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії. На засіданнях рад відбувся захист 3 докторських, 9 кандидатських дисертацій та 2-х дисертацій на здобуття ученого ступеня доктора філософії. Крім того, науковці працюють в кількох спеціалізованих вчених радах ХНУ ім. В.Н. Каразіна, Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» тощо;
- рекомендації та зауваження до проєктів документів, що готуються для введення у законодавчу та нормотворчу діяльність. Зокрема, «Порядку присудження наукових ступенів...», «Порядку присвоєння наукових звань...» тощо;
- консультування комітетів та комісій щодо наукового рівня претендентів на здобуття стипендій, грантів тощо. Науковці співпрацюють з територіальними відділеннями 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;

– рецензування магістерських та бакалаврських робіт, що подаються на здобуття освітніх ступенів на другому рівні вищої освіти.

Заступник голови ради проф. Ю.Г.Найдюк є також членом Наукової ради Національного фонду досліджень України (НФДУ). Він брав участь у більш ніж 30-ти засіданнях Наукової ради НФДУ за звітній період. У 2020 р. Наукова рада активно працювала та розробила нормативні документи для перших конкурсів наукових проектів конкурсу «Наука для безпеки людини та суспільства» та «Підтримка досліджень провідних та молодих учених». Досить революційне рішення НР про відмову від вимоги подання паперових заявок на етапі конкурсного відбору стало доленосним для успіху організації конкурсів. Проте, за результатами проведення конкурсу проявилася у повній зріст проблема формалізації відношень науковців і Фонду, застарілості та косності чинних правових норм щодо використання бюджетних коштів в Україні для фінансування наукових досліджень.

Одним з основних моментів координуючої діяльності ради завжди було науково-організаційне забезпечення міжнародних та українських наукових конференцій які охоплюють серед інших питань і низькотемпературну тематику. Проте, у 2020 р., в умовах запровадження заходів щодо запобігання занесенню і поширенню на території України гострої респіраторної хвороби, спричиненої коронавірусом 2019-nCoV, можливості щодо організації та проведення конференцій виявилися вельми обмеженими.

Єдина в Україні конференція з фізики низьких температур, яка вже більше 10 років щорічно організовувалася ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, змінила формат конференції для розширення тематики та залучення досвідчених світових науковців для обміну досвідом. The International Advanced Study Conference "Condensed Matter and Low Temperature Physics 2020" (CM<P 2020) відбулася в період 9 – 12 червня 2020 року в Фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б.І. Веркіна. В зв'язку з ситуацією в світі, пов'язаної з COVID-19 формат конференції був змінений на он-лайн. Під час заходу було проведено он-лайн трансляції доповідей запрошених лекторів:

- Проф. Петер Лемменс, Технічний університет м. Брауншвейг, Німеччина – «Fluctuations of Topological Semimetals»;
- Проф. Іван Марченко, ННЦ Харківський Фізико-технічний інститут, Україна – «Diffusion Enhancement In Solids By External Fields»;
- Проф. Славомір Маміца, Університет Адама Міцкевича, м. Познань, Польща – «Nonuniform Softening Of Spin Waves As A Tool For In Operando Tuning Of Band Gaps In Two-Dimensional Magnonic Crystals»;
- Проф. Анджей Шевчик, Інститут фізики ПАН, Варшава, Польща – «Peculiar Magnetic Susceptibility And Phase Transitions in LiNiPO₄»;
- Проф. Ясухіро Наказава, Університет м. Осака, Японія – «Thermodynamic Studies Of Novel Molecular Ferromagnets In Dimer-Mott Charge Transfer Compounds»;
- Доктор Марек Дрозд, Інститут низьких температур та структурних досліджень ПАН, м. Вроцлав, Польща – «Vibrational Spectroscopy As Useful Tool In Investigation Of Phase Transition And Structural Research»;
- Доктор Марина Косевич, Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАНУ, м. Харків, Україна – «State-Of-The-Art Mass Spectrometry For Biomedical Research And Practice»;

- Доктор Татевік Чалян, Університет м. Брюссель, Бельгія – «Freeform Optics Based Lab-On-Chip For Combined Raman Spectroscopy And Fluorescence Microscopy In Biochemical Analysis»;
- Доктор Ванік Шахназарян, ІТМО Університет, м. Санкт-Петербург, Російська Федерація – «Substrate Mediated Control Of Exciton Transport In Atomically Thin Materials»;
- Доктор Константін Злощаст'єв, Технічний Університет м. Дурбан, ЮАР – «Induced Spacetime And Effective Gravity In Quantum Liquids»;
- Доктор Славомір Габані, Інститут експериментальної фізики САН, Кошице, Словаччина – «Magnetic Anisotropy Of Frustrated Shastry-Sutherland Metallic Systems TmB_4 and ErB_4 ».

Також на конференції було представлено унікальні он-лайн лабораторні тури по дослідницьким лабораторіям доповідачів. Вперше було проведено майстер клас оптичного наукового товариства The international society for optics and photonics (SPIE), яке представила Доктор Татевік Чалян для молодих науковців, аспірантів та студентів.

Доповіді учасників було переведено в постерний формат, під час якого було опубліковано їх роботи для обговорення протягом всіх днів конференції, що призвело до жвавих дискусій в коментарях та налагодження нових наукових зв'язків між учасниками. Загалом було представлено 115 доповідей від 99 учасників.

У 2020 році Інститут також виступив співорганізатором ряду конференцій, семінарів та зборів які, переважно, проходили в онлайн-форматі. Серед них: International symposium of Electrical and Magnetic Responses from Molecular Crystals (ISTES-2020), (Osaka University, Toyonaka, Osaka, Japan, 21-22 December 2020) <http://www.chem.sci.osaka-u.ac.jp/lab/micro/ISTES2020/Top.html>. Також було організовано 2 міжнародних on-line семінари між ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАНА України та Фізичним факультетом Віденського університету (Австрія), які були присвячені обговоренню спільних результатів досліджень механічних властивостей високоентропійних сплавів Fe-Mn-Co-Cr в наноструктурованому стані (29.09.2020 р. та 4.11. 2020 р.). У листопаді 2020 року була проведена підсумкова наукова конференція ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України присвячена 60-річчю від заснування Інституту. В конференції прийняло участь біля двохсот науковців, аспірантів та студентів. При ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України продовжив активну роботу молодіжний осередок міжнародного оптичного товариства (ILTPЕ OSA Student Chapter, <http://www.ilt.kharkov.ua/osachapter/eng/index.html>).

Науковці беруть активну участь у роботі Міжнародних наукових товариств: перш за все, це Українського фізичного товариства, Європейського та Американського фізичних товариств, Українського Біофізичного товариства. Крім участі у засіданнях та наукових форумах, вчені працюють в комітетах та комісіях.

Зазначимо, що, зазвичай, обмін актуальною науковою інформацією, знайомство з останніми досягненнями в певних галузях науки забезпечується участю в організації та роботі численних семінарів та воркшопів і в масштабах міста та країни. Внаслідок заходів із запобігання поширенню коронавірусної інфекції проведення таких заходів було, фактично, неможливо. Один з прикладів – робота відкритого Загальнофізичного семінару, що працює при Інституті на регулярній основі. Зазвичай 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. Однак, за 2020 р. проведено лише 1 засідання семінару «Топологічна

неермітова природа поверхневих електромагнітних та акустичних хвиль», доповідач – проф. К. Ю. Блюх (РІКЕН, Японія) у січні 2020 р. Харківський міський Загальнофізичний семінар Південно-східного наукового центру НАН України, який відбувається під головуванням акад. НАН України О.О. Коноваленка та чл.-кор. НАН України В.Ф. Клепікова, секретар семінару - завідувач відділу теоретичної фізики ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України І.В. Криве) за 2020 рік провів лише 2 міських семінари.

Восени з огляду на продовження карантинних обмежень більшість семінарів та засідань Наукових рад перейшло до онлайн формату. Хоча така форма наукового спілкування і не є оптимальною з огляду її ефективності, проте залишається єдиною можливістю уникати повної наукової ізоляції.

Одним з найважливіших напрямків діяльності Ради є опікування видавничою діяльністю з низькотемпературної тематики. 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 неупорядковані 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. Журнал надрукував у 2020 році 166 наукових статті, з яких 10 оглядів з актуальних проблем фізики низьких температур та 3 коротких повідомлень. Протягом 2020 року було видано 7 спеціальних тематичних випусків журналу, а саме: № 2 «До 80-річчя з дня народження М.О. Стржемечного», № 3 «Graphene Nanostructures», № 4 «Vortices and non-equilibrium phenomena in superconductors», № 5 «Незвичайна надпровідність та надплинність», № 7 «Магнетизм: нові об'єкти, нестандартні середовища, моделювання», № 8 «До дев'яносторіччя з дня народження В.Г. Бар'яхтара», № 12 «Low-temperature radiation effects and surface phenomena in wide-bandgap materials».

Журнал «Фізика низьких температур» за угодою з Американським Інститутом Фізики одночасно видається англійською мовою під назвою «Low Temperature Physics» і розповсюджується в США, країнах Західної Європи та розвинутих країнах Азії. Слід зазначити, що на цей час зазначений журнал є одним з найрейтинговіших фізичних журналів України: імпаکت-фактор журналу «Фізика низьких температур», який підраховується незалежним Institute for Scientific Information, дорівнює 0,791, 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 (з 1975 року), Scopus (з 1996 року), Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського (з 2011 року), Google академія (з 2017 року), Бібліометрика української науки (з 2017 року).

Безумовно, журнал відіграє важливу роль в науковій комунікації з низькотемпературної тематики, а роль редколегії та наглядової ради є одним із головних факторів функціонування наукової сфери, координації досліджень та визначення напрямів розвитку. Науковці інституту активно працюють в редколегіях та наглядових радах міжнародних наукових журналів. Зокрема, до складу редколегій міжнародних наукових журналів входив 31 науковець ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України. Наведемо такий перелік:

1. «Journal of Low Temperature Physics», Springer, USA, EU, IF=1,09 (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=1,902 (чл.-кор. НАН України М.О. Стржемечний);
4. «Ukrainian Journal of Physical Optics», ІОФ МОН, Україна, IF=0,745 (акад. НАН України М.Ф. Харченко);
5. «Технічні гази», ТОВ "Інститут низькотемпературних енерготехнологій", Україна, (С.І. Бондаренко);
6. «Фізика низьких температур», ФТІНТ НАН України, НАН України, Україна, IF=0,79, h5=30 (акад. НАН України С.Л. Гнатченко (гол. редактор), Г.Є. Гречнев, А.А. Звягін, О.С. Ковальов (заст. гол. редактора), Ю.О. Колесніченко (заст. гол. редактора), І.В. Криве, Ю.Г. Найдюк, В.Д. Нацик, чл.-кор. НАН України О.М. Омелянчук, акад. НАН України Л.А. Пастур, чл.-кор. НАН України Е.Я. Рудавський, 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, С.Г. Степанян).

Ще одним пріоритетом науково-координаційних зусиль є освітня діяльність членів Ради та багаторівнева взаємодія з закладами освіти. Основним напрямом взаємодії 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, спільно з фахівцями з НТУ «ХПІ» та ХНУ ім. В.Н. Каразіна розроблено прототип нового квантового сенсора, чутливим елементом якого є точковий контакт. З його використанням зареєстровано гістограми провідності, що відповідають квантовим станам дендритних точкових контактів у процесі їх перетворень та є маркером певних середовищ. Отримані результати забезпечують передумови для розробки квантових сенсорів нового покоління для селективного визначення рідких та газових середовищ. Проводиться дослідження електричного транспорту у зразках топологічного ізолятора Bi_2Se_3 разом із НТУ «ХПІ» (Харків) та в багаточарових вуглецевих нанотрубках з домішками кобальту разом із КНУ ім. Т. Шевченко (Київ).

Діяльність членів Ради також спрямована на координацію освітнього процесу в ряді провідних університетів Харкова з актуальними напрямками наукових досліджень. Науковці інститутів НАН України ведуть спільну з вищими навчальними закладами науково-дослідну та навчальну роботу. Так, зокрема у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України діють шість філій

фізичних та математичних кафедр Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна та Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (перелік філій наведено у формі V-I). Курси лекцій та практичні заняття, які вели провідні фахівці ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України на кількох кафедрах і факультетах Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харківського національного університету радіофізики та електроніки перелічені нижче. Це, зокрема: фізика та техніка низьких температур; кріотехнології в енергетиці; фізика високотемпературних надпровідників; квантова теорія твердого тіла та мезоскопічна фізика; силова електроніка, воднева енергетика та нанотехнології; сучасні методи експериментальних досліджень магнетиків; основи класичної і квантової дифузії у кристалах; фізика поверхні; термодинаміка енергетичних систем; біофізична мас-спектрометрія; основи наукових досліджень; теоретична механіка; нелінійна фізика; квантова електродинаміка, функції Гріна у квантовій статистиці та кінетиці; теорія кристалів; обчислювальна математика і програмування; інформатика, тощо.

ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України є однією із основних наукових баз для підготовки студентів харківських вишів з природничих та математичних спеціальностей: Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна і Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». У 2020 році дипломну та виробничу практику, теоретичні та практичні заняття в Інституті пройшли 20 студентів (15 – з Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, 5 – з Національного технічного університету «ХПІ»). У 2020 р. в інституті проходили стажування 1 викладач ХНУ ім. В.Н. Каразіна.

У руслі світових тенденцій організація учбового процесу у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України органічно поєднується з участю студентів-практикантів у проведенні наукових досліджень у сучасних розділах 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.

Наведемо деякі приклади наукових досліджень, в яких приймали участь студенти. Студенти 6-го курсу НТУ «ХПІ» приймали участь у дослідженнях впливу опромінення холодною плазмою на сорбцію водню відновленим оксидом графена. Студентка 4-курсу ХНУ ім. В.Н. Каразіна В. Кнуренко прийняла участь у дослідженнях ізохорної теплопровідності 1,1,1,2-тетрафторетану. Студентка 6-го курсу ХНУ ім. В.Н. Каразіна Ж.В. Сидоренко приймала участь у проведенні розрахунків сили турбулентного опору і коефіцієнта опору при коливаннях камертона в надплинних розчинах ^3He - ^4He . П.О. Логвін, студент 4-го курсу ХНУ ім. В.Н. Каразіна, приймав участь у дослідженнях надпровідних властивостей ультратонких плівок MoSi. Студент 2-го курсу кафедри молекулярної та медичної біофізики факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем ХНУ ім. В.Н. Каразіна А.Г. Булова приймав участь у дослідженнях біонаноагрегатів ДНК з наночастинками TiO_2 . Наукові дослідження, в яких безпосередньо приймали участь студенти, принесли наукові результати,

що опубліковані у статтях в престижних наукових журналах, та увійшли до доповідей на наукових конференціях: International Advanced Study Conference «Condensed Matter & Low Temperature Physics 2020», XVI Всеукраїнській студентській науковій конференції «Фізика та науково-технічний прогрес», тощо.

В руслі сучасних тенденцій Рада та ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, як і інші установи НАН України, намагаються розвивати співпрацю в галузі підготовки наукових кадрів з освітянськими закладами та виводити її на міжнародний рівень. Активно розвивається практика спільних аспірантур і підготовки аспірантів за програмою академічної мобільності разом із зарубіжними університетами. Зокрема, аспіранти ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України проходять наукове стажування в Університеті Париж-Схід (Марн ла Вале, Франція), Університеті Відня (Австрія), Інституті фізичних та хімічних досліджень RIKEN (Вако, Японія), Університеті Нанта (Франція).

Молода генерація науковців відіграє все більш помітну роль в налагодженні нових зв'язків, у встановленні та розвиненні кооперації наукових досліджень, в тому числі і міжнародної. В більшості установ, які ведуть дослідження в галузі фізики низьких температур та криогенної техніки, активно працюють і Ради молодих вчених та спеціалістів. Так, зокрема у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України Радою молодих вчених і спеціалістів, де головою нині к.ф.-м.н. Н.С. Мисько-Крутік, проводиться 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 з фізики 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. Веркіна НАН України, приймає активну участь у організації та проведенні «Днів науки» та «Фестивалів науки».

У 2020 році члени Ради, науковці ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна 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: участь у програмі «Піфагоріве дерево» з розповіддю про перспективні дослідження наноматеріалів у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України (М.С. Барабашко, 9.08.2020 р.); спільно з ILTRE OSA Students Chapter проведення наукового заходу «Міжнародний день жінок і дівчат в науці» (11.02.2020 р.) в м. Харкові на базі ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, в якому прийняли участь студентки природничих спеціальностей Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна та Харківський національний університет радіоелектроніки; участь в організації конференції «Joint Conference for School and University Students on Natural and Mathematical Sciences» для студентів 1-3 курсів та школярів старших класів, на якій було представлено наукові роботи з фізики. Конференція пройшла на базі Харківського наукового ліцею-інтернату «Обдарованість» 3.12.2020 р.; участь у Харківському науковому форумі «Наука, діалог поколінь», раунд «Наука та економіка», Р.М. Баснукаєва – учасниця команди директора Навчально-наукового інституту енергетики, електроніки та електромеханіки НТУ «ХПІ» доктора технічних наук, професора Романа Томашевського; організація онлайн екскурсій лабораторіями інституту для студентів фізичних спеціальностей 1–6 курсів Харківського національного університету ім.

В.Н. Каразіна та Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

В той же час науковці приймають участь у підвищенні рівня викладання природничих наук у школі. Науковці О.Л. Фертман, О.І. Юзефович, О.М. Ватажук та інші ведуть заняття з фізики, математики та програмування для учнів 1–6 класів у центрі додаткової освіти для талановитих дітей «Фізматик» (Харків), тощо.

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

Слід зазначити, що Рада з проблеми «Фізика низьких температур і кріогенна техніка», мала б відігравати більш активну та значущу ролі і як науково-експертна інституція, і як орган, координуючий зусилля в галузі низькотемпературних досліджень. Зважаючи, однак, на відсутність реальних важелів впливу на процес організації та проведення досліджень та їх фінансування, члени Рада виступають скоріше як волонтери, які намагаються скерувати процеси в необхідному напрямі. Доцільно було б розширити повноваження Ради 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 реального планування процесу забезпечення кріогенними рідинами наукових установ тощо.

СКЛАД

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

Голова Наукової ради:

акад. НАН України **Гнатченко Сергій Леонідович**

Заступники голови:

д.ф.-м.н., проф. **Гречнев 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. **Гречнев 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 Костянтинівич, с.н.с., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, вчений секретар, chagovets@ilt.kharkov.ua
4. Слюсаренко Юрій 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. Полуєтков 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. Омелянчук 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. Гречнев Геннадій Євгенович, проф., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, заступник голови, grechnev@ilt.kharkov.ua
3. Терехов Андрій Валерійович, 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. Криве Ілля Валентинович, с.н.с., д.ф.-м.н., ФТІНТ НАНУ, krive@ilt.kharkov.ua
12. Мацуї 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 криогенна 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. Глушук 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 криогенної техніки у 2020 році

Секція «Фізика квантових рідин та кристалів»

Проведене дослідження колективних властивостей систем поверхневих електронів з декількох ліній зарядів. При моделюванні системи за допомогою Фур'є-аналізу середніх координат часток уздовж і поперек ліній знайдені характерні частоти коливань у системі. Значення частот зіставлені з теоретично отриманими законами дисперсії плазмових мод, розрахованими методом рівнянь руху для малих зсувів електронів з положення рівноваги. Закони дисперсії колективних коливань обчислені для двох-, трьох- і чотирьох-ланцюжкових систем електронів, причому в останньому випадку розглянуті конфігурації як з однаковим, так і різним відстанями між лініями зарядів. Спостерігається гарна згода результатів методу моделювання зі значеннями частот, що впливають із законів дисперсії.

(В.Ю. Сивоконь, Є.С. Соколова, С.С. Соколов, ФТІНТ НАНУ)

Методом молекулярної динаміки досліджена структура двовимірних кластерів, які можуть бути створені в електронних системах над поверхнею надплинного гелію при використанні електродів, що притискають, трикутної, квадратної, шестикутної й круглої форми. Досліджувалися кластери з фіксованою поверхневою щільністю 10^8 см^{-2} , але різним числом часток, від 3 до 406. Розраховані просторові конфігурації часток у кластерах, що відповідають температурі 10^{-2} К . Форма кластера суттєво впливає на розташування електронів у ньому. Якщо симетрія кластера узгодиться із трикутною симетрією електронного кристала, то при деяких числах часток можливі кластери з ідеальним бездефектним упакуванням. В інших випадках кластери містять дефекти. Додаткове зовнішнє поле, прикладене до кластера, суттєво міняє конфігурацію часток у ньому.

(В.Ю. Сивоконь, ФТІНТ НАНУ)

Методом молекулярної динаміки досліджене плавлення двовимірних кластерів в електронних системах над поверхнею надплинного гелію з поверхневою щільністю 10^8 см^{-2} . Показане, що в бездефектних кластерах перехід в неупорядкований стан відбувається різко й температуру плавлення $T_{\text{пл}}$ легко визначити. Залежність $T_{\text{пл}}$ від розміру кластера спостерігається при числі часток N менш ніж 400. У квадратних кластерах з $N < 50$ упорядкування часток нав'язує граничними умовами, а при $N > 100$ спостерігається трикутна решітка з дефектами поблизу границі. У круглих кластерах електрони починають легко переміщатися в кутовому напрямку вже при досить низьких температурах, але температура

«радіального плавлення» узгодиться з температурою плавлення малих квадратних кластерів. При наявності дефектів перехід у неупорядкований стан починається з області дефекту й поступово поширюється на весь кластер. Чіткого визначення температури плавлення в цій картині немає.

(В. Ю. Сивоконь, ФТІНТ НАНУ)

За допомогою метода кварцового камертона, що коливається в рідині, вивчено перехід між ламінарним і турбулентним потоками у надплинному ${}^4\text{He}$ і концентрованих розчинах (5 і 15 % ${}^3\text{He}$ в ${}^4\text{He}$) з частотою $\omega = 32$ кГц в інтервалі температур 0,3–2,3 К. Отримано температурні залежності амплітуди критичної швидкості переходу і показано, що для опису цих залежностей в концентрованих розчинах ${}^3\text{He}$ в ${}^4\text{He}$ з в'язкістю η та густиною ρ може бути використано співвідношення $v_{cr} \sim \sqrt{(\eta\omega/\rho)}$ з одним підгінним параметром, але для температурної залежності v_{cr} в чистому ${}^4\text{He}$ це співвідношення не виконується. Показано також, що в концентрованих розчинах ${}^3\text{He}$ в ${}^4\text{He}$, на відміну від чистого ${}^4\text{He}$, температура практично не впливає на значення коефіцієнта опору потоку як в ламінарному, так і турбулентному режимах. В області температур 0,5–1 К побудовані концентраційні залежності коефіцієнта опору потоку в ламінарному режимі, нормованого на ефективну площу поперечного перерізу, що коливається. Розрахункові залежності, які отримано, показали, що в області малих концентрацій розчину, з $x_3 < 1$ % ${}^3\text{He}$, нормований коефіцієнт слабо залежить від концентрації ${}^3\text{He}$ і якісно може бути описаний співвідношенням $\lambda/S \sim \sqrt{(\rho\eta\omega)}$. У діапазоні концентрацій з $x_3 > 1$ % ${}^3\text{He}$ коефіцієнт різко зростає і причина такого зростання в даний час не з'ясована. В цілому результати дослідження показують, що збільшення концентрації ${}^3\text{He}$ в розчині приводить до збільшення його стійкості по відношенню до виникнення турбулентності зі зростанням сили збудження кварцового камертона.

(В.А. Вракіна, Э.Я. Рудавський, С.С. Соколов, В.К. Чаговец, Г.О. Шешін, ФТІНТ НАНУ)

Отримано динамічні рівняння для когерентної системи бозе - частинок при нульовій температурі з урахуванням парних кореляцій. Досліджено спектр збуджень в такий просторово-однорідного системі з урахуванням ефектів нелокальності, обумовлених скінченним радіусом взаємодії між частинками. Показано, що спектр збуджень має дві гілки. В одній з гілок спектр збуджень при малих імпульсах переходить в звуковий закон дисперсії. У другій максон – ротонної гілці при малих імпульсах енергія приймає скінченне значення.

(Ю.М. Полуктов, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Підтверджено спостереження нестационарного термоелектричного ефекту - спонтанної електричної поляризації осередку з рідким He II при тепловому збудженні в ній стоячих хвиль другого звуку. В температурному інтервалі $1,4 \text{ К} < T < 2 \text{ К}$ детально вивчен зв'язок цього ефекту з тепловими та гідродинамічними властивостями He II . Встановлено, що

залежність амплітуди коливань електричного потенціалу від інтенсивності збудження істотно змінюється при переході від ламінарного до турбулентного режиму теплових коливань. Зареєстровано порогове значення потужності збудження $w = w_0(T)$: в області $w < w_0$ коливання потенціалу мають регулярний характер і їх амплітуда збільшується пропорційно потужності; при $w > w_0$ електричний відгук набуває випадковий характер з наростанням флуктуацій і спадною до нуля амплітудою, спостерігається своєрідний електромагнітний «шум». Результати експериментів зіставлені з висновками теорії флексоелектричної поляризації рідкого гелію. Обговорюється також поляризація рідкого гелію при збудженні хвиль першого звуку, а також ударних хвиль тиску і температури.

(В.Д. Нацик, О.С. Рибалко, ФТІНТ НАНУ)

Продовжені дослідження нелінійного етапу еволюції анізотропних пучків високоенергійних і низькоенергетичних фононів, які представляють собою практично одномірні системи. Проведено повний аналіз результатів спостережень і теоретичний розгляд просторової і тимчасової еволюції цих систем в загальному випадку, коли вони обмежені в поздовжньому і поперечному напрямках. В результаті роботи система рівнянь для параметрів пучка зведена до одного нелінійного рівняння, яке описує подовжню і поперечну еволюцію пучка.

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} + v(\rho) \frac{\partial^2 \rho}{\partial z \partial t} - c_\theta^2 \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \rho = 0$$

Проведені модельні аналітичні розв'язання цього рівняння, які було порівняно з результатами попередніх чисельних розрахунків та результатів експериментів.

(К.Е. Немченко, Т.Г. Віхтинська, С.Ю. Рогова, Н.О. Геращенко, ХНУ МОНУ)

За результатами експериментальних досліджень одночасних випромінювань акустичних та теплових хвиль в надплинних рідинах, продовжене вивчення механізмів дисипації енергії камертону закритого типу, що коливається у чистому гелії та надплинних розчинах ^3He - ^4He . У якості об'єкту дослідження розглядаються дисипативні процеси та акустичні моди першого та другого звуків у надплинних розчинах. Предмет дослідження - одночасна генерація акустичних, теплових та в'язких хвиль у надплинних розчинах ^3He - ^4He за не малої концентрації та у чистому гелії. Метою діяльності є дослідження вкладів теплової хвилі та випромінювання першого та другого звуків до дисипації енергії. Проведено аналіз явищ, що призводять до дисипації енергії у дослідженнях з кварцовими камертонами та порівняно їх внесок до цього процесу.

(К.Е. Немченко, Т.Г. Віхтинська, С.Ю. Рогова, Н.О. Геращенко, ХНУ МОНУ)

З метою дослідити теплопровідність малорозмірних наноструктур, проведено дослідження стаціонарних нерівноважних станів фононової системи зразків з малими

розмірами, які забезпечено лише взаємодією фононів з бічними межами зразків. Іншими словами, фонони вважаються такими, що знаходяться в балістичному режимі, де фононно-фононні взаємодії незначні. Ми також припускаємо, що бічні межі зразка теплоізовані. Основною метою цих досліджень є аналітичний опис фононної радіаційної теплопередачі у 2D-зразках та її залежність від взаємодії з бічними межами у випадку чистого ізотропного дифузного розсіяння, тобто за повної відсутності дзеркального граничного розсіяння. Така постановка задачі узагальнює моделі Казіміра та Займана, та дає можливість вирішити проблему не лише чисельними методами, а й отримати аналітичні результати.

(К.Е. Немченко, Т.Г. Віхтинська, С.Ю. Рогова, Н.О. Геращенко, ХНУ МОНУ)

У межах розширеного базису з 1134 елементів знайдений спектр зв'язаних станів дімерного комплексу ${}^4\text{He} - {}^4\text{He}$ з урахуванням обертальних станів дімера. На відзнаку від стандартного наближення Борна-Оппенгаймера-Гайтлера-Лондона міжядерна відстань R_0 врахована як повноцінна динамічна ступінь свободи у відповідному багаточастинковому рівнянні Шредінгера. Спектр задачі має складний характер і вміщує вироджені рівні, у межах яких за однакової енергії станів середня міжядерна відстань $\langle R_0 \rangle$ має різні значення, тобто має місце квантова флуктуація динамічної ступені свободи R_0 . Оцінена поправка до основного стану системи, що виникає завдяки спін-спіновій взаємодії у системі з чотирьох електронних спинів, належних електронній оболонці дімера. Оцінена енергія парної взаємодії спинів в межах чотириспінової оболонки становить 8,1 К, що є вельми близьким до відомої з літератури величини ротонної щілини у надплинній фазі ${}^2\text{He}$.

(К.О. Чишко, ФТІНТ НАНУ)

Досліджено еволюцію обмежених в просторі фононних систем надплинного гелію. Особливості фононного спектра надплинного гелію дозволяють створювати в ньому унікальні, довго живучі, практично одновимірні в фазовому просторі системи фононів. Часова і просторова еволюція таких систем демонструє цілий ряд незвичайних фізичних явищ, наприклад, таких як народження фононів з високою енергією $\epsilon > 10$ К (h-фононів) системою фононів з низькою ефективною температурою $T = 1$ К (l-фононів), або незвично великий шлях поширення пучків l-фононів без зміни форми і розмірів пучка. Розглянуто нелінійний етап еволюції анізотропних пучків високоенергетичних та низькоенергетичних фононів, які являють собою практично одновимірні в фазовому просторі системи. Проводиться аналіз результатів спостережень і теоретичний розгляд просторової та часової еволюції цих систем в загальному випадку, коли вони обмежені в повздовжньому та поперечному напрямках. В результаті роботи система рівнянь для параметрів пучка зведена до одного нелінійного рівняння, яке описує повздовжню та поперечну еволюції пучка. Чисельне розв'язання цього рівняння дозволило пояснити характерні особливості руху та деформації пучків, які спостерігаються в експерименті, а також визначити основні параметри і етапи еволюції пучків.

(Р.В. Вовк, ХНУ МОНУ)

Для того, щоб описати магнітогенезис під час інфляції в моделі кінетичного зв'язку, виконано градієнтний розклад електромагнітного поля, який базується на тому, що підсиленню піддаються лише моди чия довжина хвилі перевищує горизонт. Для цього введено набір скалярних функцій (білінійні комбінації електромагнітних полів з довільною кількістю похідних по просторових координатах), що задовольняють нескінченному ланцюжку рівнянь. Окрім звичайного режиму підсилення завдяки взаємодії з інфляційним полем, ці рівняння також враховують той факт, що кількість електромагнітних мод, які підсилюються, постійно зростає під час інфляції. Цей ланцюжок рівнянь обривається із фізичних міркувань і показано, що навіть за відносно невеликої кількості рівнянь можна отримати наближений розв'язок для густини електричної та магнітної енергій з достатньою точністю під усієї стадії інфляції. Цей висновок для різних типів функцій зв'язку (зростаючої, зменшуючої та немонотонної) в режимі з сильною зворотною реакцією та без неї.

(О.О. Соболев, А.В. Лисенко, С.Й. Вільчинський, КНУ МОНУ, Е.В. Горбар, КНУ МОНУ, ІТФ НАНУ)

Знайдено, що псевдомагнітне поле індуковане механічними деформаціями у вейлівському напівметалі з порушеною симетрією обернення часу впливає на властивості поверхневих плазмон-поляритонів. Встановлено, що індуковане деформаціями псевдомагнітне поле зменшує частоти поверхневих плазмон-поляритонів для проміжних значень хвильового вектора. Залежно від відносної орієнтації вузлів Вейля в імпульсному просторі, нормалі поверхні та напрямку поширення, дисперсійне відношення поверхневих плазмон-поляритонів може бути невзаємним навіть у тонкому шарі вейлівського напівметала. Крім того, індуковані деформаціями псевдомагнітні поля можуть суттєво впливати на властивості локалізації колективних поверхневих мод. Ці ефекти дозволяють контролювати *in situ* розповсюдження поверхневих плазмон-поляритонів у вейлівських напівметалів і можуть бути корисними для створення пристроїв з новими функціональними властивостями.

(О.В. Бугайко, КНУ МОНУ, Е. В. Горбар, КНУ МОНУ, ІТФ НАНУ; П.О. Сухачов, Yale University, USA)

Досліджено можливість спостерігати акустичний аналог випромінення Хокінга в кільцеподібному Бозе-конденсаті. На Рис. 1.1. схематично зображено тороїдальний конденсат з постійною швидкістю потоку (синя лінія) та змінною локальною швидкістю звуку (чорна лінія). Було продемонстровано, що в системі з нерівномірною локальною швидкістю звуку стабілізується нестабільність у надзвуковій області плавним градієнтом на горизонті білих дір. Встановлено, що кореляційної функції щільності і щільності, що представляють собою акустичний аналог ефекту Хокінга, сильно впливають радіус кільцеподібної конфігурації та кількість дискретних акустичних мод, що можуть збуджуватись в такому конденсаті. Виявлено, що випромінювання Хокінга не генерується, якщо радіус кільця опускається нижче критичного значення. Отримані результати можуть бути використані при в аналізі випромінення Хокінга в астрофізичних чорних дірах та задачі про стабільність первинних чорних дір Планківських масштабів в квантовій гравітації.

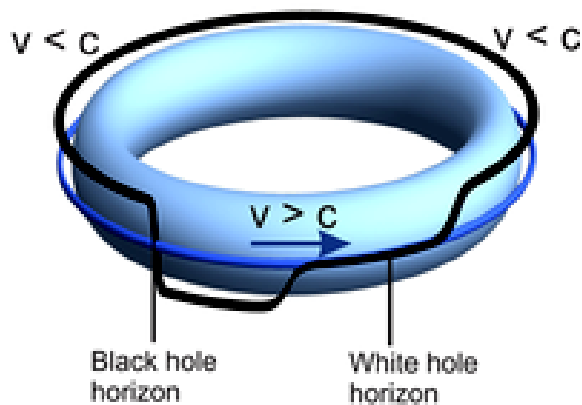


Рис. 1.1. Схематично зображення тороїдального конденсата з постійною швидкістю потоку (синя лінія) та змінною локальною швидкістю звуку (чорна лінія).

(І.В. Яцуга, КНУ МОНУ; О.І. Якименко, КНУ МОНУ, В. Malomed Department of Physical Electronics, School of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, and Center for Light-Matter Interaction, Tel Aviv University, 69978 Tel Aviv, Israel)

Досліджено систему тороїдальних конденсатів в режимі слабкого та сильного зв'язку. Досліджено ефект Джозефсона в системі надплинних кілець, розділених відштовхувальним бар'єром, що схематично зображено на Рис. 1.2.(а). Досліджено процес злиття та релаксації надплинних потоків в станах з різними кутовими моментами. Запропоновано метод генерації надплинних потоків з різними топологічними зарядами в системі зв'язаних кільцеподібних конденсатів за допомогою бар'єру, що обертається (см. Рис. 1.2. (b)).

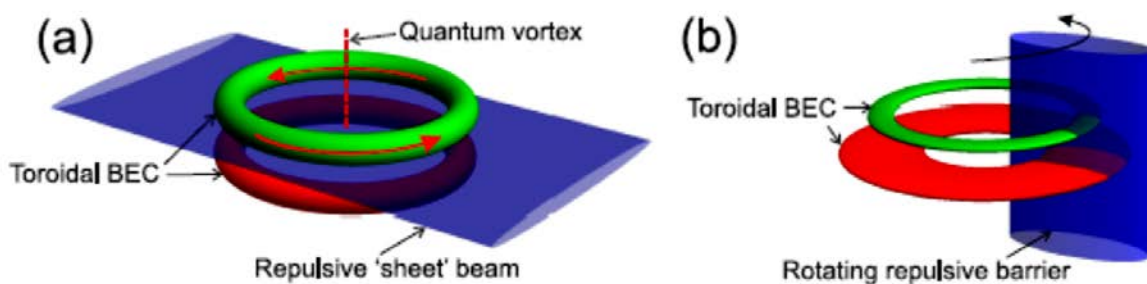


Рис. 1.2.

(А. О. Олійник, Н.В. Бажан, Є.О. Ніколаєва, О. І. Якименко, КНУ МОНУ)

В рамках методу $1/N$ -розкладів у головному порядку досліджено температурну залежність густини надплинної компоненти тривимірних бозе-систем з короткодіючою взаємодією між частинками. Показано, що врахування термічних флуктуацій густини надконденсатних частинок якісно добре відтворює результати числових підходів. Проаналізовано універсальні низькотемпературні властивості системи безспінових ферміонів у дробових вимірностях зі взаємодією, що задається сингулярним псевдопотенціалом p -типу. Показано, що фазова діаграма навіть дуже розрідженої системи містить надплинну фазу і метастабільну поведінку типу «верхньої гілки» (“upper branch” behavior).

Розроблено послідовний середньопольовий опис властивостей домішок у дво- та тривимірних бозе-середовищах. Зокрема, знайдено точний, у межах наближення середнього поля, зв'язок параметрів спектра бозе-поляронів при малих імпульсах (енергії занурення, ефективної маси) з профілем густини бозонів у полі нерухомої домішки. Ефективність методу продемонстровано порівнянням отриманих результатів для домішки в слабонеідеальному бозе-газі з даними Монте Карло симуляцій. Напівфеноменологічне узагальнення запропонованого методу в дусі наближення локальної густини, насамперед, є корисним у випадках, де мікроскопічний опис ускладнений. Зокрема, вперше передбачено особливості поведінки домішкових атомів у так званому унітарному бозе-газі.

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

Розглянуто низку задач, що стосуються нестандартних (дробових) статистик. Зіставлено два підходи до побудови термодинаміки в межах q - та μ -формалізму, що відповідають певним деформаціям алгебри операторів породження–знищення. Установлено наближену відповідність між ідеальними q - та μ -деформованими бозе-газами. Показано, як за допомогою двопараметричної неадитивної статистики Поліхронакоса можна земулювати μ -деформований бозе-газ з точністю до третього віріального коефіцієнта включно.

Досліджено нестандартну модель дробової статистики, в якій експоненту у факторі Гіббса у виразі для чисел заповнення ідеальних бозонів замінено q -експонентою Цалліса, причому параметр $q = 1 - \alpha$ вважають комплексним. Такий підхід передбачає квантово-критичні явища, які можуть бути пов'язані з порушенням PT -симетрії. Для цієї системи розраховані термодинамічні функції. Виявлено особливості температурної залежності фугативності та питомої теплоємності. Критична температура визначається неаналітичністю у виразах для чисел заповнення. Через по суті трансцендентальний характер відповідних рівнянь, для кількох значень. Застосування запропонованої моделі очікується у фізичних задачах з дисипацією енергії, а також у міждисциплінарних дослідженнях для ефективного опису явищ із немонотонними залежностями у складних системах.

(А. А. Ровенчак, О. М. Чубай, ЛНУ МОНУ)

Секція «Фізика надпровідності»

Досліджено систему, що складається з кубіту, пов'язаного до резонатора. Кубіт розглянуто у вигляді надпровідного потокового контуру на основі кільця з трьома контактами, резонатор — на основі лінії передач. Отримано енергетичний спектр системи та вивчено умови резонансного збудження. Розроблену теорію може бути застосовано до опису реалістичних систем. Ці результати важливі для нової галузі фізики — квантової електродинаміки контурів.

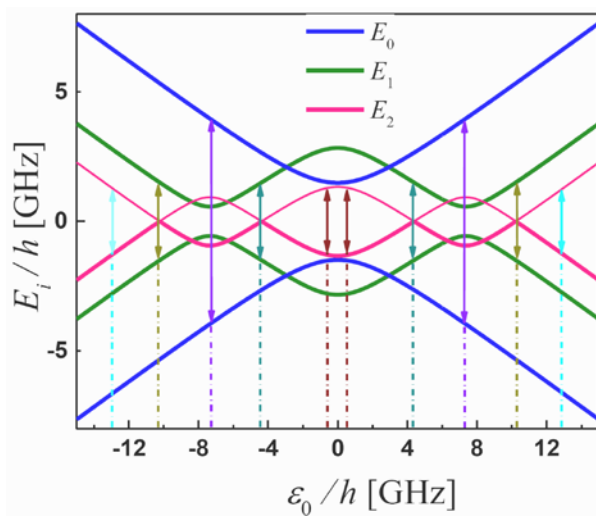


Рис. 2.1. Енергетичні рівні кубіту під впливом збудження, як функція зовнішнього магнітного потоку. Рівні E_0 описують «голий» кубіт, без впливу збудження; рівні E_1 описують кубіт «одягнений» фотонами збуджуючого поля, тобто це – рівні енергії з урахуванням цього поля; рівні E_2 описують «двічі одягнений» кубіт під впливом двох сигналів. На кубіт подаються три різні сигнали, яким відповідають різні енергії фотонів – що показано відповідними стрілочками. Там де рівні енергії збігаються з енергією фотона, ми очікуємо резонансне збудження системи, що і спостерігалось на експерименті.

(С.М. Шевченко, ФТІНТ НАНУ)

Вперше за допомогою тунельної та Андріївської спектроскопії виявлено двозонний характер надпровідності у сплаві MoRe, змодельовано вплив нанорозмірних краплин вольфраму на Mo-Re джозефсонівський контакт та продемонстровано переваги зменшення ємності переходу для покращення параметрів СКВІДів та надпровідних кубітів на їх основі. Запропоновано модель мікрохвильового однофотонного детектору на основі такого кубіту, що лягло в основу проекту, що отримав фінансування НАТО у рамках програми «Наука заради миру».

(В. Шнирков, А. Шаповалов, В. Таренков, В.Шатернік, М. Білоголовський О. Кордюк, КАУ МОНУ та ІМФ НАНУ)

Проаналізовано ARPES-спектри різних залізовмісних надпровідників поблизу температури надпровідного переходу та встановлено, що існування сильного зсуву електронних зон у центрі зони Бріллюена у напрямку підвищення енергії зв'язку притаманне

тільки Fe(Se,Te), що може бути результатом взаємодії між надпровідним станом та механізмом, що відповідає за глобальний зсув зон у температурному діапазоні 20-300 К. Це є нетривіальним проявом складної взаємодії надпровідного та спінового впорядкувань та потребує подальших досліджень.

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

Досліджено ефект близькості в переходах Джозефсона зі слабкими ланками із метаматеріалу, створеного на основі феромагнітних (нікель і пермалой) і нормальних (алюміній) плівок нанометрової товщини. Теоретично і експериментально показано, що наявність нормальних (N) прошарків має три важливі наслідки. По-перше, вони запобігають взаємній дифузії феромагнітних (F) шарів, зберігаючи їх майже незалежними один від одного, і тим самим дозволяють мати справу з магнетизмом окремих магнітних плівок, посилених завдяки їх відносно великій кількості. По-друге, вони забезпечують додатковий ступінь свободи для створення джозефсонівських гетероструктур з наперед заданими властивостями. По-третє, колективний ефект підтримки надпровідного стану в багатошаровій FNFN...FN структурі в контакті з надпровідником (S) реалізує далекодіючий ефект близькості в таких системах. Залежність критичного струму в гібридних $SN(FN)_5IN(FN)_5S$ і $SN(FN)_{10}IN(FN)_{10}S$ переходах Джозефсона добре узгоджується з відповідними теоретичними передбаченнями. Запропоновані і досліджені гетероструктури можуть застосовуватися в якості надчутливих сенсорів слабких магнітних полів, а також для створення нових пристроїв, що використовують квантові інтерференційні ефекти.

(М.О. Білоголовський, ІМФ НАНУ; I.P. Nevirkovets, J.B. Ketterson, Northwestern University, USA)

Експериментально досліджено вплив магнітного поля на вольт-амперні характеристики гетероструктур MoRe-Si(W)-MoRe, що складаються з надпровідних обкладок (сплав молібдену з ренієм) та гібридного напівпровідникового тунельного бар'єру з нанорозмірного шару кремнію Si з нанокластерами вольфраму W. Виявлено ефект зростання резистивної ділянки відповідних кривих в залежності від прикладеного магнітного поля та показано, що цей ефект є наслідком зміни слабкої локалізації електронів в розупорядкованому бар'єрі під впливом прикладеного магнітного поля.

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

Теоретично досліджено залежність критичного струму від кута розорієнтації бікристалу високотемпературного надпровідника (ВТНП) з межею нахилу [001]. Показано, що в разі відносно малих значень кута розорієнтації θ ($\theta \leq 10-15^\circ$) критичний струм, а також виникнення резистивного стану, визначаються депінінгом вихорів Абрикосова, захоплених *c*-орієнтованими крайовими дислокаціями, які утворюють малокутову межу нахилу [001] і вишикувані у лінійний ряд уздовж неї. Для цього випадку розрахована залежність критичного струму депінінгу від кута розорієнтації бікристалу, яка демонструє добре узгодження з

експериментальними даними, отриманими на бікрсталах ВТНП із малокутовими межами нахилу [001].

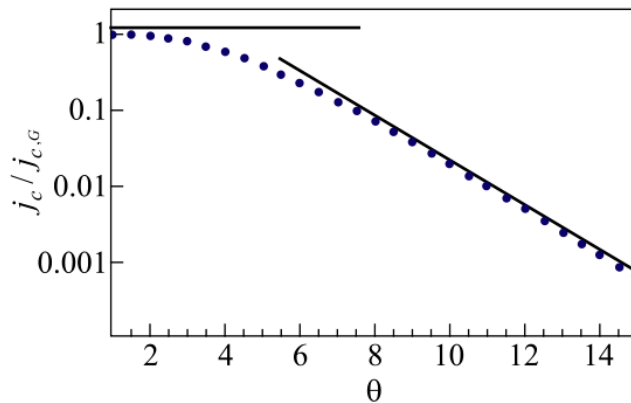


Рис. 2.2. Розрахована залежність критичного струму від кута розорієнтації бікрсталу ВТНП з межою нахилу [001].

(О.Л. Касаткін, В.П. Цвітковський, ІМФ НАНУ)

Струм в надпровідній замкненій петлі, вміщуючій тонко-плівковий інтерферометр, виміряно як функцію транспортного струму петлі та зовнішнього магнітного поля, прикладеного до петлі та інтерферометру. Встановлено відмінності між цими залежностями та характеристиками для петлі із інтерферометром, утвореним притиснутим точковим контактом.

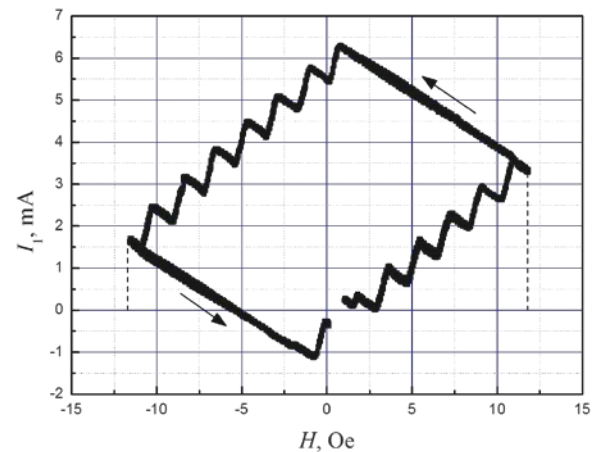
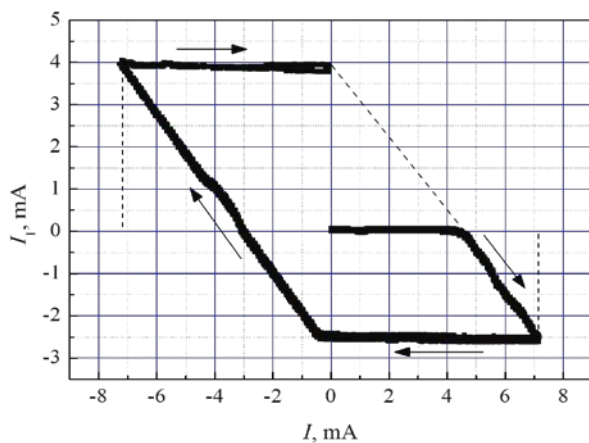


Рис. 2.3. Гістерезисна залежність струму I_p від транспортного струму I (зліва) та від магнітного поля H (справа), створеного соленоїдом, розташованим поблизу тонкоплівкового інтерферометру.

(С.І. Бондаренко, В.П. Коверя, А.В. Кревсун, ФТІНТ НАНУ)

Магнітооптична візуалізація та аналіз фронту магнітного потоку в надпровідниковому диску NbTi у ортогональному полі виявили стохастичні стрибки пучків (в'язок) магнітного потоку, що утворюють шорсткий фронт проникнення. Проникнення магнітного поля у зразок

вивчалось у полі до 600 Е і в інтервалі температур від 5 – 7 К. Фіксувалось положення фронту потоку - границі між областю, куди увійшов потік і мейснеровським станом. Аналіз форми кривих фронту потоку проведено методом швидкого перетворення Фур'є. Побудована спектральна функція дозволила отримати показники шорсткості профілю магнітного потоку та розмірність Housdorff's, для характеристики критичного стану надпровідника. Фрактальний розмір Housdorff's на фронті потоку становить близько 1,5, що наближається до результату для надпровідного ніобію. Отримані значення показника шорсткості лежать в інтервалі 0,435–0,480. При таких показниках шорсткості та для фрактального характеру фронту система підпорядковується моделі динамічного стохастичного безладу. За цією методикою проаналізовані фронти потоку після різних способів обробки надпровідника: гідроекструзії і наступної термообробки. Аналіз показав, що глибина проникнення потоку в зразок після відпалу значно (~ 4 рази) зменшується. Це свідчить про збільшення щільності критичного струму, що в свою чергу підтверджує зміну структури пінінгу магнітного потоку.

Результати показують, що не тільки фронт магнітного потоку, але й усі індукційні профілі несуть відбитки самоорганізованої критичності у вихровій системі, що може бути корисним інструментом для вивчення фрактальності входження потоку в надпровідник.

(В.В. Чабаненко, О.І. Кучук, О.М. Чумак, ДонФТІ НАНУ; В.Ф. Русаков, ДонНУ МОНУ; I. Abaloszewa, IP PAS, Poland)

Теоретично досліджено налаштування резонансної прозорості пластини шаруватого надпровідника, поміщеної між двома тонкими діелектриками, за допомогою зовнішнього слабкого магнітного поля постійного струму. Задачу було розв'язано методом трансфер-матриць. Зокрема, було отримано трансфер-матриці, що враховують вплив магнітного поля на поширення електромагнітної хвилі в досліджуваній системі. Показано, що при фіксованій частоті хвилі, змінюючи величину поля, можна одержати як звичайні однопікові, так і специфічні двопікові, пов'язані з аномальною дисперсією локалізованих мод, залежності коефіцієнта пропускання від кута падіння. Показано також, що налаштування за допомогою поля може бути зручніше в експерименті, адже не потребує настільки точного встановлення потрібного значення, як частота.

(Н. Квітка, С.С. Апостолов, Т. Рохманова, О.О. Шматько, В.О. Ямпольський, ІРЕ НАНУ)

Вперше проведено вимірювання МХ поверхневого імпедансу монокристалу нового надпровідного халькогеніду $(\text{Li}_{1-x}\text{Fe}_x)\text{OHFeSe}$ ($x_S \approx 0,2$). Якщо припустити залежність глибини проникнення поля у формі $\Delta\lambda(T) \sim (T/T_c)^n$ при $T \ll T_c$, де T_c – критична температура, то знайдене значення $n = 2,8$ добре узгоджується зі значенням, отриманим в радіочастотному діапазоні. Отже МХ вимірювання підтверджують висновок про те, що в цьому надпровіднику відсутні вузли щільної функції (тобто має місце поведінка надпровідника з повністю відкритою щільною). Крім того знайдено нерівність величин поверхневого опору і реактансу при температурі $T \geq T_c$, яку в даному випадку (відносно невисокої частоти) може викликати наявність магнітної системи у складі надпровідника. Але тут потрібні подальші дослідження.

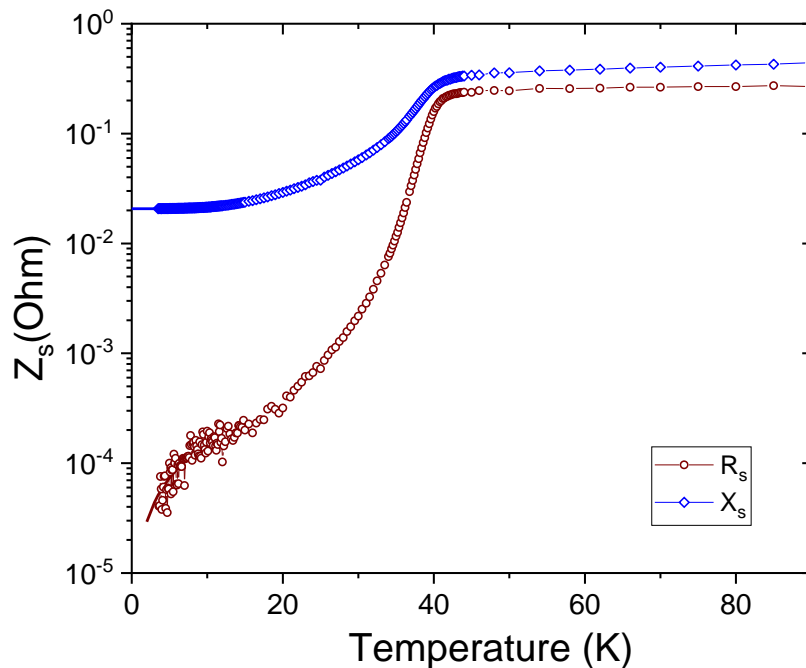


Рис. 2.4. Температурна залежність мікрохвильового поверхневого імпедансу монокристалу $(\text{Li}_{1-x}\text{Fe}_x)\text{OHFeSe}$ ($x_S \approx 0,2$).

(О.А. Баранник¹, М.Т. Черпак¹, Y. Wu², X.Q. Zhang², J. Wang², X.L. Dong², L. Sun^{2,3}, and Y.S. He², ¹IPE НАНУ, Харків; ²Beijing National Laboratory for Condensed Matter Physics, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China; ³Songshan Lake Materials Laboratory, Dongguan, Guangdong 523808, China)

За звітний рік спільно зі співробітниками відділу, інституту і зарубіжними партнерами були одержані наступні наукові результати:

Досліджено процеси термобаричного формування наноструктури, а також взаємозв'язку структурних характеристик із надпровідними властивостями матеріалів на основі MgB_2 (масивних блоків, плівок і проводів) було встановлено, що високий рівень густини критичного струму досягається за рахунок формування наноструктури з високим вмістом дисперсних включень або наночарів Mg-B-O та вищих боридів магнію за рахунок піннінгу на границях розділу цих фаз. При цьому формування тонких наночарів Mg-B-O при відносно низьких температурах синтезу ($600\text{-}800^\circ\text{C}$) приводить до збільшення густини критичного струму, перш за все, в області сильних магнітних полів і полів необоротності, тоді як перехід до окремих сегрегованих включень Mg-B-O та дисперсних включень фаз вищих боридів магнію внаслідок збільшення температури синтезу зміщує ефект збільшення густини критичного струму в область слабких та середніх магнітних полів. Встановлено, що добавки SiC , Ti , Zr , Ta , Ti-O сприяють агрегації кисню, а, крім того, добавки Ti , Zr , Ta можуть зв'язувати домішковий водень, унеможливаючи формування MgH_2 , а також приводять до збільшення кількості включень вищих боридів. Вперше експериментально та шляхом *ab-initio*

моделювання показано, що домішковий кисень входить і в елементарну комірку надпровідної сполуки MgB_2 , формуючи тверді розчини заміщення, близькі за стехіометрією до $MgB_{1,75}O_{0,25}$, що не веде до істотного зменшення температури переходу до надпровідного стану і не впливає на можливість досягнення високого рівня густини критичного струму. Дані дослідження дозволили розробити масивні матеріали, проводи і плівкові на основі дибориду магнію з рекордними значеннями функціональних надпровідних характеристик.

Досліджено закономірності формування наноструктури плавленої текстурованої кераміки $YBaCuO$ з високим рівнем надпровідних та механічних властивостей в умовах контрольованого ізостатичного тиску кисню (від 0,1 МПа до 16 МПа) при високих температурах 800-900 °С, що призводить до зменшення часу насичення киснем (від 18-25 до 3 днів) структури $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Показана принципова можливість насичення структури $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ киснем при температурі 800 °С під тиском кисню 10-16 МПа, що є на порядок нижчим за передбачуваний рівноважний тиск кисню при даній температурі для $YBa_2Cu_3O_7$. Вперше експериментально доведено, що двійники у структурі $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ відіграють більш істотну роль у досягненні високих значень густини критичного струму, ніж дислокації та дефекти пакування, створюючи наноструктуру, що дозволяє досягти високих значень сили піннінгу. Показано, що густина двійників та мікротріщин, паралельних площині ab , у структурі фази $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ залежить від розміру зерен та розподілу в ній фази Y_2BaCuO_5 і тим більша, чим рівномірніше дані зерна розподілені у структурі, і чим менша між ними відстань.

Матеріали на основі MgB_2 та плавленої текстурованої кераміки ПТ- $YBaCuO$ успішно випробувані в якості деталей струмообмежувачів та роторів електромоторів, що працюють при температурах 20 К і 77 К. Одержані характеристики проводів і масивних матеріалів на основі MgB_2 , а також ПТ- $YBaCuO$, і результати їх випробовування свідчили про перспективність використання даних матеріалів для виготовлення магнітів. Високий рівень надпровідних характеристик плівок з дибориду магнію роблять їх перспективними для виготовлення джозефсонівських перехідів.

(Т. О.Пріхна, ІНМ НАНУ)

Секція «Фізика магнітних явищ»

Підвищення швидкості руху доменних стінок (ДС) в магнетиках під дією магнітного поля або спін-поляризованого струму є важливим для підвищення швидкодії приладів наноелектроніки для запису і обробки інформації. Відомо, що для антиферромагнетиків (АФМ) максимальна швидкість руху ДС значно вище, ніж для ферромагнетиків (ФМ) і досягає 20 км/с (обмінне прискорення динаміки АФМ). Однак використання АФМ в наномасштабі є не простою задачею. Ми показали, що такі ж ефекти обмінного прискорення динаміки стінок мають місце і для феримагнетиків (ФІМ) поблизу точки компенсації спінових густин підграток s_1 і s_2 , $\nu = |s_1 - s_2| / (s_1 + s_2) \sim \sqrt{H_a / H_{ex}} \ll 1$, де H_{ex} і H_a – обмінне поле і поле анізотропії ФІМ. Такі матеріали, наприклад аморфні сплави типу GdFeCo, зараз виготовляють у вигляді плівок нанометрової товщини і довільної форми. Однак динаміка ДС в ФІМ з $\nu \neq 0$, зокрема, залежність енергії стінки від її імпульсу $E(P)$, досить складна, см.

Рис. 3.1. Якщо $\nu > \nu_c \sim 0.7\sqrt{H_a / H_{ex}}$, ця залежність, як і в ФМ, періодична; якщо ж $0 < \nu < \nu_c$, залежність $E(P)$ містить точку закінчення, при переході якої стінка втрачає стійкість. Якщо магнітне поле, яке рухає стінку, перевищує деяке критичне значення, стаціонарний рух стінки неможливий і її імпульс необмежено зростає. Результати чисельного моделювання такого режиму для ФІМ GdFeCo при $\nu = 0.35\nu_c$ наведені на Рис. 3.2. Якщо $0 < \nu < \nu_c$, при підході до точки закінчення (сірі кружки на Рис. 3.2.) ДС нестабільна, і всередині ДС збуджується швидка динаміка спінів. Ці збурення накопичуються в стінці при послідовному проходженні таких точок.

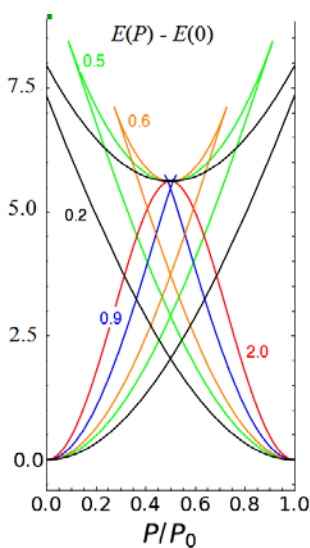


Рис. 3.1. Залежність $E(P)$ для різних величин $0.2 \leq \nu / \nu_c \leq 2$ (вказані біля кривих).

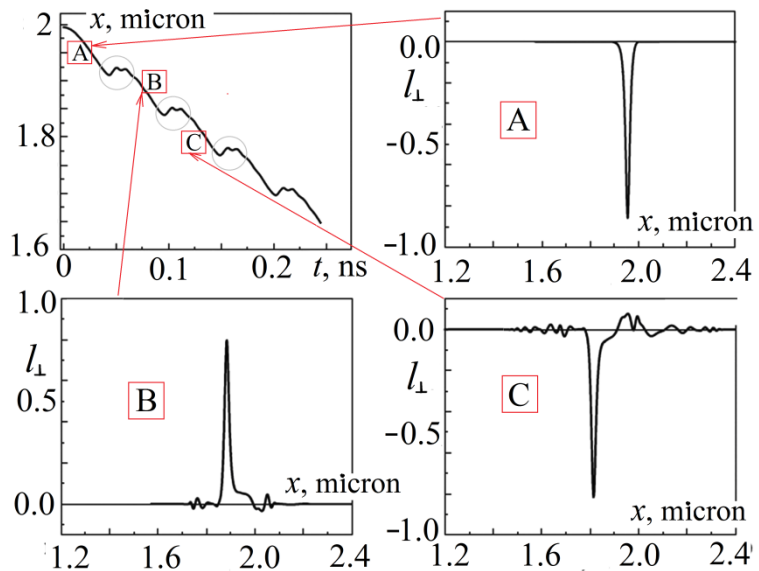


Рис. 3.2. Зліва вгорі – координата ДС як функція часу; на панелях (А), (В) і (С) представлена залежність поперечної компоненти вектору Нееля $l_{\perp}(x)$ від координати в різні моменти часу.

(Б.О. Іванов, В.Є. Кіреєв, ІМаг НАНУ та МОНУ; О.Г. Галкіна, ІФ НАНУ; Н.Е. Кулагін, ІФХЕ РАН, Москва, Росія; Р.В. Овчаров, Р.С. Химин, University of Gothenburg, Sweden)

Фрустровані магнітні системи з конкуруючими взаємодіями демонструють комплексну структуру квантових станів. Серед них – спін-1/2 ортогонально-димерний ланцюжок, що притягує особливу увагу як одновимірний відповідник відомої моделі Шастри-Сазерленда, яка широко досліджується в зв'язку з виявленням особливої послідовності дробових плато, експериментально спостережуваних у низькотемпературних кривих намагніченості у $\text{SrCu}_2(\text{VO}_3)_2$ та рідкоземельних тетраборидах. У свою чергу ортогонально-димерний ланцюжок Гайзенберга також виявляє при нульовій температурі безмежний ряд дробових плато при $n/(2n+2)=1/4, 1/3, 3/8, \dots, 1/2$.

Хоча точна фізична реалізація відповідної гайзенбергової моделі наразі невідома, виявилось, що гетеробіметалевий координаційний полімер $3d-4f$ $[\{\text{Dy}(\text{hfac})_2(\text{CH}_3\text{OH})\}_2\{\text{Cu}(\text{dmg})(\text{Hdmg})\}_2]_n$ (H_2dmg = диметилгліоксим; Hhfac = 1,1,1,5,5,5-гексафторпентан-2,4-діон), надалі позначатимемо як $[\text{Dy}_2\text{Cu}_2]_n$, забезпечує експериментальну реалізацію іншого різновиду ортогонально-димерного ланцюжка з почерговими взаємодіями Ізінга та Гайзенберга. Магнітну поведінку Dy^{3+} іонів можна зобразити Ізінговим спіном з ефективним g -фактором $g_{\text{Dy}}=20$. Як наслідок вертикальний димер $\text{Dy}^{3+}-\text{Dy}^{3+}$ можна апроксимувати парою Ізінгових спінів, в той час як горизонтальний димер $\text{Cu}^{2+}-\text{Cu}^{2+}$ - спареними Гайзенберговими спінами з g фактором $g_{\text{H}}\sim 2$. Ми знайшли точний розв'язок відповідного їй ортогонально-димерного ланцюжка Ізінга-Гайзенберга з двома різними гіромагнітними співвідношеннями для Ізінгових та Гайзенбергових спінів. Показано, що ця модель виявляє сім можливих основних станів в залежності від співвідношень між напруженістю магнітного поля та величинами обмінних взаємодій між спінами одного і того ж димера та спінами сусідніх димерів. А саме, фрустровані та модульовані квантові антиферромагнітні фази відповідають на кривих намагніченості плато з нульовою намагніченістю, проміжні 1/11- та 5/11-плато чергуються через фрустровані та модульовані квантові феримагнітні фази, тоді як проміжні 9/11- та 10/11-плато можна віднести до квантової та класичної феримагнітних фаз. Плато намагніченості, які експериментально спостерігається на кривій намагнічування $[\text{Dy}_2\text{Cu}_2]_n$ у високому полі, можна віднести до феримагнітних фаз - класичної та квантової (см. Рис. 3.3.).

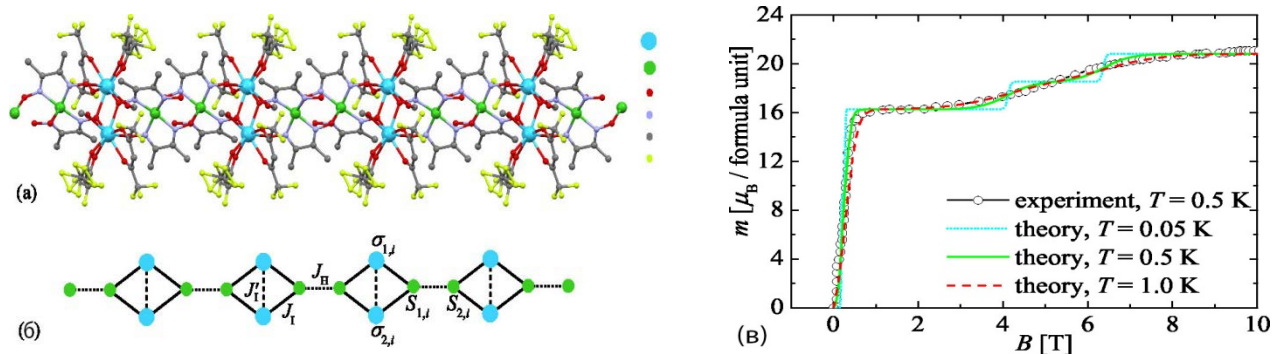


Рис. 3.3.: (а) Кристалічна структура $[\text{Dy}_2\text{Cu}_2]_n$; (б) Магнітна структура відповідного ортогонально-димерного ланцюжка; (в) Порівняння між кривою намагнічування для $[\text{Dy}_2\text{Cu}_2]_n$ при температурі $T=0.5$ К (суцільна лінія) і теоретичними обчисленнями.

(Т.М. Верхоляк, ІФКС НАНУ; J. Strečka, UPJS, Kosice, Slovakia; L. Gálisová, TUKE, Kosice, Slovakia)

В атомах орбітальний та спіновий механічні моменти електронів дають вклад у його магнітний момент, а зв'язок між моментами визначається гіромагнітним відношенням або g -фактором Ланде. В кристалічних полях величина g -фактора залежна від вузлів, в яких розташовані магнітні атоми. Одним з таких прикладів систем з двома вузлами є магнітна сполука $\text{Sr}_3\text{CuIrO}_6$, яка містить $3d$ (Cu^{2+}) та $5d$ (Ir^{4+}) магнітні іони, що можуть бути добре описані в межах ефективної спін-1/2 феромагнітної анізотропної моделі Гайзенберга [W.-G. Yin, et al, Phys. Rev. Lett. 111, 057202 (2013)]. При цьому, іони Cu несуть спін 1/2 з g фактором ≈ 2 , а іонам Ir можна поставити у відповідність ізоспін $s=1/2$ з g фактором ≈ -3 .

Ми вивчаємо вплив відмінності g факторів в періодично розташованих вузлах (їх значення є g_1 і g_2) на прикладі точно розв'язаної моделі спін-1/2 XY ланцюжка. Незважаючи на суттєве спрощення, ця модель дає задовільний опис магнітних явищ у реальних магнетиках. Раніше було відомо, що згадана періодичність g -факторів призводить до логарифмічної сингулярності на кривих намагнічування та статичної сприйнятливості. Ми з'ясували, що така поведінка є наслідком несподіваного ефекту, коли спіни підґраток вузлів з меншим g -фактором починають впорядковуватися вздовж напрямку, протилежному напрямку поля, внаслідок обмінної квантової взаємодії між спінами. Із збільшенням поля енергія цих магнітних іонів переважає обмінну і всі магнітні моменти повертаються в напрямку магнітного поля.

Ми обчислили також динамічні характеристики, які дозволяють виявити неоднаковість g -факторів в експериментах з магнітного розсіяння нейтронів та електронного спінового резонансу (ЕСР). Зокрема, отримано інтенсивність поглинання $I_\alpha(\omega, h)$ ($\alpha=x, z$) для різних конфігурацій ЕСР. Для конфігурації Фойгта ($\alpha=z$) модель однакових g -факторів не демонструє жодного відгуку. У випадку різних g -факторів, (g_1 і g_2), ми отримали ненульовий вклад, який при достатньо великих частотах має сингулярність ван Хова. У випадку ж конфігурації Фарадея $h7k7z$ ($\alpha=x$), спектр поглинання, який спостерігається при однакових g -факторах, демонструє подвоєння резонансної лінії у випадку різних g -факторів (см. Рис. 3.4.).

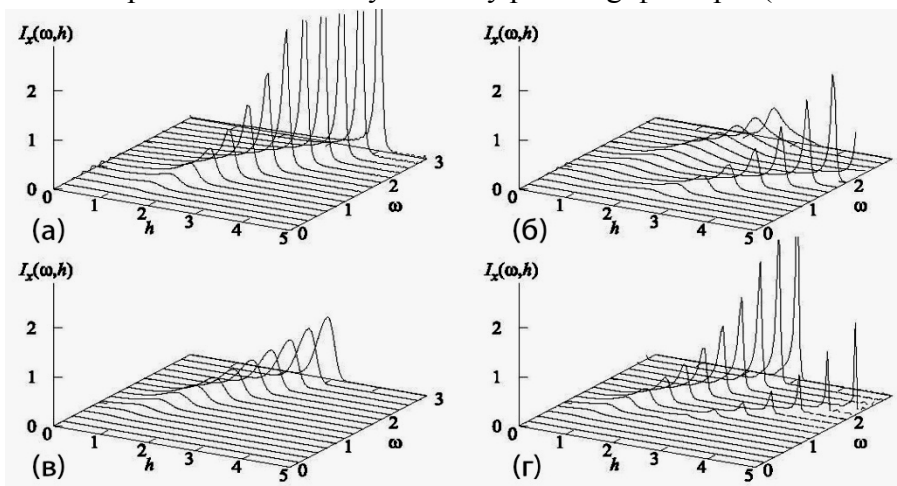


Рис. 3.4. Профілі інтенсивностей спін-резонансного поглинання $I_x(\omega, h)$ при експериментальній конфігурації Фарадея $h7k7z$ для обмінної взаємодії $J=-1$, і g -факторів $g_1=1$, $g_2=1$ (а), $g_2=0.5$ (б), $g_2=0$ (в), and $g_2=-0.5$ (г) при температурі $T/J=1$.

(Т. Крохмальський, Т. Верхоляк, О. Баран, О. Держко, ІФКС НАНУ; В. Оганян, ЄДУ, Єреван, Вірменія)

Лантановий хромоборат $\text{LaCr}_3(\text{BO}_3)_4$ належить до чисельного сімейства боратів із загальною хімічною формулою $\text{RM}_3(\text{BO}_3)_4$ (де R - лантаноїд або Y , а M - Al , Ga , Sc , Fe або Cr), представники якого як мультифероїки з незвичними властивостями привертають увагу дослідників протягом останніх кількох десятиліть. Лантановий хромоборат є однокомпонентний магнітний кристал, що дозволяє зробити важливий крок до з'ясування механізмів взаємодій в окремії $3d$ магнітній підсистемі сімейства боратів.

Проведено дослідження температурної залежності магнітної сприйнятливості $\chi(T)$ монокристала $\text{LaCr}_3(\text{BO}_3)_4$ в температурному діапазоні 2 – 300 К для двох орієнтацій зовнішнього магнітного поля $H \parallel c^*$ і $H \perp c^*$ (Рис. 3.5., c^* співпадає з кристалографічним напрямком осі c для ромбоєдричної $R32$ фази сполуки). Виявлено, що лантан-хромовий борат є двофазним (вміст ромбоєдричної $R32$ і моноклінної $C2/c$ фаз співвідноситься як 2/3), при цьому обидві структурні модифікації мають подібний антиферомагнітний порядок з близькими температурами Нееля ($T_{N1}=8.8$ К і $T_{N2}=6.3$ К). Для опису $\chi(T)$ ($T > 10$ К) запропонована модель, що містить ланцюжки гейзенбергівських спінів $S=3/2$ (іони Cr^{3+}) з урахуванням міжланцюжкової Cr-Cr обмінної взаємодії та отримано оцінки констант ефективних обмінних зв'язків: антиферомагнітна обмінна взаємодія в ланцюжках $J/k = 4,8$ К та феромагнітна міжланцюжкова взаємодія $J'/k = -0,28$ К.

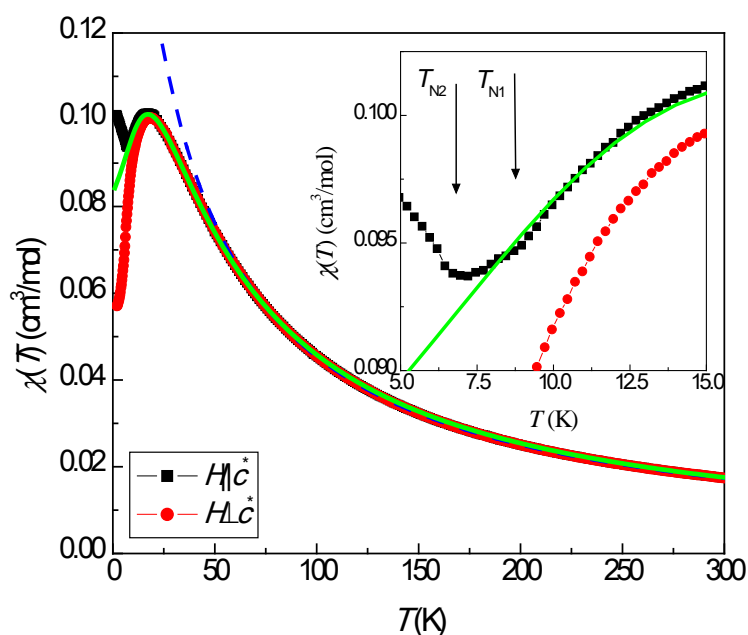


Рис. 3.5. Температурні залежності магнітної сприйнятливості $\chi(T) \equiv M/H$ монокристала $\text{LaCr}_3(\text{BO}_3)_4$, отримані в полі $H = 1$ кЕ для двох орієнтацій $H \parallel c^*$ (■) і $H \perp c^*$ (●). На вставці показана низькотемпературна частина $\chi(T)$ в інтервалі 2-40 К. Стрілки вказують на температури магнітного впорядкування, отримані для ромбоєдричної ($R32$, $T_{N1}=8.8$ К) і моноклінної ($C2/c$, $T_{N2}=6.3$ К) фаз. Пунктирна і суцільна лінії - розрахункові криві в рамках моделі Кюри-Вейса ($\mu_{\text{eff}} = 3,86 \mu_B/\text{Cr}^{3+}$, $\theta_{\text{AFM}} = -23$ К) та в моделі одновимірної системи нескінченних ланцюжків спінів з антиферомагнітною взаємодією в ланцюжках ($J/k = 4,8$ К) та феромагнітним міжланцюжковим обмінним зв'язком ($J'/k = -0,28$ К).

(О.М. Блудов, Ю.О. Савіна, В.О. Пашенко, С.Л. Гнатченко, ФТІНТ НАНУ; І.В. Колодій, ХФТІ НАНУ; В.В. Мальцев, М.М. Кузьмін, М.І. Леонюк, МДУ РАН)

Багатошарові металічні наноплівки «ферромагнітний/нормальний метал» (ФМ/НМ) використовуються в інформаційних і сенсорних технологіях і залишаються бути актуальними об'єктами для досліджень завдяки тим властивостям структури, що встановлюються при появі антиферромагнітних обмінних зв'язків між ФМ шарами, що виникають при тих товщинах шарів нормального металу, при яких в них відбувається просторове квантування електронної густини. Завдяки цим властивостям були приготовлені ефективні магнеторезистивні матеріали. Можливості створення контрольованих АФМ або ФМ обмінних зв'язків вказують також на можливість розробки складних багатошарових структур з заданими динамічними магнітними властивостями для пристроїв магнітоніки. Квантовий просторовий електронний ефект може також помітно впливати і на магнетооптичні властивості гетеро магнітних структур. Вплив ефекту може бути як безпосереднім, так і опосередкованим, коли перерозподіл електронної густини в шарі немагнітного металу спричиняє зміни структури ферромагнітних наночарів, що формуються в процесі виготовлення багатошарової гетеро магнітної системи. На сьогодні досліджено ще далеко не всі важливі особливості фізичних властивостей багатошарових структур ФМ/НМ.

Нами досліджувався вплив товщини немагнітних шарів на магнетооптичні і магнітні властивості плоских періодичних багатошарових наноплівок $[\text{Co}(0,8 \text{ нм})/\text{Cu}(d_{\text{Cu}})(111)]_{20}$, виготовлених методом магнетронного розпилення. Вимірювались кути фарадеєвого обертання площини поляризації світла, що проходило скрізь намагнічені плівки. Визначений попередньо в малих полях коефіцієнт пропорційності Кундта $K = \varphi/M$ між Фарадеєвим кутом і намагніченістю дав можливість визначити намагніченість плівок в насиченні шляхом екстраполяції залежностей $\varphi(d) = f(d, \varphi/H_i)$ до $\varphi/H_i \rightarrow 0$. Було виявлено зменшення величини ефекту Фарадея і намагніченості при насиченні в тих плівках, в яких існує РККІ-обмінний антиферромагнітний (АФМ) зв'язок між шарами Со (Рис. 3.6.).

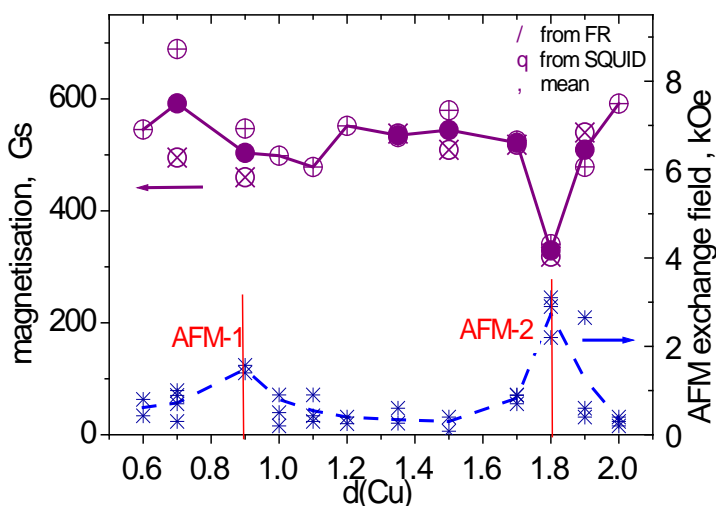


Рис. 3.6. Ефективне поле обмінної АФМ взаємодії між шарами кобальту (□) в багатошарових плівках $[\text{Co}(0,8 \text{ нм})/\text{Cu}(d_{\text{Cu}})(111)]_{20}$ та їх намагніченість насичення в залежності від товщини шарів міді в плівках. Величини намагніченості були визначені із кутів Фарадеєвого обертання (/) та із SQUID-вимірів (○), їх середні значення позначені як (○).

Виявлене з ефекту Фарадея зменшення намагніченості плівок M_{sat} було підтверджене прямими SQUID-вимірами. Зменшення намагніченості свідчить про збільшення в ФМ шарах

кількості “втрачених спінів” – збільшенням числа дрібних кластерів та не зв’язаних між собою атомів Co. Тим самим воно вказує на вплив просторового електронного квантування в шарах Si на формування кобальтових шарів у процесі їх росту.

(І.М. Лукієнко, М.Ф. Харченко, О.В. Федорченко, І.А. Харлан, О.П. Тутакіна, ФГІНТ НАНУ; О.М. Стеценко, НТУ ХПІ; Cristina S. Neves^c, Andrei N. Salak^c Department of Materials and Ceramics Engineering and CICECO-Aveiro Institute of Materials University).

Спінова хвиля (СХ), що поширюється у зовнішньому статичному електричному полі, набуває топологічну фазу, так звану фазу Ааронова-Кашера (АС). Це еквівалентно вибірковому зміщенню дисперсії SW та зміні напрямку потоку потужності СХ зовнішнім електричним полем у **k**-просторі. У лінійному наближенні дію електричного поля (створення фази АС) можна врахувати, додаючи взаємодію між сусідніми спінами, подібну до взаємодії Дзялошинського-Морія. Даний ефект застосовано для вивчення можливості контролю зовнішнім електричним полем заломлення когерентно розповсюджуваних СХ, що перетинають межу між двома областями однорідної плівки феромагнетика, які знаходяться під впливом різного зовнішнього електричного поля.

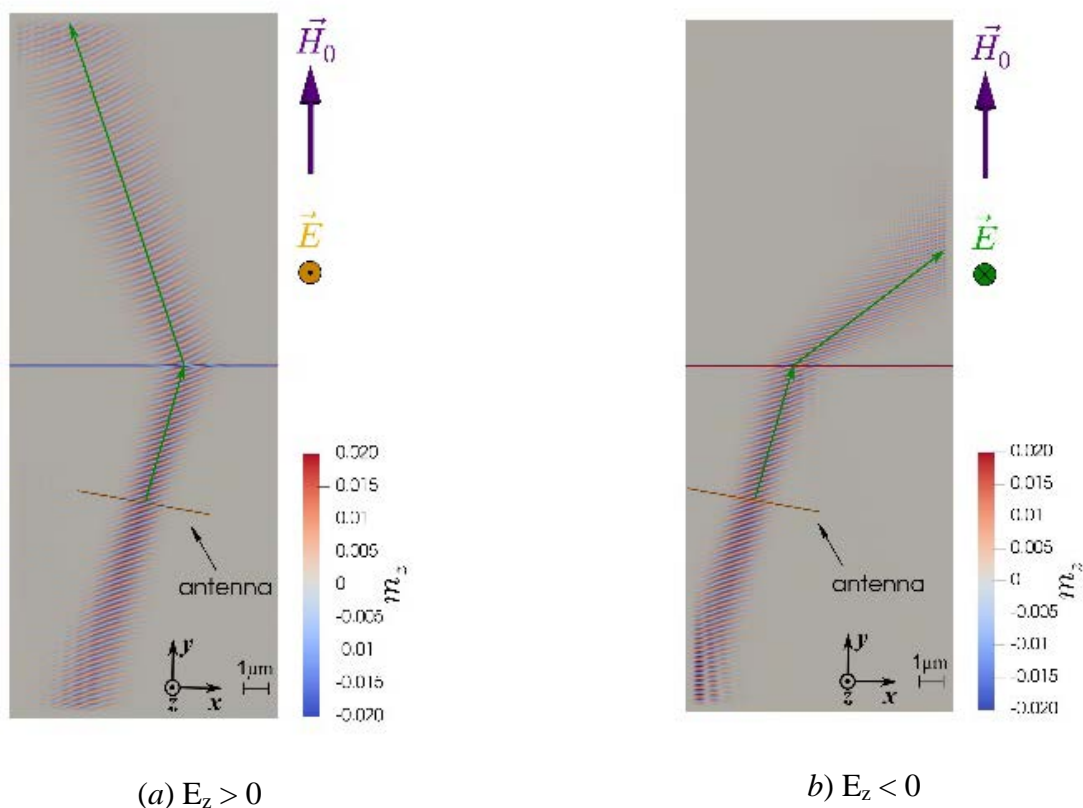


Рис. 3.7. Індукований електричним полем зсув фази СХ хвилі на частоті $f = 8,0$ ГГц; $\mathbf{H}_0 \parallel \mathbf{M}_S$; $\mathbf{E} \parallel \mathbf{z}$. Магнітне поле нормальне до межі між областями з $|E_z| = 0,35$ eV/nm та $E_z = 0$.

Отримано аналітичний вираз узагальненого закону Снелліуса для СХ та виконано відповідне мікромагнітне моделювання. Продемонстровано, що проходження СХ можна контролювати за допомогою фазового зсуву СХ (фази АС). Показано, що поведінка

розсіювання та заломлення СХ на такій межі двох областей магнітної плівки відповідає узагальненому закону Снелліуса. З фундаментальної точки зору, цей ефект може бути використано як спосіб кількісного експериментального визначення додаткової топологічної фази СХ, індукованої зовнішнім електричним полем, а саме, вимірюючи падаючий та заломлений кути променів СХ. Топологічний ефект АС відкриває також новий ефективний спосіб керування СХ в пристроях магнітоніки.

На Рис. 3.7. наведено результати мікромагнітного моделювання (програма MuMax3) заломлення когерентної розповсюджуваної СХ під дією електричного поля для магнітної плівки товщиною 30 nm з силовими магнітними параметрами фериту-гранату ітрію ($Y_3Fe_5O_{12}$). У разі $E_z > 0$ (a) спостерігається так зване негативне заломлення СХ.

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

В рамках подальшого вивчення явища спінового кросоверу в перовскітних кобальтитах з загальною формулою $RCoO_3$ проведені дослідження кристалічної структури, температурної залежності магнітної сприйнятливості, $\chi(T)$ в інтервалі температур 5 – 400 К, а також впливу на сприйнятливість гідростатичного тиску при фіксованих температурах $T = 78, 150$ і 300 К в сполуках $La_{1-x}Pr_xCoO_3$ ($x = 0, 0.1, 0.2$ та 0.3). Було показано, що специфічні немонотонні залежності $\chi(T)$, які спостерігались в досліджуваних сполуках, пов'язані з поведінкою внеску в загальну сприйнятливості від іонів Co^{3+} , $\chi_{Co}(T)$, який експериментально визначався як різниця між значеннями сприйнятливості для кобальтитів $La_{1-x}Pr_xCoO_3$ і еталонних сполук $La_{1-x}Pr_xAlO_3$, нехтуючи магнетизмом іонів Al^{3+} . Наведені на Рис. 3.8. температурні залежності цього внеску демонструють його еволюцію з ростом хімічного тиску при заміщенні в сполуках іонів лантану La^{3+} меншими за розміром іонами празеодиму Pr^{3+} . Відповідна поведінка сприйнятливості $\chi_{Co}(T)$ при стисненні кристалічної ґратки спостерігається також під впливом гідростатичного тиску.

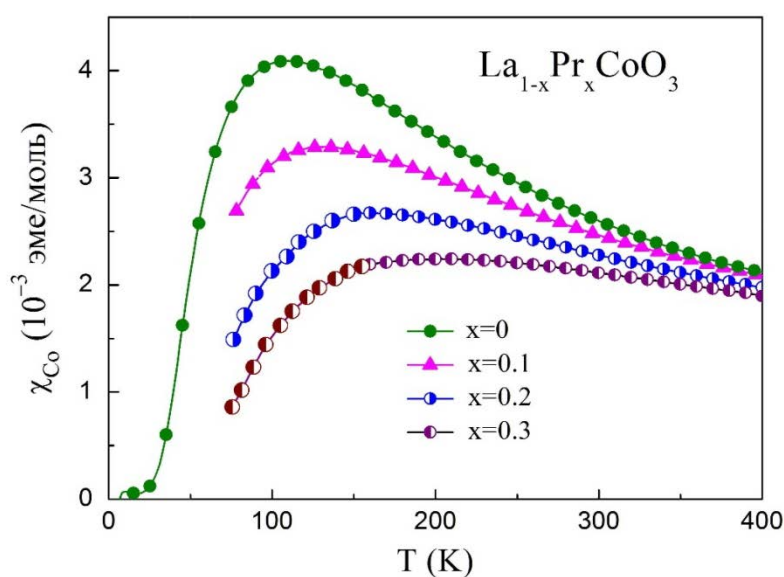


Рис. 3.8. Температурна залежність внеску іонів Co^{3+} в загальну сприйнятливості сполук $La_{1-x}Pr_xCoO_3$.

Отримані експериментальні результати розглянуті в рамках моделі з енергетичною щільною Δ між основним немагнітним і збудженим магнітним станами іона кобальту, які відповідають значенням його спіну $S = 0$ та $S = 1$. У цій моделі магнетизм $\chi_{Co}(T)$ (Рис. 3.8.) визначається індукованим температурою ростом заселення збудженого стану іонів Co^{3+} , а спостережена аномально велика дія тиску на магнітну сприйнятливість, пов'язана з високою чутливістю енергії збудження Δ до змін об'єму елементарної комірки ґратки під дією як зовнішнього, так і хімічного тиску, яка становить близько $d\Delta/dP \sim 14$ К/кбар.

Відповідні експерименту теоретичні розрахунки електронної структури для сполук $LaCoO_3$ і $PrCoO_3$ підтверджують суттєве зростання енергії збудження Δ зі зменшенням об'єму комірки і свідчать на користь сценарію спінового кросоверу між станами іонів кобальту з низьким ($S=0$) та проміжним ($S=1$) значенням спіну.

(А.С. Панфілов, Г.Є. Гречнев, А.О. Легенька, В.О. Пащенко, ФТІНТ НАНУ, Л.О. Василечко, В.М. Греб, НУ “Львівська політехніка”)

Магнітні наночастинки широко вивчаються останніми роками через їх потенційне застосування у біомедичних галузях, особливо при лікуванні онкологічних захворювань за допомогою магнітної гіпертермії. У процесі магнітної гіпертермії наночастинки вводяться в область пухлини і піддаються дії змінного магнітного поля. Енергія магнітного поля перетворюється в теплову за рахунок гістерезисних втрат або релаксаційних процесів. Оскільки вражені клітини більш чутливі до дії тепла, за відповідних умов вони будуть зруйновані без ушкодження живих клітин.

Наночастинки на основі заміщених манганітів $(La,Sr)MnO_3$ розглядаються як перспективні з точки зору застосування в якості індукторів магнітної гіпертермії. Однак магнітні та теплові параметри таких наночастинок залишаються слабо дослідженими.

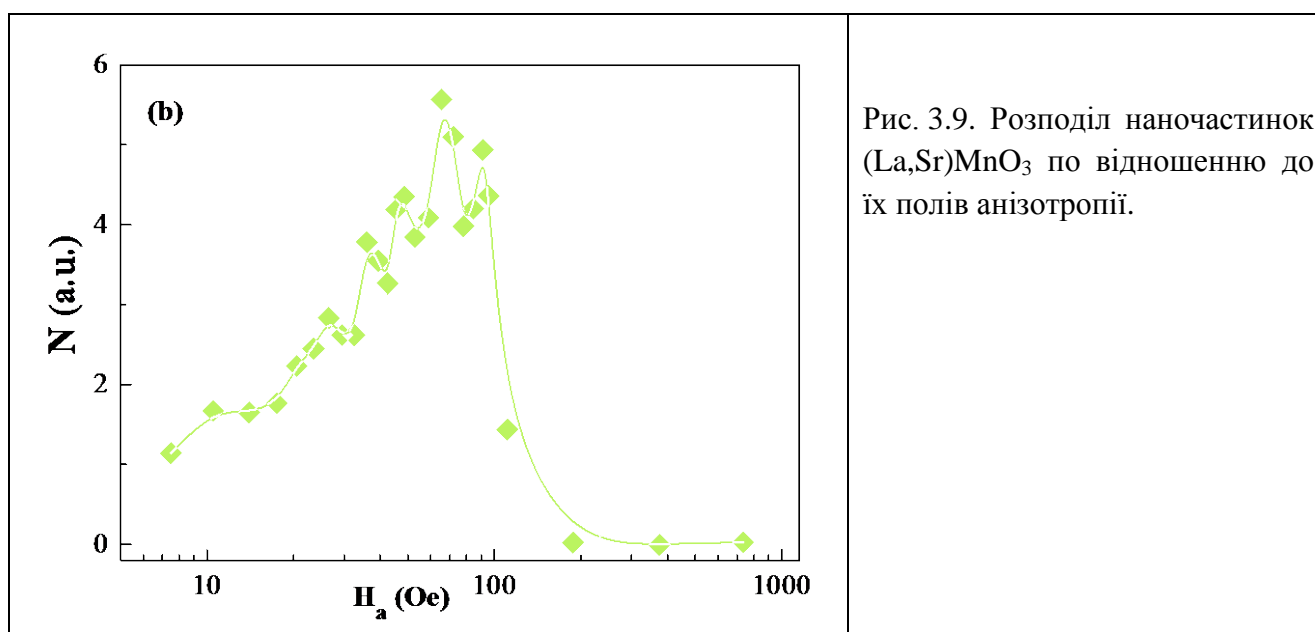


Рис. 3.9. Розподіл наночастинок $(La,Sr)MnO_3$ по відношенню до їх полів анізотропії.

Нами вперше отримано інформацію про розподіл полів магнітної анізотропії по ансамблю для наночастинок $(\text{La,Sr})\text{MnO}_3$ з середнім розміром біля 30 нм, синтезованих золь-гель методом [J. Magn. Magn. Mater. – 2020. – v. 498. – P. 166068]. Проведено комбіноване дослідження статичних і динамічних магнітних властивостей наночастинок, виконано детальний аналіз залежностей магнітних параметрів (залишкова намагніченість, коерцитивна сила, площа петлі гістерезису) від амплітуди поля розгортки. Показано, що наночастинки, що досліджуються, виявляють значно вищу магнітну анізотропію (поля анізотропії досягають 100 E), ніж відповідні об'ємні зразки (~10 E). Зроблено висновок, що в основі підсилення магнітної анізотропії в заміщених манганітах при переході до нанометрових масштабів лежить конкурентний характер обмінних взаємодій та значна поверхнева анізотропія.

Отримані результати можуть бути використані для оптимізації параметрів наночастинок та експериментальних умов для досягнення максимальної ефективності нагріву при застосуванні заміщених манганітів в якості індукторів магнітної гіпертермії.

(О.І. Товстолиткін, Я.М. Литвиненко, ІМаг НАНУ та МОНУ; С.М. Рябченко, В.М. Калита, А.В. Боднарук, О.В. Бондар, ІФ НАНУ; А.Г. Білоус, С.О. Солопан, Ю.Ю. Шлапа, ІЗНХ ім. В.І. Вернадського НАНУ)

Однією з актуальних задач сучасної фізики магнетизму є пошук та створення магнітних матеріалів з заданими властивостями. Інтерметалічні сполуки з іонами металів групи заліза та рідкісноземельними іонами формують широку групу таких магнетиків, в яких зкомбіновано принципово різні групи електронів, одні, локалізовані на 4f орбіталях, інші, локалізовані на 3d орбіталях, та зонні електрони. Конкуренція між міжіонними та внутрішньоіонними взаємодіями, притаманними 3d, зонним та 4f електронам, визначає магнітні властивості конкретної сполуки. В рамках програми пошуку нових інтерметалідів з цього класу було проведено [All.Comp. 835, 155335 (2020)] експериментальне дослідження магнітних та магнітоакустичних властивостей феримагнітної сполуки з гексагональною структурою $\text{Dy}_2\text{Fe}_{14}\text{Si}_3$. Зокрема, в магнітоакустичних експериментах з $\text{Dy}_2\text{Fe}_{14}\text{Si}_3$ вперше спостерігалися зміни швидкості та поглинання звуку поздовжніх та поперечних акустичних хвиль в зовнішньому магнітному полі при різних напрямках магнітного поля і різних температурах.

Появу аномалій в польових залежностях швидкості звуку та поглинання нами пояснено за допомогою моделі локалізованих 4f та 3d електронів, заснованої на механізмі зчеплення механічної напруги ґратки з обмінними інтегралами. Відносну зміну швидкості звуку можна записати як $(\Delta v/v) = -(x_1\chi + T x_2)[(M_0)^2 + T\chi]$, (поглинання звуку $\Delta\alpha$ пропорційно - $(\Delta v/v)$), де T температура в енергетичних одиницях, M_0 – намагніченість, χ – магнітна сприйнятливність, а $x_{1,2}$ – магнітопружні параметри, залежні від змін обмінних інтегралів при впливі звуку. Теорія добре описує магнітопольову поведінку акустичних характеристик $\text{Dy}_2\text{Fe}_{14}\text{Si}_3$. Результати теорії дають підставу вважати, що основним механізмом виникнення магнетизму в $\text{Dy}_2\text{Fe}_{14}\text{Si}_3$ є обмінна взаємодія локалізованих 4f електронів Dy і їх магнітна анізотропія та 3d локалізованих електронів Fe.

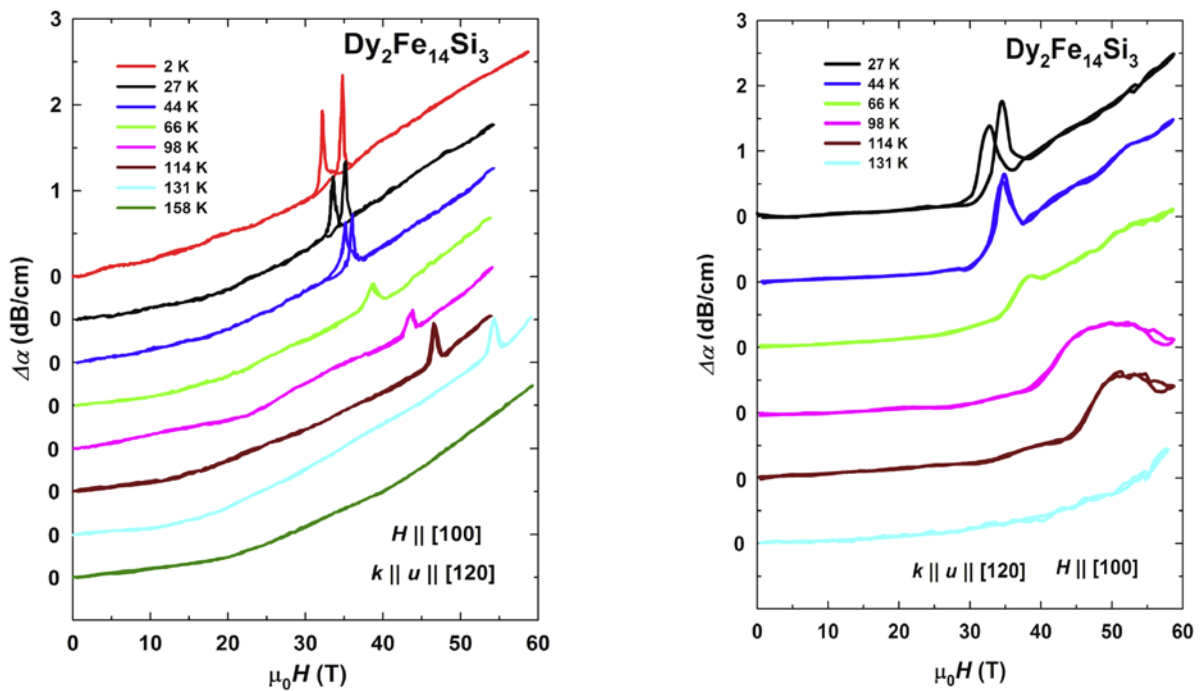


Рис. 3.10. Ліворуч. Поглинання поздовжнього звуку в $\text{Dy}_2\text{Fe}_{14}\text{Si}_3$ як функція магнітного поля при різних температурах та напрямку магнітного поля $H \parallel [120]$. Праворуч: теоретично розраховане поглинання. Аномалії поведінки відповідають магнітним фазовим переходам.

(А. А. Звягін, Г.А. Звягіна, ФТІНТ НАНУ, разом з дослідниками Лабораторії сильних магнітних полів, Дрезден-Россендорф, Німеччина; Інституту фізики Прага, Чехія)

В сучасній фізиці магнетизму вивчення властивостей магнітних сполук з геометричною фрустрацією взаємодій між магнітними моментами є однією з найбільш фундаментально важких задач, тому що, з одного боку, взаємодія між магнітними іонами в них може бути дуже сильна, але, завдяки фрустраціям, вона не призводить до встановлення в них далекого магнітного порядку. Відсутність впорядкування не дає використовувати для опису таких систем розвинуті методи сучасної теорії магнетизму, як теорія середнього поля, теорія спінових хвиль, тощо. З іншого боку, взаємодія між магнітними моментами призводить до поведінки, дуже далекої від поведінки звичайних парамагнетиків. Наприклад, велика ступінь виродження, викликана фрустрацією, призводить до великої величини магнітної ентропії в таких системах. Серед найбільш цікавих класів фрустрованих магнетиків особливе місце займають титанати рідкісноземельних елементів зі структурою пірохлору. В них, зокрема, відкрито системи класичного спінового льоду, з сильною магнітною анізотропією ізинговського типу. Системи цього класу з більш слабкою анізотропією вважають квантовим спіновим льодом. Одним з найбільш цікавих представників цієї групи вважається $\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ з некрамерсівськими іонами Tb^{3+} , в якому при $T = 0.5 \text{ K}$ спостерігався фазовий перехід невідомої природи, бо магнітні взаємодії фрустровані.

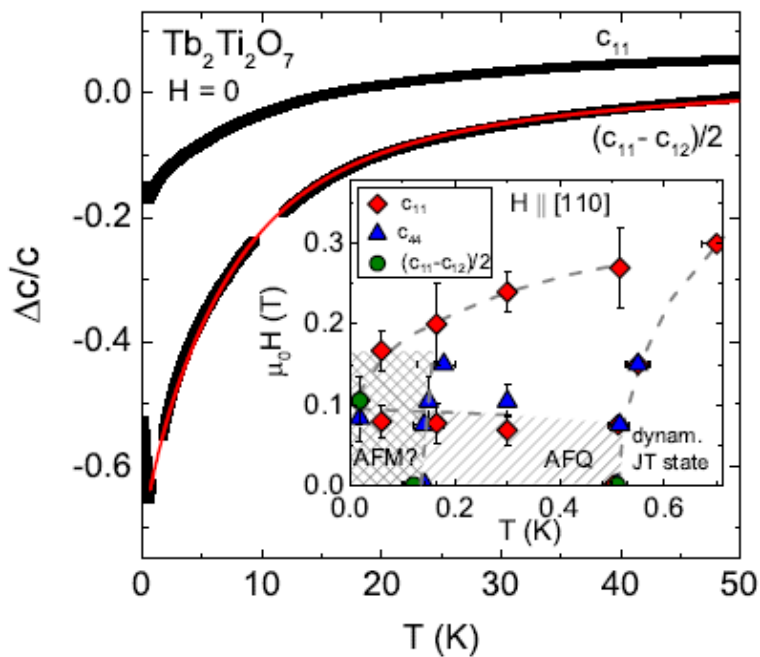


Рис. 3.10. Температурна поведінка пружних модулів C_{11} та $(C_{11}-C_{12})/2$ (символи - експеримент, лінії - теоретичні розрахунки) при $H=0$ в $Tb_2Ti_2O_7$; на вставці - фрагмент низькотемпературної H - T фазової діаграми. Видно, що теорія дуже добре співпадає з даними експериментів.

Проведені дослідження [Phys.Rev.B 102, 060403(R) (2020)] магнітних, термодинамічних та акустичних властивостей цієї магнітно фрустрованої сполуки разом з побудованою нами теорією довели, що при $T = 0.5$ K в ній реалізується фазовий перехід до антифероквадрупольно впорядкованої фази, а при подальшому зниженні температури нижче 0.15 K можливе магнітне дипольне впорядкування.

(А. А. Звягін, ФТІНТ НАНУ, разом з фізиками з Лабораторії сильних магнітних полів, Дрезден-Россендорф, Німеччина, Університету Хоккайдо, Японія, та Інституту Пауля Шерера, Швейцарія)

Останнім часом в межах нового напрямку фізики магнітних явищ, так званої «магنونіки», приділяється особлива увага до властивостей штучних метаматеріалів, що являють собою двовимірні масиви магнітних нанодотів (магنونні кристали). Нелінійна динаміка таких суто дискретних ґраток нанодотів демонструє низку незвичних явищ, зокрема можливість існування так званих дискретних бризерів. При слабкому зв'язку між нанодотами локалізація відбувається на декількох найближчих дотах. Тому було розглянуто динамічну задачу зв'язаних систем [О.С.Ковалев, Dynamics of pair of coupled magnetic systems, ФНТ 46, №8, 1014-1020 (2020)] – точно інтегровану систему двох зв'язаних магнітних елементів з однією магнітною анізотропією, пов'язаною з віссю z , що описується системою двох динамічних рівнянь

$$i d\psi_n / dt = \omega_0 \psi_n m_n + \varepsilon (\psi_n m_m - \psi_m m_n),$$

де $n, m = 1, 2$, $\psi = m_x + im_y$, $m = m_z = \sqrt{1 - |\psi|^2}$, ω_0 - частота однорідного магнітного резонансу і $\varepsilon = \omega_0 \kappa$ – енергія обмінної взаємодії магнітних елементів. Усі можливі збудження цієї системи знайдено для феро- і антиферомагнітного зв'язків в термінах еліптичних функцій.

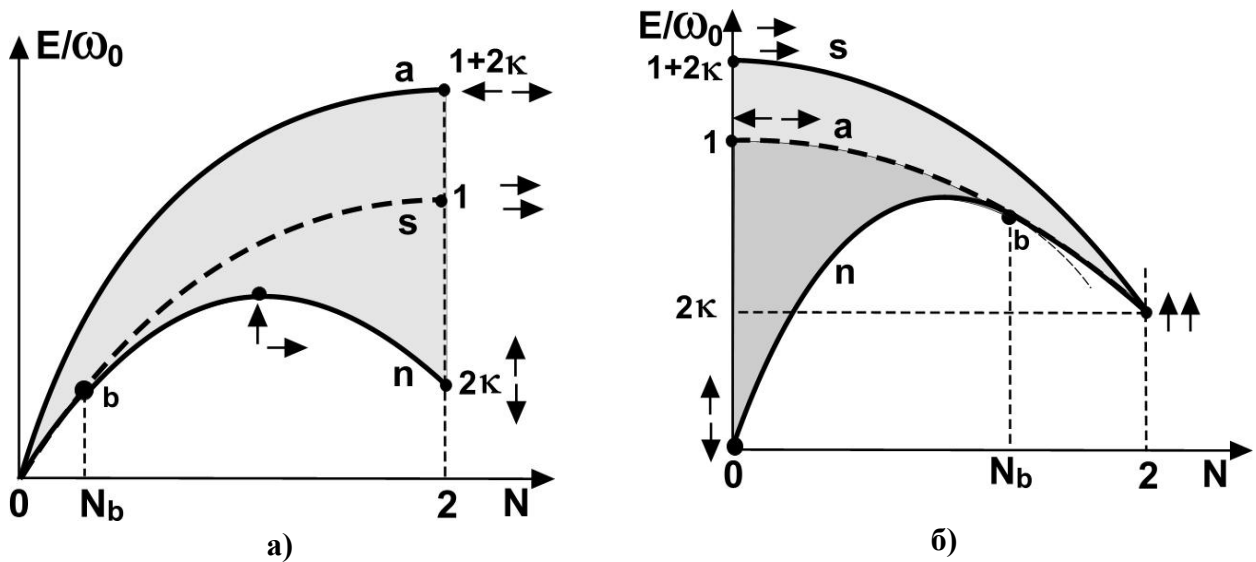


Рис. 3.11. Области існування однорідних і неоднорідних збуджень при феро- (а) і антиферомагнітному (б) зв'язку магнітних елементів на площині інтегралів руху системи.

На Рис. 3.11. зображено області існування різних типів збудження (однорідних і неоднорідних) на площині інтегралів руху системи: її повної енергії E і повної намагніченості (числа спінових відхилень). Лінії (а) на рисунках відповідають однорідним синфазним обертанням магнітних моментів, а лінії (s) – однорідним обертанням із зсувом фази, рівним π фаз. Лінії (n) відповідають станам з нерівномірним розподілом збуджень між елементами системи. При заданому рівні збуджень їм відповідає найменша енергія і вони виникають в біфуркаційний спосіб при критичному рівні збудження N_b . Ці стани є аналогами дискретних бризерів в ґратках магнітних нанодотів.

(О.С. Ковальов, ФТІНТ НАНУ)

Квантові спінові антиферомагнітні моделі на геометрично фрустрованих ґратках виявляють багато цікавих фізичних властивостей. Наприклад, сильне виродження класичного основного стану може зумовити виникнення різноманітних екзотичних квантових фаз, коли величина спіну $S=1/2$. Одним із найяскравіших представників ґраток такого типу є тривимірна мережа з'єднаних тетраєдрів — ґратка пірохлору. Наразі відома сполука $\text{NaCaNi}_2\text{F}_7$, яка є майже ідеальною реалізацією $S=1$ антиферомагнітної моделі Гайзенберга на ґратці пірохлору [K. W. Plumb *et al.*, Nat. Phys. **15**, 54 (2019)].

Ми вивчали термодинамічні властивості квантової антиферомагнітної $S=1/2$ моделі Гайзенберга на ґратці пірохлору методом високотемпературних розвинень [Phys. Rev. B **101**, 174426 (2020)]. Для дослідження на основі високотемпературних рядів використовувався узагальнений метод Паде аналізу із врахуванням правил сум для ентропії і енергії — так званий метод ентропії [B. Vernu and G. Misguich, Phys. Rev. B **63**, 134409 (2001)]. Цей метод дозволяє отримати надійні результати в широкому інтервалі температур, см. Рис. 3.12. Профіль теплоємності має максимум при незвично низькій температурі $T/J \approx 0.25$ і не містить додаткових низькотемпературних особливостей типу плеча чи додаткового піку (на відміну від такої ж моделі на ґратці кагоме). Однорідна магнітна сприйнятливості має типовий

широкий максимум і добре узгоджується із відомими даними діаграматичного Монте Карло. Отримані результати є свідченням безщільного енергетичного спектру моделі (степенева поведінка теплоємності при низьких температурах) із значенням енергії основного стану $e_0 \approx -0.52$.

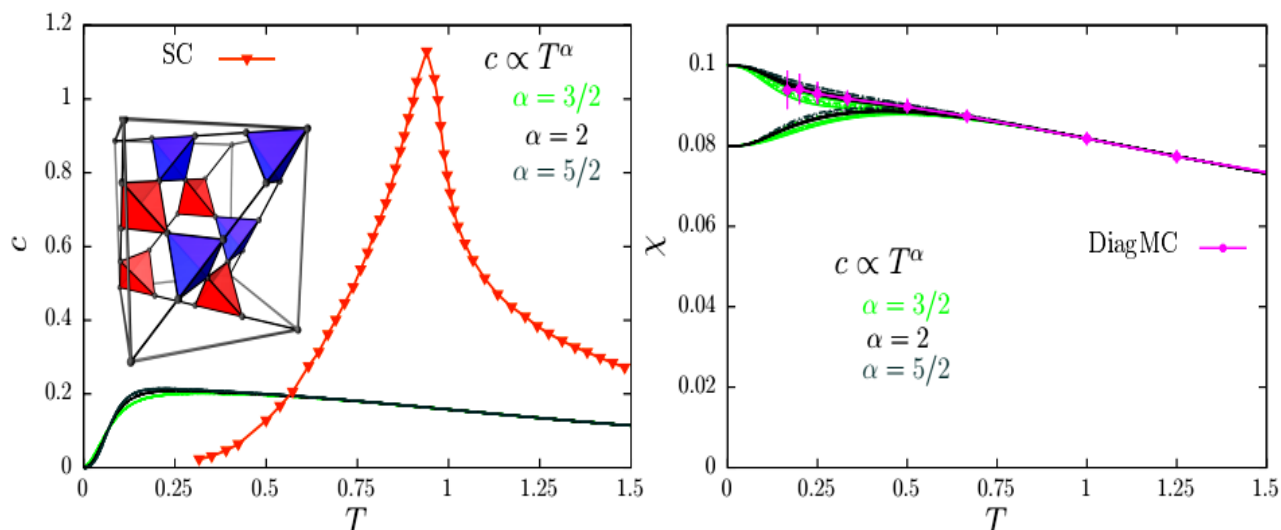


Рис. 3.12. Теплоємність $S=1/2$ антиферромагнітної моделі Гайзенберга на гратці пірохлору у порівнянні з теплоємністю цієї ж моделі на простій кубічній гратці (ліва панель); магнітна сприйнятливість у порівнянні з даними діаграматичного Монте Карло [Y. Huang *et al.*, Phys. Rev. Lett. **116**, 177203 (2016)] (права панель).

(О. Держко, Т. Гутак, Т. Крохмальський, ІФКС НАНУ; Ю. Шнак, Університет Білефельда, Німеччина; Й. Ріхтер, Університет Отто фон Геріке у Магдебурзі, Німеччина)

$\text{CsGd}(\text{MoO}_4)_2$ належить до сімейства подвійних рідкісноземельних молібдатів із сильним зв'язком між магнітною та пружною підсистемами, що зумовлює значну анізотропію їх магнітних властивостей. Зокрема, завдяки наявності значної магнітної анізотропії в подвійних молібдатах існує великий обертальний магнетокалоричний ефект. До цього часу анізотропні властивості цієї сполуки були отримані на основі магнітних та калориметричних вимірів. Вивчення особливостей формування магнітної анізотропії потребує детальних відомостей про локальне оточення магнітного іону, які можуть бути безпосередньо отримані зі спектру електронного парамагнітного резонансу (ЕПР).

Проведене нами дослідження ЕПР в $\text{CsGd}(\text{MoO}_4)_2$, на частотах між 9,4 та 70 ГГц вперше виявило значну анізотропію резонансних властивостей, яка спричинена ромбічними спотвореннями поліедра або октаедра кисневого оточення магнітного іона Gd^{3+} . Співставлення проведених теоретичних розрахунків з отриманими експериментальними даними ЕПР досліджень дозволило побудувати магнітопольову діаграму енергетичних рівнів основного електронного стану іона Gd^{3+} в $\text{CsGd}(\text{MoO}_4)_2$. Приведена на Рис. 3.13. діаграма обчислена з урахуванням аксіального та ромбічного параметрів кристалічного поля ($B_2^0 = -1600 \pm 10\%$ і $B_2^2 = -1150 \pm 10\%$ МГц). Стрілками показано резонансні переходи.

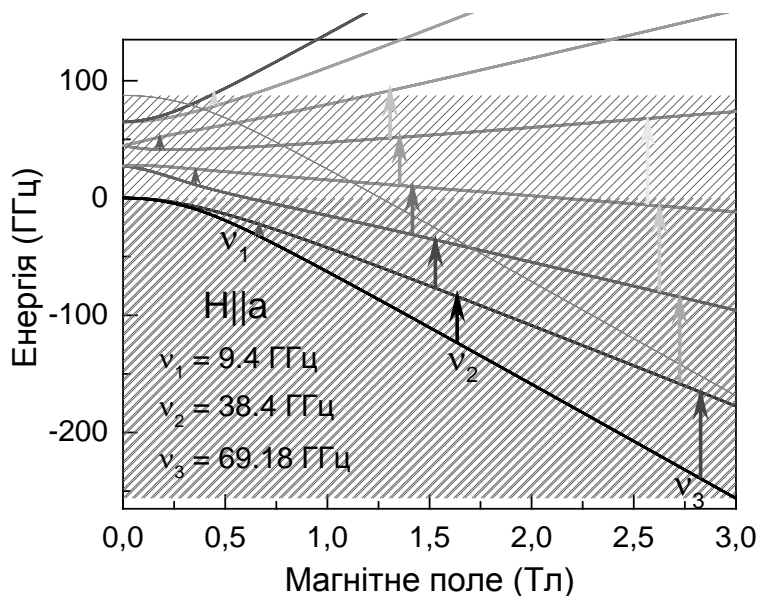


Рис. 3.13. Магнітопольова діаграма енергетичних рівнів основного мультиплету іону Gd^{3+} в $CsGd(MoO_4)_2$. Стрілками показано резонансні переходи при відповідних частотах. Довжина стрілок відповідає резонансним частотам. Заштрихована область схематично демонструє температурне заселення енергетичних рівнів при $T = 4,2$ К. Контрастністю кольору стрілок відображено інтенсивності переходів між відповідними рівнями.

(Х.В. Кутько, В.М. Хрустальов, ФТІНТ НАНУ; Д. Каменський, Experimental Physics V, Center for Electronic Correlations and Magnetism, Institute of Physics, University of Augsburg, Germany; V. Tkáč, E. Čížmár, Institute of Physics, P. J. Šafárik University, Košice, Slovak Republic)

Спінова рідина (СР) – дуже рідкісний і найбільш загадковий магнітний основний стан речовини. Пошуки СР є метою у фізиці конденсованої речовини, оскільки ці стани СР можуть мати нові екзотичні типи квазічастинкових збуджень, що мають дробові квантові числа, а саме ферміони Майорани, які можуть бути використані для створення систем, в яких вони будуть грати роль половинок кубіта. Теорія передбачає різні типи СР. Особливо цікава версія виникає внаслідок фрустрації обміну, описаної точно розв’язуваною моделлю Китаєва на двовимірній гексагональній ґратці.

Шаруваті стільникові іридати A_2IrO_3 ($A = Na, Li$) нещодавно опинилися у центрі уваги завдяки теоретичним прогнозам, що вони можуть містити фізику моделі Китаєва. Було припущено, що магнетизм цієї системи можна описати лінійною комбінацією гамільтоніанів моделей Гейзенберга і Китаєва. Дійсно, проведені нами раманівські дослідження системи $(Na_{1-x}Li_x)_2IrO_3$ ($x = 0, 0.1$), ізолятора Мотта із сильною спин-орбітальною взаємодією в стільниковій ґратці дозволили встановити наявність і температурні межі трьох фаз: парамагнетик – парамагнетик Китаєва –антиферромагнетик Гейзенберга (Рис. 3.14. (а, б)). Зміна приблизно незалежної від температури поведінки спінової динамічної сприйнятливості χ^{dyn} відбувається при температурі переходу від парамагнітного стану до квантового парамагнітного, в якому спіни фракціоновані внаслідок розвитку короткодійчих кореляцій.

Виявлено, що магнітний континуум в спектрах YX геометрії розсіювання (Рис. 3.14. (c)) відповідає теоретичним передбаченням відносно спектральної форми і частотного діапазону магнітного сигналу в моделі Китаєва-Гейзенберга і має внески двохферміонного і бозонного розсіювання. Наявність двохмагнонних збуджень в спектрах XX геометрії розсіювання (Рис. 3.14. (d)) є наслідком присутності гейзенбергівського внеску в обмінну взаємодію.

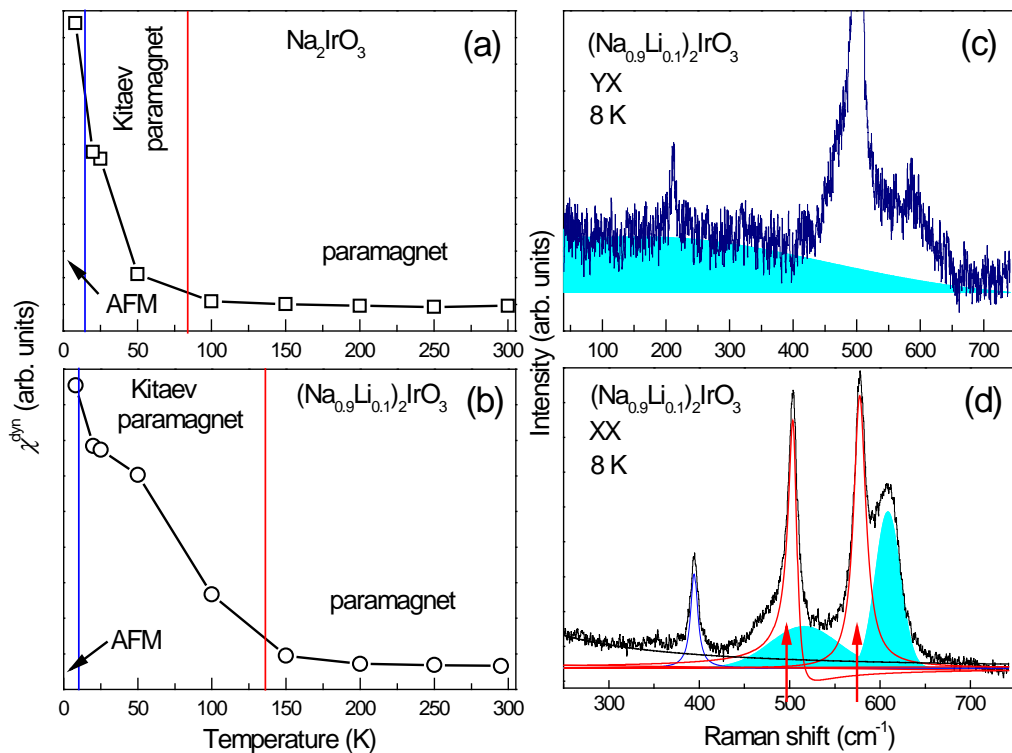


Рис. 3.14. (a), (b) Температурна залежність динамічної спінової сприйнятливості $\chi^{\text{dyn}} \equiv \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\chi''(\omega)}{\omega} d\omega$ зразків $(\text{Na}_{1-x}\text{Li}_x)_2\text{IrO}_3$, де $\chi''(\omega)$ – раманівський відгук. YX (c) і XX (d) раманівські спектри монокристала $(\text{Na}_{0.9}\text{Li}_{0.1})_2\text{IrO}_3$ при $T = 8\text{ K}$. Магнітний сигнал зафарбовано блакитним кольором. Асиметрична спектральна форма фононних збуджень, позначених стрілками, є чітким свідченням резонансу Фано і відображає сильний спин-фононний зв'язок.

(В. П. Гнезділов, ФТІНТ НАНУ; P. Lemmens, IPKM TU Braunschweig, Germany)

Вперше досліджено спектри магнітного лінійного дихроїзму антиферромагнітного фероборату гольмію $\text{HoFe}_3(\text{VO}_3)_4$. В сімействі рідкісноземельних фероборатів цей кристал вирізняється значною величиною магнетоелектричного ефекту, що робить його перспективним для застосування в сучасній спіновій електроніці. Дослідження спектрів магнітного лінійного дихроїзму дають можливість отримати інформацію щодо орієнтації магнітних моментів іонів в кристалі, зокрема, в оптично збуджених станах.

Фероборат гольмію антиферромагнітно впорядковується при $T_N = 38\text{ K}$ та спонтанно переходить з легкоплосинного до легковісного стану при $T_{\text{SR}} = 4.7\text{ K}$. В легковісному стані ($T < T_{\text{SR}}$) магнітні моменти Fe^{3+} направлені вздовж тригональної осі, а моменти Ho^{3+} відхилені

від осі C_3 , при цьому проекції моментів сусідніх іонів Ho^{3+} на базисну площину утворюють між собою кути 60° . При прикладенні зовнішнього магнітного поля як вздовж осі C_3 , так і перпендикулярно C_3 , при $T < T_{\text{SR}}$ має місце нетривіальний фазовий перехід у легкоплосинну фазу [A.Pankrats et al, J.Phys.: Cond. Matt. **21** (2009) 436001]. При $\mathbf{H} \parallel C_3$, $T = 2$ К величина поля переорієнтації $H_{\text{SR}} \approx 5.7$ кЕ.

Досліджувались спектри лінійного дихроїзму в зовнішньому магнітному полі, направленому вздовж тригональної осі, при розповсюдженні світла в цьому ж напрямку, в області оптичних переходів ${}^5I_8 \rightarrow {}^5F_2$, 5F_3 в Ho^{3+} при температурі 2 К. Виявлено, що ненульовий дихроїзм має місце в легковісній фазі в полях $H < H_{\text{SR}}$, що свідчить про нееквівалентність орієнтацій магнітних моментів іонів гольмію відносно осі C_3 . Для ряду оптичних переходів (наприклад, крива 4 на Рис. 3.15.) має місце характерний стрибок величини лінійного дихроїзму при $H = H_{\text{SR}}$, зумовлений переорієнтацією магнітних моментів гольмію до базисної площини. В той же час для ліній поглинання 1,2,3 польові залежності дихроїзму не мають особливостей в області H_{SR} . Такий характер поведінки лінійного дихроїзму дає можливість зробити висновок, що в цих збуджених станах гольмію його магнітний момент не зазнає одночасної з підсистемою заліза стрибкоподібної переорієнтації при індукованому магнітним полем фазовому переході.

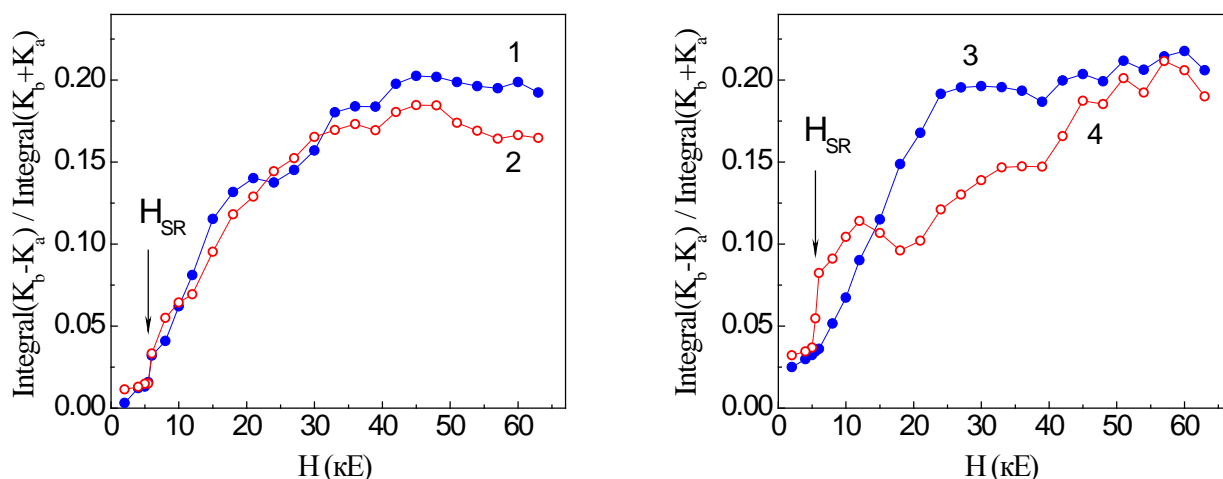


Рис. 3.15. Польові залежності магнітного лінійного дихроїзму смуг поглинання 20510 cm^{-1} (1) і 20570 cm^{-1} (2) в області оптичного переходу ${}^5I_8 \rightarrow {}^5F_3$ та 21055 cm^{-1} (3) і 21090 cm^{-1} (4) в області переходу ${}^5I_8 \rightarrow {}^5F_2$ в $\text{HoFe}_3(\text{VO}_3)_4$ при $\mathbf{H} \parallel C_3$. $T = 2$ К.

(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)

Вперше побудована магнітна фазова діаграма станів нових метастабільних перовскітів системи $\text{ViFe}_{1-y}\text{Sc}_y\text{O}_3$ ($0.1 \leq y \leq 0.9$), які синтезовано в умовах високого тиску 6 GPa, при температурі 1020 К, і які є потенційними мультифероїками. Магнітні властивості цих сполук були досліджені за допомогою SQUID-магнетометрії і нейтронної дифракції. Їх термічна обробка призводить до незворотних структурних переходів між різними метастабільними

фазами (явище, назване «конверсійний поліморфізм») і до нових магнітних фаз, які не можуть бути отримані традиційним синтезом. Встановлено, що тверді розчини з $y \geq 0.70$, незалежно від їх структурної модифікації, не виявляють далекодючого магнітного впорядкування, в той час як всі сполуки з $y \leq 0.6$ є антиферомагнетиками (AFM) з практично лінійною залежністю температури магнітного переходу T_N від концентрації скандію. Залежно від вмісту скандію, температури і структурних спотворень, виявлено три типи антиферомагнітного впорядкування в системі: з колінарним, скошеним і циклоїдальним упорядкуванням спінів (Рис. 3.16.). Температура T_N практично не залежить від кристалічної структури поліморфа (до і після термічної обробки). Для сполук з $0.20 \leq y \leq 0.60$ був виявлений слабкий феромагнітний внесок, який зменшується в результаті термічної обробки. Для твердого розчину з $y = 0.30$ структурне перетворення з антиполярної орторомбічної фази $Pnma(I)$ в полярну ромбоїдричну фазу $R3c$ внаслідок відпалу призводить до оборотного магнітного переходу при температурі $T_m < T_N$ з циклоїдальної магнітної структури як в BiFeO_3 в незвичну для таких сполук колінарну AFM структуру G-типу, в якій відсутній слабкий феромагнетизм.

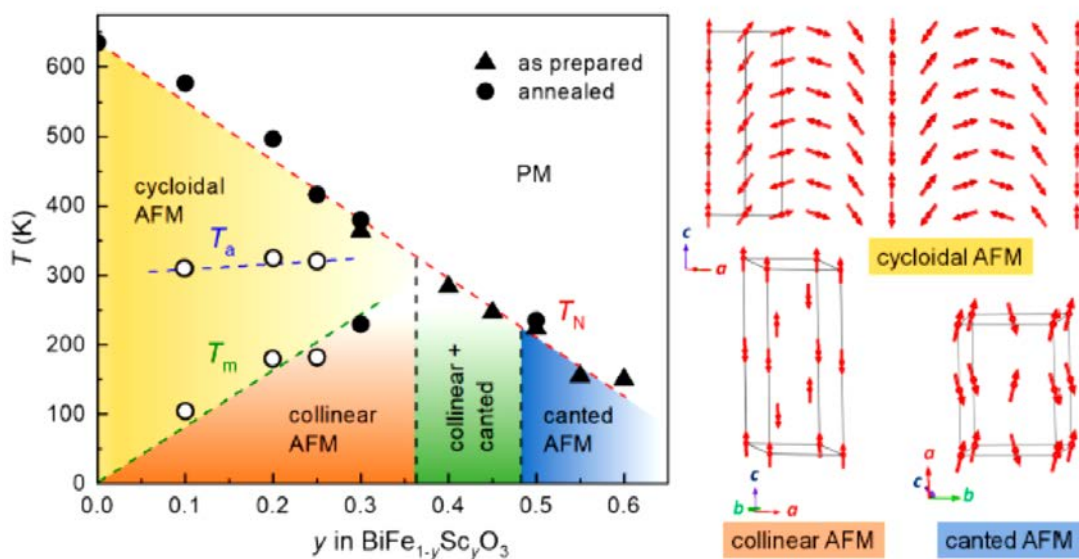


Рис. 3.16. Магнітна фазова діаграма і схематичне уявлення магнітних структур, які спостерігаються в перовскітах $\text{BiFe}_{1-y}\text{Sc}_y\text{O}_3$, синтезованих в умовах високого тиску з подальшою термічною обробкою.

(О. Л. Фертман, О. В. Федорченко, ФТІНТ НАНУ; D. D. Khalyavin, П. Манюель, Лабораторія Резерфорда, Великобританія; A. N. Salak, CICECO, Університет Авейро, Португалія; N. M. Olekhovich, A. V. Pushkarev, Yu. V. Radyush, МНТЦ, Мінськ, Білорусь; Е. Чижмар, А. Фегер, Університет П.Й. Шафарика, Кошице, Словаччина)

Інтерес до магнітних властивостей кристалу антиферомагнітного LiNiPO_4 викликаний лінійним магнетоелектричним ефектом в ньому. До того ж він має цікаву фазову діаграму магнітних станів. У ньому антиферомагнітний порядок розвивається в два етапи: при 21,8 К – перехід другого роду в неспівмірний стан, а потім при 20,9 К з'являється перехід першого роду в співмірну фазу. З прикладної точки зору LiNiPO_4 – багатообіцяючий матеріал для катодів в 5В літій-іонних акумуляторах.

Вперше в монокристалі LiNiPO_4 досліджена температурна еволюція спектрів раманівського розсіювання світла (довжина хвилі збудження $\lambda_{\text{exc}} = 532$ нм) в області переходу в магнітопорядкований стан (Рис. 3.17. а, b, c). При $T = 2$ К ($\lambda_{\text{exc}} = 632.8$ нм) проведено поділ спектрів розсіювання на одномагнонні збудження і смуги, пов'язані з двомагнонним розсіюванням. Енергія виявлених одномагнонних збуджень ($36.8, 49.9, 59.8$ cm^{-1}) добре узгоджується з даними по вимірюванню спектрів пропускання в ближній ІЧ області [L. Peedu, V. Kocsis, D. Szaller, J. Viirok, *et. al.*, Phys. Rev. B, **100**, 024406 (2019)]. Форма смуги двомагнонного розсіювання добре збігається з розрахунковими даними для щільності двомагнонних станів. Вперше виявлено зсув деяких фононних ліній при переході в магнітопорядкований стан. Він вказує на помітну взаємодію ґраткової та магнітної підсистем.

Відмітимо, що в кристалі LiNiPO_4 нижче T_N вперше виявлена зміна інтенсивності спектрів розсіювання в залежності від поляризації падаючого світла при довжині хвилі збудження $\lambda_{\text{exc}} = 532$ нм. Для приклада на Рис. 3.17. d приведена температурна залежність інтегральної інтенсивності лінії, що відповідає енергії коливальності 122 cm^{-1} фононної моди B_{3g} . Така поведінка може бути наслідком зміщення смуг поглинання іона Ni^{2+} в області $\lambda_{\text{exc}} = 532$ нм (~ 18800 cm^{-1}) при магнітному впорядкуванні. Спостережена властивість вказує на існування істотної спин-електронної взаємодії в антиферомагнітному кристалі літій-нікелевого ортофосфату.

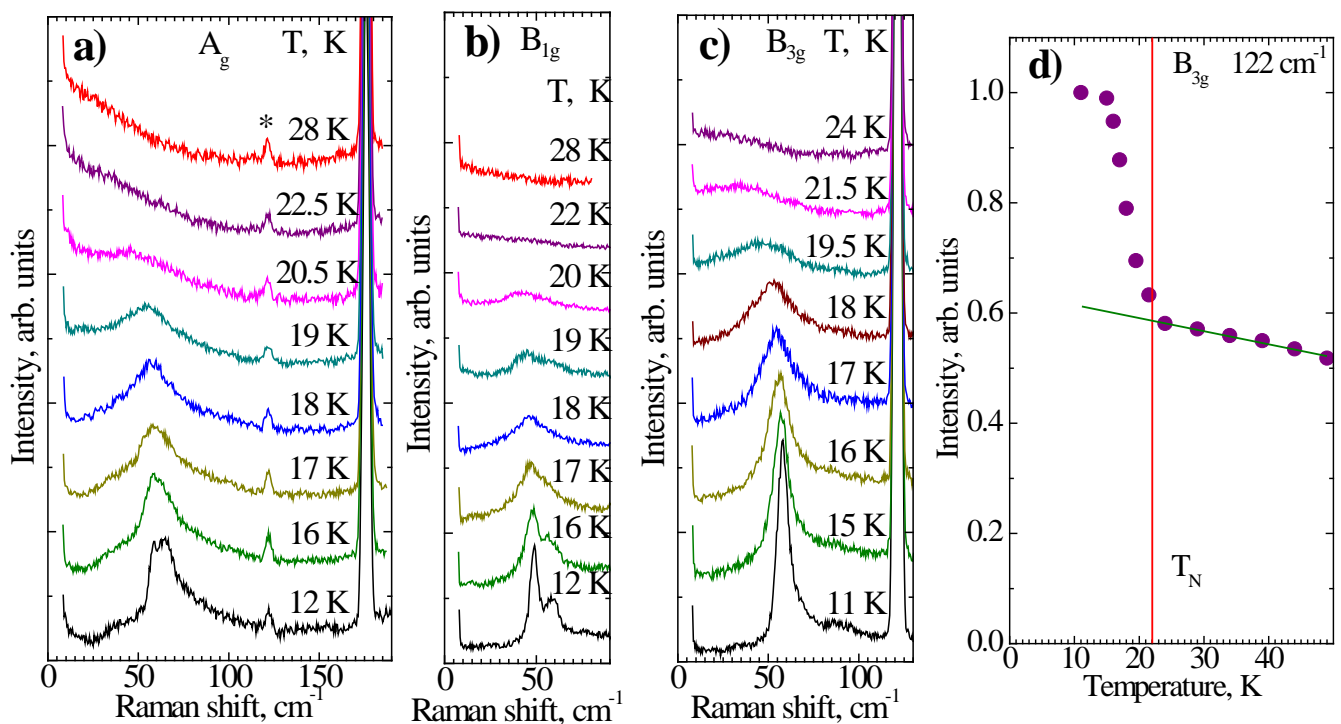


Рис. 3.17. Температурні зміни інтенсивності поляризованих раманівських спектрів розсіяного світла для: а) A_g , б) B_{1g} , в) B_{3g} мод та д) – температурна залежність інтенсивності лінії B_{3g} фононної моди 122 cm^{-1} .

(О.В.Песчанський, ФТІНТ НАНУ)

Досліджено вплив товщини плівки на формування та трансформацію двійникової структури, а також на магнітні властивості епітаксialних плівок сплавів з магнітною пам'яттю форми Ni(Co)MnSn за допомогою феромагнітної резонансної спектроскопії, синхротронної рентгенівської дифракції та стандартних магнітних вимірювань. Встановлено, що напруження на інтерфейсі плівки та підкладки блокують мартенситне перетворення в плівці товщиною 20 нм. Збільшення товщини плівки призводить до зменшення напружень на інтерфейсі і, як результат, мартенситне перетворення стає можливим починаючи з 50 нм. Для збереження площі поверхні плівок необхідне двійникування плівки. Баланс між пружною енергією границі плівки і підкладки та двійникових границь призводить до формування смугастої (субмікронної ширини) періодичної двійникової структури. Ширина двійникових варіантів збільшується зі зростанням товщини плівки, що призводить до різкої модифікації її магнітних властивостей.

Гістерезис в температурних залежностях намагніченості, виміряних в магнітному полі 100 Е, в діапазоні температур 150 – 330 К, підтверджує наявність мартенситного перетворення для всіх плівок, крім найтоншої (20 нм). Також ці залежності показують наявність магнітного фазового перетворення з температурою Кюрі, що зростає зі збільшенням товщини плівок.

Були проведені дослідження температурної еволюції спектрів феромагнітного резонансу для плівок різної товщини. В плівці 20 нм в усьому досліджуваному інтервалі температур спостерігався один, досить симетричний пік, що характерно для аустенітної фази. Такі ж піки спостерігались для інших плівок вище температури мартенситного перетворення. У плівці товщиною 50 нм нижче температури мартенситного перетворення спостерігались два піки. Ці піки обумовлені антиферомагнітним обміном між двійниковими варіантами мартенситу. Для плівок більшої товщини ширина двійникових варіантів стає більшою за довжину обмінної кореляції і, як наслідок, в експерименті один неоднорідно розширений пік, що є досить типовим для сплавів з неколінеарною магнітною структурою. Було також показано, що мартенситне перетворення призводить до зменшення напружень в плівці та відповідного зменшення магнітної анізотропії типу легка площина. Збільшення розмірів двійників також призводить до зростання вкладу одноосової анізотропії в двійникових варіантах.

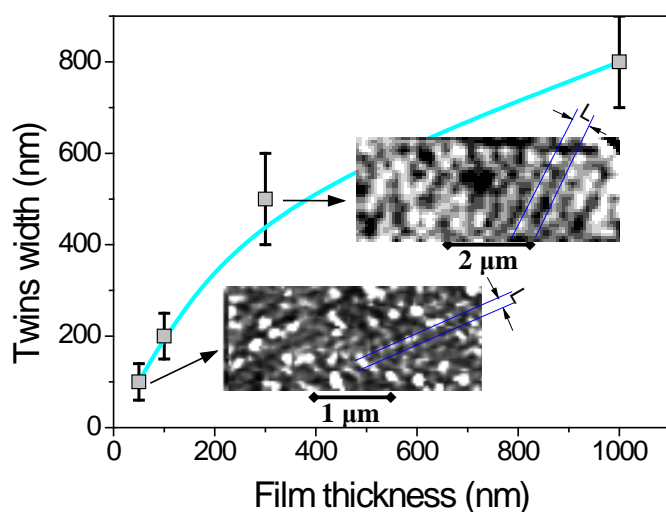


Рис. 3.18. Залежність ширини двійникових варіантів від товщини плівок. Зображення атомної силової мікроскопії областей мартенситної фази з двійниковою структурою для плівок товщиною 50 і 300 нм показані у вставках.

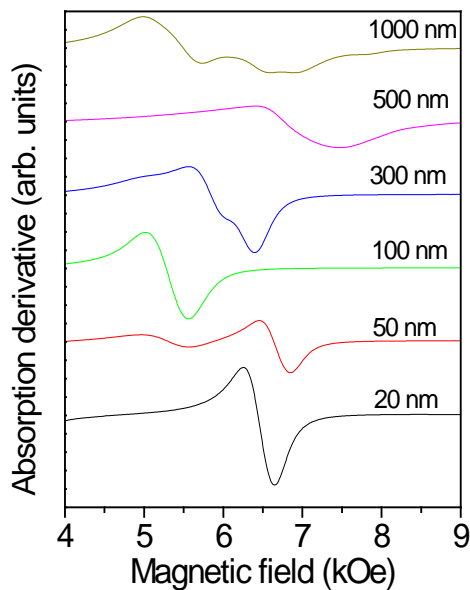


Рис. 3.19. Спектри магнітного резонансу плівок різної товщини, записані при 120 К. Зовнішнє магнітне поле перпендикулярне до площини плівок.

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

Дослідження розповсюдження електромагнітних хвиль поблизу метаповерхонь, утворених різними магнітними матеріалами, є важливими як для розвитку фундаментальних уявлень, так і з практичної точки зору. Зокрема, задача встановлення умов для виникнення електромагнітних високочастотних коливань надвисокочастотного (НВЧ) діапазону в метаповерхні з фероелектрику виявляється актуальною в зв'язку з необхідністю розробки принципів побудови НВЧ пристроїв планарного типу, які є більше компактними та дешевими за сучасні.

В роботі експериментально і теоретично (як чисельно, так і аналітично) продемонстровано формування електромагнітних високочастотних поверхневих коливань НВЧ-діапазону в околі метаповерхні, що утворена феритовими циліндрами, розташованими на плоскій поверхні іншого фериту. Визначено умови виникнення поверхневих хвиль (коливань) в планарній структурі, сформованої з надвисокочастотного фериту у вигляді тонкого диска, на поверхні якого розташовані виступи в формі кругових циліндрів (Рис. 3.20.,(а)).

В ході експерименту плоскополяризоване НВЧ поле падало по нормалі до поверхні в присутності статичного поля, спрямованого також по нормалі. Дослідження показало, що серед різних типів хвиль, що існують в такій структурі, виникають поверхневі хвилі, що експоненціально спадають у просторі. В околі такої метаповерхні може виникати НВЧ поле, залежність інтенсивності якого від частоти має резонансний характер і яке сконцентроване поблизу циліндричних виступів (Рис. 3.20., (б)). Головною особливістю таких хвиль є те, що на частотах поблизу резонансної здійснюється різке збільшення повороту площини поляризації НВЧ поля. Такий ефект є дуже корисним для практичного застосування, саме, при створенні компактних обертачів поляризації, що керуються магнітним полем.

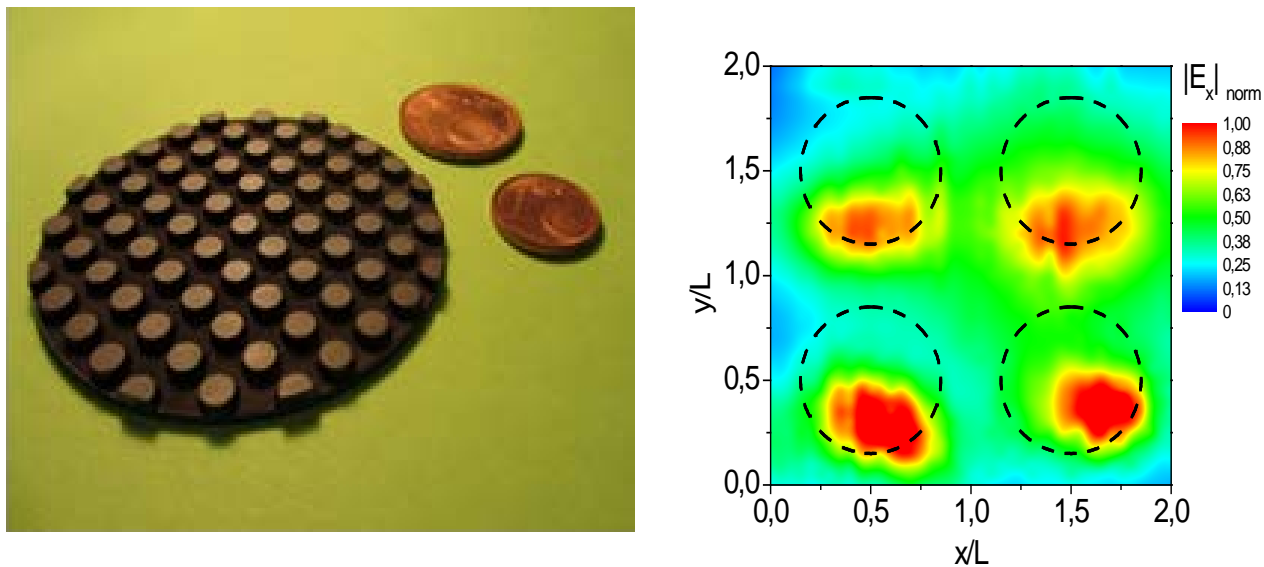


Рис. 3.20. Феродіелектрична метаповерхня: (а) зовнішній вигляд; (б) просторовий розподіл НВЧ-поля поблизу метаповерхні (пунктиром показано утворюючу циліндрів).

(Л. Івженко, С. Полевий, С. Тарапов, В. Ячин, ІРЕ НАНУ; К. Курселіс, Р. Киян, Б. Чичков, Інститут Квантової Оптики, Ганновер, Німеччина)

Ферозонди – це прилади, призначені для вимірювання слабких магнітних полів напруженістю $H < 0,01$ Е. Для цілей геологорозвідки, при дослідженні космічних полів, у військовій справі та ін. потрібні магнітометри, які дозволяють реєструвати поля напруженістю 10^{-5} Е (10^{-9} Тл) і нижче. В даний час розроблені ферозонди, здатні фіксувати поля, що не перевищують 10^{-5} Е. Подальше зменшення нижнього рівня реєстрованих полів пов'язано з наявністю магнітних шумів, які виникають при перемагнічуванні осердь ферозондів полями збудження. Найбільш придатними для цієї мети є магнетики, перемагнічування осердь яких відбувається за рахунок процесів обертання намагніченості.

В роботі в якості осердь ферозондів використовувались багат шарові плівки з пермалоя в формі вузьких прямокутних смужок розміром $1,5 \times 18$ мм² і товщиною $t = 1 - 3$ мкм. Шари пермалоя були розділені немагнітними прошарками з SiO або Ti. Конденсація плівок здійснювалася в присутності магнітного поля, яке створювало вздовж короткої сторони смужки вісь легкого намагнічування з полем одновісної магнітної анізотропії $H_k = 2 - 5$ Е. В результаті виникала магнітна структура з антипаралельною намагніченістю в сусідніх шарах. Перемагнічування зразків полями збудження здійснювалося в напрямку важкої вісі, тобто уздовж довгої сторони смужки. Петля гістерезису показана на Рис. 3.21.

У теорії роботи ферозонда осердя з такою петлею не рекомендується використовувати через наявність прямолінійної ділянки. Проведений аналіз теорії роботи ферозонда показав, що величина ЕРС сигналу пропорційна $E \sim d^2M/dH^2$. З Рис. 3.21. видно, що на лінійній ділянці $d^2M/dH^2 \sim 0$ і приймає великі значення поблизу поля насичення, де є велика кривизна (позначено кружечком). Дослідження ферозондів з такими осердями показало, що найбільша ЕРС досягається, коли амплітуда поля збудження перевищує поле насичення $H_s = H_k$. Вимірювання шумів Баркгаузена показали, що внаслідок перемагнічування однорідним

обертанням рівень шумів знизився на три порядки в порівнянні зі звичайними. Ферозонди з такими осердями дозволяють реєструвати поля напруженістю 10^{-7} Е. Подальші дослідження щодо вдосконалення ферозондів будуть спрямовані як на зниження рівня шумів, так і на збільшення параметра d^2M/dH^2 .

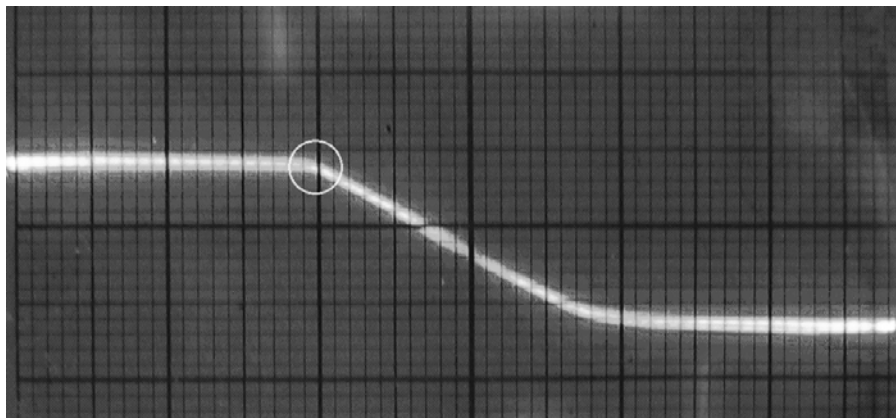


Рис. 3.21. Петля гістерезису пермалою (80% Ni) товщиною 1,5мкм і шириною 1 мкм

(Л.З. Луб'яний, В.М. Самофалов, О.М. Стеценко, І.О. Чичибаба НТУ «ХПІ»)

Було досліджено клас сильнокорельованих низьковимірних систем з парною кількістю спінів $1/2$ на елементарну комірку. Елементарні комірки таких систем утворені двома різними структурними одиницями, кожна з непарною кількістю спінів. Було знайдено, що в цих системах розрив в точному спектрі збуджень відсутній. Знайдена нестабільність даних систем відносно періодичних змін величин взаємодій між структурними одиницями та чисельно оцінені відповідні критичні показники для основних станів. На відміну від добре відомої нестабільності спін-Пайерлса, цей тип структурної нестабільності не змінює симетрії вищезазначених систем. Також представлено клас невпорядкованих одновимірних спінових систем, утворених різними типами структурних одиниць з непарною кількістю спінів, що демонструють критичну поведінку, подібну упорядкованому спіновому ланцюжку в наближенні слабких взаємодій між структурними одиницями.

(В.О. Черановський, ХНУ ім. В.Н. Каразіна; В.В. Славін, ФТІНТ НАНУ; D.J. Klein, Texas A&M University at Galveston, Galveston, Texas, USA)

Секція «Електронні властивості твердих тіл»

Залізовмісні надпровідники привертають інтерес з точки зору реалізації в них високотемпературної надпровідності. При дослідженні методом мікроконтактної спектроскопії сімейства залізовмісних надпровідників (ЗВН) типу AFe_2As_2 ($A = K, Cs, Rb$) в точкових контактах (ТК) з них виявлене більш ніж двократне збільшення температури надпровідного переходу T_c^{TK} в порівнянні з їхньою критичною температурою в масиві $T_c^{масив}$ (см. табл.). Разом із літературними даними щодо багатократного зростання T_c в деяких із ЗВН під тиском або в моношарах, спостережений ріст T_c в субмікронних контактах вказує на потенційну можливість значного збільшення T_c в цьому перспективному сімействі ЗВН. Спостережене збільшення критичної надпровідної температури також дає підстави припустити не традиційний характер надпровідності в цих сполуках.

ЗВН	T_c^{MK} (К)	$T_c^{масив}$ (К)
KFe_2As_2	8	3.8
$RbFe_2As_2$	5	2.6
$CsFe_2As_2$	7	1.8

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

Для подальшого вивчення явища спінового кросоверу, що спостерігається в перовскітних кобальтатах з загальною формулою $RCoO_3$ проведені теоретичні розрахунки електронної структури та спінового стану іонів кобальту в сполуках $LaCoO_3$ та $PrCoO_3$ для різних значень об'єму кристалічної решітки. Для більш адекватного опису електронної структури сполук був використаний підхід DFT + U, який забезпечив напівпровідниковий основний стан зі значенням спіну $S = 0$ для іонів Co^{3+} , що відповідає їх немагнітному стану. Для обчислення залежності повної енергії як функції магнітного моменту іона Co^{3+} використано метод фіксованого спінового моменту, результати якого на прикладі сполуки $PrCoO_3$ наведені на Рис. 4.1. Як видно, на залежності $E(M)$ є чіткий мінімум при $M \approx 2 \mu_B/Co$, що відповідає проміжному спіновому стану іона Co^{3+} в $PrCoO_3$ ($S = 1$), різниця в енергії якого з основним станом ($S = 0$) становить $\Delta \sim 0,05$ eV. Важливим результатом розрахунків є висока чутливість енергії Δ до змін об'єму решітки, $d\Delta/d\ln V \approx -2,5$ eV, яка суттєво впливає на параметри спінового кросоверу під дією зовнішнього або хімічного тиску, теплового розширення, тощо. Отримані теоретичні результати розумно узгоджуються з даними експерименту в сполуках $La_{1-x}Pr_xCoO_3$, для яких проведені дослідження температурної залежності магнітної сприйнятливості $\chi(T)$ в інтервалі температур 5 – 300 К, а також впливу на сприйнятливості гідростатичного тиску при фіксованих температурах $T = 78, 150$ і 300 К. Спостережені в досліджуваних сполуках специфічні немонотонні залежності $\chi(T)$ і значна залежність сприйнятливості від тиску визначаються, головним чином, поведінкою внеску в загальну сприйнятливості від іонів кобальту. Магнетизм іонів кобальту визначається індукованим температурою ростом заселення збудженого магнітного стану. Спостережена

велика величина ефекта тиску в магнітній сприйнятливості, що пов'язана з високою чутливістю енергії збудження Δ до змін об'єму решітки під дією як фізичного, так і хімічного тиску, яка становить близько $d\Delta/dP \sim 14$ К/кбар

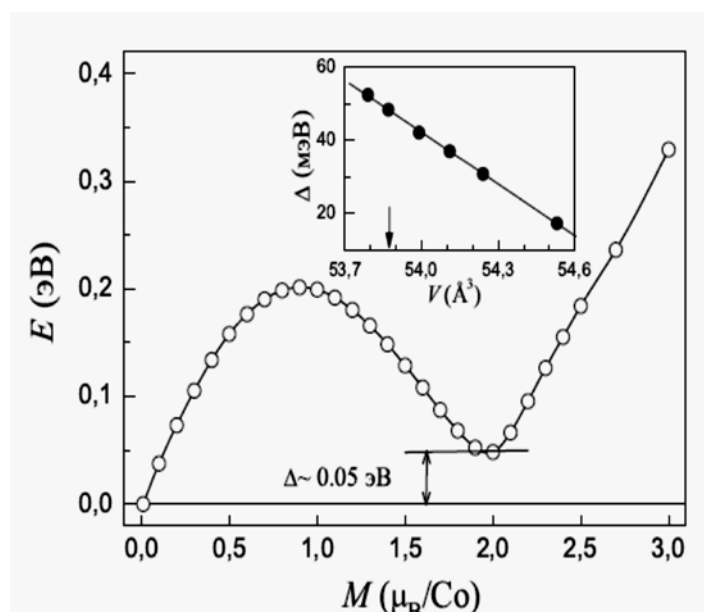


Рис. 4.1. Залежність повної енергії $PrCoO_3$ від магнітного моменту іона кобальту обчисленої методом фіксованого спінового моменту. Її значення відраховано від енергії основного стану іонів кобальту ($S = 0, M = 0$). На вставці: об'ємна залежність енергії збудження Δ , стрілка відмічає теоретичне значення рівноважного об'єму.

(С. Панфілов, Г.Є. Гречнев, А.О. Легенька, В.О. Пащенко, ФТІНТ НАНУ; Л.О. Василечко, В.М. Греб, Львів, Політехнічний університет)

Отримані та пояснені нові експериментальні результати, що є важливими для розуміння природи електронного транспорту в перспективних низьковимірних системах на базі вуглецевих нанотрубок (ВНТ). Вивчено вплив модифікації ВНТ атомами заліза та кобальту на їх провідні властивості. Дослідження модифікованих та орієнтованих ВНТ в магнітному полі різної конфігурації дозволило визначити наявність осей легкого намагнічування в цих системах.

(В.В. Андрієвський, Є.Ю. Біляєв, І.Г. Мірзоєв, Ю.О. Колесніченко, ФТІНТ НАНУ)

Потрійні халькогеніди молібдену з магнітними рідкісними землями належать до великого класу магнітних надпровідників, в яких можлива поява триплетної надпровідності, що може бути використана в топологічних квантових комп'ютерах. Тому в теперішній час науковці приділяють велику увагу дослідженню електричних та магнітних властивостей цих сполук в широкому діапазоні температур. В нашій роботі ми вперше виявили, що в сполуках $Gd_{0.9}Pb_{0.1}Mo_6S_8$ і $Gd_{0.7}Pb_{0.3}Mo_6S_8$ на температурних залежностях електроопору вище 100 К спостерігаються особливості (максимум і мінімум для $Gd_{0.9}Pb_{0.1}Mo_6S_8$ і перегин для $Gd_{0.7}Pb_{0.3}Mo_6S_8$), а також тепловий гістерезис в області існування особливостей, які можуть бути обумовлені перебудовою зонної структури і появою двох каналів носіїв заряду, відповідальних за напівпровідниковий і металічний хід температурних залежностей електроопору. В області низьких температур (нижче 11 К) в цих сполуках виявлено перехід в надпровідний стан. Величина температури надпровідного переходу знижується з ростом

концентрації Gd. Дослідження температурної залежності намагніченості $M(T)$ в $Gd_{0.9}Pb_{0.1}Mo_6S_8$ показало, що на $M(T)$ в області температур $70 \div 250$ К відсутні особливості пов'язані з магнітними перетвореннями. У той же час, поведінка температурної залежності зворотної намагніченості добре дотримується закону Кюрі-Вейса з парамагнітною температурою Кюрі $\theta \approx -21$ К, що свідчить про можливість появи антиферомагнітного впорядкування при більш низьких температурах. Таким чином виникає можливість співіснування надпровідності і магнетизму нижче температури надпровідного переходу. Природу надпровідності передбачається вивчити надалі за допомогою різних методик, в тому числі і мікроконтактної спектроскопії.

(А.В. Терехов, І.В. Золочевський, Л.А. Іщенко, ФТІНТ НАНУ; А. Залеський, INTiBS PAN; Є.П. Хлибов, ІФВТ РАН; С.А. Лаченков, ІМЕТ РАН)

За дослідженнями комбінаційного розсіювання світла в потрійних композитних наноматеріалах на основі непровідного полімеру (полівініліденфториду) з двома провідними наповнювачами (полі анілін та багато стінні вуглецеві нанотрубки) виявлено значне перетворення молекулярної та електронної структури провідних компонент композиту, що пояснюється фізико - хімічною взаємодією між ними. Це може бути причиною того, що стрибова електропровідність композиту при температурах вище 20 К відбувається за механізмом пов'язаним з флуктуаційним тунелюванням, який не спостерігається у бінарному композиті з однією провідною компонентою. Результат є важливим для застосування даного композитного наноматеріалу в різних електронних приладах (суперконденсатори, термоелектричні прилади, антистатичні покриття тощо).

(О.О. Войціховська, Р.М. Руденко, В.М. Порошин, ІФ НАНУ; М.В. Петричук, С.П. Павлюк, КНУ ім. Тараса Шевченка; М.А. Огурцов, А.А. Пуд, ІБОХ НАНУ)

На основі *ab initio* розрахунків повністю релятивістським лінійним методом MT-орбіталей вивчено вплив антиструктурного розупорядкування на електронну будову, рентгенівські спектри поглинання (РСП) та спектри рентгенівського магнітного циркулярного дихроїзму (РМЦД – різниця спектрів поглинання ліво- та правополяризованого рентгенівського випромінювання, яка пов'язана з наявністю локальних магнітних моментів) сплаву Гейслера $CoFeMnSi$. Розглянуто антиструктурне розупорядкування Co-Mn, Fe-Mn та Co-Fe з концентраціями (рівнем) 6,25%, 12,5% та 25%. Стехіометричний сплав $CoFeMnSi$ є майже ідеальним напівметалічним феромагнетиком зі спіновою поляризацією СП=99%. При Co-Fe розупорядкуванні СП зберігає високе значення в 96% навіть при 25% атомів, що помінялись місцями. При Fe-Mn розупорядкуванні СП знижується до 83%, а при Co-Mn розупорядкуванні СП швидко знижується до 42%. Встановлено, що спектри РМЦД на $L_{2,3}$ краях поглинання атома Co, Fe або Mn є майже нечутливими до антиструктурного розупорядкування тієї пари атомів, в яку цей атом не входить. Найбільш чутливими до антиструктурного розупорядкування є Fe $L_{2,3}$ спектри РМЦД, а найменш – Co $L_{2,3}$ спектри РМЦД. Встановлено, що відносні зміни локальних спінових магнітних моментів при

антиструктурному розупорядкуванні лінійно залежать від рівня розупорядкування і сильно залежать від типу розупорядкування.

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

З використанням квантово-механічного формалізму Кубо–Грінвуда для числового розрахунку провідності за постійного струму було продемонстровано, що транспортні властивості електронів графенового шару можуть бути адаптовані через комбінований вплив дефектів (точкових і лінійних розсіювачів) і деформації (одновісного розтягу та зсуву), які зазвичай присутні в графеновому зразку через особливості процедури його вирощування та при використанні зразка в пристроях. Вмотивовані двома експериментальними роботами (X. He et al. *Appl. Phys. Lett.*, **104** (2014) 243108; *ibid.*, **105** (2014) 083108), автори яких не спостерігали транспортної щілини навіть за великих деформацій (22,5% розтягу і 16,7% зсуву), ми пояснили можливі причини цього, підкреслюючи графенове сприйняття деформації та дефектів. Деформаційно- та дефекто-індукована електронно-діркова асиметрія й анізотропія провідності та немонотонність її залежності від деформації свідчать про перспективи деформаційно-дефектної інженерії електротранспортних властивостей графенових і подібних квазидвовимірних матеріалів.

(Т. М. Радченко, В. А. Татаренко, ІМФ НАНУ)

Розроблено новий метод селективного детектування складних газових сумішей за допомогою наносенсорів на основі точкових контактів Янсона. В якості прикладу застосування запропонованого методу показано, що концентрації гормонів серотоніну та кортизолу можна контролювати у режимі реального часу. В результаті практично безпомилково можливо кількісно оцінити рівень стресу організму, який ще навіть не проявляється емоційно, та миттєво прийняти відповідні заходи.

(В.І. Белан, В.Л. Вакула, Г.В. Камарчук, ФТІНТ НАНУ)

Розроблено прототип нового квантового сенсора, чутливим елементом якого є точковий контакт Янсона. З його використанням зареєстровані гістограми провідності, які відповідають квантовим станам дендритних точкових контактів в процесі їх перетворень та є маркером певних середовищ. Отримані результати забезпечують передумови для розробки квантових сенсорів нового покоління для селективного визначення рідких та газових середовищ.

(А.О.Герус, А.В.Савицький, Ю.С.Доронін, В.Л.Вакула, Г.В. Камарчук, ФТІНТ НАНУ)

Секція «Фізика молекулярних кристалів»

Конформаційну структуру дипептиду L-аланілгліцину (L-AG) та його дейтеро аналога (N,N,N,O-тетрадейтеро-L-AG), ізольованих в низькотемпературних матрицях аргону, визначали за допомогою ІЧ Фур'є спектроскопії та квантово-механічних розрахунків. Молекула L-AG є надзвичайно гнучкою завдяки наявності шести внутрішніх обертальних ступенів свободи і, отже, може приймати численні конформації. Для визначення найбільш стабільних конформерів потрібно виявити всі можливі структури L-AG та визначити їх відносні енергії. Були використані два різні підходи для пошуку конформерів L-AG. По-перше, було проведене вичерпне сканування поверхні потенційної енергії молекули L-AG. По-друге, була створена велика кількість випадкових стартових структур молекули (4000 структур) з подальшою повною оптимізацією кожної структури. В результаті було знайдено 183 конформера L-AG. Їх геометрія та коливальні спектри були розраховані методами MP2/aug-cc-pVDZ та B3LYP/aug-cc-pVDZ. Вільні енергії Гіббса для цих конформерів були розраховані методом CCSD(T)/CBS при температурі, що відповідала експериментальній при випаровуванні L-AG з комірки Кнудсена. Найбільш стабільні конформери показані на Рис. 5.1. Як видно, вони стабілізовані різними внутрішньомолекулярними водневими зв'язками. Розраховані ІЧ-спектри найбільш стабільних конформерів використовувались для аналізу експериментальних ІЧ Фур'є спектрів L-AG та дейтерованого L-AG.

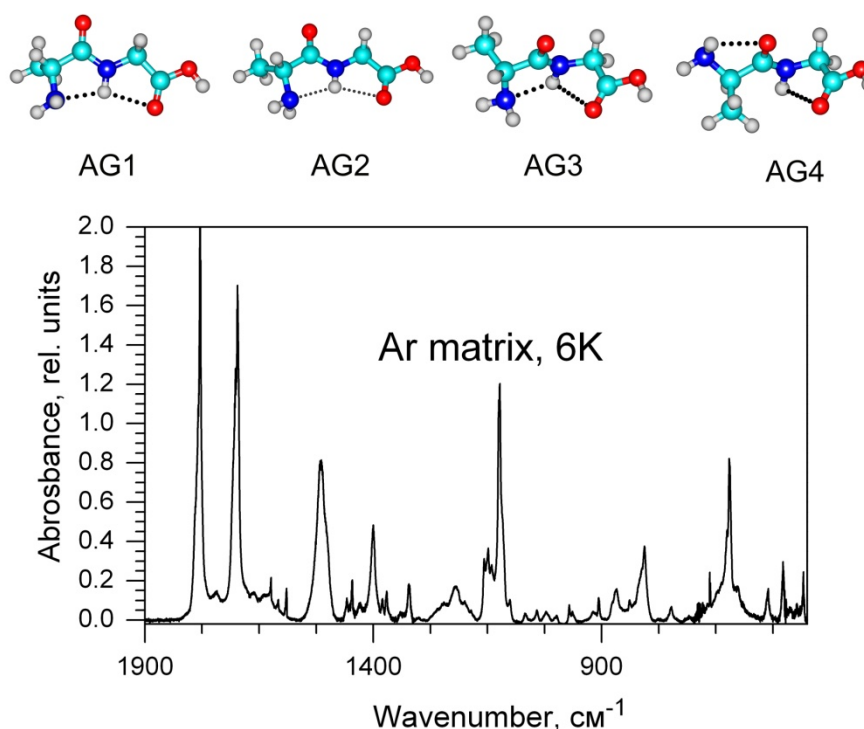


Рис. 5.1. Структура найбільш стабільних конформерів та ІЧ Фур'є спектр L-аланілгліцину у матриці аргону при 6К.

Було показано, що експериментальний спектр є суперпозицією індивідуальних спектрів чотирьох найбільш стабільних конформерів. Конформаційний склад L-AG у матричних зразках було встановлено на підставі вільних енергій Гіббса конформерів, та відносних інтенсивностей смуг поглинання конформерів в експериментальних ІЧ спектрах. Також було проведено комп'ютерне моделювання найбільш стабільних конформерів вбудованих у ГЦК кристал аргону. Це дозволило визначити вплив матричного оточення на структуру, відносну стабільність та ІЧ-спектральні характеристики конформерів. Таким чином, вперше була досліджена структура ізольованих молекул дипептида аланін-гліцин. Визначено відносні стабільності і структура конформерів цього дипептида. Отримані дані важливі для розуміння зв'язку між амінокислотою послідовністю білків і їх просторовою структурою. Дипептид аланін-гліцин є продуктом розпаду ендогенних і екзогенних білків. Наявність цього дипептида в організмі людини використовується в медицині як один з індикаторів ферментативної активності печінки та підшлункової залози

(С. Г. Степанян, О. Ю. Іванов, ФТІНТ НАНУ)

Досліджено структуру та оптичні властивості молекул ДНК, що були введені в фотонні кристали на основі SiO_2 з розмірами глобул 200 – 240 нм. Показано, що введення відносно коротких молекул ДНК довжиною 10^3 - 10^5 пар основ не призводить до модифікації структури та конформації молекули ДНК. В той же час введення високополімерної ДНК (10^7 - 10^8 пар основ) в фотонний кристал призводить до значного викривлення остови ДНК та зміни в конформаційному стані. Ці експерименти показують, що коливальні моди молекули ДНК не змінюються у першому експерименті і фотонний кристал може бути використаний для їх підсилення і дуже змінюються у випадку високополімерної ДНК і це може бути використаним для моделювання процесів в ядрі клітини, де має місце значне викривлення остови ДНК.

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

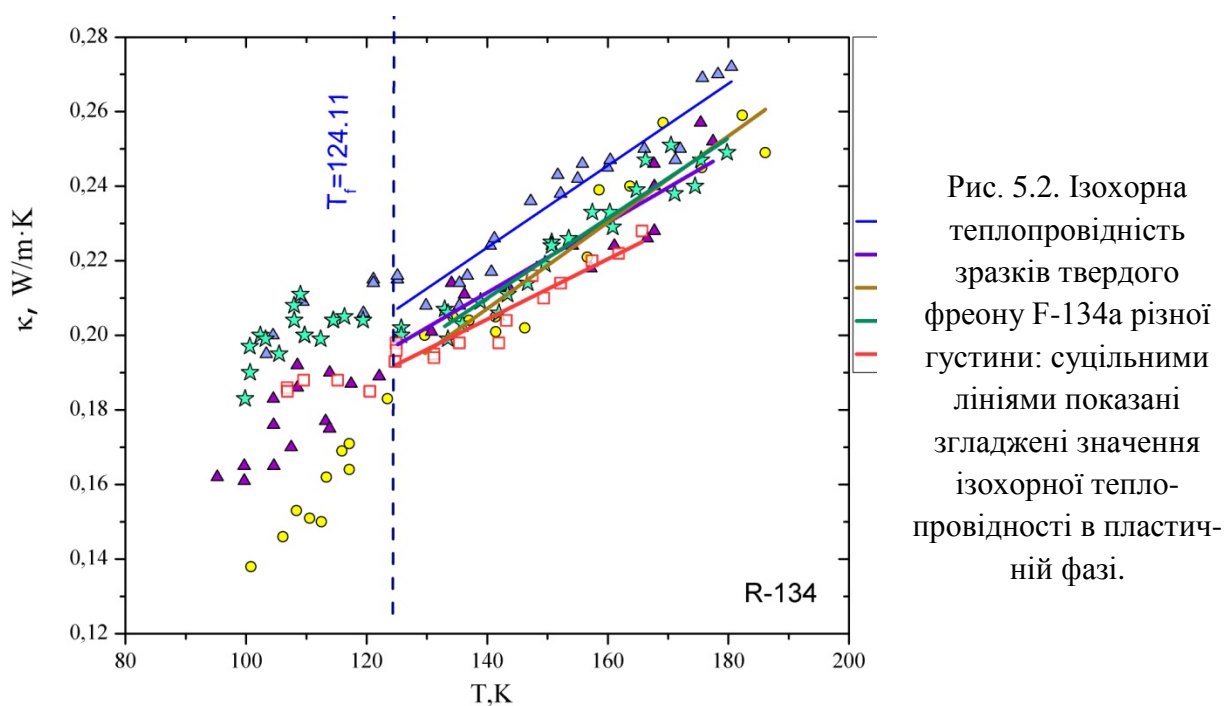
Оптичні властивості монокристалів C_{60} , які інтеркальовані молекулами азоту, досліджено спектральним люмінесцентним методом при температурі $T = 30 \text{ K}$ та збудженні He-Ne лазером ($E_{\text{exc}} = 1.96 \text{ eV}$). Інтеркаляція здійснювалася під тиском 30 атм у температурному інтервалі 200 – 550°C. Встановлено, що при температурах сорбції до 400°C відбувається розширення смуг спектру низькотемпературної люмінесценції розчинів $\text{C}_{60}\text{-N}_2$ без зміщення по енергії. Зазвичай така ситуація характерна для випадку зростання внеску люмінесценції «глибоких X-пасток». Концентрація таких емісійних центрів екситонів визначається мірою заповнення октаедричних порожнин ГЦК ґратки фулерита молекулами інтеркалянта. Це свідчить про утворення рівноважного розчину впровадження $\text{C}_{60}\text{-N}_2$ завдяки фізсорбції. При температурах сорбції вище 400 °C вперше виявлено істотне зміщення спектру люмінесценції в область низьких енергій зі значним неоднорідним розширенням спектральних смуг. Зміщення та значне неоднорідне розширення спектральних смуг люмінесценції пояснено появою хімічної взаємодії (хемосорбції) азоту з молекулами фулерену з утворенням у цьому випадку нової азото-вмісної речовини.

(П.В.Зінов'єв, В.М. Зорянський, ФТІНТ НАНУ)

Досліджена залежність процесів звільнення носіїв заряду з пасток від упорядкування полімерів та ширини оптичних коливань в п'яти кремнійорганічних полімерах на основі методу термолюмінесценції в інтервалі температур 5 – 200 К та КР спектру. Вплив коливань на термолюмінесценцію пов'язаний з процесами звільнення носіїв з пасток за рахунок поглинання квантів оптичних коливань. Ефект проявляється як в появі дискретних значень енергії активації носіїв заряду, які корелюють з енергіями оптичних коливань полімерів, знайдених з КР спектрів, так і в появі додаткової структури на кривих термолюмінесценції. Показано, що прояв ефекту залежить від ширини оптичних коливань і упорядкування полімерів. Проаналізовано механізм взаємодії локалізованих носіїв заряду з оптичними коливаннями та визначені мікроскопічні параметри цієї взаємодії. Показано, що оптичні коливання дають помітний внесок в процесах звільнення носіїв заряду з пасток.

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

Досліджено ізохорну теплопровідність 1,1,1,2-тетрафторфторетану (фреону F-134a) для зразків різної густини в пластичній кристалічній фазі і виявлено її зростання при збільшенні температури. Обговорюються можливі механізми такої поведінки: ослаблення одного з діючих механізмів розсіювання, або поява нового, додаткового каналу теплопереносу. Перший механізм пов'язаний з розгальмовуванням обертального руху молекул і зменшенням фонного розсіювання. Другий механізм може визначатися термоактивованими стрибками локалізованих збуджень. Проведено порівняння з поведінкою теплопровідності широкого ряду молекулярних кристалів у динамічно розвпорядкованих фазах.



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

Вперше виконано дослідження теплоємності відновленого оксиду графену (trGO) та просторово-упорядкованих зразків оксиду графіта (GtO) в інтервалі температур від 1,8 К до 275 К. Встановлено, що нижче 10 К відношення питомої теплоємності trGO до питомої теплоємності GtO збільшується зі зменшенням температури і досягає 5 при 2 К. Виявлено, що нижче 6 К спостерігається аномальна поведінка теплоємності – прояв аномалії типу Шотткі. Вище 15 К значення питомої теплоємності trGO і GtO близькі між собою в межах 20%. Це свідчить, що щільність станів фононів у trGO при енергіях менших 60 К більша, ніж в випадку GtO. Встановлено, що температурна залежність питомої теплоємності trGO має складний характер. Існують температурні діапазони, у яких питома теплоємність trGO або $\sim T$, або $\sim T^{2.5}$. Така інформація важлива для застосування trGO і GtO в електроніці, нових композитних матеріалах, енергетиці т.і.

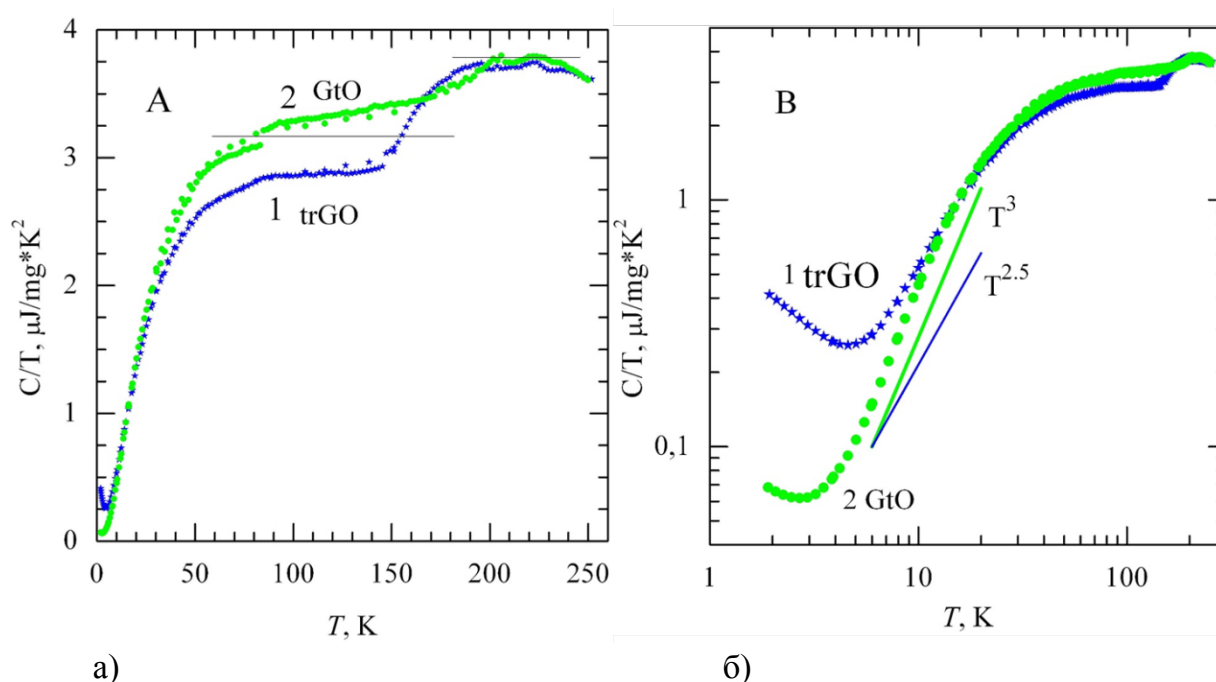


Рис. 5.3. Залежність теплоємності C/T від T термічно відновленого оксиду графену trGO (1) і оксиду графіту GtO (2): в лінійній (а) і логарифмічній (б) системах координат.

(В.В. Сумароков, О.В. Долбин, М.А. Вінніков, М.І. Багацький, ФТІНТ НАНУ)

Вперше реалізовано ефект селективного «внутрішнього фотолізу» метану в Ag матриці при збудженні повільними електронами. При цьому головним джерелом збуджуючих фотонів є емісія автолокалізованих екситонів матриці (9,8 eV). Базуючись на аналізі енергетичної залежності ефективності каналів первинного та вторинного фотолізу, доведено, що єдиним зарядженим продуктом, який може бути утворений під час фотолізу за цих умов, є CH_3^+ , який після нейтралізації дисоціює, утворюючи радикал CH . Дослідження динаміки поведінки корельованих у реальному часі нестационарних процесів емісії частинок та фотонів продуктами фотолізу виявило зміну концентрації активних частинок та автоколивання в матриці під одночасним впливом двох факторів – впливу фотонів високої енергії та

зовнішнього нагрівання. Доведено, що генерація автоколивань пов'язана з нестабільністю в системі метил радикалів. Отримані результати є важливими для вирішення цілої низки проблем молекулярної фізики (радіаційно-стимульовані фізикохімічні перетворення), ядерної фізики (створення ефективних криогенних модераторів нейтронів) та фізики космосу.

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

Відпрацьовано експериментальні методи дослідження спектрів поглинання, миттєвої і затриманої флюоресценції, а також фосфоресценції органічних сцинтиляторів при температурах 300 К та 77 К. Здійснено обробку та попередній аналіз результатів досліджень. Показано, що для розчинів стильбену та паратерфенілу спектри поглинання та флюоресценції в основному носять мономолекулярний характер. Спектри люмінесценції цих речовин в твердому стані є більш складними, що пов'язано з перенесенням енергії електронного збудження в даних системах. Попередні результати свідчать, що флюоресценція досліджуваних речовин при 300 К в основному не залежать від розмірів гранул в діапазоні 1 – 0,01 мм. В той же час спостерігається залежність спектрів затриманого випромінювання при 77 К від розмірів гранул, що може бути використано розробниками систем реєстрації іонізуючого випромінювання.

(В.М. Ящук, О.М. Навоженко, КНУ ім. Тараса Шевченка)

Експериментально досліджено спектри поглинання, миттєвої і затриманої флюоресценції, а також фосфоресценції органічних сполук, перспективних для використання в органічних світловипромінюючих шарах. Здійснено дизайн молекулярних емітерів з високим квантовим виходом. Здійснено обробку та попередній аналіз результатів спектральних досліджень. Показано, що для розчинів флюоресцентних борвмісних сполук спектри поглинання та флюоресценції при температурі 300 К в основному носять мономолекулярний характер. Спектри люмінесценції цих речовин в твердому стані та в розчинах при низьких температурах є більш складними, що пов'язано з внутрішніми трансформаціями в збуджених молекулах, перенесенням енергії електронного збудження в даних системах та утворенням агрегатів. Попередні результати свідчать, що при 300 К в основному не спостерігається затриманого випромінювання для ароматичних сполук. В той же час при 77 – 200 К це випромінювання існує. Вивчено процеси агрегатоутворення в досліджуваних системах. Спектри поглинання та флюоресценції борвмісних сполук при 300 К у твердому стані (плівки, створені методом термічного нанесення у вакуумі) свідчать про утворення агрегатів. В той же час, використовуючи ці сполуки як домішки, показано, що утворення агрегатів не відбувається. Всі досліджувані сполуки є перспективними для створення світловипромінюючих шарів органічних світло діодів.

(В.М. Ящук, О.М. Навоженко, КНУ ім. Тараса Шевченка)

Вивчено наносистеми “наночастинки оксиду гафнію / наночастинки полістиролу / хлорин e_6 ” та “наночастинки срібла / ДНК / берберин”. Дослідження наносистеми “наночастинки оксиду

гафнію / наночастинки полістиролу / хлорин e_6 ” показало, що в цій наносистемі хлорин e_6 зв’язується з наночастинками PS-PPO, в той час як його взаємодія з наночастинками HfO_2 при малих концентраціях або дуже слабка, або відсутня (хоча при високих концентраціях наносистема “наночастинки оксиду гафнію / наночастинки полістиролу / хлорин e_6 ” взаємодіє з модельною мембраною як одне ціле). Присутність наночастинок HfO_2 не впливає на зв’язування хлорину e_6 з наночастинками PS-PPO та на перенесення енергії з PS-PPO на хлорин e_6 , що дуже важливо, оскільки без цього зв’язування не може реалізуватися перенесення енергії збудження з PPO на хлорин e_6 – одна з ключових ланок транспорту енергії наносистеми. Було показано, що присутність в розчині наночастинок HfO_2 призводить до підсилення рентгенолюмінесценції як наночастинок PS-PPO, так і наносистем “PS-PPO / хлорин e_6 ”. Було також показано, що в наносистемі “наночастинки оксиду гафнію / наночастинки полістиролу / хлорин e_6 ” відбувається генерація синглетного кисню, хоч зв’язування хлорину e_6 з НЧ PS-PPO і призводить до зменшення інтенсивності цієї генерації. Дослідження наносистем “наночастинки срібла / ДНК / берберин” показало наявність взаємодії берберину з ланцюжками ДНК та РНК, на яких були вирощені наночастинки срібла.

(В.М. Яшук, М.Ю. Лосицький, КНУ ім. Тараса Шевченка)

Здійснена робота по аналізі механізмів високотемпературної флюоресценції аденозинів та ко-ферментів. Побудовано модель та проаналізовано розподіл електронних хмар в молекулах ко-ферментів NAD, NADH, NADP, NADPH, а також їх складових - аденіні та нікотинаміді. Висунуто та обґрунтовано припущення, що короткохвильова флюоресценція (в області 400 нм) ко-ферментів відбувається внаслідок утворення аутоексиплекса, в якому захоплення енергії відбувається аденіновою групою кофермента, а випромінювання - або нею ж в окисленій формі або нікотинамідною групою у відновленій формі кофермента. Таким чином, збудження мігрує вздовж молекули ко-фермента в напрямку мінімуму електростатичного потенціалу. Наявність або відсутність додаткового атому водню в молекулі (окислення-відновлення) є своєрідним перемикачем, що змінює центр випромінювання, довжину хвилі та час затримки.

(В.М. Яшук, Ю.Г. Терентьева, КНУ ім. Тараса Шевченка)

Секція «Низькотемпературне матеріалознавство та кріогенна техніка»

Кріогенна техніка

Наукові дослідження і розробки у галузі кріогенної техніки у 2020 році проводилися в основному у ФТІНТ імені Б. І. Веркіна НАН України, ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут і в ТОВ «Інститут низькотемпературних енерготехнологій (м. Одеса).

У відділі надпровідних та мезоскопічних структур розроблено оригінальний аналізатор теплових полів «КріоАТП» з додатковими можливостями для кріомедицини, у тому числі – вимірюванні абсолютних температур у діапазоні (-200...+100) °С. Прилад призначений для контролю у реальному часі динаміки низькотемпературних полів на поверхні шкіри біологічних об'єктів. Такий контроль особливо важливий при кріодеструкції злоякісних новоутворень м'яких тканин, для яких зона критичного (безповоротного) знищення настає при охолодженні нижче -50 °С. Для зменшення похибки вимірювання низьких температур в оптичний тракт приладу введено спеціальний еталонний випромінювач. Оригінальне програмне забезпечення має додаткові цільові функції, наприклад, - автоматичний запис кожні 2 секунди покадрового масиву цифрових даних (термографічний фільм) протягом 0,5 години. «КріоАТП» може бути використаний у звичайному температурному діапазоні випромінювання шкіри біологічного об'єкту.

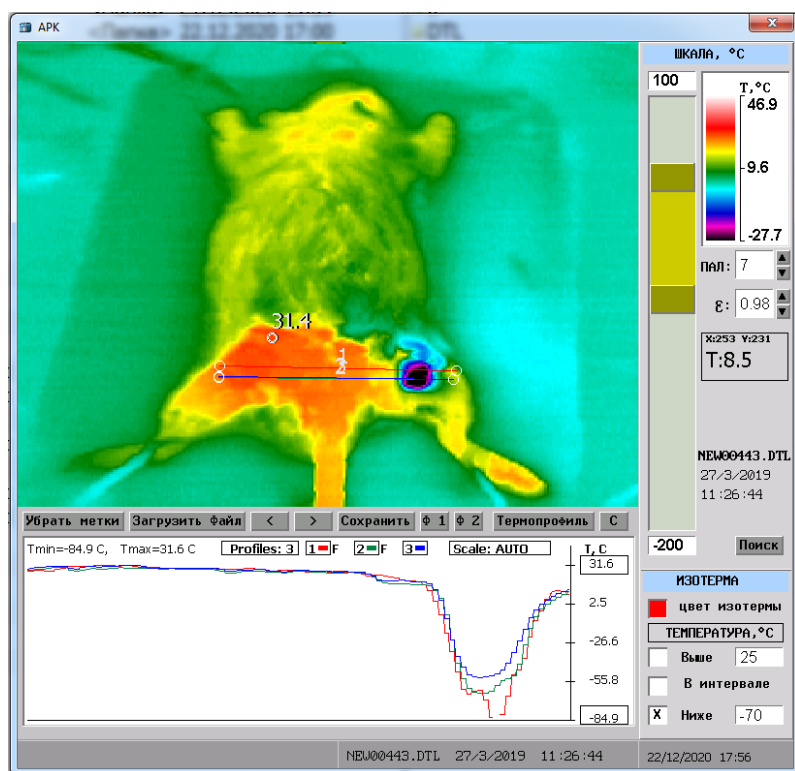


Рис. 6.1. Інтерфейс користувача КріоАТП з тепловим зображенням щура після кріодеструкції патології шкіри. Внизу - теплові перетини у різні моменти відігрівання.

Прилад розроблено у рамках діючого Договору про наукове співробітництво між ФТІНТ НАН України та Інститутом проблем кріобіології та кріомедицини НАН України «Розробка нових тепловізійних методик діагностики патологічних станів в організмі та контролю процесів заморожування та відігрівання біологічних тканин» (2019-2021 рр.).

(Г.В. Шустакова, Э.Ю. Гордиенко, Ю.В. Фоменко, ФТІНТ НАНУ)

Отримано 25.06. 2020 р. патент на корисну модель № 142616 UA «Спосіб неруйнівного контролю теплоізоляції виробів».

(Будник М.М., Шустакова Г.В., Глушук М.І., Гордієнко Е.Ю., Ляхно В.Ю., Турутанов О.Г., Фоменко Ю.В. , ФТІНТ НАНУ)

Отримано Patent of China CN107430174 - IPC G01R 33/035, G01R 33/385, H01F 6/06, CPC - G01R 33/035, H01F 5/02, H01F 6/06, / THERMOSTABLE SUPERCONDUCTIVE MAGNETIC GRADIOMETER / MINOV YURII DMYTROYVCH, BUDNYK MYKOLA MYKOLAIOVYCH, LIAKHNO VALERII YURIOVYCH, SHOPEN OLEKSANDR BORYSOVYCH, KIVIRENKO OLEG BORYSOVYCH (ФТІНТ НАНУ) // Application Date 04.01.2016, Publication Number107430174, Publication Date 01.12.2017, Grant Number107430174, Grant Date 16.10.2020, Publication Kind B.

<https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN207733696&tab=NATIONALBIBLIO>

За договорами з АТ «ФЕД» проведено ресурсні випробування на герметичність в екстремальних умовах космічного простору, що імітується лабораторно, 7-ми зразків теплових акумуляторів, виготовлених АТ «ФЕД» і призначених для серії європейських супутників зв'язку SPASE BUS NEO. Отримано значення витоку гелію з герметичних зразків, що знаходяться в вакуумі $4 \cdot 10^{-4}$ Па під внутрішнім тиском 46,3 бар (при 85°C) і термоцикуванні в інтервалі 20 – 85°C. Експериментально підтверджено, що зразки мають витік гелію менш допустимого (10^{-6} станд.см³/с), що дозволяє використовувати їх за призначенням на супутниках серії SPASE BUS NEO, що будуть працювати на сонячно синхронній орбіті протягом 15 років.

Внесок українських підприємств в цій роботі було відзначено в новинах (жовтень) всеукраїнських каналів, наприклад ICTV, 1+1 та ін. у зв'язку з успішним запуском європейського супутника на навколосезонну орбіту.

(Ю.Я. Пушкар, В.О. Лотоцька, Г.І. Сальтевський, І.П. Зарицький, Ф.І. Волобуєв, В.П. Малецький, П.М. Коваленко, ФТІНТ НАНУ)

У ННЦ ХФТІ під керівництвом проф. В.Б. Юферова розробляється плазмовий фільтр мас моделюючого нерадіоактивного палива (див. звіт за 2019 рік), і його надійність є обов'язковою умовою. В демонстраційно-імітаційному сепараторі для створення магнітних полів ~3 Тл в плазмовому джерелі запропонована магнітна система, яка складається з двох надпровідних (НП) соленоїдів. Соленоїди живляться від незалежних джерел живлення, тому доцільно розглянути проблему нагріву НП-обмотки при неконтрольованому переході в

нормальний стан на прикладі одної з них. Для більшості електроізоляційних матеріалів межа (T_M), яка визначається характеристиками міцності та електроізоляційними властивостями, знаходиться на рівні 50 К...80 К. Пропонується використовувати компаундовану обмотку, з непрямою системою охолодження. При допустимій температурі нагріву (50 К) обмотки для зменшення термомеханічних напруг потрібно мати матеріал замонолічення з високою теплоємністю. Теплофізичні характеристики стабілізуючого матеріалу (Cu), матеріалу замонолічення (епоксидна смола) НП-обмотки представлені на Рис. 6.2.(а й б, відповідно). В якості компаунда розглядався епоксид, однак, можливо використовувати епоксид з різними домішками і інші компаунди, що мають більш високу теплоємність при низьких температурах. Пунктирні лінії (Рис. 6.2., б) показують температуру, до якої нагріється вище вказаний соленоїд при виділенні 10%, 50%, 80% і, відповідно, 100% запасеної в ньому енергії. Для даного T_M та габаритних НП магнітних систем енергія, що йде на нагрів частини НП-обмотки, яка перейшла в нормальний стан, не перевищує ~10% від повної запасеної енергії. З Рис. 6.2., б видно, що температура даної НП- обмотки, яка відповідає цій величині, буде менше $T_M = 50$ К, що задовольняє умовам безпеки при її експлуатації.

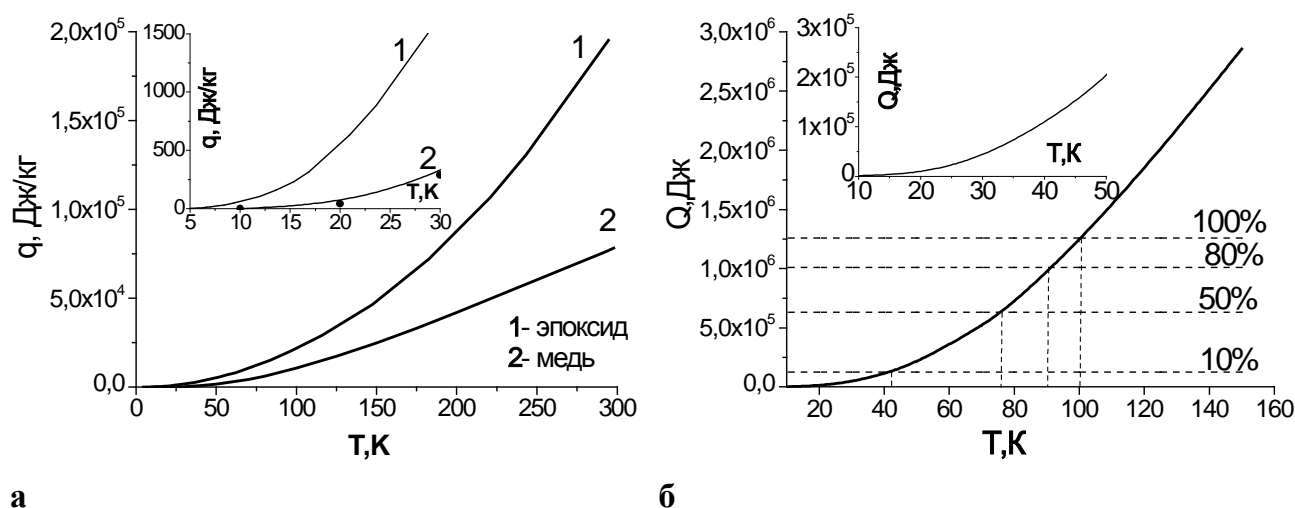


Рис. 6.2. Теплофізичні характеристики НП-обмотки: а) питомий тепловий вміст матеріалів обмотки (1 - епоксидна смола, 2 - мідь) в залежності від температури; б) Тепловий вміст й температура нагріву НП-обмотки ($W=1.26$ МДж) при різній кількості виведеної енергії.

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

У ТОВ «Інститут низькотемпературних енерготехнологій» під керівництвом д.т.н., професора Г. К. Лавренченка продовжено дослідження можливості створення криогенних гелієвих (КГУ) і водневих (КВУ) установок високої продуктивності і ефективності на основі машин динамічного принципу дії. Компресорні машини об'ємного принципу дії, –поршневі і гвинтовікомпресори, – по ряду причин не годяться для цього. Аналіз показує, що при сучасному стані компресоробудування не можливо створити відповідні для цих цілей відцентрові турбокомпресори. Пояснюється це низькою густиною гелію і водню, високими

швидкостями звуку в них, що призводить до малих ступенів їх стиснення в одному ступені турбокомпресора. У дослідженні показано, що число ступенів стиснення можна істотно зменшити при переході до компримування сумішей водню і гелію з важкими низькотемпературними холодоагентами, наприклад, R12, R13, R14. Слід враховувати, що застосування холодоагентів в сумішах з воднем і гелієм призводить до зростання витрат потужності на стиснення в порівнянні з подібними процесами для чистих водню і гелію. Розглядаються два варіанти вирішення даної проблеми, які дозволяють роботу стиснення сумішей наблизити до роботи компримування чистих кріоагентів або навіть зробити її нижче. Один з варіантів заснований на організації стиснення кріоагента в середовищі киплячого холодоагенту, а інший – на чергуванні процесів компримування і проміжного охолодження суміші киплячим холодоагентом. Все це дає можливість розробляти високопродуктивні та ефективні КГУ і КВУ на основі машин динамічного принципу дії.

У ступені стиснення і попереднього охолодження (ССПО) з чотирьох секційними турбокомпресорними установками потужність, що витрачається компресорами на стиснення охолоджених сумішей, не перевищує величин, потрібних для стиснення чистих кріоагента (гелію і водню). Це досягнуто як внаслідок зниження температури суміші на вході, так і завдяки раціональному розподілу ступенів підвищення тиску сумішей по секціях турбокомпресора. Ступені підвищення тиску менше в перших секціях машин, куди надходить більш холодна суміш з ізниженою густиною і високими значеннями показника ізоентропи. В останні секції машини направляється суміш з більшою густиною, підвищеною температурою і низькими значеннями показника ізоентропи. Для цих секцій прийняті підвищені значення ступенів стиснення. Такий розподіл ступенів підвищення тиску сумішей дозволяє отримати в кожній секції менші величини питомої роботи, ніж при стисненні чистого кріоагента при малій кількості ступенів турбокомпресора. При розрахунках турбокомпресорних установок ССПО гелієвих і водневих рефрижераторів прийнято, що загальний рівень підвищення тиску

$$\prod_{i=1}^n \pi_i = 25,$$

де π_i – ступінь підвищення тиску в окремому ступені.

Необхідно звернути увагу на дуже важливий результат проведеного дослідження. При стисненні до 2,5 МПа число ступенів турбокомпресора, що працює в складі вдосконаленої КДУ, дорівнює 7, а вдосконаленої КВУ – 8. Необхідно відзначити для порівняння, що для стиснення чистого гелію реально було б потрібно не менше 40, а водню – не менше 90 ступенів стиснення. Проводилося порівняння характеристик трьох видів турбокомпресорних установок:

1. Установки з компримуванням тільки чистого кріоагента (гелію або водню).
2. Установки, що входять до складу ССПО, в яких застосовуються суміші гелій-холодоагент або водень-холодоагент.

Для однакового порівняння систем з удосконаленими ССПО у якості холодоагенту, що додається, використовується R12. Його можна замінити на альтернативний холодоагент R134a, що не руйнує озоновий шар Землі. У аналізованій схемі концентрація R12 мінатися не може в ступенях стиснення турбокомпресора. Вона була обрана рівною 0,20 моль/моль для гелієвого рефрижератора і 0,22 моль/моль – для водневого, виходячи із забезпечення

позитивного значення інтегрального ізотермічного дросель-ефекту сумішей гелій-R12 і водень-R12.

(Г. К. Лавренченко, ТОВ «Інститут низькотемпературних енерготехнологій»)

Низькотемпературне матеріалознавство

Наукові дослідження і розробки у області низькотемпературного матеріалознавства у 2020 році проводилися в основному у ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України та ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут».

Вперше експериментально реалізовано поєднання високої міцності і пластичності ряду не еквіатомних високоентропійних сплавів на основі заліза, марганцю, хрому та кобальту при охолодженні до наднизьких температур (до 0.5 К). Зареєстроване співвідношення «міцність-пластичність» нарівні міцності порядку 1000 МПа та пластичності 40-50% з рекордним для криогенних температур та удвічі перевищує аналогічні характеристики відомих криогенних сталей. В основі цього явища, як показано, лежить фізичний механізм посилення в умовах низьких температур процесів двійникування та енергетично вигідних фазових перетворень ГЦК-ГЦП. Ці результати можуть бути використані при розробці новітніх матеріалів з покращеними механічними властивостями, які здатні працювати в умовах криогенних температур або глибокого космосу.

(Е.Д. Табачнікова, Ю.А. Шаповалов, Т. В. Грігорова, С.Е. Шумілін, ФТІНТ НАНУ)

При дослідженні параметрів пластичної деформації МЗ магнієвого сплаву AZ31 в інтервалі 4,2 – 295 К встановлено, що напруження плинності сплаву зі змішаною текстурою визначається термофлуктуаційним рухом переважно базисних дислокацій. З аналізу температурних залежностей напруження плинності та активаційного об'єму отримані емпіричні параметри цього руху, що відповідають механізму взаємодії дислокацій з локальними бар'єрами у вигляді домішкових атомів і дислокацій лісу.

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

Вперше на основі термоактиваційного аналізу експериментальних залежностей межі плинності та її швидкісної чутливості від температури і розміру зерна визначено контролюючий механізм пластичної деформації нанокристалічного (НК) титану з розміром зерна в декілька десятків нанометрів і моноmodalним розподілом їх за значеннями в інтервалі температур 4,2 – 395 К. Встановлено відносний вплив на кінетику руху дислокацій в площині ковзання локальних бар'єрів (домішкових атомів) та внутрішніх напружень, які обумовлені виключно границями зерен.

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

З метою отримання даних про пружнопластичний перехід були вивчені мікромеханічні властивості чистих і домішкових кристалів фулерита C_{60} . Наноіндентування кристалів з домішками показало, що вони суттєво підвищують модуль пружності і твердість фулериту. Перехід від пружної деформації до пластичної течії в цих кристалах проходить плавно при напруженнях, значно менших, ніж у чистому C_{60} .

(Л. С. Фоменко, С. В. Лубенец, А. В. Русакова, ФТІНТ НАНУ)

Проведено моделювання динаміки двовимірного кристалічного кластеру обмеженого розміру з дислокацією та проаналізовано її рух під дією сил зображення від центра кластеру до границі. Виявлено осциляції швидкості руху дислокації, які обумовлені дією на неї потенціального рельєфу Пайерлса.

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

Досліджені механічні властивості нових матеріалів на базі мультикомпонентних (високоентропійних) сплавів з регульованою нанокластерною структурою. Встановлені механізми низькотемпературної пластичності високоентропійного сплаву $CrMnFeCoNi_2Cu$ з ГЦК граткою методами електронної мікроскопії, рентгеноструктурного та термоактиваційного аналізу процесів активної пластичної деформації. Виконано пошук оптимальних технологічних параметрів пластичної деформації та визначений їх вплив на фазовий стан і структуру нових високоентропійних сплавів з регульованою нанокластерною структурою, які мають підвищену жароміцність.

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

Показано, що нешмідовську поведінку дислокацій можна спостерігати в атомістичних моделях Mg. Ефект проявляється залежністю критичних напружень зсуву від нековзаючої компоненти прикладеного напруження. Встановлено відхилення від закону Шміда для базисних і призматичних систем ковзання в Mg. Знайдено, що основний внесок у нешмідовську поведінку вносять зміни ширини ядра дислокації в площині ковзання. Отримані критичні напруження зсуву від нековзаючої компоненти прикладеного напруження. Показано, що застосування тиску може змінити критичне дозволене напруження для базисного та призматичного ковзання. В інтервалі температур 50 – 300 К методами акустичної спектроскопії вивчені динамічні властивості дислокацій у зразках Mg, підданих інтенсивній пластичній деформації.

(П.П. Паль-Валь, О.М. Ватажук, ФТІНТ НАНУ)

Продовжено дослідження властивостей поліімідних плівок типу kapton H, що широко застосовуються в кріогениці, космонавтиці і ядерній енергетиці. З погляду механічних властивостей важливо встановити їх міцність і деформуємість при різних швидкостях деформації, особливо в області гелієвих температур, де їх еластичність знижується. Іншим важливим аспектом є вивчення їх здатності до створення високоорієнтованої структури при

низьких температурах і встановлення фізичних механізмів формозміни, оскільки ці питання ще залишаються відкритими. Проведено при 4,2 К комплексне дослідження механічних властивостей плівок типу картоп Н (виробництва КНР) товщиною 25 мкм у вихідному стані у діапазоні швидкостей деформації $7 \cdot 10^{-5} - 6 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$. Встановлено, що при всіх швидкостях деформування температура крихкості $T_{кр}$ при 4,2 К не досягається ($\sigma_b < \sigma_p$). Але виявлено, що плівки демонструють два типи кривих $(\sigma - \epsilon)$ – з малою і великою стадією нелінійної деформації, що протікає стрибкоподібно. При найменшій швидкості деформації $7 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ криві $(\sigma - \epsilon)$ – трьохстадійні: з лінійною та двома нелінійними стадіями з різним коефіцієнтом зміцнення. Вперше виявлено деформаційний рельєф у вигляді смуг зрушення, пов'язаний з локалізацією деформації (число смуг та стрибків деформації збігається). Встановлені обумовлюючи рельєф два різних процеса: оборотні процеси орієнтації сегментів полімерних молекул (Рис. 6.3. а, б) та необоротні процеси утворення і розвитку тріщин (Рис. 6.3. в).

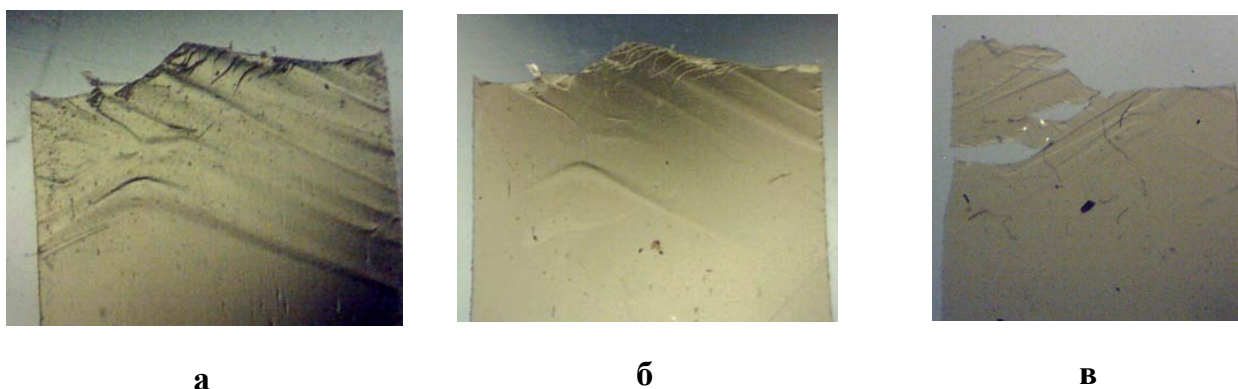


Рис. 6.3. Поверхні зразків товщиною 25 мкм (а, б) у зоні зламу при температурах 4,2 К при швидкостях деформації $\dot{\epsilon} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ (а, б) та $\dot{\epsilon} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$ (б) після відігрівання до кімнатної температури (а, в) і відпала при 350 °С 2 години. (б).

Уперше виявлено, що товщина плівки і, відповідно, ступінь її впорядкування визначає характер швидкісної чутливості міцностних характеристик при 4,2 К. У найбільш аморфній плівці товщиною 25 мкм спостерігається збереження залежності $\sigma_b(\dot{\epsilon})$ на відміну від зворотної залежності $\sigma_p(\dot{\epsilon})$, що характерна для більш впорядкованих товстих плівок (75 і 125 мкм), вивчених раніше.

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

Досліджено механічні властивості (границю вимушеної еластичності, напругу руйнування, загальну деформацію до руйнування і її складові) плівки типу картоп Н товщиною 25 мкм при температурі 293 К після впливу окремо ВУФ і УМР– випромінювання в діапазоні 1,24 – 170 нм протягом 500 год. та потоків протонів і електронів з енергією 160 кеВ і флюенсом 10^{16} ч/см^2 . Тенденції зміни характеристик після впливу корпускулярних ФКП тіж самі, що і в плівці товщиною 75 мкм, що вивчалась раніше, але опромінення протонами виявляє більш сильний вплив (на 10 – 15%) на величини всіх характеристик, в той

час як ВУФ і УМР– випромінювання призводить до меншого зниження величини внеску високоеластичної деформації, оборотної при температурі випробування (на 25%).

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

За результатами дослідження механічних властивостей плівок полііміду в екстремальних умовах у 2017-2020 рр. отримано акт впровадження результатів у ДП «КБ «Південне».

Для з'ясування процесів і механізмів підвищення механіко-термічної стійкості конструкційних матеріалів зі структурами нанометрового масштабу, створеними з застосуванням великих пластичних деформацій при низьких і помірно низьких температурах, досліджено вплив малоінтенсивних ультразвукових дій (УЗД) на зміни структурного стану і комплексу фізико-механічних властивостей Zr і сплаву Zr1Nb попередньо підданих комбінованої деформації прокаткою при 77 і 300 К на ступень $\epsilon = 3,9$. Показано, що внаслідок генерація великої кількості вакансій при УЗД відбувається неконсервативне ковзання дислокацій, що призводить до формування більш рівноважної структури меж зерен без замінного збільшення їх розміру, релаксації внутрішніх напружень. Наноструктурні Zr і Zr1Nb з рівноважними межами зерен є більш стійкими до подальшої деформації повзучості при 670 К внаслідок зниження інтенсивності динамічної рекристалізації.

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

Для отримання уявлень про анізотропію властивостей високоентропійних сплавів, синтезованих методом аргонно-дугового плавлення зі спрямованим тепловідводом, проведені дослідження сплаву $Al_{0,5}CoCrCuFeNi$ імпульсним ультразвуковим методом на частоті 50 МГц в діапазоні температур 77 – 300 К. Отримано широкий спектр нових даних по пружним властивостям матеріалу: незалежному постійному тензору пружності, модулю Юнга, об'ємному модулю всебічного стиснення, модулю зсуву, коефіцієнту Пуассона. Виконано оцінку індексу Пуха, параметру Коші, характеристичної температури Дебая, параметру Грюнаїзена і ступеню анізотропії сплаву. Отримано нові дані про розвиток термоактивованих процесів структурних змін в умовах впливу високочастотних малоамплітудних мікрона пруг.

(О.С. Булатов, В.С. Ключко, А.В. Корнієць, В.І. Спицина, М.А. Тихоновський, І.В. Колодій, ННЦ ХФТІ НАНУ)

З використанням методики навантаження електричним полем високої напруженості встановлено, що при $T = 77$ К максимальні значення міцності голчастих нанокристалів вольфраму ($d = 20-100$ нм) склали 21,9 ГПа, що більш ніж на порядок перевищує міцність дроту (1,49 ГПа), з якого виготовлялися зразки. Це значення відповідає максимальним напруженням, які розвиваються на площині $\{110\}$, і дорівнює 0,044 модуля Юнга, що

задовільно узгоджується з результатами теоретичного визначення міцності в металах з ОЦК-решіткою. Межа міцності нанокристалів молібдену ($d = 30\text{--}70$ нм) склала 13,5 ГПа. Показано, що руйнуванню нанокристалів вольфраму і молібдену передуює пластична деформація ковзанням уздовж площин $\{211\}$ і $\{110\}$. При випробуваннях зразків після механічного відпалу встановлено, що когезійна міцність несоразмерних між зерен загального типу в вольфрамі становить 14,4–20,2 ГПа, що близько до міцності монокристалів. Міцність несумірних меж зерен в молібдені дорівнює 9,9 ГПа. Максимальні значення міцності зразків в нанометровому діапазоні діаметрів не виявляли масштабної залежності, що свідчить про досягнення ідеальної когезійної міцності меж зерен загального типу.

(Т.І. Мазілова, І.М. Михайловський, Є.В. Саданов, І.В. Старченко, ННЦ ХФТІ 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.

Інформація щодо надрукованих у 2020р. книжкових видань: монографій, підручників, науково-пізнавальних видань

1. E.V. Gorbar Electronic properties of Dirac and Weyl semimetals / E.V. Gorbar, V.A. Miransky, I.A. Shovkovy, P.O. Sukhachov – World Scientific, January 12, 2021. – 536 pp. – ISBN-10: 9811207348.

Участь у підготовці та проведенні наукових конференцій, симпозіумів

1. The International Advanced Study Conference «Condensed Matter and Low Temperature Physics 2020» (CM<P 2020) (8 – 14 червня 2020 р., Харків, Україна) (Д.ф.-м.н. Г. Є. Гречнев, к.ф.-м.н. М. І. Глушук, 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, д.ф.-м.н. Ю. О. Колесніченко, чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк, д.ф.-м.н. І. В. Криве, д.ф.-м.н. В. С. Курносов, 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. Омелянчук, д.ф.-м.н. П. П. Паль-Валь, акад. НАН України Л. А. Пастур, д.ф.-м.н. О.В. Савченко, д.ф.-м.н. С. С. Соколов, 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/cmlltp2020/>
2. Д. ф.-м.н Г.І. Довбешко брала участь у роботі організаційного комітету українсько-польського семінару “Взаємодія графен - фотон: ефекти та застосування” (13-14 лютого, 2020 р. Київ, Україна) <https://www.researchgate.net/publication/341133826>
3. Проф. В. М. Криворучко брав участь у роботі організаційного комітету International Conference «Modern Problems of Solid State and Statistical Physics» (MP-SSP&SP-2020)(September 14-15, 2020 Kyiv, Ukraine)
<http://eng.imag.kiev.ua/index.php/mpss-sp-2020>
4. Чл.-кор. НАН України Т.О. Пріхна входила до складу наукового комітету міжнародної науково-практичної конференції «ENVIRONMENT. RESOURCES. ENERGY» (25 – 26 листопада 2020, Київ, Україна) <http://www.ere.org.ua/>
5. Чл.-к. НАН України В.А. Татаренко та д.ф.-м.н. В.М. Порошин брали участь у роботі програмного комітету II Міжнародної конференції «Функціональні матеріали для інноваційної енергетики — ФМІЕ-2020» (25–27 травня 2020 р., Київ, Україна).
<https://www.imp.kiev.ua/?lang=rus&a=conference>
6. Проф. М.Т. Черпак брав участь як рецензент у роботі програмного комітету Європейської мікрохвильової конференції (EuMC) в рамках Європейського мікрохвильового тижня (EuMW) (13-18 вересня 2020, Утрехт, Нідерланди)
www.eumweek.com
7. Проф. М.Т. Черпак брав участь у роботі міжнародної конференції First IEEE Ukraine Microwave Week (22-27 червня 2020 р., Харків, Україна)
<http://ieee.org.ua/event/2020-ieee-first-ukrainian-microwave-week-ukrmw/>

Участь у редколегіях наукових видань

1. «Condensed Matter Physics» (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. «Innovative Biosystems and Bioengineering» (чл.-кор. АПН МОНУ Ю. І. Горобець)
6. «Journal of Low Temperature Physics» (чл.-кор. НАН України Е. Я. Рудавський, С. С. Соколов).
7. «Journal of Magnetism and Magnetic Materials» (чл.-кор. НАН України Б. О. Іванов).
8. «Functional Materials» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Малюкін (заст. гол. редактора)).
9. «Modern Instrumentation» (О. В. Савченко)
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. Беляєв (заст. гол. редактора), акад. НАН України М. Г. Находкін, В.М. Порошин).
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), В.І. Соколенко, 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» (А. А. Ровенчак (відповідальний секретар)).
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. «Питання атомної науки і техніки», серія: «Вакуум, чисті матеріали, надпровідники» (В.Б. Юферов).
27. «Радіотехніка» (чл.-кор. НАН України С. І. Тарапов)
28. «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).
29. «Радиофизика и радиоастрономия» (акад. НАН України В. М. Шульга).

30. «Сверхтвердые материалы» (чл.-кор. НАН України Т. О. Пріхна).
31. «Східно-європейський журнал прогресивних технологій» (Р. В. Вовк)
32. «Технічні гази» (Г. Є. Лавренченко (гол. редактор), С. І. Бондаренко).
33. «Український фізичний журнал» (чл.-кор. НАН України С. М. Рябченко (заст. гол. редактора), акад. НАН України Л. А. Булавін, акад. НАН України В. М. Локтев, акад. НАН України М. Г. Находкін, акад. НАН України В. Г. Бар'яхтар, чл.-кор. НАН України А. М. Погорілий, чл.-кор. НАН України В. Й. Сугаков, В. М. Ящук).
34. «Український математичний журнал» ((акад. НАН України Л. А. Пастур).
35. «Успіхи фізики металів» (чл.-кор. НАН України В. А. Татаренко).
36. «Фізична інженерія поверхні» (акад. НАН України М. Г. Находкін).
37. «Фізика низких температур» (акад. НАН України С. Л. Гнатченко (гол. редактор), І. М. Адаменко, Р. В. Вовк, Г. Є. Гречнев, 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. Криве, Ю. Г. Найдюк, В. Д. Нацик, чл.-кор. НАН України О. М. Омелянчук, акад. НАН України Л. А. Пастур, чл.-кор. НАН України Е. Я. Рудавський, 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).
38. «Фізика і хімія твердого тіла» (акад. НАН України М. Ф. Харченко).
39. «Холодильна техніка і технологія» (Г. Є. Лавренченко).

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

1. [На Українському радіо у програмі «Піфагорове дерево» кандидат фізико-математичних наук Максим Барабашко розповів про перспективні дослідження наноматеріалів у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України](#)
2. [Науково-популярна лекція «Розв'язання проблеми Пуанкаре»](#)
Прес-служба НАН України, 24.01.2020
3. О.А. Кордюк заснував науково-популярний «Квантовий семінар» КАУ
<https://kau.org.ua/news/massmedia/530-qseminar8>
<https://youtube.com/playlist?list=PLSGP3r1iKksMAYxKXg6mMRFngDjJ1IwBE>
4. О.А. Кордюк брав участь в проведенні Української секції змагань *Всесвітнього руху з робототехніки у Шанхаї* (The 11th National China Sports Robot Movement and United Robots Elite Challenge, Ukraine Division) у Київському академічному університеті 11 грудня 2020 р.
5. О.А. Кордюк був організатором Днів відкритих дверей кафедр КАУ
<http://kau.org.ua/news/massmedia/479-den-vidkrytykh-dverei-onlayn>
6. О.А. Кордюк був організатором Українсько-Німецького науково-популярного заходу UKRATOP Days 2020
<http://kau.org.ua/centers/ukratop/days2020>
7. О.А. Кордюк був організатором, лектором та ведучим циклу Семінарів для вчителів: IV. Гідродинаміка в шкільному курсі фізики: неправильна тема? Лектор: вчитель фізики школи "Базис" Трилес Олександр, 7 лютого 2020 р

- V. Левітація у фізиці - надпровідна левітація. Лектор: О. А. Кордюк, 23 квітня 2020 р.
<https://youtu.be/EcCJ-wvWIHE>
- VI. Несамовита фізика: скрипка, піца, вино і надпровідність. Лектор: професор Андрій Варламов, 18 червня 2020 р.
<https://youtu.be/H9IsKMKuZ4>
8. О. А. Кордюк був організатором Комплексної олімпіади КАУ CoOLMaPhEnS-2020, 11-14 січня 2020
<http://kau.org.ua/news/massmedia/394-coolmaphens2020>
9. Р.В. Вовк 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 ім. Б.І. Веркіна НАНУ та міжнародних програмах (Словаччина, Бельгія, Польща та інш.)

Редакційна група:

КАЛИНЕНКО
Олександр Миколайович

БУРАВЦЕВА
Любов Михайлівна

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

2020