

2019

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»	17
Бюро Наукової ради	17
Члени Наукової ради	18
Наукові досягнення вчених України у галузі фізики низьких температур і кріогенної техніки у 2019 році	
Секція «Фізика квантових рідин та кристалів»	22
Секція «Фізика надпровідності»	32
Секція «Фізика магнітних явищ»	38
Секція «Електронні властивості твердих тіл»	63
Секція «Фізика молекулярних кристалів»	70
Секція «Низькотемпературне матеріалознавство та кріогенна техніка»	74
Кріогенна техніка	74
Низькотемпературне матеріалознавство	77
Інформація щодо надрукованих у 2019 р. книжкових видань	85
Участь у підготовці та проведенні наукових конференцій, симпозіумів	85
Участь у редколегіях наукових видань	86
Робота з пропаганди наукових досягнень та висвітлення науково-дослідної діяльності в ЗМІ	88

Вступ

Наукова рада з проблеми «Фізика низьких температур і криогенна техніка» при Відділенні фізики і астрономії НАН України яка працює на базі Інституту 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). Раду очолює Голова – акад. НАН України С. Л. Гнатченко, до її складу входить шість секцій: «Фізика квантових рідин та кристалів» (очолює чл.-кор. НАН України Е. Я. Рудавський); «Фізика надпровідності» (очолює чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк); «Низькотемпературний магнетизм» (очолює акад. НАН України М. Ф. Харченко); «Електронні властивості твердих тіл» (очолює Ю. О. Колесніченко); «Фізика молекулярних кристалів» (очолює чл.-кор. НАН України М. О. Стржемечний); «Низькотемпературне матеріалознавство та криогенна техніка» (очолює С. І. Бондаренко). До складу Ради входять 83 провідних фахівця з фізики низьких температур з Києва, Харкова, Одеси, Львова тощо. В Інтернеті розміщена веб-сторінка Ради

www.ilt.kharkov.ua/bvi/structure/naukova_rada_fntkt_u.htm .

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

Перш за все, зазначимо, що з точки зору ради, розвиток фундаментальних та прикладних досліджень повинен вестися в актуальних напрямках фізики за тематикою діяльності ради 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, наноккомпозитів, 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, стратегія збереження та розвитку існуючого наукового потенціалу як НАН України, так і взагалі усієї країни, повинна враховувати, що академічні установи вимушені працювати у досить складних умовах недостатньої уваги з боку держави та недалекогоглядного її ставлення до ролі та статусу природничих наук, як то: суттєве недофінансування навіть фонду заробітної плати; неможливість та, подекуди, заборона на придбання експериментального та комп'ютерного обладнання за кошти науково-дослідних проектів; неможливість достатнього фінансування закордонних наукових відряджень та стажувань тощо. Зрозуміло, що якщо ставлення не зміниться, то вже в недалекому майбутньому це приведе до руїни, деградації науково-технічного потенціалу і можливостей України, а потім і знищення її самостійного промислового комплексу в цілому.

Щоб цього не сталося, наукові установи, мають докласти усіх зусиль. Заходи, які рада вважає доцільним реалізовувати з цією метою полягають у наступному:

- підвищення рівня і посилення міждисциплінарного характеру досліджень;
- оптимізація 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.

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 криогенної техніки. Серед них: Інститут фізики НАН України, Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України, Інститут магнетизму НАН України та МОН України, Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова, Радіоастрономічний інститут НАН України, Інститут фізики конденсованих систем НАН України, ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, Інститут монокристалів НАН України, Донецький фізико-технічний інститут ім. О. О. Галкіна НАН України, Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, НТУ України «Київський політехнічний інститут», НТУ «Харківський політехнічний інститут», Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ТОВ «Інститут низькотемпературних енерготехнологій».

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. На протязі року за профілем Ради надавались наступні консультаційні послуги:

- Рецензування та рекомендації щодо запитів науково-дослідних робіт, які подаються до участі у конкурсах. Загалом надано більше кількох десятків консультацій та рецензій для конкурсів НАН України, МОН України, ЄС та зарубіжних наукових фондів (European Research Council, Fulbright Visiting Scholar Program (USA), Israel Scientific Foundation, National science centre of Poland, Ariel University, Yale University, The United States Department of Energy, Office of Basic Energy Sciences, Czech Technical University in Prague, The Icelandic Centre for Research (RANNIS) тощо);
- Рецензування циклів робіт, що висуваються на здобуття Державних премій України в галузі науки і техніки. Тільки науковці ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України надали 4 консультації та кілька рецензій;
- Рецензування монографій, підручників та навчальних посібників, що подаються до опублікування. Загалом прорецензовано близько 10 рукописів монографій;
- Рецензування наукових статей. Загалом, наукова експертиза та рецензування статей проводилось на замовлення близько 20 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;
- Рекомендації та зауваження до проектів документів, що готуються для введення у законодавчу та нормотворчу діяльність. Зокрема, «Порядку присудження наукових ступенів...», «Порядку присвоєння наукових звань...», «Концепції розвитку НАН України...» тощо.
- Консультування комітетів та комісій щодо наукового рівня претендентів на здобуття стипендій, грантів тощо;

– Рецензування робіт, що подаються на здобуття освітніх ступенів на другому рівні вищої освіти.

Заступник голови ради Ю. Г. Найдюк є також членом Наукової ради Національного фонду досліджень України (НФДУ). Починаючи з листопада минулого року, Ю. Г. Найдюк взяв участь у всіх 5 засіданнях Наукової ради НФДУ. Наукова Рада розглянула більше 20 різних питань, які були необхідні для започаткування та налагодження роботи Національного фонду досліджень України. Серед найважливіших можна відмітити «Положення про дирекцію НФДУ», Проведення виборів виконавчого директора НФДУ, «Порядок конкурсного відбору та фінансування НФДУ проектів з виконання наукових досліджень і розробок», «Порядок формування та використання коштів Фонду», розробка «Загальної стратегії роботи НФДУ», та «Порядку розгляду та експертизи проектів», обговорення та схвалення плану роботи НФДУ на 2020 рік та інші.

Крім того, співробітники Інституту є членами численних наукових комітетів та рад, серед яких, зокрема, спеціалізовані секції Комітету з Державних премій України в галузі науки і техніки (академіки НАН України С. Л. Гнатченко, М. Ф. Харченко, Є. Я. Хруслів), експертні комісії Комітету з присудження іменних стипендій Харківської обласної державної адміністрації, Координаційна рада Фонду ім. Н. І. Ахієзера, Спеціалізована рада ХНУ ім. В. Н. Каразіна. Інститут подав до реєстрації у якості членів експертних груп з оцінювання ефективності діяльності наукових установ МОН України кандидатури 10-х науковців.

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

Єдина в Україні конференція з фізики низьких температур вже більше 10 років щорічно проводиться на базі ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України. У 2019 році Інститут також виступив організатором ряду конференцій, семінарів та зборів.

Так, з 3 по 7 червня 2019 р. у Фізико-технічному інституті низьких температур імені Б. І. Веркіна НАН України пройшла 10-а Міжнародна конференція спеціалістів та молодих вчених «Фізика низьких температур-2019» (ICPYS LTP 2019), присвячена 100-річчю з дня народження засновника інституту Бориса Ієремієвича Веркіна. Організаторами конференції виступили Рада молодих вчених і спеціалістів інституту ФТІНТ НАН України та Національна академія наук України. Тематика форуму охоплювала основні напрями досліджень з низькотемпературної фізики, зокрема, низькотемпературний магнетизм, нанофізику, надпровідність, фізику квантових рідин та кріокристалів, теоретичну фізику конденсованого стану, нанобіофізику тощо. З 12 запрошеними лекціями виступили провідні вчені із США, Великобританії, Німеччини, Італії, Фінляндії, Швеції, Чехії, Грузії, ПАР, Польщі, Росії та України. Було представлено 115 доповідей від науковців з різних країн світу. Захід пройшов в атмосфері цікавих дискусій та дружнього обговорення, які стали генераторами нових ідей та планів майбутнього співробітництва. Підготовку та проведення конференції було здійснено Радою молодих науковців та спеціалістів інституту за підтримки адміністрації та профспілки. Завдяки самовідданій, сумлінній праці та організаційним зусиллям Оргкомітету конференція пройшла на високому науковому та організаційному рівні.

У 2019 р. інститутом було організовано та 8 жовтня проведено розширене урочисте засідання вченої ради ФТІНТ НАН України, яке було присвячене 100-річчю від дня народження засновника і першого директора інституту, академіка НАН України [Бориса Ієремієвича Веркіна](#). З доповіддю «Б. І. - яким ми його пам'ятаємо: вчений, педагог,

творець» виступив академік С. Л. Гнатченко. В засіданні прийняли участь члени Ради, науковці Інституту та поважні гості, серед яких були колеги з інших установ НАН України, університетів Харкова та представники Харківської державної адміністрації. Привітання від Президента НАН України академіка НАН України Б. Є. Патона було оголошено академіком-секретарем Відділення фізики і астрономії академіком В. М. Локтевим, який виступив із розгорнутою промовою.

17–21 червня 2019 року в Харкові пройшла Міжнародна конференція «Geometry, Differential equations and Analysis», організаторами якої виступили Математичне відділення Фізико-технічного інституту низьких температур (ФТІНТ) імені Б. І. Веркіна НАН України і факультет математики та інформатики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Захід присвячувався 100-річчю від дня народження видатного математика – академіка Олексія Васильовича Погорелова (1919–2002). Тематика конференції охоплювала широкий спектр проблем – таких, як: геометрія підмногovidів, диференціальна та ріманова геометрія, геометрія в цілому, диференціальні рівняння, аналіз. Вступним словом конференцію відкрив головний науковий співробітник Математичного відділення ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України член-кореспондент НАН України Олександр Андрійович Борисенко. Кожного з п'яти днів конференції виголошувалися 3-4 пленарні доповіді (по 40 хвилин) та 5-6 доповідей учасників конференції. У день відкриття конференції з пленарними доповідями виступили: професор Університету Тель-Авіва (Тель-Авів, Ізраїль) Віталій Мільман, професор Університету Пурдю (Вест Лаваєт, США) Олександр Єременко, професор Університету Валенсії (Валенсія, Іспанія) Вісент Мікуель, професор Політехнічного університету Турина (Турин, Італія) Еміліо Муссо. У межах цього наукового форуму відбулася також постерна сесія. Загалом захід відзначився масштабністю та географічно широким представництвом. Участь у ньому взяли науковці з Великої Британії, Франції, Ізраїлю, Іспанії, Австралії, Італії, Німеччини, Норвегії, США, Канади, Польщі, Кувейту, України. Виступи всіх учасників викликали велику зацікавленість і отримали позитивну оцінку аудиторії. Обговорення доповідей та перерви між їхнім виголошенням супроводжувалися жвавими дискусіями. Тези представлених доповідей опубліковано окремим збірником.

Фізико-технічний інститут низьких температур імені Б. І. Веркіна НАН України разом з Інститутом фізики НАН України виступили організаторами Міжнародної наукової конференції «Nanobiophysics: fundamental and applied aspects» яка пройшла 1 – 4 жовтня 2019 року у м. Києві. Серія конференцій з нанобіофізики була започаткована спільно обома інститутами ще у 2009 р. Відтоді, кожні 2 роки, ці конференції проводяться у Києві та Харкові. Програма конференції 2019 р. складалася з 19 пленарних лекцій провідних фахівців, 20 усних та 52 стендових доповідей про наукові досягнення вчених в галузі нанобіофізики та проведення круглого столу із обговорення питань розвитку досліджень у цей галузі.

У листопаді 2019 року була проведена підсумкова наукова конференція ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України присвячена 100-річчю з дня народження засновника інституту Бориса Ієремійовича Веркіна. В конференції прийняло участь біля двохсот науковців, аспірантів та студентів.

Крім того, у 2019 році члени Ради та науковці ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України активно працювали в організаційних комітетах та брали участь в підготовці і проведенні ще кількох конференцій. Так, О. В. Савченко активно приймала участь в роботі Програмного

комітету 20-ї міжнародної конференції з радіаційних ефектів у ізоляторах, яка відбулася 19-23 серпня 2019 р. у Казахстані (20th International conference on Radiation Effects in Insulators). Академіки НАН України С. Л. Гнатченко, М. Ф. Харченко, чл.-кор. НАН України В. О. Карачевцев, О. М. Омелянчук, М. О. Стржемечний, Е. Я. Рудавський брали участь у роботі Програмного комітету 10-а Міжнародної конференції спеціалістів та молодих вчених «Фізика низьких температур-2019» (ICPYS LTP 2019) (3-7.06.2019 р., Харків, Україна).

Академік НАН України М. Ф. Харченко брав участь у роботі організаційного комітету Міжнародної Фреїківської конференції з фізики і технології тонких плівок і наносистем МКФТТПН-XVII (International Freik Conference on the Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems ICPTTFN-XVII) (20-25 травня 2019 р., м. Івано-Франківськ, Україна). О. Л. Фертман брала участь у роботі організаційного комітету Міжнародної науково-практичної конференції «Мультифероїки: створення, властивості, застосування» («Multiferroics: fabrication, properties, application») (24-27 вересня 2019 р. м. Витебськ, Біларусь).

При ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України працює молодіжний осередок міжнародного оптичного товариства (ILTPE OSA Student Chapter, <http://www.ilt.kharkov.ua/osachapter/eng/index.html>).

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

Серед них, чл.-кор. НАН України М. В. Щербина, яка є членом Комісії з присудження грантів Європейського дослідницького комітету для молодих науковців (ERC Starting Grants) у Європейській Раді з Досліджень (Брюссель) (European Research Council, Brussel). Акад. НАН України Л. А. Пастур є почесним доктором Університету Руру (Німеччина) та Почесним членом Американського математичного товариства. М. В. Косевич є представником від України у International Mass Spectrometry Foundation (<http://www.imss.nl/affiliates.html>).

Обмін актуальною науковою інформацією, знайомство з останніми досягненнями в певних галузях науки забезпечується і тим, що вчені інституту беруть активну участь у організації роботи відкритого Загальнофізичного семінару, що працює при Інституті на регулярній основі. До участі у семінарі запрошуються з доповідями провідні вчені з академічних установ та університетів України та інших країн. Семінар відвідують студенти старших курсів та аспіранти Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна та Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» та ін. За минулий рік було проведено 4 засідання семінару на яких виступили вчені з наукових установ Львова, Києва та Харкова.

Налагоджена також активна взаємодія та обмін актуальною інформацією в галузі фізичних досліджень між провідними науковими установами Харкова. Організований та працює Харківський міський Загальнофізичний семінар Південно-східного наукового центру НАН України. Семінар відбувається під головуванням акад. НАН України О. О. Коноваленка та чл.-кор. НАН України В. Ф. Клепікова, секретарем семінару є завідувач відділу теоретичної фізики ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України І. В. Криве. Усього за 2019 рік було проведено 5 міських семінарів на яких з доповідями виступили як харківські вчені так і зарубіжні науковці.

Опікування видавничою діяльністю з низькотемпературної тематики є одним з найважливіших напрямків діяльності Ради. Наукова рада активно і постійно працює з редколегією журналу «Фізика низьких температур» (головний редактор – академік НАН України С. Л. Гнатченко), що видається в Інституті, та є на сьогодні одним з найбільш рейтингових фізичних журналів України. Слід зазначити, що члени Наукової ради складають більшість редакційної колегії «ФНТ» та відіграють провідну роль у формуванні тематики та проведенні експертизи публікацій і редакційної політики. В журналі друкуються оригінальні та оглядові статті, що присвячені питанням фізики низьких температур. Тематика журналу включає: квантові рідини та квантові кристали, надпровідність (у тому числі високотемпературну), бозе-ейнштейнівську конденсацію, низькотемпературний магнетизм, електронні властивості провідних систем, низьковимірні та 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 2019 році 173 наукових статті, з яких 10 оглядів з актуальних проблем фізики низьких температур та 3 коротких повідомлень. Протягом 2019 року було видано 7 спеціальних тематичних випусків журналу, а саме: № 2 «XXII Уральська міжнародна зимова школа з фізики напівпровідників», № 3 «Proceedings of 12th International Conference on Cryocrystals and Quantum Crystals (CC-2018)», № 6 «Nanostructures and impurity centers in cryogenic environment (Частина I)», № 7 «Nanostructures and impurity centers in cryogenic environment (Частина II)», № 8 «До 100-річчя з дня народження Б. І. Веркіна (Частина I)», № 9 «До 100-річчя з дня народження Б. І. Веркіна (Частина II)», № 11 «Новітні досягнення у дослідженні квазидвовимірних та шаруватих матеріалів».

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 0,825, що є на рівні добре відомих світових видань з фізики. Резюме статей наводяться у Current Contents, Current Physics Index, INSPEC, PASCAL, Physics Abstracts, SPIN, SciSearch, Science Citation Index, журнал включено до баз даних Web of Science та Scopus. Відповідно до Порядку формування Переліку наукових фахових видань України, затвердженого наказом МОН України від 15 січня 2018 року № 32 та зареєстрованого в Мін'юсті України 06 лютого 2018 року за № 148/21600, журнал «Фізика низьких температур» віднесено до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук. За даними системи «Бібліометрика науки в Україні», яка призначена для надання суспільству цілісного уявлення про вітчизняне наукове середовище, рейтинг наукового періодичного видання «Фізика низьких температур», серед інших видань України, що мають бібліометричні профілі, за індексом Гірша в системі Google Scholar складає 50, а саме видання займає 4 місце за цим показником (за п'ятирічним індексом Гірша в системі Google Scholar – 5 місце з індексом $h_5=30$

http://www.nbuviap.gov.ua/bpnu/index.php?page_sites=journals).

Також науковці активно працюють в редколегіях міжнародних наукових журналів. Зокрема, до складу редколегій міжнародних наукових журналів входить 31 науковець ФГІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України. Наведемо такий перелік:

1. «Condensed Matter Physics» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк (заст. гол. редактора), акад. НАН України Ю. В. Слюсаренко).
2. «East European Journal of Physics» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Слюсаренко).
3. «IEEE Transaction of Applied Superconductivity» (чл.-кор. НАН України Т. О. Пріхна).
4. «ISRN Condensed Matter Physics» (чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк).
5. «Journal of Low Temperature Physics» (чл.-кор. НАН України Е. Я. Рудавський).
6. «Journal of Magnetism and Magnetic Materials» (чл.-кор. НАН України Б. О. Іванов).
7. «Functional Materials» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Малюкін (заст. гол. редактора)).
8. «Modern Instrumentation» (О. В. Савченко)
9. «Phase Transitions» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк).
10. «Physica B: Condensed Matter» (чл.-кор. НАН України М. О. Стржемечний).
11. «Science of Sintering» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
12. «Semiconductor Physics, Quantum and Optoelectronics» (чл.-кор. НАН України О. Є. Беляєв (заст. гол. редактора), акад. НАН України М. Г. Находкін).
13. «Telecommunications and Radio Engineering» (М. Т. Черпак).
14. «Ukrainian Journal of Physical Optics» (акад. НАН України М. Ф. Харченко).
15. «Universal Journal of Materials Science», Horizon Research Publishing, USA (чл.-кор. НАН України В. О. Карачевцев, Г. В. Камарчук).
16. «Біофізичний Вісник», ХНУ ім. В. Н. Каразіна (чл.-кор. НАН України В. О. Карачевцев)
17. «Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, серія «Фізика» (Р. В. Вовк (гол. редактор), чл.-кор. НАН України В. О. Ямпольський).
18. «Деформация и разрушение материалов» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
19. «Електронна мікроскопія і міцність матеріалів» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
20. «Журнал математичної фізики, аналізу, геометрії» (акад. НАН України Л. А. Пастур (гол. редактор)).
21. «Журнал фізичних досліджень» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк).
22. «Журнал нано- та електронної фізики» (чл.-кор. НАН України В. А. Татаренко).
23. «Материаловедение» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
24. «Металофізика та новітні технології» (чл.-кор. НАН України В. М. Антонов, чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк, чл.-кор. НАН України В. А. Татаренко).
25. «Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології» (чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк, чл.-кор. НАН України В. А. Татаренко (від. секретар)).
26. «Радіофізика та електроніка» (акад. НАН України В. М. Шульга (заст. гол. редактора), чл.-кор. НАН України С. І. Тарапов, чл.-кор. НАН України В. О. Ямпольський, М. Т. Черпак).
27. «Радиофизика и радиоастрономия» (акад. НАН України В. М. Шульга).
28. «Сверхтвердые материалы» (чл.-кор. НАН України Т. О. Пріхна).
29. «Технічні гази» (Г. Є. Лавренченко (гол. редактор), С. І. Бондаренко).

30. «Український фізичний журнал» (чл.-кор. НАН України С. М. Рябченко (заст. гол. редактора), акад. НАН України Л. А. Булавін, акад. НАН України В. М. 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. Яшук).
31. «Український математичний журнал» (акад. НАН України Л. А. Пастур).
32. «Успіхи фізики металів» (чл.-кор. НАН України В. А. Татаренко).
33. «Фізичний збірник НТШ» (чл.-кор. НАН України).
34. «Фізична інженерія поверхні» (акад. НАН України М. Г. Находкін).
35. «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. Омельянчук, акад. НАН України Л. А. Пастур, чл.-кор. НАН України Е. Я. Рудавський, О. В. Савченко, С. С. Соколов (заст. гол. редактора), чл.-кор. НАН України М. О. Стржемечний, В. Д. Філь, акад. НАН України М. Ф. Харченко, С. І. Шевченко, чл.-кор. НАН України В. О. Ямпольський).
36. «Фізика і хімія твердого тіла» (акад. НАН України М. Ф. Харченко).

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

Перш за все, провідні науковці інституту та Ради активно беруть участь у атестації наукових кадрів і наукових установ. Так, зокрема, у ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України працюють 3-и спеціалізовані вчені ради з присудження наукових ступенів доктора (кандидата) наук в галузі фізичних та математичних наук. За 2019 рік на засіданнях рад відбувся захист 4 докторських та 8 кандидатських дисертацій. Крім того, науковці працюють в кількох спеціалізованих вчених радах ХНУ ім. В. Н. Каразіна, Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» тощо.

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

Та найголовнішим напрямом щодо взаємодії з освітянськими закладами є співпраця з провідними профільними університетами. Слід зазначити, що останніми роками ця взаємодія розширюється та розвивається. Перш за все – за рахунок розвитку спільних науково-дослідних робіт. Наведемо деякі приклади. Так, спільно з фахівцями з НТУ «ХП» відкритий та досліджений новий фундаментальний механізм селективного детектування рідких та газових середовищ, який базується на вимірюванні квантованої провідності нанорозмірних дендритних точкових контактів. Він дозволяє за допомогою простого інструмента, що використовує властивості точкових контактів Янсона, реєструвати енергетичні характеристики квантової системи дендритних точкових контактів, які формуються під впливом зовнішнього середовища, та легко це середовище ідентифікувати. Результати опубліковані в 2 статтях. Разом з науковцями Харківського національного університету ім.

В. Н. Каразіна було проведено експериментальні та теоретичні дослідження впливу відпалу на надпровідність у монокристалах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

Продовжується тісна взаємодія Інституту з медичними закладами для застосування новітніх технологій в медицині. В рамках договору про співпрацю між ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» та Фізико-технічним інститутом низьких температур імені Б. І. Веркіна НАН України започаткована спільна робота над розробкою методів діагностики патології хребта та суглобів. В результаті тепловізійного обстеження 28 підлітків з різним ступенем кіфотичної деформації грудного відділу хребта встановлено зв'язок між проявами теплового випромінювання в поперековому відділі і індексом маси тіла і за наявності гіпертермічних ділянок виявлено запальні процеси на ранній стадії у шийному, грудному і поперековому відділах хребта. Розробляються нові тепловізійні методики діагностики патологічних станів в організмі та контролю процесів заморожування та відігрівання біологічних тканин в рамках науково-практичного співробітництва між Інститутом проблем кріобіології і кріомедицини НАН України та ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України.

Започатковані спільні дослідження з Харківським державним університетом харчування та торгівлі в галузі розробки новітніх матеріалів і нанотехнологій зберігання харчових продуктів.

Спільна діяльність Ради та ряду провідних університетів Харкова була також спрямована на координацію спеціальних навчальних програм на кафедрах вищих учбових закладів. Науковці інститутів НАН України ведуть спільну з вищими навчальними закладами науково-дослідну та навчальну роботу. Так, зокрема у ФТІНТ ім. Б. І. 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).

Провідні фахівці ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України читали курси лекцій та вели практичні заняття ще на кількох кафедрах і факультетах Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна, Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харківського національного університету радіофізики та електроніки. У 2019 році науковцями було прочитано курси лекцій та проведені практичні заняття за такими темами: кріотехнології в енергетиці та теплофізиці, низькотемпературні проблеми енергетики, фізика високотемпературних надпровідників, магнітні властивості атома та слабкий магнетизм, фізика магнітних явищ у конденсованому середовищі, магнітовпорядковані речовини, основи фізики магнітних явищ, низькі температури в енергетиці; наноструктурні матеріали та нанотехнології в нетрадиційній та відновлюваній енергетиці; кріотехнології в енергетиці та теплофізиці; сучасні методи наукового експерименту; сучасні методи експериментальних досліджень магнетиків; фізика та техніка низьких температур; квантові технології та мезоскопічна фізика; мас-спектрометрія у біофізичних дослідженнях; «medical and biological physics» (англійською); фізика твердого тіла; фізична кінетика; квантова теорія металів; оптика та спектроскопія матеріалів, мезоскопічна фізика; теоретична фізика; додаткові глави квантової механіки; основи динамічної теорії кристалів; математичні питання теорії надплинної рідини; узагальнені функції, міптах теорема та нелінійні рівняння; геометричні засади фізики; перетворення Фур'є та його застосування; вища математика; теорія міри та інтеграла гармонічний аналіз

операторів; системний аналіз; чисельні методи; диференціальні рівняння з запізненням; глобальні питання ріманової геометрії; топологія, теорія операторів в Гільбертовому просторі; класичні задачі геометрії, алгебраїчна топологія, асимптотичні методи математики прикладні задачі машинного навчання: моделювання та оптимізація, фізика дисперсних систем, воднева енергетика та нанотехнології 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 2019 році дипломну та виробничу практику, теоретичні та практичні заняття в Інституті пройшли 67 студентів (57 – з Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, 10 – з Національного технічного університету «ХПІ»). У 2019 р. в інституті проходили стажування 3 викладачів ХНУ ім. В. Н. Каразіна та Національного технічного університету «ХПІ».

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.

Можна навести наступні приклади. Студенти 5-го курсу фізичного факультету ХНУ ім. В. Н. Каразіна приймали активну участь в дослідженнях пружних властивостей рідкісноземельного алюмоборату $\text{ErAl}_3(\text{BO}_3)_4$. Займалися орієнтуванням та підготовкою зразків до вимірювань. В результаті досліджень були виміряні абсолютні швидкості звуку кристалу $\text{ErAl}_3(\text{BO}_3)_4$ вздовж основних кристалографічних напрямків. Також за участі студентів був підготовлений зразок монокристалу SmB_6 з метою подальших досліджень його пружних та електронних властивостей. Студенти фізичного факультету ХНУ ім. В. Н. Каразіна Микита Шитов брали участь в дослідженні температурних залежностей опору і псевдощільності в тонких плівках YBCO в магнітних полях до 9 Тл. Студенти 6-го курсу НТУ «ХПІ» та 5-го курсу ХНУ ім. В. Н. Каразіна приймали участь у дослідженнях сорбційних властивостей модифікованих вуглецевих наноструктур, та структур, що містять нанокластери паладію. Студенти є співавторами 4 тез доповідей двох міжнародних конференцій та двох публікацій, які подані до друку. Студенти фізико-енергетичного та фізичного факультетів ХНУ ім. В. Н. Каразіна приймали участь у дослідженні впливу концентрації та обмеженої геометрії на кавітацію в розчинах ^3He - ^4He ; вивченні сили взаємного тертя при коливаннях кварцового камертону у надплинному гелії; у експериментальному дослідженні пластичної течії твердого гелію. Студенти фізико-технічного факультету ХНУ ім. В. Н. Каразіна брали участь у дослідженнях надпровідних властивостей ультратонких плівок MoSi проводили кількісний та статистичний аналіз динаміки теплових полів на шкірі щурів при їх охолодженні та приймала участь у розрахунках охолоджувальних фільтрів середнього ІЧ

діапазону із заданою спектральною характеристикою, працювали над розрахунком кріостату та розробкою електричної схеми попереднього підсилювача фотоприймального пристрою для тепловізора тощо.

Наукові дослідження, в яких безпосередньо приймали участь студенти, принесли наукові результати, що опубліковані у більше ніж десятку статей в престижних наукових журналах та доповідей на міжнародних наукових конференціях: «X International Conference for Professionals & Young Scientists Low Temperature Physics», Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні системи та технології в медицині» ISM–2019 (28 -29 листопада, 2019, Харків, Україна), «14th International Conf. on Correlation Optic "CorrOpt'19» (16-18 вересня, Чернівці, Україна) 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. З одного боку, науковці ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України читали лекції та вели навчальні заняття в кількох закордонних університетах: Університеті Принстона (США), Краківській гірничо-металургійній академії ім. С. Сташіца (Польща), Університеті Любляни (Словенія) тощо. З іншого боку, 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), Інституті Фотонних Технологій (Йена, Німеччина), планується угода з Університетом 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 кріогенної 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 є Н. С. Мисько-Крутик, 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 професіоналів та молодих вчених «Фізика низьких температур», яка загалом проводиться вже більше десяти років поспіль. Крім того, Рада регулярно організує та проводить екскурсії студентів та школярів старших класів до наукових відділів ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України, приймає активну участь у організації та проведенні «Днів науки» та «Фестивалів науки».

У 2019 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: XIII Всеукраїнський фестиваль науки (16 - 18 травня 2019 р.), Всеукраїнські проекти «Дні науки. Весна 2019», «Дні науки. Осінь 2019 /Science week з нагоди Всесвітнього дня науки в ім'я миру та розвитку», Всесвітній день світла тощо. За участі молодіжного осередку міжнародної оптичної організації SPIE (The International Society for Optics and Photonics) у ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України були проведені численні фізичні демонстрації для школярів та студентів: Надпровідник в магнітному полі. Ефект

Мейснера, різноманітні матеріали при низьких температурах, живі тканини при низьких температурах, можливості тепловізійної техніки: устрій і принцип роботи тепловізорів, принцип дифракції, інфрачервоний термометр тощо. Були також проведені семінари-круглі столи молодих вчених, День фотоніки тощо. На протязі року проводились також дні відкритих дверей, під час яких Інститут відвідало близько 130 студентів Національного технічного університету «ХПІ», Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна, школярів гімназій та харківських загальноосвітніх шкіл. Програма днів відкритих дверей включала екскурсії до науково-дослідних відділів (зокрема, до групи теплової обробки зображень та до комплексу для фізичних досліджень при наднизьких температурах, кріогенно-технічного відділу), знайомство з історією фізичних досліджень в галузі фізики низьких температур в Харкові та історією ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України, зустрічі з провідними науковцями Інституту. Проводили екскурсії директор академік НАН України С. Л. Гнатченко, академік НАН України Л. А. Пастур, чл.-кор. НАН України Е. Я. Рудавський, провідні наукові співробітники В. К. Чаговець, В. А. Майданов, М. П. Міхін, В. О. Горькавий, члени Ради молодих вчених ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна: Н. С. Місько-Крутик, Н. В. Гамаюнова, М. С. Барабашко, Р. М. Баснукаєва, В. Г. Гейдаров, Г. О. Герус, Є. В. Петренко, С. М. Попережай, Ю. О. Шаповалов та інші.

В той же час науковці приймають участь у підвищенні рівня викладання природничих наук та математики у школі. Чл.-кор. НАН України О. А. Борисенком прочитано низку лекцій до 100-річчя з дня народження академіка О. В. Погорелова: доповіді на засіданнях Київського і Харківського математичних товариств, лекція для студентів КНУ ім. Т. Шевченка, лекція для вчителів та учасників Харківської обласної математичної олімпіади (ХНУ ім. В. Н. Каразіна), лекція для учнів та вчителів Харківського фізико-математичного лицю № 27, лекція в рамках діяльності Освітньої платформи «Шостий кут» (Харків). Д. В. Болотов та В. О. Горькавий співпрацювали з Харківським відділенням Малої академії наук України (читання лекцій для школярів, участь в журі II та III етапу конкурсу науково-дослідних робіт учнів МАН). Було організовано літню математичну школу для учнів Фізико-математичного лицю N27 м. Харкова. О. І. Юзефович викладає фізику для учнів 1-6 класов у центрі додаткової освіти для талановитих дітей «Фізматик» (Харків) та проводила заняття з фізики в денному літньому таборі на базі гуртка «Фізматик» та у 14-й Літній школі профілю «математика-інформатика» (ЛОЛ-2019) для учнів 5-10 класов (20-30.08.2019, «Лісові озера» пгт. Старий Салтів). Чл.-кор. НАН України В. О. Карачевцев працював у 2019 навчальному році в якості Голови Державної екзаменаційної комісії з захисту дипломних робіт на кафедрі біотехнології, біофізики та аналітичної хімії факультету технології органічних речовин НТУ «ХПІ».

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

Слід зауважити, однак, що наразі, Рада з проблеми «Фізика низьких температур і кріогенна техніка» могла б відігравати більш значущу роль як науково-експертний та координуючий орган в державі. З цією метою було б доцільно надати їй повноваження щодо експертного оцінювання організацій та підрозділів, які працюють за відповідною тематикою,

оцінювання науково-дослідних робіт і запитів на отримання наукових грантів та безпосередньо залучати Раду до обговорення робіт, які висунуті на здобуття премій НАН України імені видатних вчених, планів підготовки та видання монографій з низькотемпературної тематики, включити її до планування процесу забезпечення криогенними 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., ІІМ 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 кріогенної техніки у 2019 році

Секція «Фізика квантових рідин та кристалів»

В області температур 0,1 – 1,0 К вивчені нові особливості пластичної течії твердих ізотопів гелію ^3He і ^4He . Для вимірювань був використаний новий метод, коли металізована полімерна плівка, яка служить рухливим електродом вимірювального конденсатора, була попередньо деформована у надплинному гелії напругою 1000 В. Потім після кристалізації зразка, що досліджується, напруга виключалась, і плівка, релаксуючи у початковий стан під дією пружних сил, викликала появу механічних напружень у зразку в вимірювальному конденсаторі. Такий метод дозволив одержати значно більші механічні напруження, які ініціюють плин твердого гелію крізь канали мембрани. Швидкість пластичної течії твердого гелію знаходилась по зміні ємності конденсатора.

Виявлено, що температурна залежність швидкості пластичного плинку має різний характер у твердих ^3He та ^4He . У твердому ^3He вперше виявлено квантовий режим пластичної течії нижче 0,2 К, коли течія стає атермічною, в вище цієї температури спостерігається перехід від квантового режиму до термічно активованого режиму течії. У твердому ^4He пластична течія носить термічно активований характер у всій дослідженій області температур.

Проведено напівкількісний аналіз можливих механізмів пластичної течії твердого гелію. У термоактиваційній області експериментальні результати можна з'ясувати в рамках існуючих уявлень про рух дислокацій у рельєфі Пайерлса. Цей механізм допускає перехід до квантового режиму течії при зниженні температури.

(В. А. Майданов, Е. Я. Рудацький, С. Н. Смірнов, С. С. Соколов, ФТІНТ НАНУ)

За допомогою імпульсного ядерного магнітного резонансу проведені дослідження дифузійних процесів у ^3He , адсорбованому наноструктурним матеріалом МСМ - 41 з діаметром каналів 25 А. Вимірювання проводились методом стимульованого відлуння з використанням трьохімпульсного режиму збудження спінової системи. Були використані три 90-градусних зондуючих імпульси, а після другого імпульсу спостерігався звичайний сигнал спінової луни.

Первинними експериментальними даними при цьому були залежності амплітуди стимульованої луни h від квадрата градієнта магнітного поля G^2 при різних температурах та покриттях. Приклад такої залежності приведено на Рис. 1.1. для температури 1,4 К. Одержана залежність дозволила надійно знайти коефіцієнти дифузії адсорбованих фаз ^3He , що утворюються у каналах МСМ - 41.

Из Рис. 1.1. чітко видно два різних нахили на залежності h від G^2 , що відповідає двом різним дифузійним процесам. Одержана залежність дозволила знайти відповідні цим процесам коефіцієнти дифузії: $D_1=(2,2\pm 0,5)10^{-4}$ см²/с и $D_2=(2,2\pm 0,5)10^{-2}$ см²/с. Такі високі значення коефіцієнтів дифузії свідчать, що вони, очевидно, описують дифузійні процеси у «рідкій» та «газовій» фазах адсорбованого ³Ne.

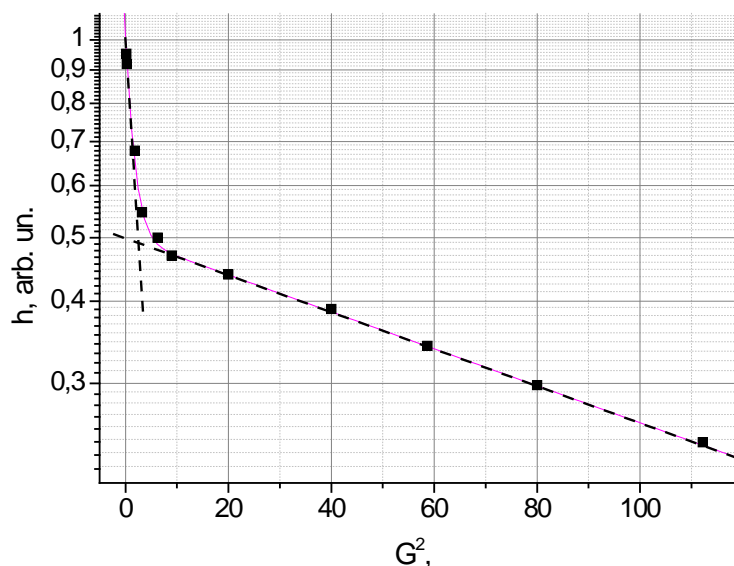


Рис. 1.1. Залежність амплітуди стимульованої луни h від квадрата градієнта магнітного поля G^2 при температурі 1,4 К и покритті $n = 21,60 - 24,48$ мкмоль/м².

Результати, одержані методом стимульованого відлуння, були підтверджені додатковими експериментами, проведеними методом мультівідлуння.

(А. П. Бірченко, Н. П. Міхін, Е. Я. Рудаєвський, Я. Ю. Сопельник, ФТІНТ НАНУ)

Проведено експериментальні дослідження коливальних характеристик кварцового камертона при низьких температурах. Показано, що результати вимірювань у вакуумі при 1,5 К практично збігаються з даними, отриманими при 0,7 К у випадку камертона, покритого плівкою гелію. Визначено залежність швидкості коливань ніжок камертона від збуджуючої сили, а також обчислена залежність сили тертя від швидкості коливань в об'ємному гелії. Результати проаналізовані разом з раніше отриманими даними по нелінійній залежності, встановленою при експериментах з тим же камертоном, зануреним у надплинний гелій в умовах зародження турбулентної течії рідини. Установлено області швидкостей коливань, що відповідають впливу на коливання камертона від внутрішнього тертя в речовині камертона та в гелії, відповідно. Дані проаналізовані за допомогою нелінійного рівняння Дуффінга, що дозволило визначити температурну залежність коефіцієнта нелінійності камертона й коефіцієнта взаємного тертя, обумовленого турбулентною течією надплинної рідини.

(Х. О. Михайленко, С. С. Соколов, Г. О. Шешин, ФТІНТ НАНУ)

Методами молекулярної динаміки досліджено двовимірний вігнерівський кристал, утворений електронами, які знаходяться над прямокутним електродом з рівномірним розподіленням позитивним зарядом. При фіксованій густині електронів аналізувались імовірні конфігурації електронів над вузьким електродом в залежності від ширини електрода і

особливості переходів від одної конфігурації до іншої. Розглянуті електронні конфігурації, що складаються з декількох ланцюжків. В результаті фур'є-аналізу шумових коливань координат електронів в процесі моделювання розраховані спектри плазмових коливань. Для одного і двох ланцюжків проведено порівняння частот, що спостерігаються при моделюванні, з теоретичними.

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

В області температур 0,1 – 2,5 К проведено дослідження дисипативних процесів при коливанні твердого тіла в концентрованих надплинних розчинах $^3\text{He} - ^4\text{He}$. За допомогою отриманих даних коливання кварцових камертонів, занурених у рідину – амплітудно-частотних характеристик, резонансної частоти камертона та ширини резонансу – був проведений аналіз головних механізмів дисипації — в'язкісного тертя, випромінювання камертоном першого та другого звуків в залежності від температури та концентрації розчину, 5% та 15% ^3He , а також, для порівняння, у чистому ^4He . Для поділу та оцінки вкладів в'язкісного затухання та випромінювання першого та другого звуків було використано «закритий» (в заводській капсулі) та «відкритий» (без капсули) камертони. Геометричні розміри капсули такі, що в «закритому» камертоні акустична хвиля першого звуку не розповсюджується, а другого розповсюджується. Встановлено, що ширина резонансу, яка є мірою дисипації коливань камертонів, в розчинах, більше, ніж в чистому ^4He , та зростає з ростом концентрації ^3He . Показано, що наявний аналітичний вираз для вкладу в'язкісного тертя добре описує експериментальні дані для ^4He лише в гідродинамічній області. Для розчинів в'язкісний внесок узгоджується з експериментом лише при високих температурах (вище 1,4 К). Для відкритого камертона внесок випромінювання першого звуку узгоджується з розрахунком тільки для ^4He , а в разі розчинів розрахунок дає занижені значення в порівнянні з експериментом. Експерименти з закритим камертоном дозволили оцінити можливий внесок випромінювання другого звуку до дисипації камертона в розчині. Виявилося, що цей внесок має немонотонну залежність з максимумом при температурах $\approx 0,6 - 0,8$ К. Розрахунки втрати енергії коливань камертона за рахунок теплової дифузійної хвилі показали що вони на тричотири порядки менше втрат, пов'язаних з випромінюванням другого звуку.

(В. А. Вракіна, Е. Я. Рудавський, В. К. Чаговець, Г. О. Шешін, ФТІНТ НАНУ)

Теоретично з використанням варіаційного наближення визначений енергетичний спектр поверхневих електронів, локалізованих над плівкою рідкого розчину $^3\text{He} - ^4\text{He}$, що покриває твердотільну підкладку. Розглянуто дві моделі просторового розподілу гелієвих ізотопів по висоті плівки. В одній з них передбачається, що плівка розшарувалась, у другій вважається безперервна лінійна зміна концентрації. Потенційна енергія електрона визначена методом рішення рівняння Пуассона для електростатичного потенціалу й у газовому наближенні, причому встановлено практичний збіг результатів обох методів для розшарованої плівки. Визначено залежність енергетичної щільності між основними й першим збудженим станами поверхневих електронів залежно від товщини плівки. Проведено порівняння результатів для розглянутих моделей структури плівки. Обговорено можливість використання

отриманих результатів при експериментальному дослідженні просторового ізотонічного розподілу в гелієвому розчині методом розсіювання нейтронів.

(Є.С. Соколова, С.С. Соколов, ФТІНТ НАНУ)

У спільній роботі ФТІНТ НАНУ – OIST (Японія) в серії дослідів з зануреним в ^2He діелектричним дисковим резонатором (ДДР), що працює на модах шепочущої галереї, і в присутності штучно створених тангенціальних відносних потоків ($v_n - v_s \neq 0$), вивчалися особливості поляризації рідини в діапазоні частот 150 - 250 ГГц і температур $1,3 \text{ K} < T < T_\lambda$. Було встановлено, що електромагнітний відгук об'ємної рідини на імпульсне збурення хвилею з частотою ротонів поширюється зі швидкістю другого звуку. В указаному діапазоні частот знайдена вузька лінія спектра (~ 180 ГГц), природа якої ще не встановлена. За результатами дослідів обговорюється модель незвичайних теплових властивостей ^2He .

(О. С. Рибалко, А. С. Неонета, ФТІНТ НАНУ; Р. О. Головащенко, В. М. Деркач ІРЕ НАНУ; О. М. Корольов, РІ НАНУ; Д. Константінов, О. Задорожко, Е. Кавакамі, Інститут науки і технологій OIST, Окінава, Японія)

В теоретичному дослідженні фононних пучків розглянуто нелінійний етап еволюції анізотропних пучків високоенергетичних і низькоенергетичних фононів, які представляють собою практично одномірні в фазовому просторі взаємодіючі системи. Проводиться аналіз результатів спостережень і теоретичне 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.

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

Чисельне рішення цього рівняння дозволило пояснити характерні особливості руху і деформації пучків, які спостерігаються на експерименті, а також визначити основні параметри і етапи еволюції пучків.

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

Виконано проект присвячений новим дослідженням явищ, які визначають процеси передачі енергії на межі рідини - твердого тіла. У 1941 р. П. Л. Капіца виявив незвичайний прояв механізму теплообміну, коли рідкий гелій і тверда речовина вступають у контакт, який полягає в тому, що при наявності теплового потоку через межу гелію з твердим тілом не встановлюється рівність температури, а виникає кінцева різниця температур (стрибок). Одним з перших якісних пояснень стрибка Капіці була теорія, побудована І. М. Халатніковим, яка дозволила описати виявлений стрибок температури на межі твердої рідини. Відповідно до цієї теорії, при низьких температурах теплообмін між рідиною і твердим тілом здійснюється тепловими фононами. Наявність термічного опору Капіці пояснюється істотною

невідповідністю акустичних імпедансів твердого та рідкого гелію та малим коефіцієнтом проходження фону через таку межу. Далі було встановлено, що температурний стрибок Капіці є загальним фізичним явищем при низьких температурах. Це може відбуватися на інтерфейсі між двома різними середовищами при наявності теплового потоку через інтерфейс. У зв'язку з розвитком мікро- і наноелектроніки все більш важливу роль у вивченні специфічних особливостей теплопередачі в таких структурах починає грати межа між шарами, в тому числі при кімнатній температурі. У цьому проекті розглядаються нові аспекти проблеми переходу квазічастинок через інтерфейс між двома різними середовищами, включаючи інтерфейс тверда рідина. Учасники проекту працюють у цій галузі більше десяти років і отримали ряд вагомих результатів у цій галузі фізики. Спільне дослідження дасть можливість отримати нові результати та пояснити низку властивостей та явищ, які досі не пояснені.

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

Розглянуто механізми дисипації енергії камертону, що коливається у надплинному розчині ${}^3\text{He} - {}^4\text{He}$. У якості об'єкту дослідження розглядаються дисипативні процеси та акустичні моди у надплинних розчинах. Предметом дослідження є трансформація і генерація акустичних, теплових та в'язких хвиль у надплинних розчинах ${}^3\text{He} - {}^4\text{He}$ за не малої концентрації. Метою діяльності є дослідження вкладів в'язкої хвилі та випромінювання звуку до дисипації енергії. Проведено аналіз явищ, що призводять до дисипації енергії у дослідженнях з кварцовими камертонами та порівняно їх внесок до цього процесу.

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

В контексті надхолодних атомних газів вивчено систему багатьох тіл, частинки якої мають одиничний спіні. Показано, що для повного опису такої системи потрібно вісім параметрів, серед яких три компоненти намагніченості та п'ять параметрів, пов'язаних з квадрупольними ступенями вільності. Побудовано мікроскопічний гамільтоніан взаємодії атомів, який включає вісім генераторів групи $SU(3)$, пов'язаних із зазначеними параметрами опису. Цей гамільтоніан застосовано для вивчення феромагнітної фази слабо взаємодіючого бозе-газу з конденсатом Бозе-Ейнштейна. Показано, яким чином квадрупольні ступені вільності змінюють основний стан та спектри одночастинкових збуджень зазначеної системи.

(О. С. Пелетминський, С. В. Пелетминський, Ю. В. Слюсаренко, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Теоретично досліджено поширення звукових і електромагнітних хвиль в бозе - ейнштейнівському конденсаті атомів з власним дипольним моментом. Розгляд проведено на основі модифікованого рівняння Гроса - Пітаєвського для атомів з дипольним моментом, яке враховує релаксацію конденсату, диполь - дипольну взаємодію і взаємодію атомів з електромагнітним полем. Показано, що внаслідок гібридизації електромагнітних і звукових хвиль поблизу резонансної частоти атома виникають дві гілки збуджень, в яких електромагнітні коливання трансформуються в звукові коливання і навпаки. Також показано, що при гібридизації суттєву роль відіграє диполь - дипольна взаємодія, яка призводить до

значного збільшення відштовхування гілок спектра. Досліджено вплив на вигляд дисперсійних кривих дисипативних ефектів, пов'язаних з релаксацією макроскопічної хвильової функції конденсату і уявною частиною поляризованості атома.

(Ю. М. Полуектов, О. О. Сорока, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Запропоновано модифікацію температурних залежностей в термодинамічному потенціалі теорії надплинності Гінзбурга - Собяніна. Показано, що при урахуванні гіпотези масштабної інваріантності всі температурні залежності спостережуваних величин визначаються тільки одним параметром, через який виражаються всі критичні індекси. Теорія призводить до правильних відомих співвідношень між критичними індексами.

(Ю. М. Полуектов, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Передбачений механізм термополяризації в надплинних діелектричних системах (в ^2He). Його суть полягає в тому, що в ^2He , вміщеному в магнітне поле, потік тепла під дією градієнта температури призводить до появи електричного поля зовні системи. Ефект має місце в надплинних діелектричних системах завдяки наявності у них властивості, званої протитоковою теплопровідністю (надтеплопровідністю). Встановлено, що величина поля істотно залежить від форми зразка з гелієм і напрямку магнітного поля щодо зразка. Отримано розподіл електричного поля в просторі для випадків гелію, що заповнює капіляр кругового, еліптичного і трикутного перетинів (для останнього випадку см. Рис. 1.2.), а також для плівки гелію, що покриває капіляр еліптичного перетину.

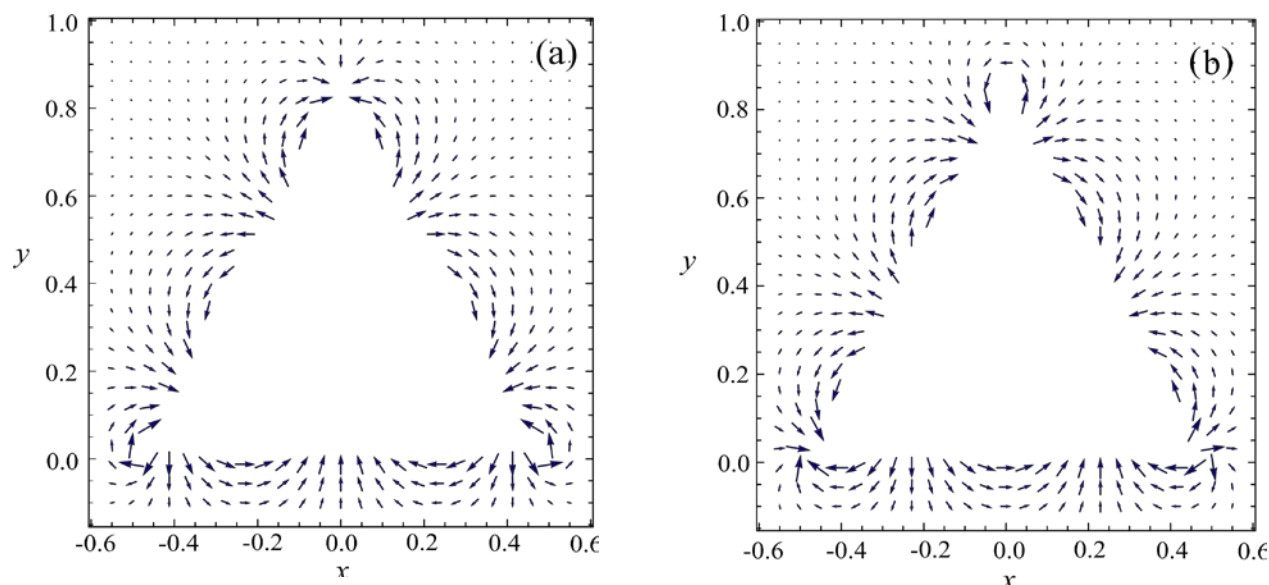


Рис. 1.2. Розподіл електричного поля поза капіляром трикутного перетину в разі, коли магнітне поле направлено по осі \hat{x} (a) і по осі \hat{y} (b). Усі довжини на малюнках вимірюються в одиницях a (довжина трикутника).

Знайдено максимально можливі значення величини електричного поля при ламінарному режимі течії рідини. Розглянутий термомагнітний ефект також досліджений в

разі нестационарного градієнта температур, зокрема, при поширенні другого і третього звуків. Для третього звуку наведено порівняння величини термомагнітного ефекту з величиною термоелектричного ефекту у відсутності магнітного поля.

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

Виявлено умови для формування просторово-часових вихрових кілець в ультраохолодних атомних газах. Ці вихрові структури мають дислокацію фази як у просторі, так і в часі. Послідовність просторово-часових вихрових кілець з'являється як фазові крайові дислокації, що періодично виникають в області низької густини Бозе-конденсату. Динаміка збурених стаціонарних солітонних розв'язків рівняння Гросса-Пітаєвського для двовимірного конденсату в зовнішньому потенціалі досліджено за допомогою чисельного моделювання. Було вивчено як притягальну, так і відштовхувальні взаємодії між частинками. Виявлено, що просторово-часові вихрові кільця неможливо спостерігати, коли захоплюючий потенціал різко зменшує густину конденсату на периферії атомної хмари. Показано, що просторово-часові вихрові кільця можуть бути надійно спостережувані в системі без зовнішнього утримуючого потенціалу з конкуруючими притягальними двочастинковими та відштовхувальними тричастинковими взаємодіями. Було досліджено послідовність просторово-часових вихрових кілець для систем з різними початковими збуреннями і кількістю частинок. Встановлено, що часовий період послідовності просторово-часових вихрових кілець здебільшого визначається кількістю частинок, а радіус кільця залежить як від амплітуди деформації, так і від кількості частинок. Отримані теоретичні передбачення відкривають можливість експериментального спостереження нового типу топологічних когерентних структури в ультраохолодних газах.

(О. Г. Челпанова, Є. І. Курятніков, С. Й. Вільчинський, О. І. Якименко, КНУ МОНУ)

Взаємодіючі конденсати Бозе-Ейнштейна (БЕК) відкривають цікаві можливості для дослідження спонтанного порушення симетрії в квантових системах на макроскопічному рівні. Зокрема, у поєднанні стійкі надплинні потоки атомарних газів дають можливість дослідити взаємодію надплинних потоків у регульованому та контрольованому середовищі. Використовуючи доступні експериментальні методи, в цій ситуації можна розглядати різноманітні фізичні явища: від ефектів Джозефсона в режимі слабких взаємодій до квантової нестабільності Кельвіна-Гельмгольца для злиття кілець.

За допомогою прямих симуляцій тривимірного рівняння Гросса-Пітаєвського із врахуванням дисипації досліджено залежність кінцевих станів (топологічних зарядів) системи, що утворюється шляхом злиття двох кільцеподібних БЕК з різними кутовими моментами та вплив порушення аксіальної симетрії на вихорову динаміку і кінцеві стани для підсистем із протилежними топологічними зарядами.

Продемонстровано, що утворення Джозефсонівських вихорів у слабо-зв'язаних кільцеподібних БЕК також спряжене із порушенням аксіальної симетрії.

Виявлено, що на фінальний стан системи сильно впливає відсутність чи наявність порушення аксіальної симетрії системи впродовж злиття кілець БЕК. Порушуючи симетрію

шляхом зміни зовнішнього потенціалу системи ми можемо отримувати різні топологічні заряди фінальної системи для одного й того самого дисбалансу між початковими населеностями початкових підсистем (см. Рис. 1.3.).

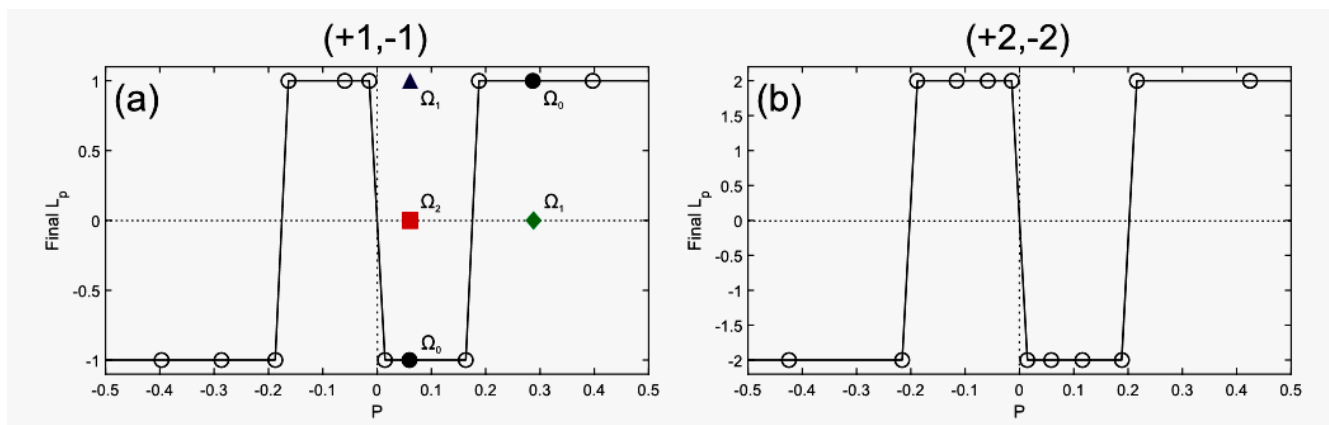


Рис. 1.3. Залежність фінального значення кутового моменту систему на частинку після злиття від початкового дисбалансу населеностей між підсистемами (без порушення аксіальної симетрії) зображена чорними лініями та чорними колами для різних топологічних зарядів (m_1, m_2) (a) $(+1, -1)$, (b) $(+2, -2)$. Для однакового дисбалансу між початковими населеностями підсистем можливо отримати різні фінальні стани, використовуючи відповідні порушення аксіальної симетрії.

(А. О. Олійник, О. І. Якименко, КНУ МОНУ; Б. Маломед Department of Physical Electronics, Faculty of Engineering, and Center for Light-Matter Interaction, Tel Aviv University, Tel Aviv 69978, Israel)

Вивчено магнетогенезис в аксіонно-подібній інфляції з псевдоскалярним інфлатонним полем аксіально взаємодіючим із електромагнітним полем. Виведено рівняння для інфлатонного поля, масштабного фактора і вакуумних середніх значень квадратичних функцій електромагнітного поля. Ці рівняння враховують ефект Швінгера і зворотну реакцію згенерованих електромагнітних полів на розширення Всесвіту. Знайдено, що зворотна реакція стає важливою в кінці інфляції сповільнюючи скочення інфлатонного поля і припиняючи магнетогенезис. Для великих значень константи зв'язку інфлатонного поля з електромагнітним полем заряджені частинки народжені внаслідок ефекту Швінгера можуть складати значну частину густини енергії Всесвіту навіть ще до стадії прехітінгу. Чисельні обчислення показують, що досліджувана модель може забезпечити значення магнітного поля, які спостерігаються у войдах, однак з довжиною когерентності порядку тільки парсеку.

(Е. В. Горбар, О. О. Соболев, С. Й. Вільчинський, КНУ МОНУ)

Досліджено вплив динаміки заряджених частинок, народжених за рахунок ефекту Швінгера, на еволюцію електричного поля під час інфляції. Встановлено, що швінгерівський струм виявляє немарківський характер і не може бути описаний законом Ома. Виявлено, що електричне поле і швінгерівський струм здійснюють затухаючі осциляції, а зсув фази між

ними пояснюється балістичним рухом носіїв заряду. Ці результати були також підтверджені за допомогою гідродинамічного підходу. Було отримано замкнуту систему рівнянь для опису концентрації, густини енергії та електричного струму заряджених частинок, народжених завдяки ефекту Швінгера. Її розв'язки мають гарне якісне узгодження з результатами, отриманими в кінетичному підході (см. Рис. 1.4.).

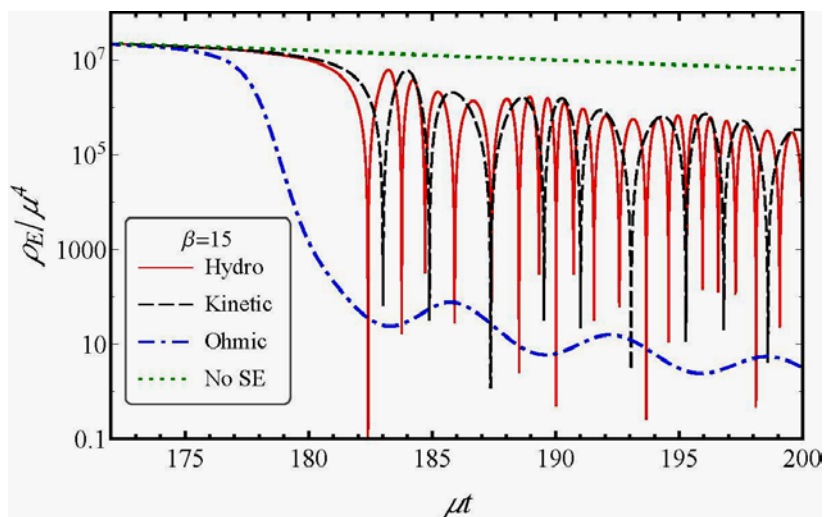


Рис. 1.4. Часова залежність густини електричної енергії, обчислена в гідродинамічному підході (червона суцільна лінія), в кінетичному підході (чорна штрихова лінія), і в припущенні, що швінгерівський струм описується законом Ома (синя штрих-пунктирна лінія). Густина електричної енергії за відсутності ефекту Швінгера показана зеленою пунктирною лінією.

(Е. В. Горбар, А. І. Момот, О. О. Соболев, С. Й. Вільчинський, КНУ МОНУ)

Вивчено електронні стани ферміонів із псевдоспіном одиниця в кулонівському полі зарядженої домішки. Знайдено зв'язані електронні стани у двох випадках: центрально симетрична потенціальна яма і регуляризований кулонівський потенціал зарядженої домішки. При збільшенні заряду домішки енергетичні рівні електронних зв'язаних станів виходять із верхнього і середнього континуумів і занурюються при деяких значеннях критичних зарядів в центральний і нижній континууми відповідно. В дайс-моделі знайдено, що плоска зона виживає у випадку потенціальної ями, однак, відсутня у випадку кулонівського потенціалу. Представлено аналітичні результати для енергетичних рівнів поблизу границь континуумів для потенціальної ями. Для кулонівського потенціалу отримано рекурсивні співвідношення, які визначають коефіцієнти ряду розкладу хвильових станів зв'язаних станів. Показано, що умова обриву ряду дає два рівняння, які пов'язують значення енергії та заряду. Знайдено, що аналітичні розв'язки можуть існувати для нескінченної множини значень заряду домішки.

(Е. В. Горбар, Д. О. Орехов, КНУ МОНУ; В. П. Гусинін, ІТФ НАНУ)

За допомогою відомого в теорії поля методу $1/N$ -розкладу, досліджено термодинамічні функції бозе-систем з короткодіючим потенціалом взаємодії між частинками в усій області температур, включно з околom точки фазового переходу в надплинний стан. Показано, що використаний метод дозволяє отримати не лише нетривіальну критичну поведінку бозе-конденсату та інших термодинамічних характеристик, але й забезпечує виконання точних співвідношень для нормальної та аномальної функцій Гріна. Проаналізовано властивості основного стану слабковзаємодіючих бозе-газів в нижчих просторових вимірностях, зокрема,

двовимірного з попарною та одновимірного з тричастинковою точковими взаємодіями між частинками. Отримано співвідношення Тана (Tan's relations) для цих об'єктів та вказано на потенційну можливість дослідження тричастинкових сил в одновимірних системах експериментально. В рамках наближення локальної густини, досліджено поведінку домішок в одновимірних бозе-системах. Зокрема, розраховано параметри спектра (енергія занурення, ефективна маса) повільних домішок в бозе-газі з дво- та тричастинковою взаємодією і показано хорошу узгодженість отриманих результатів з даними Монте-Карло симуляцій. Подальше узагальнення наближення середнього поля на випадок рухомих домішок, дозволило аналітично розрахувати повне дисперсійне співвідношення для домішок, занурених у слабконеідеальний бозе-газ та газ Тонкса-Жирандо.

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

Розглянуто низку задач, що стосуються нестандартних (дробових) статистик. Розраховано термодинаміку системи еніонів із магнітними зарядами в магнітному полі. Показано, як поправка до спектра за рахунок магнітних зарядів впливає на другий віріальний коефіцієнт та магнітну сприйнятливність. Проаналізовано неадитивні узагальнення статистики Фермі–Дірака з використанням q -експоненти Цалліса. Продемонстровано важливість способу означення хімічного потенціалу та фугативності в такій задачі. Отримано вирази для термодинамічних функцій поблизу абсолютного нуля в так званому суперадитивному випадку, що відповідає $q < 1$ і показано, що в теплоємність при $T \rightarrow 0$ набуває ненульового значення. Таке відхилення від третього начала термодинаміки відоме для неадитивних модифікацій статистики. Описані властивості суперадитивної модифікації ідеального фермі-газу становлять не лише академічний інтерес, але й дають підстави застосовувати цю модель для ефективного опису в деяких фізичних задачах, зокрема в теорії магнітних систем чи космології. Скінченна (ненульова) мінімальна температура, отримана для $q > 1$, може бути застосована для опису систем із так званим мінімальним імпульсом.

(А. А. Ровенчак, Б. Ю. Собко, ЛНУ МОНУ)

Методом точної діагоналізації знайдено рішення рівняння Шредінгера, що описує систему двох взаємодіючих атомів ^4He (два ядра з зарядом $Z=+2$ на відстані R_0 одне від одного та пов'язані з ними чотири електрони зі спіном $1/2$). Знайдений спектр зв'язаних станів системи та встановлено, що підсистема чотирьох електронних спінів формує дев'ятикратно вироджений основний стан зв'язку $^4\text{He} - ^4\text{He}$, який розщеплюється за рахунок спін-орбітальної взаємодії, що призводить до появи в конденсованих фазах гелію низькоенергетичних збуджень (з енергією порядку декількох кельвін). Це, у свою чергу, дає можливість інтерпретувати експериментально спостережуваний ефект мікрохвильового поглинання в надплинній фазі ^2He .

(К. А. Чишко, ФТІНТ НАНУ)

Секція «Фізика надпровідності»

Досліджено систему з надпровідникового кубіту типу транзмон, пов'язаного з лінією передач. Вивчено вплив на систему двома сигналами: сильним збуджуючим та слабким пробним. Сильний сигнал призводив до збудження верхнього рівня кубіту, тобто кубіт знаходився в двох станах з певною ймовірністю. При малій амплітуді збудження, відгук, який спостерігається на коефіцієнті проходження пробного сигналу в лінії передач, має дві характерні лінії, які відповідають двом станам кубіту. Але при підвищенні амплітуди, дві лінії сходяться в одну, що нагадує відоме явище усереднення за рухом. Було проведено відповідні теоретичні обчислення, як аналітичні в формалізмі рівняння Блоха, так і чисельні, а також було здобуто кількісне узгодження з експериментальними результатами.

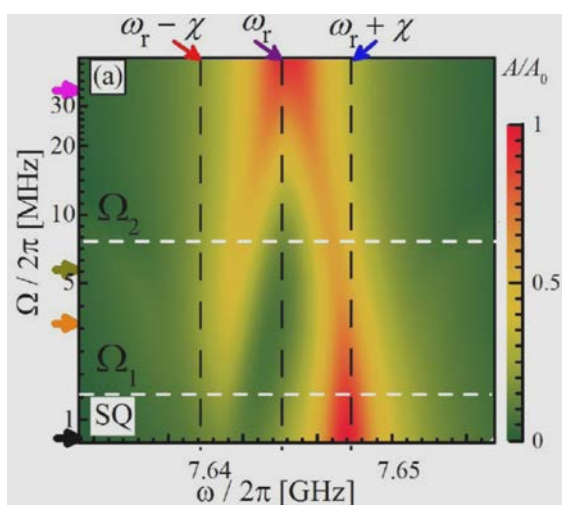


Рис. 2.1. Ймовірнісне усереднення за рухом. Це явище продемонстровано шляхом обчислення коефіцієнту проходження через лінію передач, пов'язану до кубіту типа транзмон.

(С.М. Шевченко, ФТІНТ НАНУ)

Розроблено теоретичну модель ефекту Джозефсона в масиві паралельно з'єднаних надпровідних нанорозмірних містків (коротких замикань), всередині проміжного напівпровідникового шару з металевими нанокластерами, що розділяє два надпровідних береги. Обраховано залежність критичного струму Джозефсона I_c від прикладеного паралельного магнітного поля H . У відповідності із результатами експериментів, проведених на таких же джозефсонівських контактах MoRe-Si(W)-MoRe, показано наявність слабкої залежності $I_c(H)$, замість класичної осцилюючої фраунгоферівської залежності $I_c(H)$, типової для плоских із однорідними по прозорості бар'єрами S-I-S та S-N-S джозефсонівських контактів у паралельному магнітному полі. Показано принципову можливість фазової синхронізації у системі паралельно з'єднаних нанорозмірних джозефсонівських контактів у нестационарному режимі за допомогою зовнішнього високочастотного електромагнітного поля. Знайдено умови, що накладаються на амплітуду і частоту зовнішнього поля, для виникнення синхронізованого режиму генерації електромагнітного випромінювання в такій системі джозефсонівських осциляторів.

(О. Л. Касаткін, ІМФ НАНУ)

Експериментально встановлено, що переходи типу надпровідник - напівпровідник (з нанокластерами металу) - надпровідник з відносно великою площею ($\sim 100 \times 100 \text{ мкм}^2$) демонструють слабку залежність критичного надпровідного струму від паралельного магнітного поля типу $I_c(H) \approx \text{consta}$. Експериментально показано, що шляхом мініатюризації (з використанням сфокусованого йонного пучка) переходів нового S-Sm(M)-S типу можливо створити субмікронного розміру ($0,5 \times 0,8 \text{ мкм}^2$) переходи Джозефсона із високопрозорими бар'єри, які є близькими до однорідних по прозорості, про що свідчить близька до Фраунгоферової експериментальна залежність $I_c(H)$ мініатюризованих переходів та наявність надлишкових квазічастинкових струмів на виміряних ВАХ цих переходів.

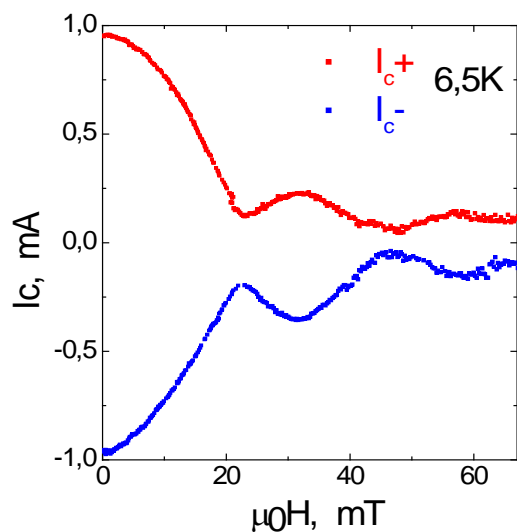


Рис. 2.2. Експериментальні залежності критичного додатного (I_{c+}) та від'ємного (I_{c-}) надпровідного струму Джозефсона мініатюризованих MoRe-Si(W)-MoRe гетероструктур від зовнішнього прикладеного магнітного поля $I_c(H)$.

(А. П. Шаповалов, А. А. Каленюк, А. Ю. Суворов, С. И. Футимський, В. О. Москалюк, В. Є. Шатернік, ІМФ НАНУ)

Теоретично досліджено локалізовані хвилі, що поширюються уздовж пластини скінченної товщини, яка виготовлена з шаруватого надпровідника з шарами, перпендикулярними поверхні пластини. Завдяки сильній анізотропії шаруватого надпровідника електромагнітне поле моди представляє собою суперпозицію звичайної та незвичайної хвиль, які в загальному випадку не можуть бути відокремлені одна від одної. Отримано закон дисперсії для довільного напрямку поширення таких локалізованих мод відносно шарів. Показано, що дисперсійні криві можуть бути як монотонними, так і немонотонно зростати, тобто містити ділянки з аномальною дисперсією. Визначені частоти в залежності від кута поширення, при яких може спостерігатися аномальна дисперсія. Проаналізована залежність частоти як від модуля поздовжнього хвильового вектора, так і від його проєкцій, що може мати важливе значення для практичного застосування в електроніці терагерцового діапазону.

(С. С. Апостолов, З. О. Майзеліс, Д. В. Шимків, О. О. Шматько, В. О. Ямпольський, ІРЕ НАНУ)

В рамках запропонованого авторами узагальнення феноменологічної моделі мікрохвильової нелінійної ВТНП - лінії передачі досліджено ефекти впливу постійного струму на лінію передачі. Врахування наступного члена розкладання нелінійної залежності погонного опору від струму дозволяє пояснити аномальний характер внесених втрат від рівня вхідної потужності, що спостерігається в експерименті при докритичних температурах. Додатковий постійний струм через мікрохвильовий хвилевід може привести до виникнення області біфуркації в просторі керуючих параметрів. Це проявляється в можливості стрибкоподібної зміни властивостей хвилеводу на межах цієї області і переходу ВТНП копланарного хвилеводу в сильно дисипативний стан. Отримано якісну відповідність властивостей узагальненої феноменологічної моделі результатам експериментальних досліджень ВТНП копланарного хвилеводу.

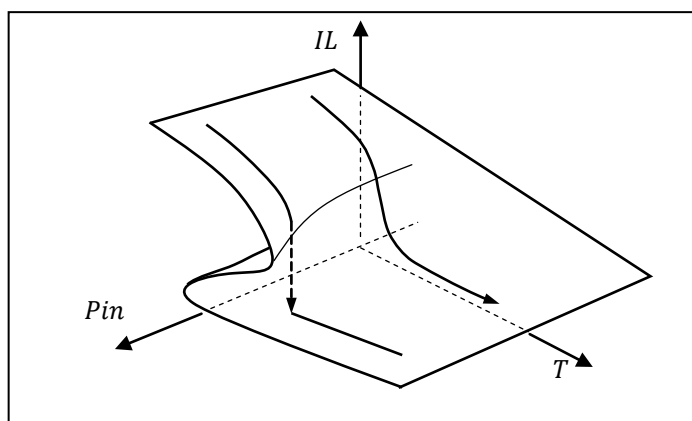


Рис. 2.3. Простір станів системи (лінії передачі) може мати вигляд «складки», яка виникла на двовимірній поверхні $IL(P_{in}; T)$, де IL - внесені мікрохвильові втрати в лінії передачі, P_{in} - вхідна потужність сигналу, T - температура над провідниковою лінією передачі.

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

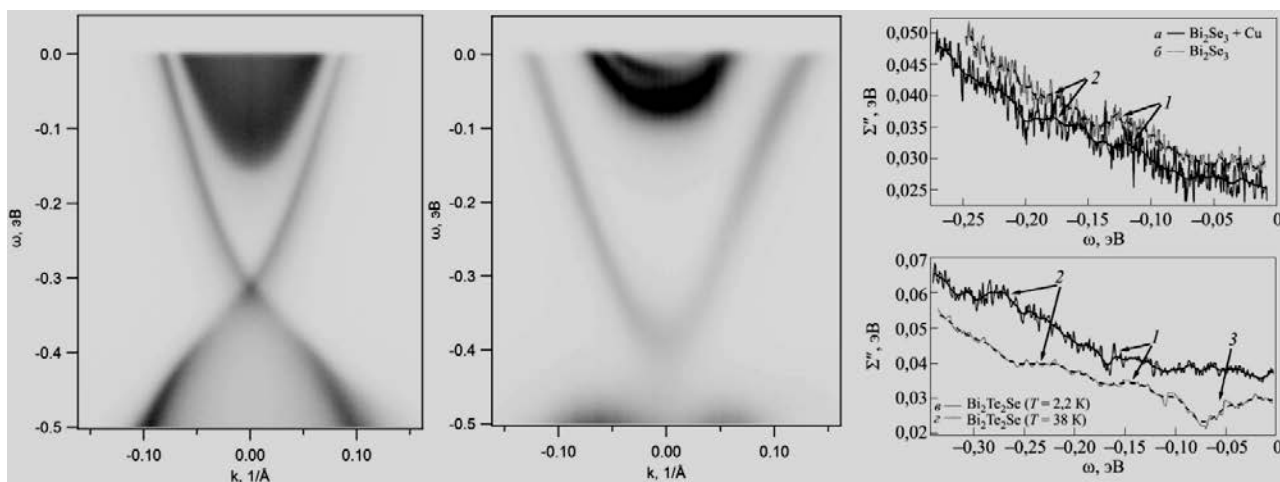


Рис. 2.4. Типові ARPES спектри поверхневих станів в топологічних ізоляторах Bi_2Se_3 (ліворуч) та Bi_2Te_2Se (по центру) та, відповідно, криві квазічастинкового затухання Bi_2Se_3 (криві а, б) і Bi_2Te_2Se (криві в, г) (праворуч).

З аналізу фотоемісійних спектрів монокристалів з топологічно нетривіальною електронною структурою знайдено цікаві ефекти взаємодії поверхневих та об'ємних станів. А саме, виявлено: сходинкову структуру квазічастинкового розсіювання поверхневих станів

найбільш досліджений топологічних ізоляторів Bi_2Se_3 та $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$, що дозволило виділити та проаналізувати внески пружного та непружного міжзонного розсіяння (поверхня–об’єм) до квазічастинкової власної енергії, та перерозподіл заряду між об’ємними та топологічними поверхневими станами в кристалах $\text{Fe}(\text{Se},\text{Te})$. Якщо такий перерозподіл буде підтверджено, можна буде за допомогою зміни температури керувати положенням топологічно-нетривіальних зон поблизу рівня Фермі, що потенційно дозволить реалізувати індукований температурою перехід між топологічно різними поверхнями Фермі.

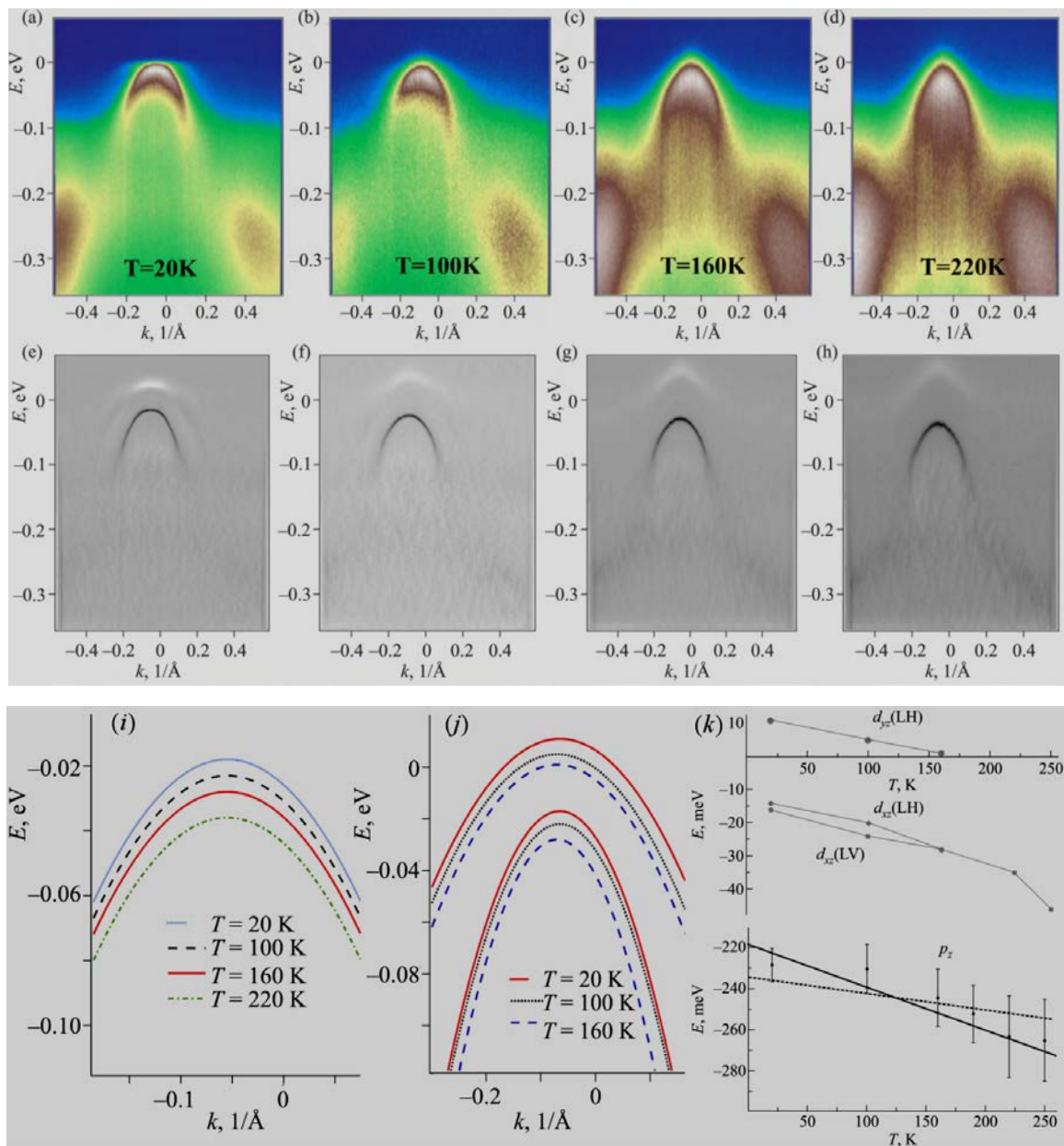


Рис.2.5. Спектри ARPES $\text{Fe}_{1.05}\text{Se}_{0.84}\text{Te}_{0.16}$ від центру зони Бріллюена (Z-точка), отримані з вертикально поляризованими фотонами 21 еВ при T , К: 20 (а), 100 (б), 160 (с), і 220 (д). Ті ж спектри, оброблені методом кривизни (е) - (h); дисперсія dxz - та dyz -зон, отриманих із спектрів з поляризованим випромінюванням LV (ліворуч) та LH (по центру); положення вершин відповідних зон в залежності від температури (праворуч).

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

На основі рішення рівнянь вимушених коливань ізольованого вихору Абрикосова під дією зовнішньої періодичної, загасаючої вглиб зразка сили з урахуванням ефективної маси вихору і діючих на нього сил (піннінга, Лоренца, пружності і в'язкості) побудовано та проаналізовано траєкторії його руху для двох класичних надпровідників: YBaCuO і NbTi . Встановлено ієрархію впливу різних сил в широкому діапазоні частот (до ~ 1 ТГц) зовнішньої сили. У YBaCuO в геометрії $\mathbf{H} \parallel \mathbf{c}$ аналіз форми траєкторії вихору в широкому діапазоні частот змушує сили дозволити встановити, наступне. На частотах $\omega \geq 3 \cdot 10^7$ Гц помітні відхилення від стандартної форми для вимушених коливань гармонійного осцилятора пов'язані з впливом пружних властивостей вихору. Показано, що перетворення форми траєкторії від гармонійної на низьких частотах до спіралевидної при $\omega \sim 10^9$ Гц, пов'язано із зростанням впливу сили Лоренца. Збільшення сили Лоренца обумовлено зростанням швидкості вихору при збільшенні частоти змушує сили. Таким чином, в цьому частотному діапазоні траєкторія вихору Абрикосова в основному визначається силою Лоренца і силою пружності. При цьому інертність вихору, сили піннінга і в'язкості на форму і розмір траєкторії практично не впливають. Вплив інертності вихору починає проявлятися при частотах $\omega \sim 2 \cdot 10^{11}$ Гц. Сила в'язкості тут істотно змінює траєкторію при резонансній частоті. Незважаючи на те, що діапазон верхніх ГГц і нижніх ТГц частот в подібних експериментах зараз відносно слабо розвинений і важкодоступний, ці результати моделювання поведінки вихорів можуть підказати розширення можливостей в керованому маніпулюванні вихорами, а також прогнозувати їх можливий застосування, наприклад, в конструюванні квантових обчислювальних пристроїв.

(В. В. Чабаненко, О. М. Чумак, ДонФТІ НАНУ; В. Ф. Русаков, ДонНУ МОНУ; A. Nabiłek, R. Puźniak, IP PAS, Poland)

Експериментально доведено, що двійники в структурі Плавленої текстурованої кераміки на основі $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (ПТ- YBaCuO) відіграють більш важливу роль у досягненні високої густини критичного струму та сили піннінгу, ніж дислокації та дефекти пакування. Ми також показали, що густина двійників і мікротріщин (паралельних ab -площинам) в матриці $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ корелює з відстанями між включеннями Y_2BaCuO_5 . Зазвичай густина двійників і мікротріщин вища, якщо відстані між включеннями Y_2BaCuO_5 , що розташовані в матриці $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, менші. Насичення киснем при високій температурі (800°C) при підвищеному тиску кисню (10 - 16 МПа) призводить до високої густини двійників, зменшення кількості мікротріщин, дислокацій та дефектів пакування. Насичення киснем при високій температурі під тиском кисню веде до збільшення густини критичного струму та зменшення його анізотропії у різних напрямках, а також збільшення механічних характеристик матеріалів (твердістю та тріщиностійкістю), більших захоплених магнітних полів та зменшення тривалості насичення киснем.

(Т. О.Пріхна, ІНМ НАНУ)

Запропоновано новий спосіб інжекції спін-поляризованих електронів в надпровідники, що включає в себе створення квантового контакту з нормального немагнітного металу,

спінового фільтра та надпровідника, крізь який пропускається електричний струм. Відмінна особливість запропонованого способу полягає в тому що відповідний пристрій має форму трьохпровідної вилки, вхід якої з'єднано з нормальним немагнітним металом, один вихід – зі спіновим фільтром, а другий – з надпровідником, відділеним таким чином від спінового фільтра для придушення магнітного зв'язку між ними. Спіновий розбаланс в надпровіднику реалізується завдяки ефекту квантової запутаності електронних станів у вихідних металевих провідниках. Отримано патент України на корисну модель № 136474.

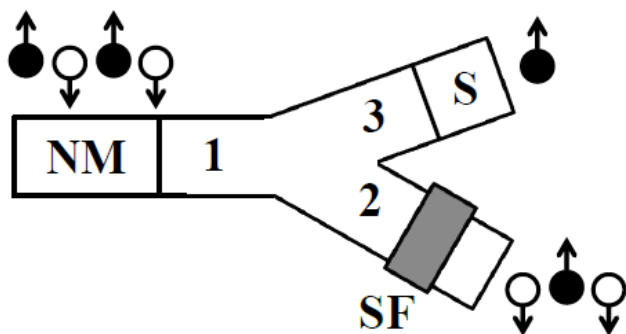


Рис. 2.6. Схематичне зображення способу інжекції спін-поляризованих електронів в надпровідник. Запропонований пристрій являє собою квантовий сплітер, який складається з вхідного провідника 1, з'єданого з нормальним немагнітним інжектором, провідника 2, на кінці якого розміщено спіновий фільтр SF, і провідника 3, який веде до надпровідника S. Як приклад, вважаємо, що ймовірності проходження через фільтр електронів зі спінами униз і догори становить близько 100 і 50 відсотків, відповідно.

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

Секція «Фізика магнітних явищ»

Як відомо, спінові хвилі в довгоперіодичних спіральних магнітних структурах демонструють так звану магнітокіральну невзаємність, а саме – неінваріантність дисперсійної залежності при їх поширенні вздовж і проти вектора магнітної спіралі. В наближенні феноменологічного рівняння Ландау-Ліфшиця-Бар'яхтара вивчено вплив статичної просторової довгоперіодичної структури намагніченості на релаксацію спінової хвилі та описана нелокальна релаксаційна динаміка намагніченості для кристалів різної симетрії. Розглянуто спіральні магнітні структури, що обумовлені конкуренцією обмінних взаємодій протилежних знаків або наявністю взаємодії Дзялошинського-Морія. Показано [Phys. Rev. B, **99**, 104407, (2019)], що магнітокіральна невзаємність проявляється не тільки в дисперсійній залежності, а і в різному нелокальному затуханні спінових хвиль з хвилевим вектором вздовж і проти вектору спіралі. Встановлені особливості динаміки намагніченості в матеріалах з просторовою довгоперіодичною магнітною структурою є загальними і не залежать від мікроскопічних механізмів розсіювання спінових хвиль. З фундаментальної точки зору принциповим є факт, що статичне, але просторово неоднорідне магнітне упорядкування, викликає ненульову релаксацію голдстоунівської моди. Ці особливості спін-хвильової динаміки є також важливими при практичному застосуванні матеріалів із спіральним магнітним упорядкуванням у приладах магнетоники та спінтроніки.

(В. Г. Бар'яхтар, ІМаг НАНУ та МОНУ; А. Г. Данілевич, НТУ МОНУ; В. М. Криворучко, ДонФТІ НАНУ)

Наногенератори з накачуванням спіновим струмом широко обговорюються як перспективні джерела НВЧ. Частоти генераторів, що використовують спінові коливання в звичайних феромагнетиках типу пермалою, не перевищують десятків гігагерц. Нами досліджені нелінійні спінові коливання в феромагнетиках типу сплаву $GdFeCo$ з температурою компенсації спіну поблизу кімнатної. Частота коливань сильно зростає близько точки компенсації спіну, коли $v = (s_1 - s_2)/(s_1 + s_2) \ll 1$, де s_1, s_2 - спіни підграток, і може досягати субтерагерцового діапазону за рахунок обмінного підсилення динамічних параметрів. При тому прецесія вектора Нееля стає конусною, замість плоскої як для антиферомагнетиків, що дозволяє модулювати магнітоопір. Таким чином використання феромагнетика як активного шару в осциляторі зі спіновою накачкою забезпечує прямий шлях до зчитування терагерцового сигналу. Запропоновано схему наногенератора з використанням спін-вентильної структури на основі частинок феромагнетиків поблизу точки спінової компенсації. Оцінки для аморфного сплаву $GdFeCo$ показали, що при розумних значеннях струму накачування (зараз реалізовані значення до 3×10^9 А/см²) робоча частота такого вихрового генератора може перебувати в межах від 200 ГГц до ТГц, см. Рис. 3.1. Корисний сигнал визначається магнетоопором ρ_{\perp} на контакті феромагнетик - поляризатор, для оптимального значення $\bar{v} \sim 1.5$ ця величина практично постійна до токів порядку 10^9 А/см² и частот до 1 ТГц. Це відкриває можливість створення спінтроніки субтерагерцових

і терагерцових частот, що базується на використанні майже-скомпенсованих феромагнетиків [Phys. Rev. B, **100**, 100409(R), (2019)].

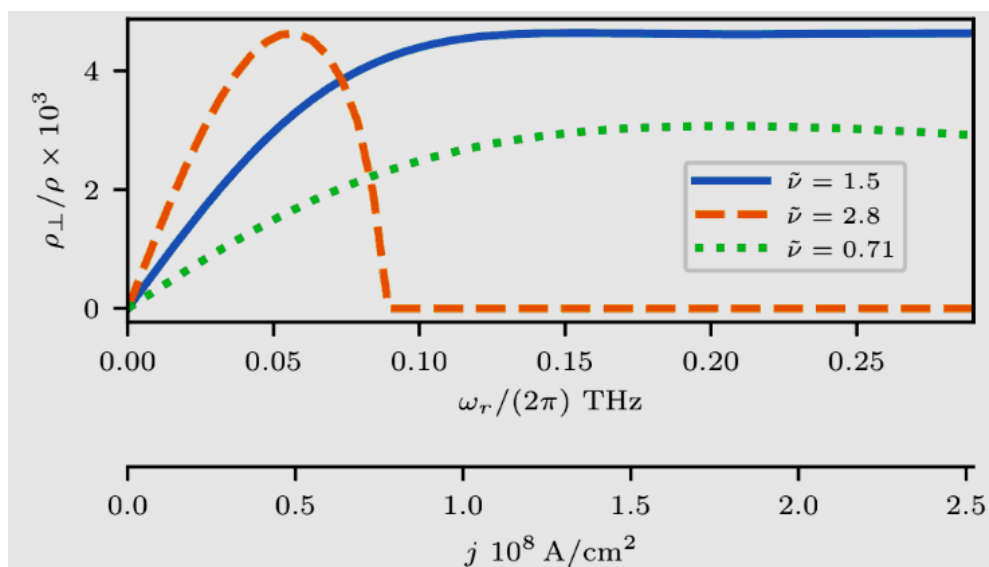


Рис. 3.1. Відношення змінного опору до постійної складової як функція густини зарядового струму та частоти коливань для різних значень ефективного параметру розкомпенсації $\bar{\nu} = \nu \sqrt{\omega_{ex} / \omega_a}$, ω_{ex} - обмінна частота, ω_a - частота анізотропії, для GdFeCo $\omega_{ex} / \omega_a \sim 10^3$.

(Б. О. Іванов, ІМаг НАНУ та МОНУ; Іван Лисенков, корпорація Вінчестер Технолоджиз, Барлінгтон, США (Winchester Technologies LLC, Burlington, USA); Роман Химин і Йохан Акерман (Johan Akerman), Університет Готенбурга і корпорація НанОсц Швеція (University of Gothenburg and NanOsc AB, Sweden); Ниан Ксианг Сан (Nian Xiang Sun), Північно-Східний Університет, Бостон, США (Northeastern University, Boston, USA)).

Науковцями Інституту магнетизму НАН України та МОН України спільно з колегами із Швеції вперше розроблено інноваційний підхід до підвищення власних частот магнітного резонансу в багатошарових наноструктурах, що містять обмінно-зв'язані феромагнітні (F) і антиферомагнітні (AF) шари (Рис. 3. 2.). Плідність підходу продемонстрована на прикладі двошарових структур $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(5 \text{ нм})/\text{Fe}_{50}\text{Mn}_{50}(t)$ (надалі F/AF), де $t = 3, 5$ і 7 нм. Комбіновані магнетооптичні і магнеторезонансні вимірювання показали, що зменшення товщини AF шару до 3 нм приводить до зниження температури Нееля до кімнатної температури і підсилення ефекту підмагнічування на F/AF інтерфейсі (magnetic proximity effect). Обмінний зв'язок між F і номінально антиферомагнітним ультратонким AF шаром суттєво модифікує магнітну динаміку в F/AF системі. При цьому резонансні частоти F/AF структур підвищуються до суб-терагерцових частот (Рис. 3. 3.), і з'являється можливість заповнення частотної щілини між гігагерцовим (характерним для F) і терагерцовим (характерним для AF) діапазонами, що є важливим для високошвидкісних спітронних застосувань.

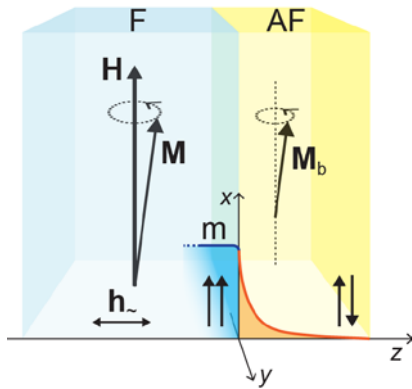


Рис. 3.2. Схема двошарової структури з обмінним зв'язком: сильний феромагнетик (F) з високою температурою Кюрі (T_C) / антиферомагнетик (AF) з відносно низькою температурою Нееля ($T_N \sim 300$ K) – (F/AF) – під час збудження феромагнітного резонансу (ФМР) в зовнішньому магнітному полі H , орієнтованому в площині плівки. Поблизу T_N в AF індукується ненульовий магнітний момент M_b внаслідок ефекту магнітної близькості від F. Магнітний момент M_b є обмінно-зв'язаним з магнітним моментом M феромагнетика, що призводить до зв'язаних акустичної і оптичної мод ФМР.

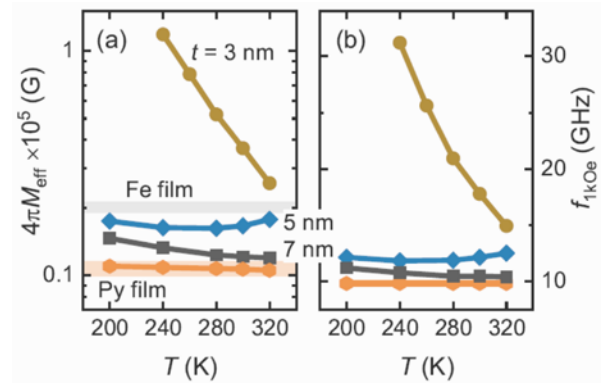


Рис. 3.3. (а) Температурні залежності ефективних полів розмагнічування $4\pi M_{\text{eff}}$, отриманих із ФМР вимірів для FeNi(5 нм)/FeMn(t) структур з $t = 3, 5$ і 7 нм. Поля розмагнічування, отримані експериментально для плівки FeNi і очікувані для плівки Fe, приведені для порівняння.

(б) Резонансні частоти FeNi(5 нм)/FeMn(t) структур в полі біля 1 кЕ, порівняно із резонансною частотою плівки FeNi(5 нм).

(Д. М. Поліщук, Т. І. Полек, В. Ю. Боринський, А. Ф. Кравець, О. І. Товстолиткін, IMag HANU та МОНУ; V. Korenivski, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden)

Дослідження нанооб'єктів та їх масивів привертає велику увагу завдяки тому, що вони можуть застосовуватися для створення магнітної пам'яті довільного доступу, біометричних зондів, магнітної логіки тощо. Вивчення магнітної динаміки в таких структурах головним чином фокусується на дослідженні стоячих спінових хвиль в ізольованих елементах або поширенні спінових хвиль в ансамблях взаємодіючих наночастинок. Спектри таких хвиль головним чином визначаються формою наночастинок.

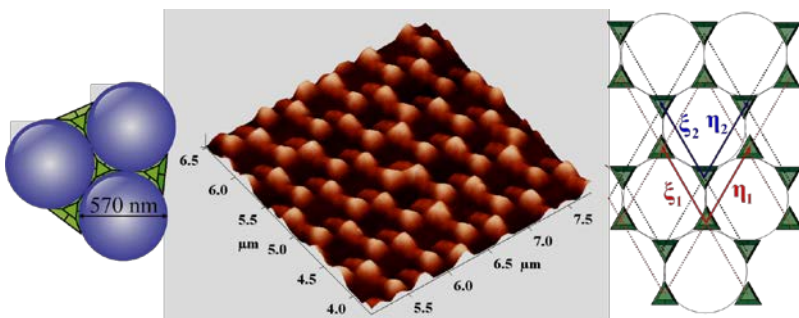


Рис. 3.4. Схема отримання масиву трикутних елементів методом наносферної літографії (ліворуч). АСМ зображення масиву нікелевих елементів (в центрі). Схематичне зображення ґратки трикутних елементів (праворуч).

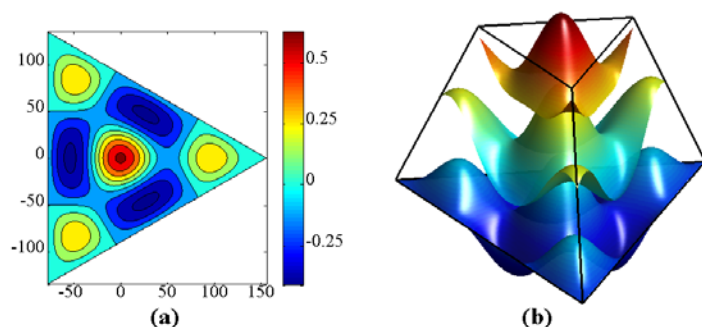


Рис. 3.5. Профілі власних функцій осцилюючої трикутної мембрани, розраховані для зрізаної піраміди (а). Ті ж самі профілі для різних висот (б).

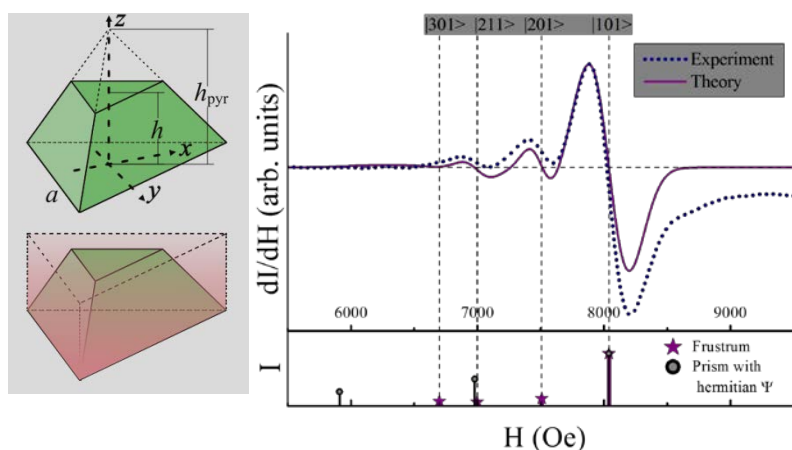


Рис. 3.6. Спектри магнітного резонансу нікелевих елементів: експеримент (пунктир) та теоретичні розрахунки для зрізаної піраміди (суцільна лінія). Внизу приведено теоретично розраховані частоти та інтенсивності резонансних піків для двох наближень (див. ліворуч): правильної призми (кружечки) та зрізаної піраміди (зірочки).

Експериментально та теоретично досліджено поведінку стоячих спіно-вих хвиль в трикутних елементах під дією перпендикулярного насичуючого магнітного поля. Раніше розроблені теоретичні підходи не можуть застосовуватись у нашому випадку, коли розмагнічуюче поле є суттєво неоднорідним. Теоретичний опис спектру магнітного резонансу проводився в два етапи: спочатку форма окремого елемента вважалася призматичною, а потім для покращення кореляції між теорією та експериментом було враховано, що реальна форма елемента є близькою до зрізаної піраміди. Розроблений теоретичний підхід може бути застосований для магнітних частинок, які мають форму правильної призми з довільною кількістю граней (включаючи циліндр), для яких співвідношення висоти до ширини не є малим, і площинною залежністю розмагнічуючого поля не можна знехтувати. Використання квантового варіаційного методу дозволило врахувати взаємодію між спіно-хвильовими модами і досягти дуже доброї відповідності теорії та експерименту.

(В. О. Голуб, О. Ю.Салюк, О. В.Тартаківська, П. В. Бондаренко, Ю. І. Харлан, ІМаг НАНУ та МОНУ)

Одним із важливих напрямів сучасного матеріалознавства є пошук нових матеріалів для біомедичних застосувань. Магнітні наночастинки привертають до себе особливу увагу завдяки можливості їх примусової локалізації в потрібних областях живого організму з допомогою квазістаціонарних просторово неоднорідних магнітних полів. Іншою перевагою магнітних наночастинок є здатність нагріватися і локально нагрівати оточуючі тканини під дією змінних магнітних полів. Підвищення температури може локально підсилувати

терапевтичну дію інших лікувальних методів, а за певних умов – привести до руйнування вражених хворобою клітин. На жаль, відомі на сьогодні магнітні наноматеріали виявляють низку недоліків, що обмежує їх застосування в медицині і стимулює пошук нових об’єктів.

Науковцями Інституту магнетизму НАН України та МОН України спільно з індійськими колегами вперше синтезовано магнітні наночастинки β - NaFeO_2 делафоситного структурного типу з середнім розміром біля 37 нм (Рис. 3.7. (а,б)) і виконано дослідження їхніх магнітних, електрокінетичних та цитотоксичних характеристик [Mater. Res. Express **6**, № 8, 0850a6 (1–8), (2019)]. На відміну від об’ємних зразків β - NaFeO_2 , які виявляють антиферромагнітне впорядкування, наночастинки є суперпарамагнітними при кімнатній температурі і мають досить високу намагніченість насичення (Рис. 3.7. (в)). Наночастинки та колоїдні розчини на їх основі виявляють відносно високу ефективність нагріву в змінному магнітному полі, що є перспективним для використання в якості індукторів магнітної гіпертермії для лікування онкологічних пухлин. Підтверджено біосумісність розчинів з концентраціями наночастинок, характерними для використання в магнітній наногіпертермії.

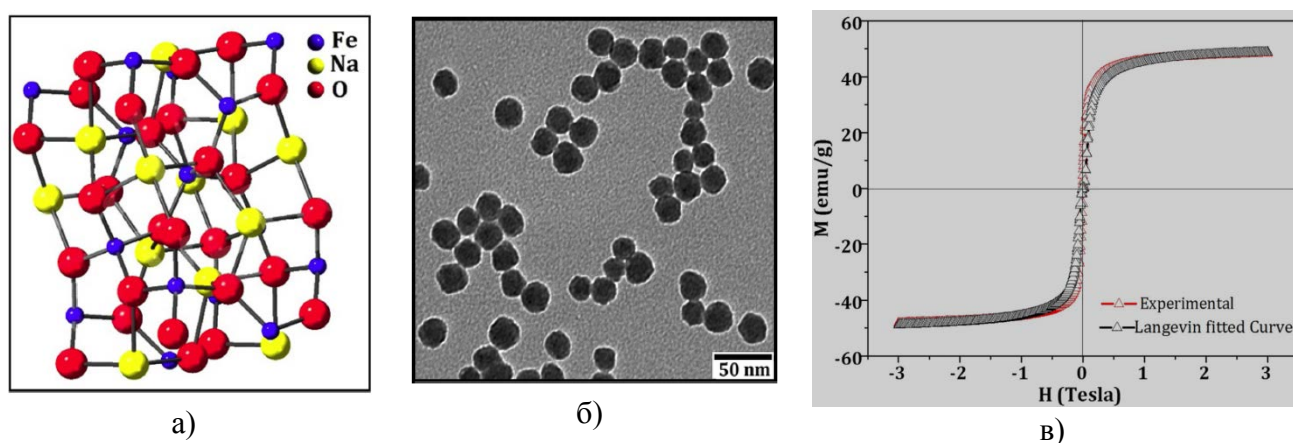


Рис. Рис. 3.7. (а) Схематичне зображення орторомбічної кристалічної структури β - NaFeO_2 наночастинок. (б) Зображення наночастинок, що досліджуються, отримане з допомогою просвітлювальної електронної мікроскопії. (в) Залежність намагніченості від магнітного поля, отримана за кімнатної температури.

(О. І. Товстолиткін, ІМаг НАНУ та МОНУ; S. Singh, J. Kaur, G.S. Lotey, DAV University, India).

Нами були проведені магнето-акустичні дослідження мононітриду урану UN. Ця сполука вважається перспективною у якості палива для реакторів четвертого покоління. З літератури відомо, що походження магнетизму уранових сполук може бути пов'язане як з зонними 5f електронами, так і з локалізованими 5f електронами, що обумовлює великий інтерес теоретиків до таких систем. В наших експериментах в UN вперше спостерігалися зміни швидкості та поглинання звуку поздовжніх та поперечних акустичних хвиль в зовнішньому магнітному полі при трьох різних напрямках магнітного поля і різних температурах [Phys. Rev. B, **100**, №2, 024417 (1-7), (2019)].

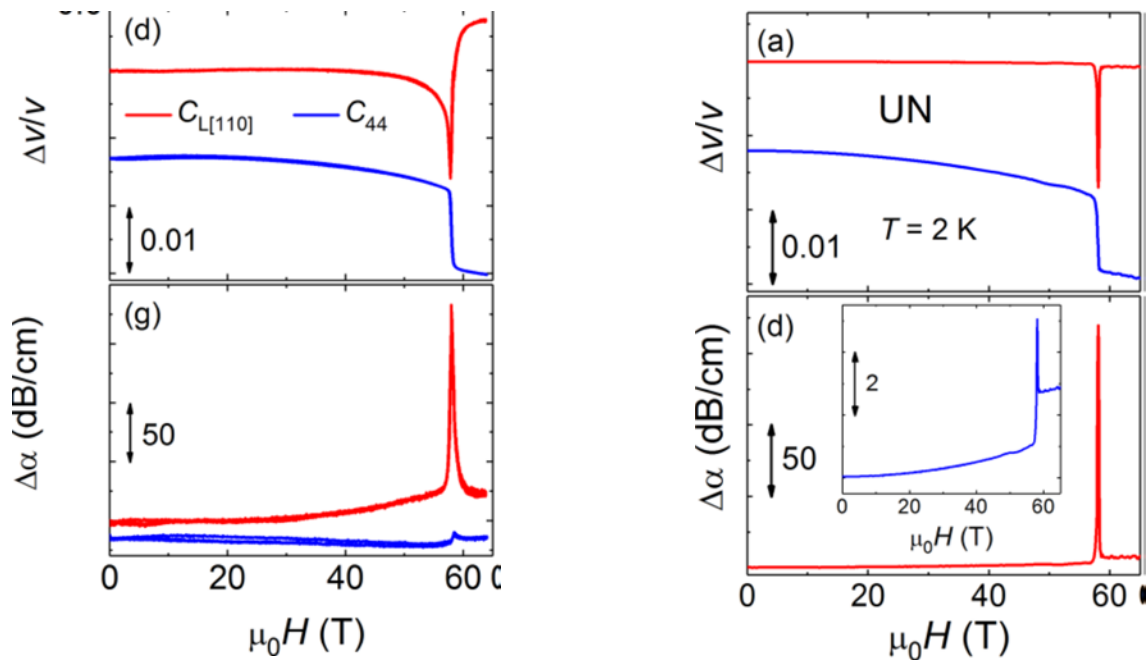


Рис. 3.8. Ліворуч: Швидкість звуку та поглинання для двох пружних модулів як функції магнітного поля при $T=2\text{K}$ та напрямку магнітного поля $H \parallel [100]$. Праворуч: теоретично розраховані характеристики UN. Теорія дуже добре описує магнітопольову поведінку акустичних характеристик UN.

Появу аномалій типу спін-флоп в польових залежностях відносної швидкості звуку та поглинання нами пояснено за допомогою моделі локалізованих $5f$ електронів, заснованої на механізмі зчеплення механічної напруги ґратки з обмінними інтегралами. Результати дають підставу вважати, що в UN основним механізмом виникнення магнетизму є обмінна взаємодія локалізованих $5f$ електронів урану. В полях вище спін-флоп переходу наші вимірювання виявили додаткові особливості в поведінці магнето-акустичних характеристик, які, ймовірно, пов'язані з формуванням в системі проміжної фази і появою магнітних доменів.

(А. А. Звягін, Г. А. Звягіна, ФТІНТ НАНУ, разом з фізиками з Лабораторії сильних магнітних полів, Дрезден-Россендорф, Німеччина, Інституту фізики Прага, Чехія, та Інституту низькотемпературних та структурних досліджень, Вроцлав, Польща)

В останні роки зріс інтерес до вивчення не тільки дипольного магнітного впорядкування в спінових сполуках, але й до більш складних, квадрупольних впорядкувань в них. Такі системи звуться спіновими нематиками. Нами вивчено магнітокалоричний ефект та проведені ультразвукові дослідження фрустраційної квазі-одновимірної спін- $1/2$ сполуки LiCuVO_4 [Phys. Rev. Research, **1**, №3, 033065 (1-8), (2019)]. Результати дослідження свідчать про існування спін-нематичного впорядкованого стану в цій сполуці. Спостережені аномалії акустичних властивостей (швидкості та поглинання звуку) при великих полях явно свідчать про сильну участь решітки в динаміці спінової підсистеми. Великий гістерезис виявляється в акустичних властивостях сполуки. Теоретичний підхід, що базується на обмінно-пружному зв'язку з дипольними та квадрупольними ступенями свободи, говорить про те, що взаємодія спін-дипольних і квадрупольних параметрів впорядкування з пружною підсистемою керує

спіноюю нематичністю в LiCuVO_4 . Нами побудовано теорію поведінки акустичних характеристик спінової системи з квадрупольним (спін-нематичним) впорядкуванням.

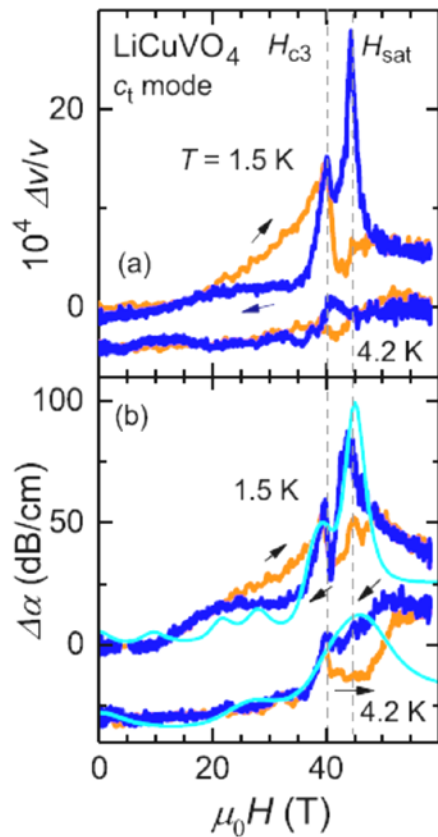


Рис. 3.9. Залежності швидкості звуку та поглинання в LiCuVO_4 від зовнішнього магнітного поля (поперечний звук) при низьких температурах. Температура впорядкування приблизно 4 К. Світло-сині криві – результат теоретичного розрахунку.

(А. А. Звягін, ФТІНТ НАНУ, разом з дослідниками ХНУ МОНУ; Лабораторії сильних магнітних полів, Дрезден-Россендорф, Німеччина; Інституту фізики Прага, Чехія; університету Токіо Токіо, Японія; університету науки та технології Вухан, Китай; Інституту Макса Планка фізики твердого тіла, Штутгарт, Німеччина).

Раніше в роботах [М. І. Kobets, К. Г. Dergachev, Е. N. Khatsko et al., Physica B, **406**, 3430 (2011) і М. І. Кобец, К. Г. Дергачев, С. Л. Гнатченко і др., ФНТ, **43**, 151 (2014)] було експериментально досліджено резонансні властивості монокристалів сполуки $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$, яка при низьких температурах ($T < 30 \text{ K}$) уявляє собою в магнітному стані квазі-одновимірний легко-площинний антиферромагнетик, який при $T < 13 \text{ K}$ переходить в несумірну структуру типу нелінійної спіралі. Отримані польові залежності низькочастотних резонансних гілок із вказаних робіт наведено на Рис. 3.10. а). Вони кардинально відрізняються від залежностей резонансних гілок в колінеарній фазі при $T > 30 \text{ K}$. Оскільки період спіралі $L = L(0)$ був відомий тільки у відсутності поля, виникла проблема знаходження залежності цього періоду $L(h)$ від зовнішнього магнітного поля. Тому в межах простої моделі спіральної структури було розглянуто залежність геометричних параметрів несумірної структури та її резонансних частот в широкому діапазоні полів (який включав поле спін-флופу h_{sf}). З

використанням експериментальних даних для залежності резонансної частоти від зовнішнього поля (лінія А на Рис. 3.10. а)) було встановлено залежність періоду спіралі від поля при $h < h_{sf}$, що приведена на Рис. 3.10. б), як функція $L(h)/L(0)$. Період спіралі слабо зростає з полем, але залишається кінцевим в полі спін-флопу h_{sf} . З підвищенням поля період несумірної структури знов зменшується. З експериментальних асимптот поведінки резонансних частот від поля в великих полях $h > h_{sf}$ (лінії В і D на Рис. 3.10. б)) було встановлено залежність періоду спіралі від поля в цьому граничному випадку: $L \sim 1/h$.

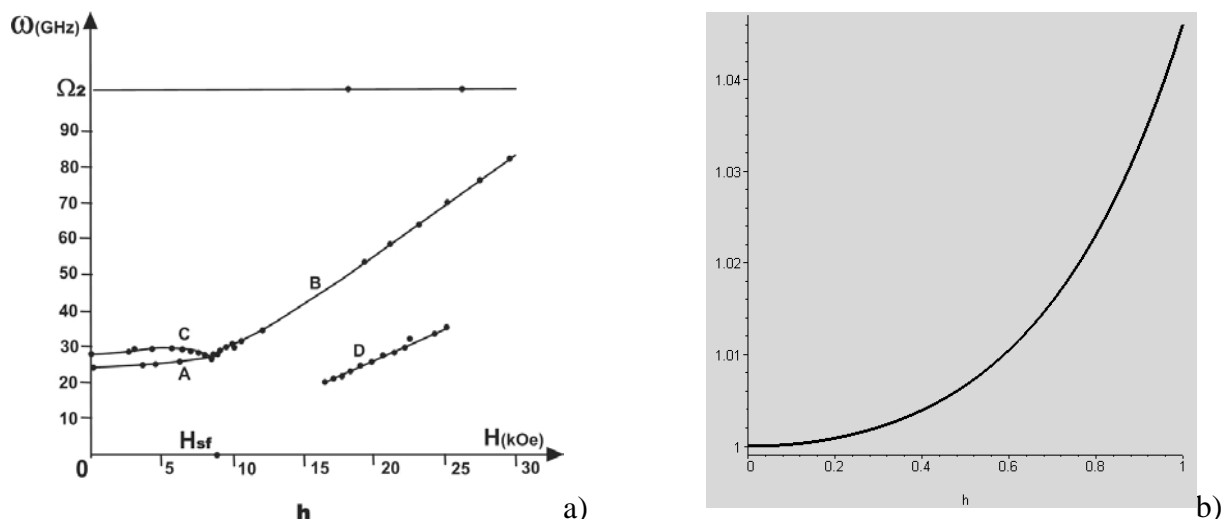


Рис. 3.10. Експериментальні залежності резонансних частот спіральної структури від поля (а) та теоретична залежність періоду спіралі від зовнішнього поля в малих полях $h < h_{sf}$ (б).

(О. С. Ковальов, ФГІНТ НАНУ)

В рамках моделі Гейзенберга була досліджена спін-Пейерлівська нестабільність періодичних одновимірних систем, що мають безперервний енергетичний спектр при різних значеннях обміну J між елементарними комірками [Journal of Physics: Condensed Matter, v.30, N 31, pp. 305601-305606, (2019)]. Приклади таких систем приведені ліворуч на Рис. 3.11. (а) - Рис. 3.11. (с).

За допомогою методу ренормалізації групи матриці густини (DMRG) чисельно була отримана залежність критичного показника α спін-Пейерлівського переходу від значення J . Для ланцюжкових систем (а)-(б) показник α дуже слабо залежить від J (чорна та червона криві). У той же час, для моделі трьох-ланцюжкових сходів (с) спостерігається суттєва залежність α (J) (синя крива).

В межах слабого зв'язку J були отримані ефективні спінові гамільтоніани, що описують низькоенергетичні стани системи, які потім були розглянуті за допомогою теорії збуджень. Значення спіну s збігається зі значенням спіну основного стану ізольованої одиничної комірки. Це означає, що при малих значеннях J всі системи з синглетним основним станом і однаковим напівцілим значенням s повинні мати схожу критичну поведінку, що узгоджується з нашими чисельними дослідженнями. Наявність щільних збуджень в ізольованих комірках має дати при малих значеннях J принаймні одне проміжне плато в

польовій залежності намагніченості, що підтверджується проведеним чисельним моделюванням за допомогою DMRG методу. Стійкість цього плато відносно підвищення J та температури вивчалася за допомогою квантового методу Монте-Карло.

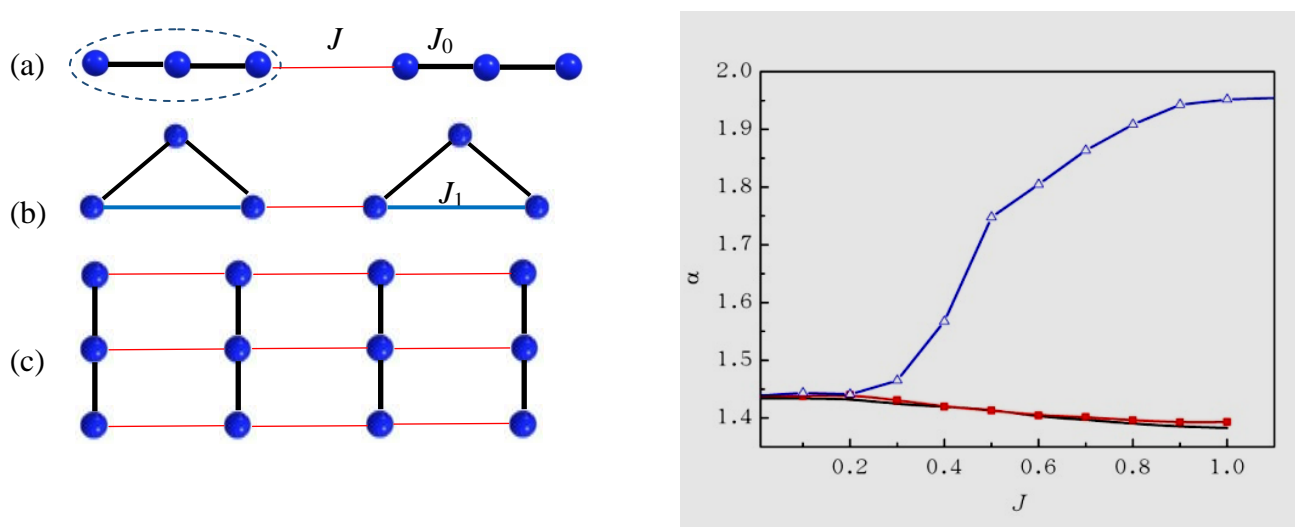


Рис. 3.11. Ліворуч: Фрагменти одновимірних систем, утворених слабо взаємодіючими одиничними трьох-спіновими комірками. Для системи (b) вивчався випадок, коли $J_0 \neq J_1$. Праворуч: Залежність критичного показника α від J для моделей (a) - чорна, (б) - червона і (c) – синя лінії.

(В. О. Черановський, ХНУ МОНУ; В. В. Славін, ФТІНТ НАНУ; A. L. Tchougréeff, Aachen University, Germany; R. Dronskowski, Jülich–Aachen Research Alliance, Germany)

Сегнетомагнетик DyMnO_3 – це мультифероїк, в якому при низьких температурах одночасно впорядковані як спіни, так і електричні диполі. Взаємодія електричної і магнітної підсистем, що називається магнетоелектричною (МЕ), породжує МЕ ефекти, що відкривають можливості «перехресного» керування електричними (магнітними) властивостями магнітним (електричним) полями. Величини таких ефектів визначаються добутком електричної і магнітної сприйнятливості, які, як відомо, максимальні поблизу температури відповідного фазового переходу. Зазвичай температури сегнетоелектричного (СЕ) і магнітного фазових переходів не близькі, тому аж до останнього часу величини спостережуваних МЕ ефектів були незначними.

Ситуація змінилася на початку нашого тисячоліття, коли стали вивчатися рідкоземельні орторомбічні манганіти RMnO_3 , де в випадках $R = \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}$ спостерігалася модульована (неспівмірна) спінова структура. У манганіті тербія TbMnO_3 орієнтаційний перехід в спіновій підсистемі з синусоїдного до циклоїдного стану супроводжувався появою електричної поляризації і спостереженням ефекту гігантської магнетоємності, що відкривало перспективу для застосувань мультифероїків з модульованою спіновою структурою в сучасній техніці.

В DyMnO_3 , як і в TbMnO_3 , при зниженні температури одночасно виникають СЕ поляризація, циклоїдна спінова структура і магнетоємність, але величини цих МЕ ефектів в 3-

4 рази більше, ніж в $TbMnO_3$. У даній роботі проведено аналіз експериментальних МЕ фазових діаграм в магнітних полях в рамках теорії Гінзбурга - Ландау для просторово неоднорідних магнітних систем з урахуванням магнітної анізотропії четвертого порядку, врахування якої є необхідним, тому що орторомбічні манганіти є двохосними кристалами (просторова симетрія D_{2h}^{16}) (см. Рис. 3.12.) Пояснена можливість поляризаційного флопа (переорієнтації напрямку електричної поляризації) лише у випадках напрямку магнітного поля уздовж осей X і Y. Знайдено значення параметрів магнітної анізотропії четвертого порядку, які узгоджуються з вимірами магнітних моментів.

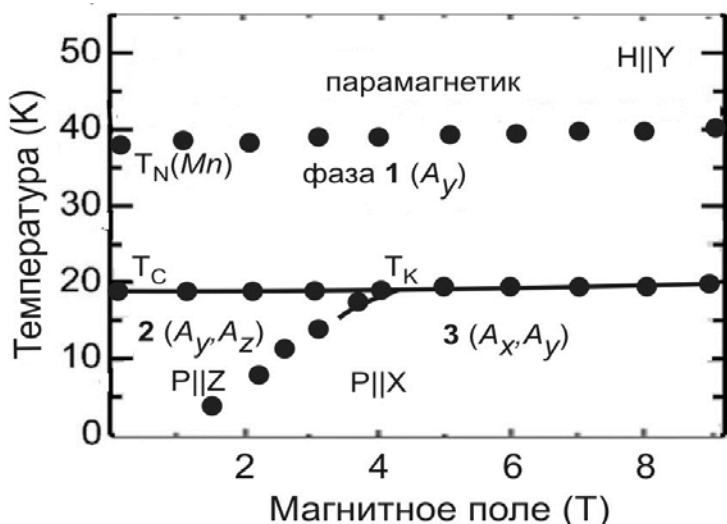


Рис. 3.12. Магнітна фазова діаграма $DyMnO_3$ в магнітному полі H_y . Кружки – експеримент, суцільні лінії – теоретичний розрахунок.

(І. Є.Чупіс, ФТІНТ НАНУ)

Змішаний спін-1 і спін-1/2 октаедричний ланцюжок Гайзенберга з регулярно змінними мономерними спін-1 вузлами і спінами-1/2, розташованими на квадраті, демонструє надзвичайно комплексну фазову діаграму основного стану, яка включає однорідну і кластерну фази Голдейна, дві феримагнітні фази, дві квантові спінові рідини та дві кристалічні фази зв'язаних магнонів на додаток до повністю поляризованої феромагнітної фази. Стани з найнижчою енергією у випадку сильної конкуренції взаємодій належать до плоских зон. Як наслідок, низькотемпературну термодинаміку поблизу основних станів магнонних кристалів можна задовільно описати в межах підходу локалізованих магнонів. Розмаїття квантових основних станів призводить до різних типів кривих намагніченості при нульових температурах, які можуть включати до чотирьох проміжних плато при нулі, 1/6, 1/3, 1/2 від намагніченості насичення, а також два плато невеликого розміру при 1/12 та 1/9 намагніченості насичення, які відповідають фрагментованим кластерним фазам Голдейна.

Найяскравіший результат для квантових основних станів стосується трьох кластерних фаз Голдейна, які з'являються при збільшенні періоду магнітної комірки через спонтанне порушення трансляційної симетрії [Phys. Rev. B, **100**, 094405, (2019)]. Кластерні фази Голдейна складаються з набору скінченних спінових кластерів у триплетному стані, які можна ефективно описати як відкриті спін-1 ланцюжки Гайзенберга з непарним числом спінів відокремленими один від одного немагнітним синглет-плакетним станом. Кластерні фази Голдейна є предметом сучасних досліджень у напрямку квантової обробки інформації та

квантових обчислень, оскільки їхні реалізації можуть призвести до створення топологічно захищених симетрією крайових станів.

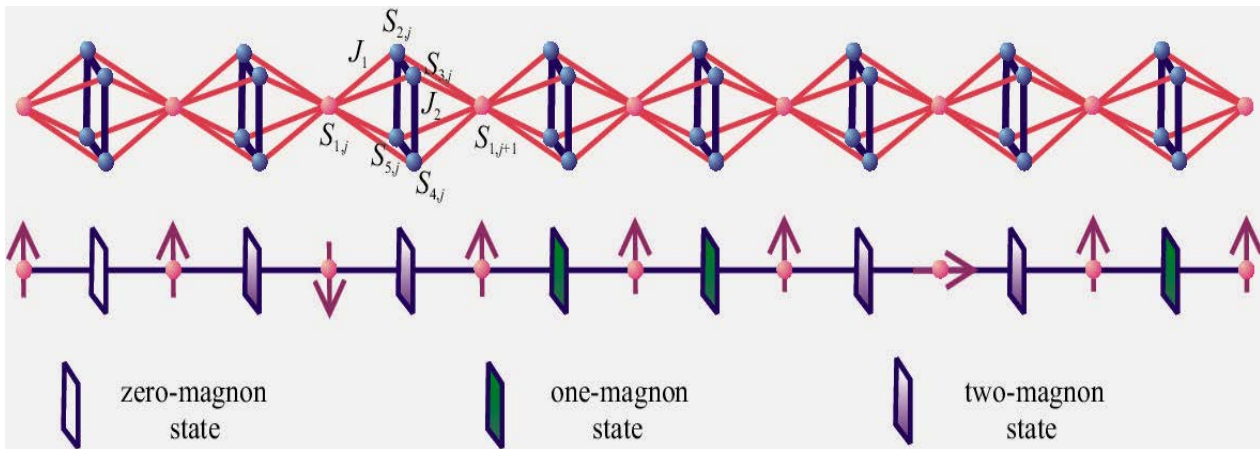


Рис. 3.13. Схематичне зображення змішаного спін-1 і спін-1/2 октаедричного ланцюжка Гайзенберга і еквівалентної моделі двокомпонентного граткового газу для локалізованих магنونів у випадку $J_2/J_1 > 3$. Чорні (зелені) та затінені (фіолетові) паралелограми позначають одно- та дво-магنونні стани на квадратних плакетках, порожні (білі) паралелограми відповідають повністю поляризованим (нуль-магنونним) станам.

(Т. М. Верхоляк, ІФКС НАНУ; K. Karl'ová, J. Strečka, UPJS, Kosice, Slovakia)

Сильнокорельовані плоскостонні системи з локалізованими магнітними станами є предметом сучасних інтенсивних досліджень, оскільки магнітні збудження в них можуть бути використані як носії інформації з особливостями нанорозмірної довжини хвилі і високої частоти. Вперше проведені експериментальні раманівські (Рис. 3.14.) і теоретичні (Рис. 3.15.) дослідження антиферромагнетика $\text{Fe}_2\text{O}(\text{SeO}_3)$ [V. P. Gnezdilov, *et al.*, Phys. Rev. B, **99**, 0644123 (1-9), (2019)], який є новою реалізацією пилкоподібної ланцюжкової системи та гомометалічного оксиборату Mn_2OBO_3 [V. Gnezdilov, *et al.*, ФНТ, **45**, No. 9, 1223–1230, (2019)], в якому реалізується одновимірна стрічкова магнітна структура. В обох сполуках крім аномалій в температурній поведінці оптичних фононів, спостережено збудження, що пов'язані з далеким магнітним порядком. Вони були ідентифіковані як двохмагنونні збудження, спричинені специфічною формою одномагنونного спектру пилкоподібної/стрічкової магнітної структури, що містить набір гілок високоенергетичних та низькоенергетичних спінових хвиль з майже відсутньою просторовою дисперсією. Мінімальний набір констант обмінного зв'язку був оцінений на основі даних раманівських експериментів та результатів лінійних спін-хвильових обчислень. Отримані результати досліджень можуть бути важливими для створення функціональних матеріалів для сучасних пристроїв спінтроники і магنونіки.

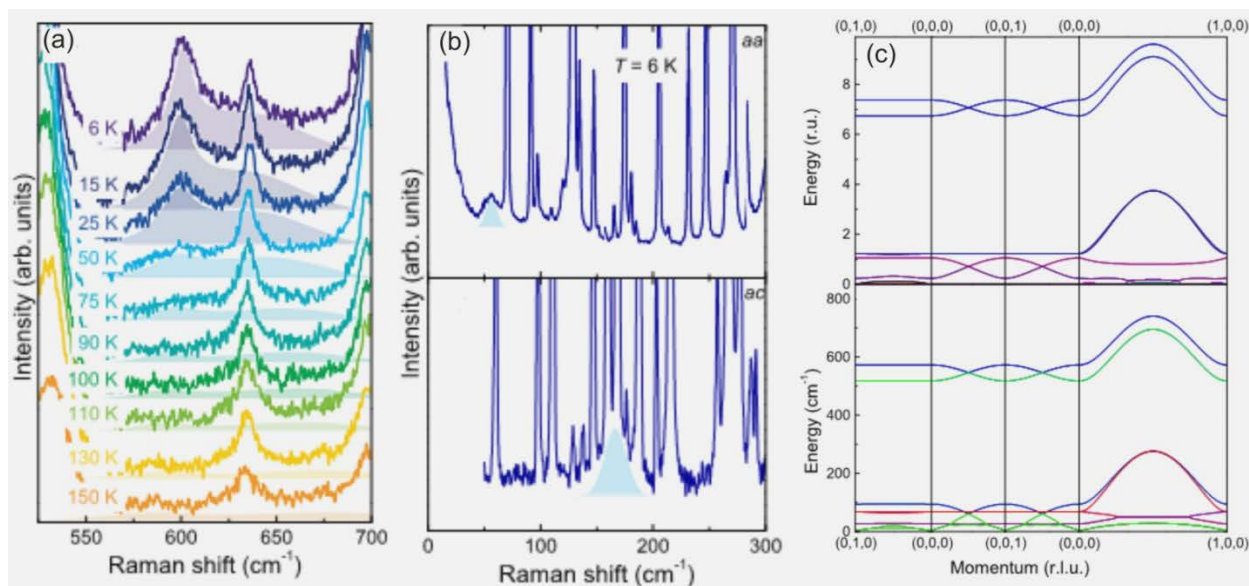


Рис. 3.14. Двохмагнонні збудження (затінені ділянки) в раманівських спектрах $\text{Fe}_2\text{O}(\text{SeO}_3)_2$ високоенергетичні (а) та низькоенергетичні недиспергуючі магнонні гілки (б). (с) Розрахована спин-хвильова дисперсія в $\text{Fe}_2\text{O}(\text{SeO}_3)_2$.

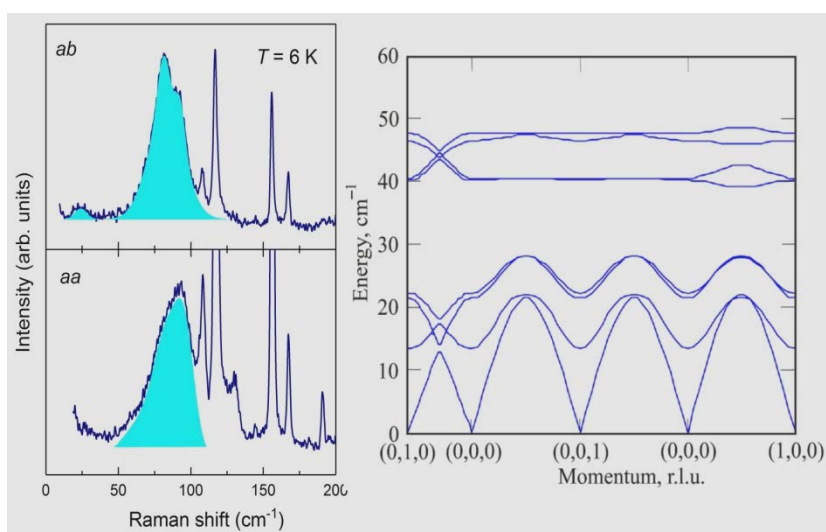


Рис. 3.15. Двохмагнонні збудження (затінені ділянки) в раманівських спектрах Mn_2OBO_3 (а). Розрахована спин-хвильова дисперсія в Mn_2OBO_3 (б).

(В. П. Гнезділов, В. С. Курносов, ФТІНТ НАНУ; Ю. Г. Пашкевич, А. В. Журавлев, ДонФТІ НАНУ; D. Wulferding, P. Lemmens, D. Menxel, ІРКМ TU Braunschweig; К. С. Козлякова, А. Ю. Ахроров, К. С. Кузнецова, П. С. Бердоносів, В. О. Долгіх, О. С. Волкова, О. М. Васілієв, МДУ; Н. В. Козак, Ю. В. Князев, С. Г. Овчинников, ІФ СВ РАН)

Інтерес до магнітних властивостей кристалів сімейства MnPS_3 пов'язаний з особливостями його структури. Магнітні іони в ньому розташовані в площині шарів у вершинах гексагональної ґратки, що нагадує бджолині стільники, Монокристал MnPS_3 має яскраво виражені незвичні квазі-двохвимірні кристалічні і магнітні властивості. Спектри

раманівського розсіювання в монокристалі MnPS_3 були досліджені вперше при низьких температурах [ФНТ, **45**, № 10, 1268-1279, (2019)]. Дослідження були проведені в діапазоні частот від 5 до 1200 cm^{-1} та в області температур від 5 до 295 К. На Рис. 3.16. а) представлені результати, які ілюструють поведінку поляризованих спектрів MnPS_3 у магнітовпорядкованій фазі та їх температурну еволюцію в околі температури Нееля $T_N = 78 \text{ K}$. Виявлено енергетичне розщеплення деяких коливальних смуг, що відповідають A_g і B_g модам, які раніш вважались енергетично еквівалентними в кристалах цього сімейства. Коливальні властивості кристала MnPS_3 розраховувалися з урахуванням наближення LDA з дисперсійною корекцією DFT-D (OBS), реалізованими в пакеті CASTEP. Отримані результати розрахунків добре корелюють з експериментальними спектрами. Встановлено, що при низьких температурах спектр магнітного розсіювання має складну форму, яка пов'язана з присутністю як двохмагнної ($\sim 177 \text{ cm}^{-1}$), так і фонон-магнної полоси ($\sim 156 \text{ cm}^{-1}$) (Рис. 3.16. б). Наявність останньої витікає з аналізу розрахунків дисперсійних кривих фононних гілок.

При переході в магнітовпорядкований стан в монокристалі MnPS_3 виявлено зміщення частот коливальних мод в області 116 і 155 cm^{-1} (Рис. 3.16. с), яке вказує на сильну взаємодію фононної і магнітної підсистем. Для кристалів зазначеного сімейства подібне зміщення частот раніше не спостерігалось. Згідно з проведеними розрахунками, іони марганцю беруть участь в обох коливальних модах $116,5$ та $151,6 \text{ cm}^{-1}$.

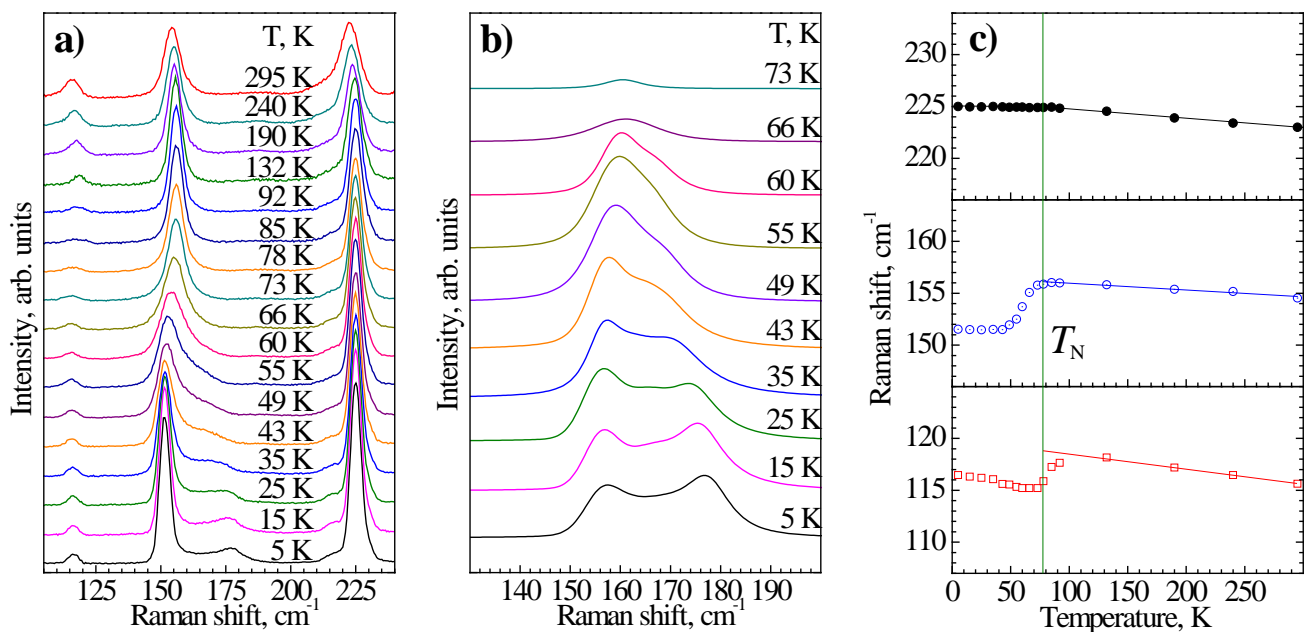


Рис. 3.16. Температурні залежності: а) раманівських спектрів, б) виділений із спектрів вклад магнітного розсіювання, с) частот фононних мод: \square – 16.5 , \circ – 151.6 , \bullet – 225.0 cm^{-1}

(О. В. Песчанський, С. Л. Гнатченко, ФТІНТ НАНУ; Т. Я. Бабука, К. Є. Глухов, Ю. М. Височанський, НДІ ФХТТ, УжНУ; М. Маковська-Янусік, Інститут фізики, університет ім. Яна Дуглоша в Ченстохові)

Проведено температурні та магнітопольові дослідження спектрів оптичного поглинання антиферромагнітного фероборату неодиму $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$. В сімействі рідкісноземельних тригональних фероборатів цей кристал представляє інтерес завдяки гігантському квадратичному магнітоелектричному ефекту, а також його нетривіальним магнітним властивостям. Магнітна структура кристалу $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$ має легкоплощинний характер при температурах нижчих за $T_N = 32$ К та спонтанно трансформується від колінеарної до спіральної фазовим переходом I роду при $T_C = 13.5$ К. В зовнішньому магнітному полі $H_C \approx 9$ кЕ, що спрямовано в базисній площині, спіральна структура руйнується і перетворюється в пласку спін-флоп подібну ($\mathbf{L} \perp C_3, \mathbf{L} \perp \mathbf{H}$).

Вперше виявлено та ідентифіковано всі оптичні переходи з основного крамерсового дублету $^4I_{9/2}$ на підрівні мультиплету $^2H_{11/2}$ іону Nd^{3+} . Встановлено, що поляризаційні правила спостереження смуг поглинання повністю сумісні з теоретичним передбаченням. Визначено величини розщеплення збуджених станів Nd^{3+} , що спричинені дією обмінного ефективного поля підсистеми Fe^{3+} при магнітному впорядкуванні.

В магнітопольових залежностях спектрів поглинання кристалу в області переходу $^4I_{9/2} \rightarrow ^2H_{11/2}$, що досліджувались при температурі 2 К, виявлено ряд особливостей. Встановлено, що розщеплення крамерсових дублетів симетрії Γ_4 як в полях, спрямованих вздовж осі C_3 , так і в базисній площині, добре описуються в припущенні колінеарності ефективного обмінного поля і магнітних моментів заліза (Рис. 3.17. а). Навпаки, для опису розщеплення в зовнішньому магнітному полі станів симетрії $\Gamma_{5,6}$ (Рис. 3.17. б) потрібно ввести складові обмінного поля вздовж осі C_3 . Це може бути пов'язано з дією анізотропії обмінної взаємодії неодиму з підсистемою заліза, що проявляє себе лише для збуджених станів даної симетрії. Отримано значення g-факторів усіх станів мультиплету $^2H_{11/2}$ неодиму.

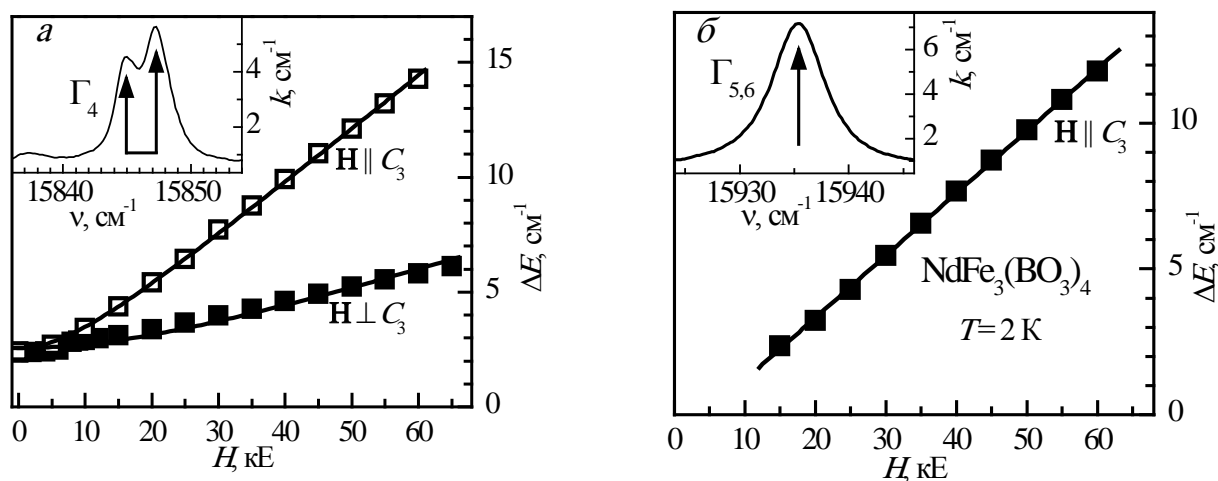


Рис. 3.17. Залежності величин розщеплення дублетів Nd^{3+} симетрії Γ_4 (а) та $\Gamma_{5,6}$ (б) в спектрі $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$ від напруженості магнітного поля. Лінії відповідають апроксимації в рамках моделі ізотропної обмінної Fe-Nd взаємодії (а) в припущенні анізотропного обміну (б). На вставках приведені відповідні фрагменти спектру при $H = 0$.

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

Вперше доведено, що термічна обробка метастабільних перовскітів на основі фериту вісмуту $\text{BiFe}_{1-y}\text{Sc}_y\text{O}_3$ ($y = 0.1 - 0.8$), які синтезовано в умовах високого тиску, призводить до незворотних структурних переходів між різними метастабільними фазами і отриманню нових магнітних фаз, які не можуть бути отримані традиційним синтезом. Виявлене явище, назване «конверсійний поліморфізм», дозволяє отримати ці перовскіти в різних модифікаціях, поліморфах, що відрізняються структурою і властивостями, в умовах навколишнього середовища. Такі поліморфи представляють собою нові фероелектричні і антифероелектричні перовскітні структури з новими цікавими магнітними властивостями. Так, сполука $\text{BiFe}_{0.7}\text{Sc}_{0.3}\text{O}_3$ після синтезу в умовах високого тиску має орторомбічну кристалічну структуру, але після термообробки необоротно переходить в полярну модифікацію з ромбоєдричною структурою $R3c$, аналогічну структурі нелегованого фериту вісмуту BiFeO_3 , який є одним з найвідоміших мультифероїків і має циклоїдальну магнітну структуру. Але магнітний стан $\text{BiFe}_{0.7}\text{Sc}_{0.3}\text{O}_3$ різко відрізняється від базової сполуки BiFeO_3 : нижче температури магнітного фазового переходу $T_m \sim 230$ К сполука є колінеарним антиферомагнетиком, в якому заборонено антисиметричний обмін, і скіс спинів не виникає. Вище температури T_m сполука має неколінеарну магнітну структуру, аналогічну BiFeO_3 (Рис. 3.18.). Така структура виявлена вперше в сполуках на основі фериту вісмуту. Поблизу $y \sim 0.5$ перетворення метастабільних фаз відбуваються за допомогою двох незворотних фазових перетворень: $Pnma \rightarrow R3c$ при нагріванні, який супроводжується $R3c \rightarrow Im2$ при охолодженні. Поліморф $Im2$ є рідкісний екземпляр скошеної фероелектричної слабо феромагнітної структури, і є новим мультифероїком. Явище конверсійного поліморфізму, ймовірно, є загальним для всіх матеріалів, які синтезовано в умовах високого тиску, і може бути використано для отримання матеріалів із заданими властивостями.

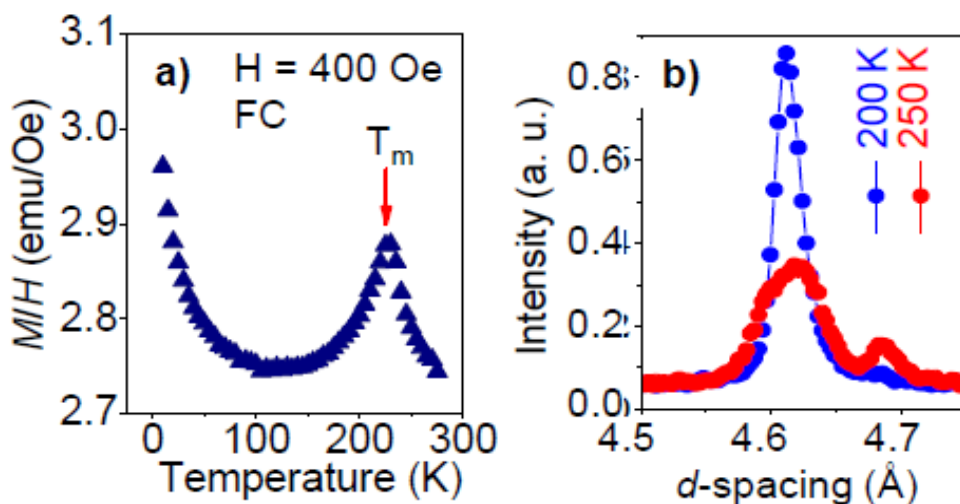


Рис. 3.18. а) Температурна залежність магнітної сприйнятливості конверсійно-стабілізованої полярної модифікації $\text{BiFe}_{0.7}\text{Sc}_{0.3}\text{O}_3$. б) Інтенсивність піків нейтронної дифракції, виміряних нижче і вище магнітного фазового переходу T_m .

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

Серед магнетоелектриків із сімейства антиферомагнітних кристалів олівінів 3d-перехідних елементів кристал LiNiPO_4 видається унікальним завдяки великій кількості виявлених в ньому магнітних фаз, наявності ультра-слабкого феромагнетизму, існуванню спонтанної антиферомагнітної неспівмірної фази і перспективою використання олівіну нікелю як катодного матеріалу для високовольтних електричних акумуляторів.

Нами досліджувались температурні і магнітопольові залежності намагніченості, магнітного обертального моменту та теплоємності кристала LiNiPO_4 для різних орієнтацій магнітного поля [Phys. Rev. B, **99**, 214440, (2019)]. В результаті досліджень, виявлено неочікувані властивості. Серед них – нова теплова аномалія, що супроводжує фазове перетворення від неспівмірної до співмірної антиферомагнітної фази, що має вигляд розщеплення характерної для фазових переходів 1-го роду аномалії теплоємності (Рис. 3.19. (a)). Ця властивість вказує на існування в надзвичайно вузькому температурному інтервалі (меншому за 0,1 К) спонтанної фази, структура якої невідома. Нова лінія фазових переходів показана на Рис. 3.19. (b).

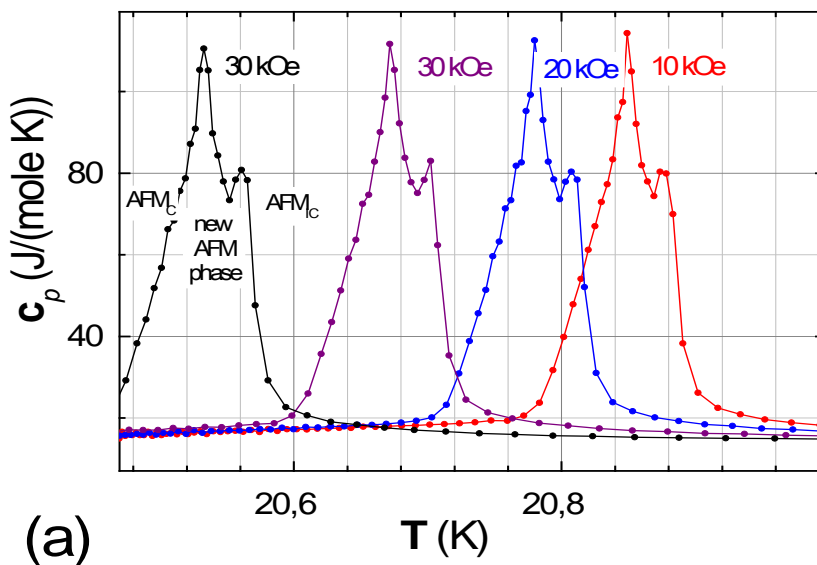
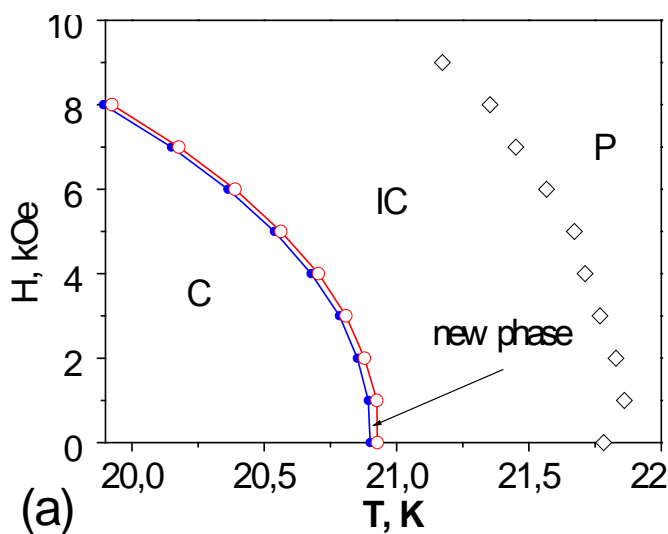


Рис. 3.19. Розщеплені температурні аномалії теплоємності при фазових переходах неспівмірна-співмірна антиферомагнітна фаза (T_{IC-C}) (a),



(b) – нова лінія фазових переходів (червоний колір) на магнітній фазовій (H - T) діаграмі кристала LiNiPO_4 в полі $H||c$

Характерно, що на температурну відстань між лініями переходів магнітне поле не впливає, а обидва переходи залишаються бути жорстко пов'язаними. Не виключено, що крім вже відомого очевидного магнітного переходу співмірна – неспівмірна фаза (T_{C-IC}) в кристалі відбувається структурний перехід, що супроводжується утворенням слабкої фероелектричної фази. Існування такої фази дозволило б пояснити природу виникнення ультра слабкого феромагнетизму в кристалі.

Виходячи з аналізу кутових залежностей магнітного обертового моменту та намагніченості, було зроблено висновок, що існують додаткові нелінійні компоненти недіагональної магнітної сприйнятливості, завдяки яким спрямоване під кутом до осі магнітне поле створює магнітний момент, що пропорційний квадрату перпендикулярної до цієї осі проекції магнітного поля.

(Ю. Харченко, ФТІНТ НАНУ; S. Lewińska, A. Szewczyk, M. U. Gutowska, J. Wieckowski, R. Puzniak, R. Diduszko, A. Reszka, and B.J. Kowalski, Institute of Physics PAS, Poland; J. Molenda, AGH University of Science and Technology, Poland)

Парамагнітний кристал $\text{ErAl}_3(\text{BO}_3)_4$ (група $R32$) демонструє великий магнетоелектричний ефект і високу магнітну анізотропію. Основний стан іона Er^{3+} - крамерсовий дублет, перший збуджений стан відокремлений від основного на 66 К. Тому можна було очікувати, що при низьких температурах у спектрі ЕПР буде спостерігатися одна лінія, спричинена переходами між зеємановими компонентами найнижчого дублету. Але було виявлено, що у спектрах ЕПР при 4,2 К при слабкому (від 2 до 8°) відхиленні зовнішнього магнітного поля \mathbf{H} від осі c спостерігається триплетна структура (Рис. 3.17.) [ФНТ, 45, № 9, 1217-1222, (2019)], з початковим розщепленням бокових ліній $\Delta_{1c} \approx 4.5$ ГГц. Крім того, було виявлено ще одну слабку лінію (вставка на Рис. 3.20.)

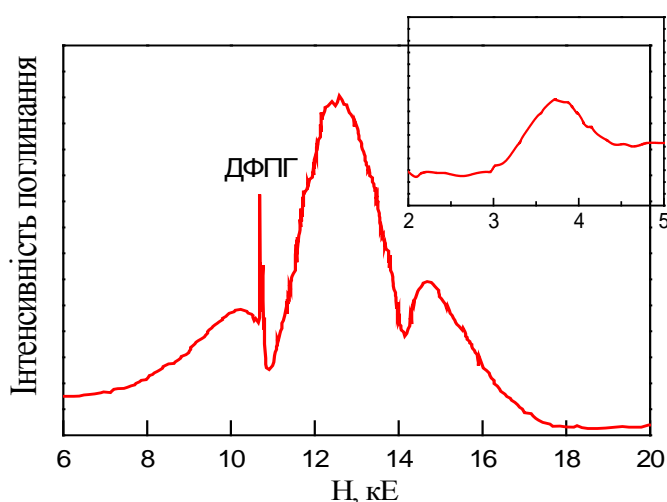


Рис. 3.20. Триплетна структура у спектрі поглинання ЕПР монокристалу $\text{ErAl}_3(\text{BO}_3)_4$. Частота вимірювань 29,87 ГГц, температура 4,2 К. Магнітне поле \mathbf{H} відхилено від тригональної кристалографічної осі c у площині ac на 2°. На вставці в збільшеному масштабі інтенсивності показано додаткову слабку лінію спектру.

Ця лінія має g -фактор ($g_{2c} = 3.4$, $g_{2a} = 19.6$), вдвоє більший за g -фактор смуг триплета ($g_{1c} = 1.6$, $g_{1a} = 9.5$) та більше початкове енергетичне розщеплення ($\Delta_{2c} \approx 7$ ГГц, $\Delta_{2a} \approx 20$ ГГц). Поява додаткових ліній пояснюється впливом спин-спінової взаємодії між іонами ербію. Відповідні ефективні поля можуть бути спрямовані вздовж чи проти \mathbf{H} , що й призводить до

появи бокових ліній. Спін-спінова взаємодія також знімає заборону на значно менш ймовірні переходи з правилом відбору $\Delta M_j^z \pm 2$, які є причиною появи слабкої лінії.

Підтвердженням існування помітної спін-спінової взаємодії між іонами Er^{3+} є відхилення виміреної теплоємності $C_{exp}(T)$ від граткової теплоємності C_{ph} при низьких температурах (Рис. 3.21.), що вказує на присутність суттєвого магнітного вкладу $C_m = C_{exp} - C_{ph}$, спричиненого появою спінових кореляцій.

У рамках моделі, яка враховує взаємодію іонів ербію у парних кластерах, отримано значення констант взаємодії: $J_c = 0.1$ К, $J_a = -0.86$ К, та $J_b = -0.23$ К, які добре відповідають величинам енергетичних щілин та залежності $C_m(T)$.

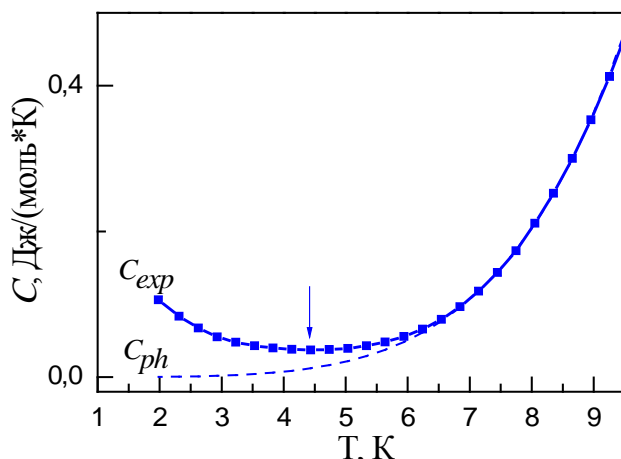


Рис. 3.21. Температурна залежність питомої теплоємності C_{exp} кристалу $\text{ErAl}_3(\text{VO}_3)_4$ при $\mathbf{H}=0$ (суцільна лінія). Переривчастою лінією показано гратковий вклад в теплоємність C_{ph} .

Таким чином, результати низькотемпературних спектральних та калориметричних досліджень $\text{ErAl}_3(\text{VO}_3)_4$ свідчать про формування в ньому близького магнітного порядку при гелієвих температурах.

(В. А. Бедарєв, Д. М. Меренков, М. І. Кобець, А. А. Звягін, С. Л. Гнатченко, С. М. Попережай, ФТІНТ НАНУ; Т. Заярнюк, Т. Васевич, М.-У. Гутовська, А. Шевчик, ІФ ПАН, Варшава)

Багатошарові металічні наноплівки, які широко використовуються в різних областях інформаційно-сенсорної технології, продовжують залишатися актуальними об'єктами для наукового вивчення. Нами досліджувався вплив товщини магнето-неактивних шарів металу на магнітні властивості, магнето-оптичний ефект Фарадея та на морфологію поверхні багатошарових плівок $[\text{Co}(0.8 \text{ nm})/\text{Cu}(d_{\text{Cu}})(111)]_{20}$. Величини обертання Фарадея, які були отримані для плівок при однаковій напруженості магнітного поля, показані на Рис. 3.22. Було виявлено монотонне збільшення величини ефекту при збільшенні товщини міді та суттєве зменшення ефекту в околі товщин шарів міді $d_{\text{Cu}} = 1,0$ та $1,8$ нм. При цих товщинах між шарами Со виникає антиферромагнітна обмінна взаємодія завдяки електронам провідності в шарах міді. Були визначені коефіцієнти пропорційності між кутами повороту площини поляризації світла, напруженістю магнітного поля і намагніченістю кобальтових шарів (Рис. 3.23.). Зроблено висновок, що спостережуване збільшення ефекту Фарадея зі збільшенням товщини шару міді у багатошарових плівках $[\text{Co}/\text{Cu}]_{20}$ пов'язане з багатократним відбиванням світла від інтерфейсів Co/Cu і спричинене залежністю

інтенсивності відбитого світла від товщини магнітооптично неактивних наночарів Cu. Провали на залежностях пов'язуються із впливом просторового електронного квантування в мідних шарах на фрагментацію шарів кобальту в процесі їх осадження, завдяки чому збільшується кількість суперпарамагнітних кластерів, які дають малий внесок в ефект Фарадея при кімнатних температурах в магнітному полі до 16 кЕ.

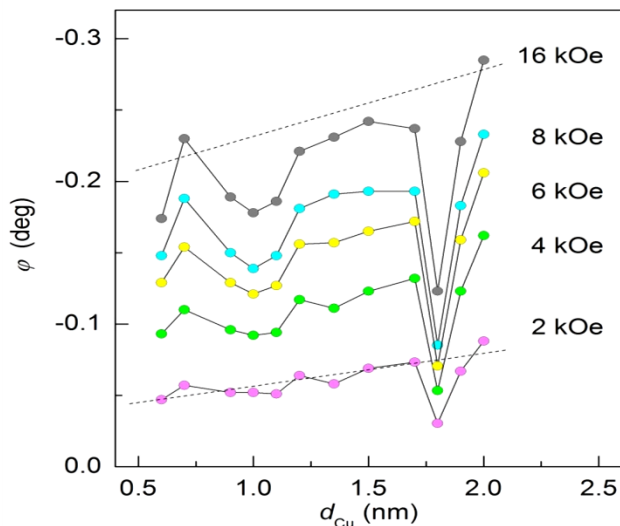


Рис. 3.22. Ефект Фарадея в плівках [Co / Cu (d_{Cu})]₂₀ при різній напруженості магнітного поля в залежності від товщини шарів Cu. Пунктирні лінії вказують на монотонне зростання кутів обертання Фарадея із збільшенням товщини шарів міді.

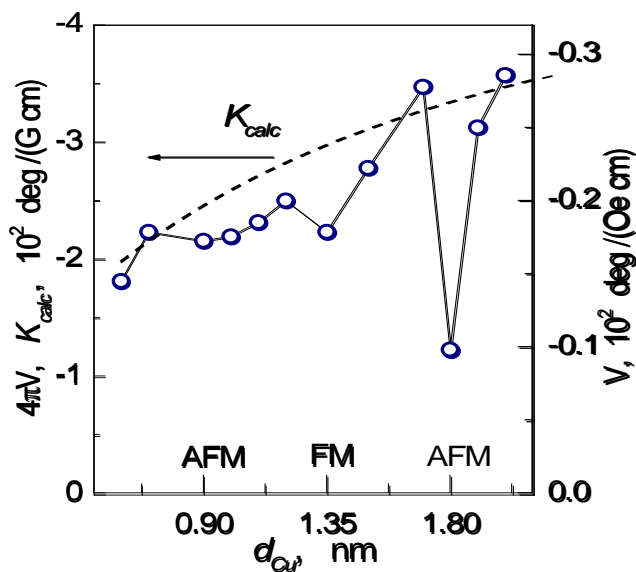


Рис. 3.23. Залежність коефіцієнта $V = \varphi/H$ (права шкала), визначеного в інтервалі слабких полів, де існує лінійна залежність $\varphi(H)$, та $K_{exp} = 4\pi V$ (ліва шкала) від товщини шарів міді (d_{Cu}) (точки). Пунктиром показано залежність коефіцієнта Кундта $K_{calc} = \varphi/M$, обчисленого з врахуванням багатократного відбиття світла від інтерфейсів Co/Cu. На горизонтальній шкалі вказано товщини шарів міді, при яких існує антиферомагнітна (AFM) та феромагнітна (FM) взаємодія між шарами кобальту.

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

Чутливість до зовнішнього магнітного поля пружних аномалій у рідкісноземельних подвійних молібдатах, що містять іони диспрозію та ербію ($KDy(\text{MoO}_4)_2$ та $KEr(\text{MoO}_4)_2$), є їх унікальною властивістю. У цих сполуках в магнітно неупорядкованій фазі вдається керувати властивостями структур за допомогою зовнішніх магнітних полів. Відомо, що магнітне поле величиною до 5 Т змінює низькотемпературну ($T < T_c = 14$ К) кристалічну

структуру парамагнітного молібдату $\text{KDy}(\text{MoO}_4)_2$ на структуру, близьку до високотемпературної. Іони $\text{Er}^{3+}(^4\text{I}_{15/2})$, як і іони $\text{Dy}^{3+}(^6\text{H}_{15/2})$, мають розвинену електронну структуру в околі основного стану, яка відрізняється для обох кристалів, але їх низькочастотний фононний спектр має однаковий механізм формування. Вивчення ефекту магнетоеластичності потребує детальних відомостей про поведінку у зовнішньому магнітному полі до 30 Тл електронних збуджень, близьких до основного стану, та їх взаємодії з фононною підсистемою.

На базі ДІЧ спектрів пропускання, що спостерігались при температурі $T = 1,4 \text{ К}$ в геометрії $\mathbf{H} \parallel b$, $\mathbf{k} \parallel b$ та в поляризаціях $\mathbf{E} \parallel a$ та $\mathbf{E} \parallel c$, побудовано частотно-польові залежності низькочастотних збуджень в магнетоеластичу $\text{KEr}(\text{MoO}_4)_2$. В цьому кристалі характерні фононні збудження близькі за енергіями до електронних (на Рис. 3.24. енергія фононів показана пунктиром, а електронні (1...5), та фононні (*ph*) збудження позначені квадратами та кружками, відповідно). Стрілкою на малюнку показано магнітне поле величиною $H = 15 \text{ Т}$, в якому змінюється основний стан іону Er^{3+} . Ця аномалія поведінки збуджень визначена вперше, і її можна вважати відображенням фазового переходу у зовнішньому магнітному полі в кристалі $\text{KEr}(\text{MoO}_4)_2$. В залежності від магнітного поля для лінії 2, що відповідає переходам між земанівськими компонентами основного та першого збудженого рівня, а також для лінії 4, що відповідає переходам з основного на другий збуджений рівень, має місце характерне «розштовхування» для двох взаємодіючих в дворівневій системі станів. Наявність області «розштовхування» електронних збуджень в околі фононного свідчить про залежність взаємодії між модами 1, 2 та 4 від пружних констант, пов'язаних із зміщеннями довгохвильових фононів.

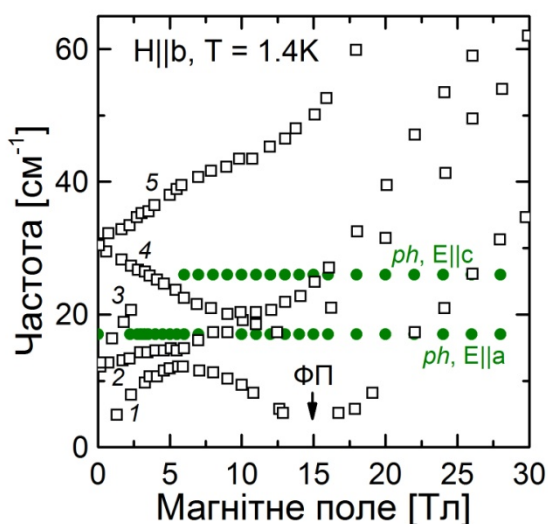


Рис. 3.24. Частотно-польова залежність низькочастотних збуджень в магнетоеластичу $\text{KEr}(\text{MoO}_4)_2$, отримана в ДІЧ діапазоні ($\mathbf{H} \parallel b$, $\mathbf{k} \parallel b$, $T = 1,4 \text{ К}$). Криві 1, 2, 3, 4, 5 – енергії електронних переходів, *ph* – фононні збудження. Стрілкою показано магнітне поле, при якому змінюється основний стан іону Er^{3+} .

(Н.М. Нестеренко, Х. В. Кутько, ФТІНТ НАНУ; Д. Каменський, В. Bernáth High Field Magnet Laboratory (HFML–EMFL); The Netherlands, Experimental Physics V, Center for Electronic Correlations and Magnetism, Institute of Physics, University of Augsburg, Germany)

Мета досліджень полягала в вивченні методом електронного парамагнітного резонансу (ЕПР) магнітного стану біооб'єкту *Pleurotus Ostreatus* (глива) з доданими до нього

наночастками магнетиту (Fe_3O_4). Актуальність досліджень та прикладна значимість полягає в пошуку ефективних біосорбентів шкідливих речовин-важких металів, з яких можна згодом витягувати такі важкі метали.

Відомо, що серед природних біосорбентів найкращими є гриби типу гливи. Тому, для пошуку найбільш ефективних біосорбентів потрібно ретельне вивчення магнітного стану даних біооб'єктів. В ході досліджень з використанням методу електронного спінового резонансу (ЕСР) були зареєстровані спектри феромагнітного резонансу (ФМР) в X-діапазоні, при температурі $T = 300 - 4,2$ К. Форма і розмір магнітних кластерів, які утворюються наночастинками магнетиту, впровадженими в *Pleurotus Ostreatus*, були визначені на підставі феноменологічної моделі, розробленої авторами.

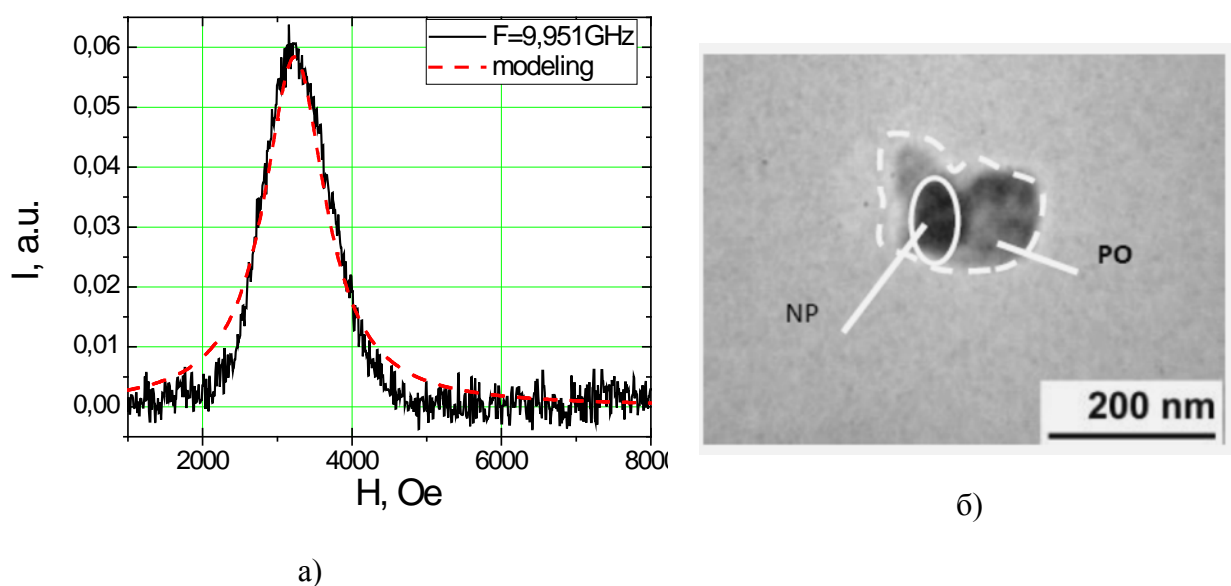


Рис. 3.25. а) типовий ФМР-спектр у порівнянні з промодельованим спектром, б) типове фото комплексів *Pleurotus Ostreatus* (позначка PO на фото) з магнітними наночастинками (позначка NP на фото) одержані за допомогою електронного мікроскопу.

Було також знайдено (Рис. 3.25.), що в кластері комплексу *Pleurotus Ostreatus*, який не має чіткої геометричної форми, магнітні наночастинки мають таку форму, що дуже добре може бути описано еліпсом. Цей висновок підтверджено порівнянням експериментального та розрахункового спектрів ФМР, що наведені на Рис. 3.25., а). Більш повні висновки ретельного дослідження даного біооб'єкту (що підготовлено до публікації) є такими:

1. Показано, що магнітні наночастинки магнетиту (Fe_3O_4) добре абсорбуються біооб'єктами *Pleurotus Ostreatus*;
2. Підтверджено формування структурних кластерів в досліджуваних об'єктах;
3. Припущення про формування магнітних кластерів еліпсоїдальної форми в зразку підтверджено за допомогою моделювання спектрів ФМР. Показано, що величини співвідношень осей еліпсоїда в кластерах становлять $c/a = 3/1$, $a = b = 1$.

(С. І. Тарапов, Т. В. Калмикова, А. С. Вакула, С. В. Недух, ІРЕ НАНУ; С. В. Горобець, О. Ю. Горобець, Ю. І. Горобець, М. О. Булаєвська, К. О. Гетьманенко, ІМФ НАНУ)

Гігантське магнітне поле (до 18 Т), що захоплюється об'ємними жорсткими надпровідниками, дозволяє використовувати їх в якості постійних магнітів. Захоплення потоку забезпечує гігантський критичний струм J_c . Він визначається градієнтом індукції B магнітного поля $J_c \sim dB/dx$, де x – координата, спрямована вглиб надпровідника. Запінігований крутий фронт індукції в матеріалі знаходиться в метастабільному стані. Він руйнується випадковими термічними або магнітними флуктуаціями, що миттєво ($\sim 10^{-3}$ сек) перетворюються в гігантську термомагнітну лавину входу або виходу магнітного потоку. У звичайних умовах внаслідок лавини спостерігається зменшення магнітного моменту, іноді практично до нуля.

Нами була вперше спостережена динамічна інверсія захопленого моменту внаслідок термомагнітної лавини в монокристалі $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (вставка на Рис. 3.26., стрибки 1 ($M_1 \rightarrow M_2$) та 2 ($M_3 \rightarrow M_4$)). Встановлено причину інверсії та побудовано модель-схему явища. В процесі намагнічування матеріалу в ньому виникають кругові надпровідні струми, що задають орієнтацію моменту (Рис. 3.27.a, магнітооптичне зображення розподілу захопленого потоку у випадку моменту M_1 ; струм - парамагнітного напрямку). Як було встановлено в експерименті раніше, кругові струми, що виникають локально в місті зародження лавини, завжди мають напрямок протилежний тим струмам, що підтримували вихідну намагніченість надпровідника (Рис. 3.27.b, у плямі виходу потоку струм має діамангнітний напрямок). Якщо лавинна динаміка потоку охоплює увесь об'єм надпровідника, то наведені лавиною струми створюють магнітний момент протилежного напрямку. Інверсія профілю індукції у надпровіднику внаслідок лавини зображена на Рис. 3.27.c. При використанні надпровідників в як постійних магнітів, це явище призводить до інверсії моменту і може створити проблеми у пристроях левітації, двигунах, де відштовхування полюсів може раптово змінитися на притяганням.

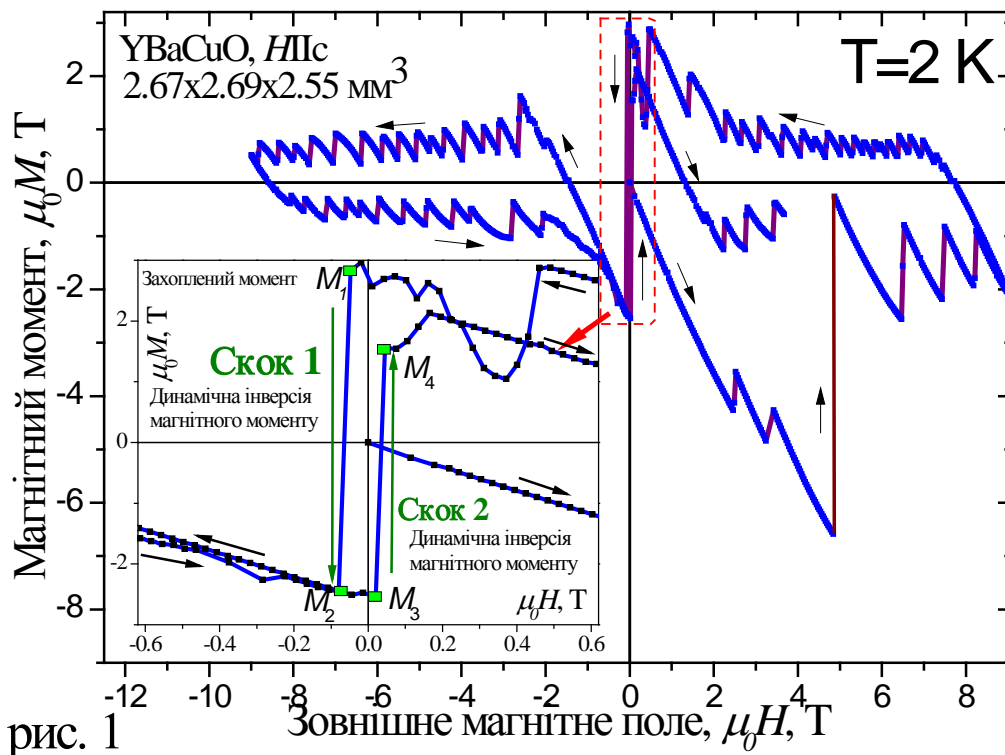


Рис. 3.26. Петля гістерезису $M(H)$; на вставці – ділянка петлі з інверсією M поблизу поля $H=0$.

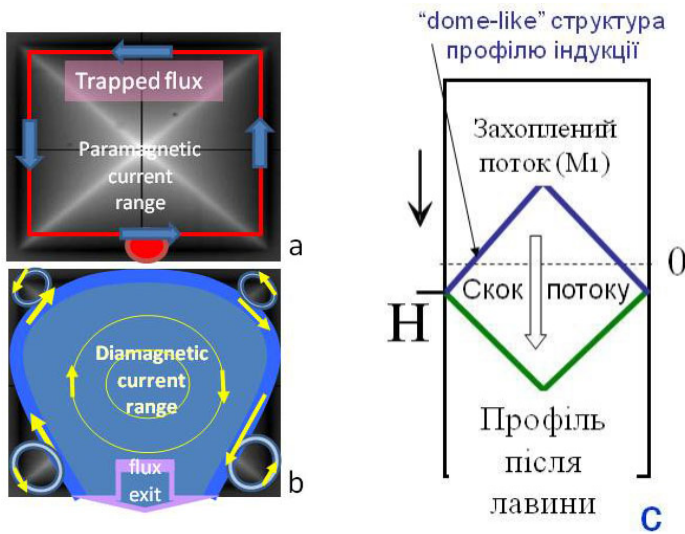


Рис. 3.27. (а)- магнітооптична картина розподілу захопленого потоку для моменту M_1 ; (b) – малюнок виходу потоку; с – інверсія профілю індукції.

(В. В. Чабаненко, О. І. Кучук, О. М. Чумак, ДонФТІ НАНУ; A. Nabiałek, R. Puźniak, IP PAS, Poland; F. Pérez-Rodríguez, Universidad Autónoma de Puebla, México)

Ферозонди – це сенсори, призначені для вимірювання слабких магнітних полів напруженістю $H \leq 10^{-4}$ Е. Такі поля створюються різними об'єктами та, наприклад, магнітними рудами. Тому ферозонди застосовуються в геологорозвідці. Вимірювані поля локалізовані у великому об'ємі. Для підвищення чутливості S до слабких полів розроблені ферозонди з осерддями на основі багат шарових плівок пермалоя з однією магнітною анізотропією. В осерддях у формі довгих прямокутних смужок вісь легкого намагнічування була направлена уздовж короткої сторони смужки. При малій коерцитивній силі шарів пермалоя така анізотропія забезпечувала виникнення доменної структури з намагніченістю в доменах уздовж короткої сторони або реалізацію монодоменого стану.

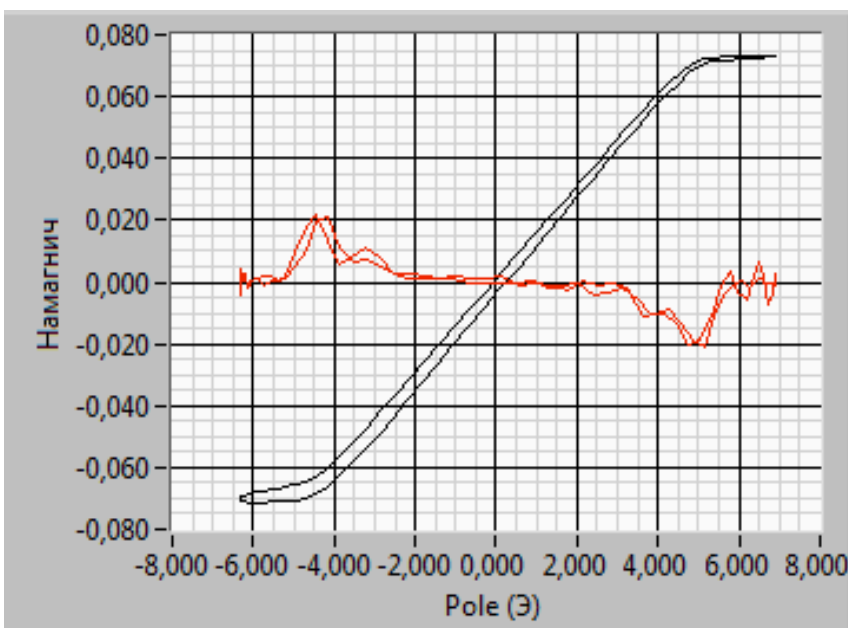


Рис. 3.28. Петля гістерезису намагніченості $M(H)$ (чорний колір) і друга похідна d^2M/dH^2 (червоний колір) для зразка пермалоя Ni-Fe (83-17)

Перемагнічування осердь полями збудження вздовж довгої сторони смужки відбувається за рахунок оборотних процесів обертання намагніченості та, як показали вимірювання, рівень магнітних шумів знижувався на 3 - 4 порядки. При цьому зростала чутливість ферозонда до малих полів на 2 - 3 порядки і досягала $\sim 10^{-7}$ Е. Оскільки при перемагнічуванні уздовж важкої вісі залежність намагніченості M від поля H близька до лінійної, то друга похідна $E \sim \partial^2 M / \partial H^2$ близька до нуля. Експериментально показано і обґрунтовано розрахунком, що великі значення сигналу E досягаються в полях, близьких до поля насичення, де виникає криволінійна ділянка на залежності $M(H)$ (см. Рис. 3.28.) Один із шляхів подальшого підвищення чутливості ферозонда – це вивчення впливу різних чинників на величину $\partial^2 M / \partial H^2$.

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

В різного роду дослідженнях матеріалів, зокрема, в дефектоскопії при неруйнівному контролі виробів, в мінералогії, археології, медицині, біології та при багатьох технологічних розробках існує потреба побудови зображень структури магнітного поля поблизу поверхні тонких плівок та різних малих об'єктів – магнітних включень у немагнітних матеріалах, потреба виявлення окремих магнітних мікро- та нанорозмірних частинок різного походження в медичних та біологічних дослідженнях. Для реєстрації слабкого магнітного поля таких об'єктів використовують детектори, що мають малі розміри та надвисоку чутливість.

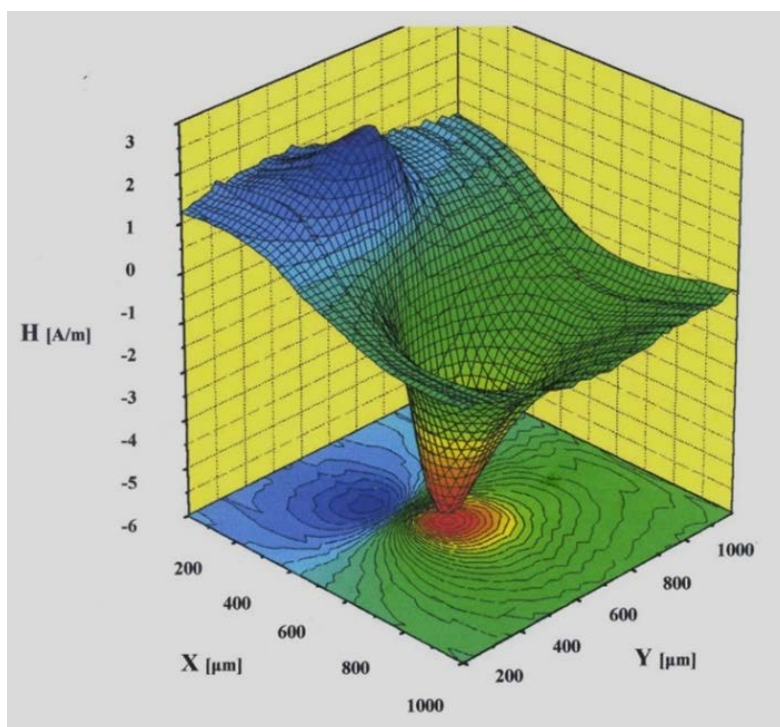


Рис. 3.29. Зображення розподілу вертикальної складової напруженості магнітного поля H над магнітною частинкою з розміром біля 100 мікрон.

Нами було розроблено двоканальний магнітний мікроскоп з надпровідним квантовим інтерференційним детектором з чутливістю 10^{-10} Ерстед на основі високотемпературного надпровідника з концентратором магнітного поля та з ферозондовим індукційним детектором, що мав чутливість близьку до 10^{-6} – 10^{-5} Ерстед. Ферозонд було виготовлено з багатошарової

плівки пермалою, його розміри складала декілька міліметрів. Він мав загострення на приймальному кінці, яке дозволило підвищити магнітну та просторову чутливість детектора. Магнітний детектор в мікроскопі залишався нерухомим, а зразок сканувався в двох напрямках. Розподіл величини однієї з компонент напруженості магнітного поля об'єкту відображався на екрані монітору комп'ютера. Просторова роздільна здатність мікроскопу залежала від магнітної чутливості детектора, форми та намагніченості об'єкту, і складала в експерименті біля одного мікрона. На Рис. 3.29. показано одержаний за допомоги магнітного мікроскопу просторовий розподіл вертикальної компоненти магнітного поля частинки фериту з розміром близько 100 мікрон на висоті декількох десятків мікрометрів. Значення напруженості магнітного поля вздовж вертикальної осі показана в А/м.

(С. І. Бондаренко, А. О. Шабло, П. П. Павлов, ФТІНТ НАНУ; А. Г. Равлик, Л. З. Лубяний, М. Є. Оверко, І. О. Чичибаба, НТУ ХПІ)

Секція «Електронні властивості твердих тіл»

У вуглецевих нанокompозитних матеріалах з вуглецевими частинками різного розміру та дисперсією виявлена стрибкова провідність з різною температурною залежністю. Використання для опису провідності моделей Шкловського-Ефроса та Мотта дало значення радіусу локалізації електронів, що беруть участь в провідності, які значно перевищують відстань між вуглецевими частинками, отримане в припущенні рівномірного розподілу часток в нанокompозиті. Спостережувані особливості провідності пояснені неоднорідністю розподілу вуглецевих частинок в композиті з утворенням скупчень, що підтверджено результатами дослідження комбінаційного розсіювання світла. В скупченнях носії де локалізовані і провідність їх квазіметалічна, в той час як перенос носіїв між цими областями відбувається за рахунок стрибків носіїв і середня відстань між ними перевищує радіус локалізації. Результати важливі при створенні на основі цих матеріалів різного типу сенсорів.

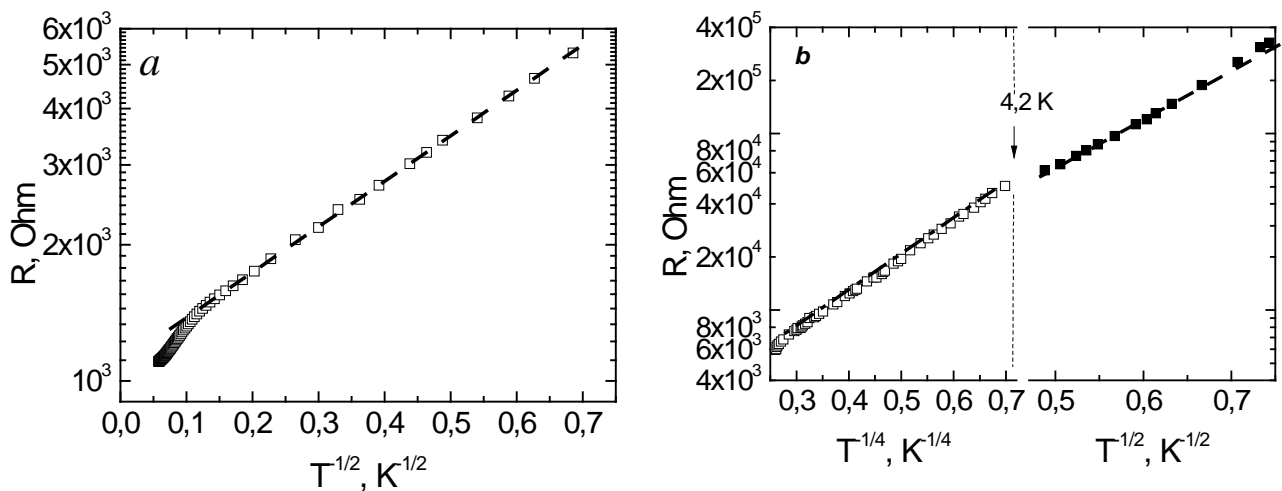


Рис. 4.1. Температурна залежність опору вуглецевих нанокompозитів різного типу в координатах закону Шкловського-Ефроса ($R \sim T^{-1/2}$) (a) і Мотта ($R \sim T^{-1/4}$) (b).

(В. В. Вайнберг, О. С. Пилипчук, В. М. Порошин, ІФ НАНУ)

Проведено дослідження магнітної динамічної сприйнятливості в інтервалі температур 2 ÷ 60 К, а також намагніченості до 6 Т при фіксованих температурах 2, 11, 18 та 50 К в $Du_{0.6}Y_{0.4}Rh_{3.85}Ru_{0.15}B_4$. Встановлено, що в цій сполуці з пониженням температури при 19 К має місце перехід в феромагнітний стан, а нижче 6,7 К з'являється надпровідність, яка співіснує з феромагнітним впорядкуванням у всьому доступному для наших вимірювань інтервалі температур (2 ÷ 6,7 К). З урахуванням результатів наших попередніх досліджень з мікроконтактної спектроскопії, висловлено припущення про наявність в $Du_{0.6}Y_{0.4}Rh_{3.85}Ru_{0.15}B_4$ триплетного механізму надпровідного спарювання (спарювання електронів провідності з паралельною орієнтацією спінів за допомогою спінових флуктуацій).

Таке надпровідне спарювання суттєво менш чутливе до магнітного впорядкування ніж традиційне електрон-фононне і може з ним співіснувати в широкому інтервалі температур.

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

При вивченні зразків що склалися з наночастинок гранульованого спин-поляризованого металу CrO_2 вкритих діелектричними оболонками експериментально встановлено, що:

- Величина опору тунельного контакту залежить в першу чергу від товщини діелектричного бар'єра і в меншій мірі від вибору матеріалу діелектричного покриття;
- Величина тунельного магнітоопору визначається в першу чергу спіновою поляризацією наночастинок CrO_2 і лише незначно залежить від товщини і типу діелектричної оболонки;
- Помітна різниця в величині опору тунельного контакту для двох зразків з однаковою діелектричної оболонкою приблизно рівної товщини означає, що якість покриття також має значний вплив.

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

Оглянуто, проаналізовано та систематизовано низку останніх одержаних результатів стосовно моделювання електронних і транспортних властивостей одно- та багат шарових графенових плівок, що знаходяться у деформаційному чи то зовнішньому магнетному полях і містять дефекти різного типу. З'ясовано, що деформації зсувом, одновісним розтягом і, особливо, їх комбінуванням, а також структурні недосконалості (точкові чи то лінійні дефекти у різних конфігураціях) можуть стати корисним засобом для підвищення рівня функціоналізації графенових шарів. Передусім, це стосується поліпшення їхніх електротранспортних властивостей шляхом регулювання ширини забороненої зони у спектрі, достатнього для перетворення графенової плівки із напівметалічного стану з відсутньою щільною у спектрі у напівпровідниковий стан із достатніми для використання в наноелектронних пристроях значеннями ширини забороненої зони, що за певних комбінацій різного типу деформацій можуть перевищувати її значення для тих матеріалів, які наразі є типовими для нанопристроїв.

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

Досліджено вплив деформаційного поля та зовнішнього магнетного поля на каталітичну активність графенової електроди з точковими дефектами (домішками). Перпендикулярне магнетне поле спричинює появу рівнів Ландау, які впливають на окиснювально-відновну реакцію в інтерфейсі між графеновою електродою і $[\text{Fe}(\text{CN})_{-6}]^{3-/4-}$. На розрахованих кривих енергетичної залежності швидкості прикатодної реакції $k_c(E)$ з'являється додатковий максимум завдяки найвищому (нульовому) рівню Ландау. Профілі розрахованих кривих демонструють, що при розтяганні графенового шару на 27,5% швидкість прикатодної реакції потроюється; а це — ознака того, що для неоднорідного перенесення

електронів розтягання графенової електроди у напрямку типу «крісло» є більш сприятливим за розтягання вздовж напрямку типу «зигзаг». За концентрації у графеновій електроді 0,1% домішок Кулонового типу відбувається підвищення стандартної константи швидкості реакції на один порядок.

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

З метою використання графенових шарів в оптоелектроніці й електрохімії проведено чисельні розрахунки електронних станів і електрохімічного відгуку для (не)деформованого та (без)дефектного графенового шару як потенційного (світлочутливого та фотохімічно активного) матеріалу для застосування у чутливих до барвників сонячних елементах. Ізотропне стиснення графенового шару спричинює згладжування кривої густини станів і пониження константи кінетики приелектродної реакції $k_c(E)$ при неоднорідному електронному перенесенні. Двовісне розтягання графенової ґратниці приводить до протилежного результату — збільшення k_c . Натомість розтягання графенового зразка вздовж кристалічної осі «крісельного» напрямку ускладнює криві залежності $k_c(E)$. При відносній деформації $\varepsilon < 20\%$ значення k_c схильне до зменшення через згладжування кривої густини станів поблизу рівня Фермі. Проте, вищі значення ε посилюють кінетичний процес гетерогенного електронного перенесення. При одновісному розтяганні до $\varepsilon = 10\%$ $k_c(E)$ понижується. Подальше збільшення ε збільшує швидкість реакції. А при значеннях ε понад 20% утворюється заборонена зона, яка знову понижує швидкість прикатодної реакції. Таким чином, найкращим чинником для поліпшення властивостей графенового шару для потреб електрохімії й оптоелектроніки є ізотропне розтягання. Натомість одновісне розтягання (незалежно від напрямку), магнетне поле та дефекти (особливо далекодіючі адсорбовані йони) погіршують електродні показники.

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

Розглянуто велике розмаїття фізичних властивостей MnBi , які включають сильну спінорбітальну взаємодію, аномальну температурну залежність коерцитивної сили та анізотропію магнітокристалічного поля, унікальні магнітооптичні властивості. Встановлено, що спінорбітальна взаємодія та сильне кулонівське міжелектронне відштовхування мають вирішальне значення для поверхні Фермі, циклотронних мас, магнітооптичних властивостей та рентгенівського магнітного циркулярного дихроїзму. Детально проаналізовано мікроскопічне походження унікальної магнітокристалічної анізотропії (МАЕ) та ефекту Керра у MnBi . Гігантський ефект Керра у MnBi викликано комбінацією великого магнітного моменту у марганці, великою спінорбітальною взаємодією у вісмуті та сильною гібридизацією між марганцевими 3d- та вісмутівими 6p-станами. Магнітооптичними активними станами є в основному 6p-стани Ві. Показано, що залежність магнітокристалічної анізотропії від температури, яка спостерігається, може бути пояснена з урахуванням спінорбітальної взаємодії разом з сильною кулонівською електрон-електронною взаємодією. Спінорбітальна взаємодія у Ві та обмінне розщеплення у Mn однаково відповідальні за велику магнітокристалічну анізотропію у MnBi . Обговорено виготовлення, морфологія та склад

низькотемпературних сплавів MnBi в об'ємі, тонких плітках та наночастинках. Розглянуто також нанокомпозитні матеріали MnBi з постійними магнітами на основі Co, Fe та Nd₂Fe₁₄B.

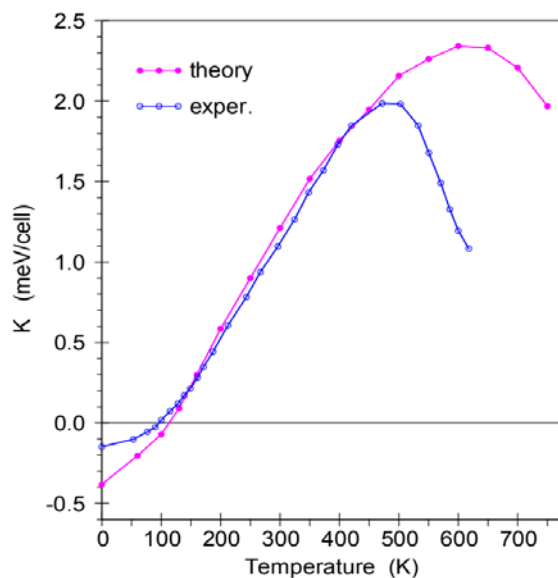


Рис. 4.2. Теоретично розрахована температура залежність MAE у MnBi порівняно з експериментом.

(В. М. Антонов, ІМФ НАНУ)

Відомо, що в сполуках RCoO₃ рівні повної енергії, що відповідають різним спіновим станам іонів Co³⁺ є близькими, що породжує явище спінового кросоверу під впливом зовнішніх факторів і різноманітність фізичних властивостей RCoO₃, найбільш виразних в сполуці LaCoO₃. Дослідження зміни спінового стану іонів Co³⁺ в LaCoO₃ під впливом температури та міжатомної відстані проведено вимірами магнітної сприйнятливості χ сполук La_{1-x}Pr_xCoO₃ в широкому інтервалі температур і гідростатичних тисків та під впливом хімічного стиснення кристалічної решітки при заміщенні іонів La³⁺ меншими за розміром іонами Pr³⁺. Отримані експериментальні дані проаналізовані в рамках дворівневої моделі з енергетичною щільною Δ між основним (немагнітним) і збудженим (магнітним) спіновими станами іонів Co³⁺, які відповідають значенням спину $S = 0$ та $S = 1$. У цій моделі особливості температурної залежності магнетизму іонів Co³⁺, який є домінуючим в сполуці LaCoO₃, обумовлюються індукованою температурою зміною заселення збудженого стану. В сполуках La_{1-x}Pr_xCoO₃ внесок іонів Co³⁺, $\chi_{Co}(T)$, визначався з використанням даних магнітної сприйнятливості сполук La_{1-x}Pr_xAlO₃ які не містять іонів кобальту і дозволяють належним чином врахувати помітний внесок в магнетизм іонів празеодиму. Наведені на Рис. 4.3. залежності $\chi_{Co}(T)$ в сполуках La_{1-x}Pr_xCoO₃ для різних значень x вказують на зміщення з ростом x характерного максимуму в $\chi_{Co}(T)$ до більш високих температур з одночасним зменшенням його висоти. Така поведінка дуже нагадує поведінку ізобаричних залежностей,

$\chi(T) \approx \chi_{\text{Co}}(T)$ в сполуці LaCoO_3 (см. Рис. 4.4.) і свідчить про кількісну схожість ефектів фізичного і хімічного тисків. Детальний аналіз даних експерименту показує, що значна величина ефекта тиску в магнетизмі досліджених кобальтитів пов'язана з аномально високою чутливістю спінової щільності Δ до варіацій об'єму решітки. Проведені теоретичні розрахунки електронної структури для базових сполук LaCoO_3 і PrCoO_3 підтверджують суттєве зростання енергії збудження Δ зі зменшенням об'єму решітки і свідчать на користь сценарію спінового кросоверу між станами іонів кобальту зі значенням спину $S=0$ та $S=1$.

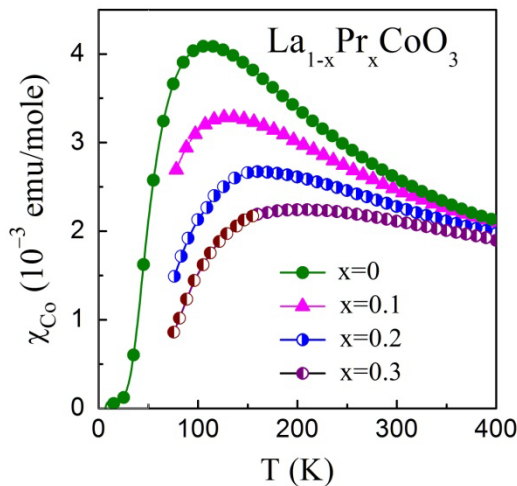


Рис. 4.3. Температурні залежності внеску $\chi_{\text{Co}}(T)$ в магнітну сприйнятливність сполук $\text{La}_{1-x}\text{Pr}_x\text{CoO}_3$.

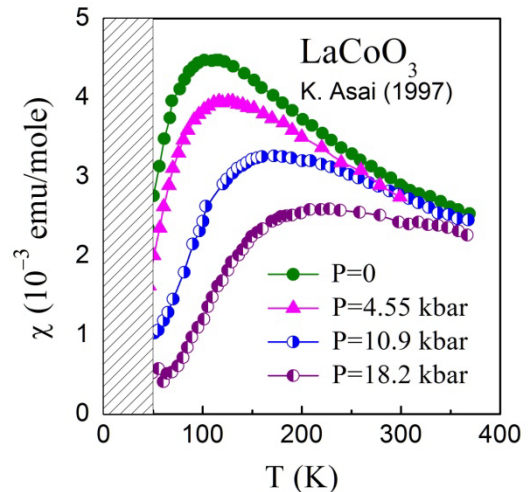


Рис. 4.4. Ізобаричні залежності $\chi(T)$ в LaCoO_3 з роботи К. Asai *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn **66** (1997).

(А. С.Панфілов, Г. Є.Гречнев, А. О.Легенька, В. О.Пашенко, ФТІНТ НАНУ)

Вейлівські напівметали (ВН) є перспективними матеріалами для реалізації в них топологічної надпровідності і формування на їх основі т.з. майоранівських станів (ферміонів), які позиціонуються як база для відмовостійких квантових обчислень і побудови квантового комп'ютера. Проте, відомі на даний час ВН мають надто низьку критичну температуру T_c або взагалі не є надпровідниками. В проведених дослідженнях ВН WTe_2 за допомогою мікроконтактів (МК) виявлено ознаки надпровідного стану (см. «SC» на Рис. 4.5.) з T_c біля 5 К, який може мати топологічну природу. Вперше методом МК спектроскопії також отримані спектри електрон-фононої взаємодії у WTe_2 (см. «phonon» на Рис. 4.5.). Відсутність інших збуджень на МК спектрах свідчить на користь класичного БКШ механізму спарювання в даній сполуці. Таким чином показано, що WTe_2 може бути платформою для дослідження топологічної надпровідності і привабливим для потенційних застосувань у квантовій електроніці.

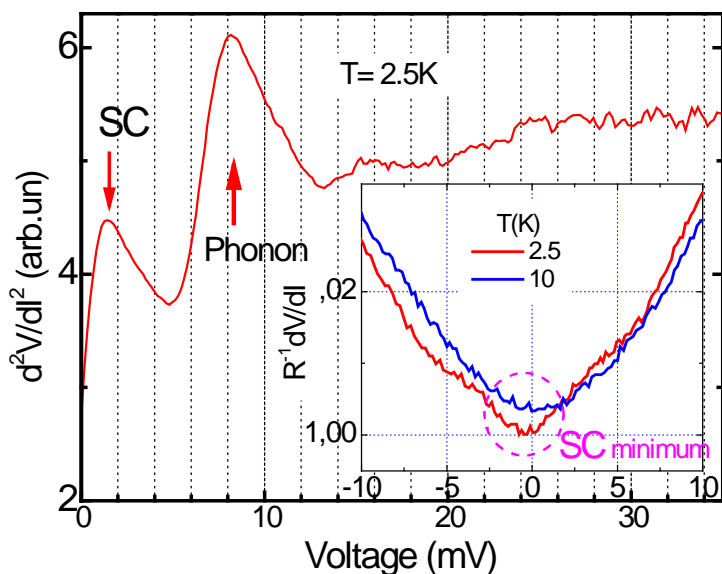


Рис. 4.5.

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

Відкрито новий фундаментальний механізм селективного детектування рідких та газових середовищ, який базується на вимірюванні квантованої провідності нанорозмірних дендритних точкових контактів. Він дозволяє за допомогою простого інструмента, що використовує властивості точкових контактів Янсона, реєструвати енергетичні характеристики квантової системи дендритних точкових контактів, які формуються під впливом зовнішнього середовища, та легко це середовище ідентифікувати. Це відкриває можливості для розробки нового покоління сенсорних приладів, здатних у режимі реального часу надійно ідентифікувати широкий спектр газів і рідин, зокрема, тих, що становлять небезпеку для людини.

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

Досліджено ефект вибухової емісії частинок з поверхні твердого аргону з домішками метану під дією електронного пучка та запропоновано його механізм. Показано, що екзотермічні реакції взаємодії продуктів радіолізу метану є стимулюючим фактором для затриманої вибухової емісії частинок у системі аргон-метан, яка є зручним модельним об'єктом для дослідження аналогічних процесів у твердому метані. Отримані результати є надзвичайно важливими з точки зору забезпечення безпечного безперервного функціонування модераторів нейтронів, що працюють на твердому метані.

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

Показано, що при тунелюванні спін-поляризованих електронів в молекулярному транзисторі у зовнішньому магнітному полі сильна електрон-віброна та електрон-електронна взаємодія зумовлюють особливості кривих струму. Методом матриці густини в теорії збурень за параметром відношення ширини рівня енергії на точці до температури (або тягнучої напруги) знайдено струм в спітронному молекулярному транзисторі. Отримано, що зняття кулонівської блокади за допомогою тягнучої напруги відбувається поетапно. Передбачено подвоєння кількості сходинок струму (сходинок Франка - Кондона, що виникають при сильній електрон-вібронній взаємодії), пригнічення висоти сходинок та поява областей без сходинок на вольт-амперних характеристиках при сильній кулонівській взаємодії (Рис. 4.6.). Ефекти зумовлені взаємодією процесів зняття блокади Франка - Кондона та кулонівської блокади.

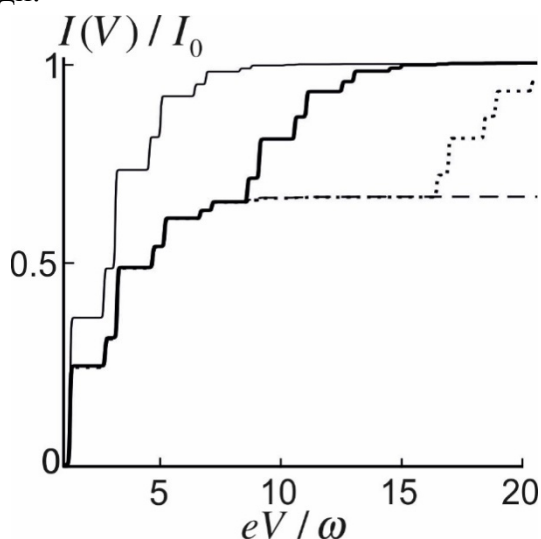


Рис. 4.6. Залежність струму від напруги для спітронного молекулярного транзистора при різних значеннях енергії кулонівської взаємодії

(А. Д. Шкоп, О. М. Багрова, С. І. Кулініч, І. В. Криве, ФТІНТ НАНУ)

Для квантової запутаності, що є одним з пріоритетних об'єктів досліджень сучасної теоретичної фізики, встановлено, що її середня ентропія для досить великої системи пропорційна логарифму розміру системи, якщо остання має досить значні резонансні властивості і, як результат, так звану делокалізаційну точку в спектрі збуджень. Це суттєво доповнює і завершує результати попередніх етапів, згідно з якими повна локалізація спектру має наслідком обмеженість ентропії запутаності, як функції розміру.

Для активно досліджуваних останнім часом топологічних напівметалів діраківського та вейлівського типів, а також напівметалів з лініями виродження зон теоретично знайдено залежності електронної магнітної сприйнятливості від температури, хімічного потенціалу та магнітного поля. Доведено, що отримані теоретичні результати дуже добре узгоджуються з відомими з літератури експериментальними даними.

(Г. П. Мікитик, Л. А. Пастур, ФТІНТ НАНУ)

Секція «Фізика молекулярних кристалів»

Користуючись часо-роздільною технікою мікросекундного масштабу, досліджено варіант сенсibiliзації «довгої» (до 1 сек.) фосфоресценції нафталіну за допомогою молекул орто-бромобензофенону. Обидва інгредієнти знаходилися в матриці оптично нейтрального октану. Для адекватної інтерпретації експериментальних даних, по-перше, була сформульована та вирішена система релаксаційних рівнянь, а по-друге, був реалізований новий підхід аналізу дуже повільної фосфоресценції (порядку декілька десятків мілісекунд), за допомогою якого були проаналізовані дані спільної фосфоресценції молекул нафталіну і орто-бромбензофенону.

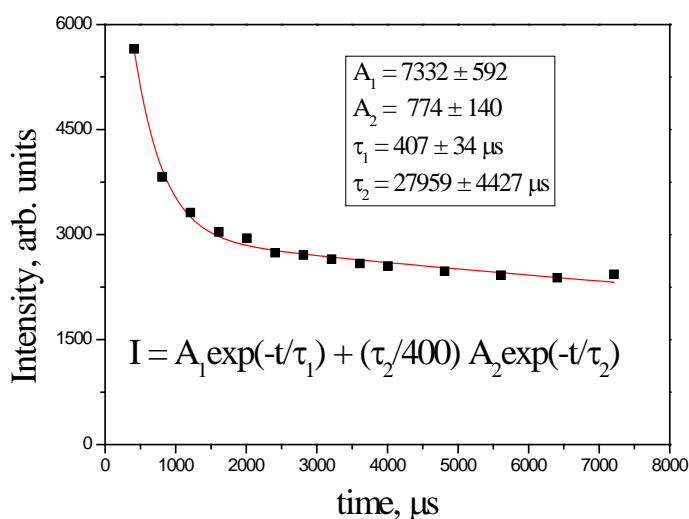


Рис. 5.1. Часова залежність інтенсивності фосфоресценції трьохкомпонентної твердої суміші 2-BrBP та нафталіну в октані. Обробка результатів за допомогою висновків нової теорії спільної фосфоресценції двох молекул з великою різницею часів висвітлення.

(М. О. Стржемечний, Д. І. Злоба, О. С. Пишкін, С. Г. Степанян, Л. М. Буравцева, ФГІНТ НАНУ)

Вперше досліджено в низькотемпературних матрицях аргону конформаційну рівновагу нуклеозидів тимідину і дейтеротимідину, які широко використовуються у клітинній біології та при синтезу антивірусного препарату азидотимідину. При використанні низькотемпературної ІЧ-Фур'є спектроскопії матричної ізоляції та квантово-механічних розрахунків методами DFT/B3LYP і MP2 встановлено, що заселеності підмножин анти- і син-конформерів цих молекул в інертних матрицях Ar при температурах 6 – 11 К знаходяться на рівні 80 та 20%, відповідно. Доведено відсутність інтерконверсії між основними анти- і син-конформерами при заморожуванні в матрицях Ar. Показано, що суттєвий програш син-конформерів в заселеності можна пояснити меншою кількістю низько-бар'єрних конформацій-сателітів. Спектри дейтеротимідину показують перекриття νN3D коливальної смуги та валентного коливання O5'D група дезоксирибози, яка пов'язана внутрішньо-молекулярним водневим зв'язком із групою C2O кільця піримідинової основи. Цьому сприяє розщеплення смуги поглинання νN3D (2543 cm^{-1}) за рахунок резонансу Фермі з комбінаційними модами піримідинового кільця (Рис. 5.2.)

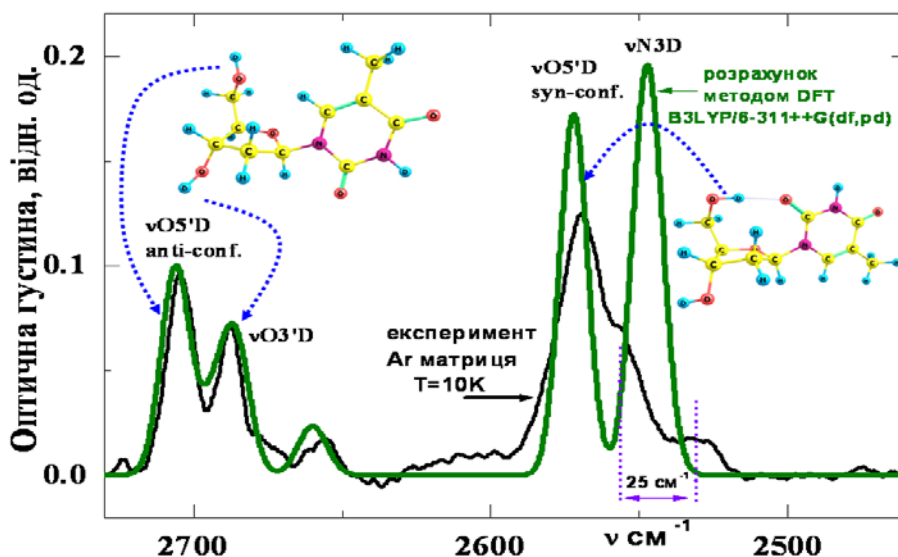


Рис. 5.2. Порівняння експериментального (Ag матриця, $T = 10\text{ K}$), та розрахункового коливальних спектрів дейтеротімідину в області валентних коливань νND , νOD .

(О. Ю Іванов, С. Г. Степаньян, В. О. Карачевцев, ФТІНТ НАНУ)

Методом прямого вимірювання тиску над поверхнею зразка в температурному інтервалі 8 – 290 К досліджено сорбцію водню гібридним наноструктурним вуглецево-паладієвим матеріалом з середнім розміром частинок паладію 3 – 5 нм. Дослідження показали, що сумарна кількість водню, який сорбований зразком пористого вуглецю, що містив нанокластери паладію, склала 4,5% маси зразка. Значення енергії активації дифузії для зразка, що містив нанокластери паладію, більш ніж в два рази перевищують значення, які отримані для чистої вуглецевої матриці. На підставі характеристичних часів насичення наноструктурних зразків воднем виконана оцінка коефіцієнтів дифузії. В температурних залежностях коефіцієнтів дифузії водню можна виділити дві температурні зони, в яких залежності мають різний характер. Нижче 60 К коефіцієнти дифузії водню в вуглецевій матриці практично не мають температурної залежності, тоді як у разі коефіцієнтів дифузії дейтерію в зразок, що містив нанокластери паладію, подібна зміна характеру температурної залежності спостерігалось при більш низькій температурі ($\sim 30\text{ K}$).

(О. В. Долбин, В. Б. Єсельсон, В. Г. Гаврилко, М. А. Вінніков, Р. М. Баснукаєва, М. В. Хлистюк, ФТІНТ НАНУ; В. І. Дубинко, Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»)

Досліджено ізохорну теплопровідність 1,1 дифторетану (фреону F-152a) для трьох зразків різної щільності в пластичній кристалічній фазі і виявлено її зростання при збільшенні температури (Рис. 5.3.). Обговорюються два можливих 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 фононного розсіювання. Другий механізм може визначатися перенесенням

енергії внутрішньо молекулярними модами при їх взаємодії з акустичними. Наведено аргументи на користь того, що причина зростання теплопровідності при підвищенні температури в пластичних фазах молекулярних кристалів полягає в ослабленні розсіювання коливальних мод в міру ослаблення трансляційно – орієнтаційної взаємодії. Абсолютна величина теплопровідності фреонів метанова ряду зменшується в міру заміни атомів водню галогенами.

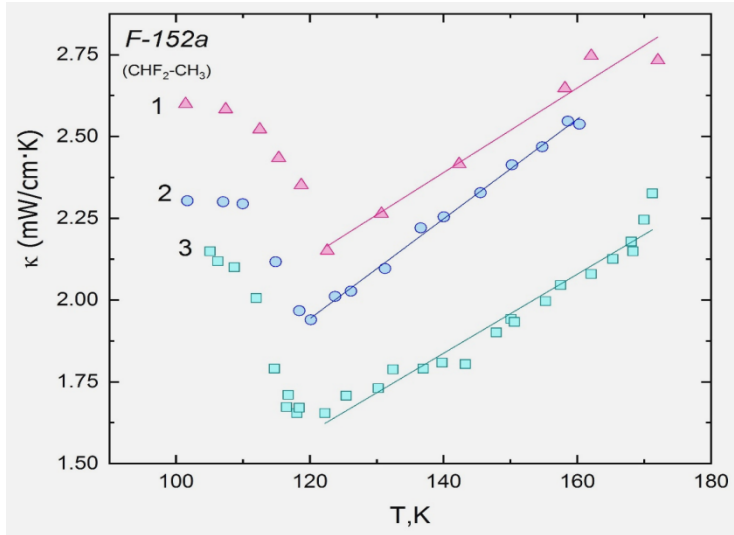


Рис. 5.3. Ізохорна теплопровідність трьох зразків твердого фреону F152a різної щільності:

Δ- №1 ($V_m = 49.5$ см³/моль);

○ - №2 ($V_m = 50.25$ см³/моль);

□ - №3 ($V_m = 51.5$ см³/моль).

Суцільними лініями показані згладжені значення ізохорної теплопровідності в пластичній фазі.

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

Було синтезовано фотонні кристали на основі SiO₂ та ДНК методом вертикального осадження зі спиртово-водного розчину реакційної суміші, яка готувалась згідно модифікованого методу Штобера. Було показано, що ДНК може бути темплатом для синтезу фотонних кристалів. Такі фотонні кристали мають краще впорядковану структуру на мікро та макрорівнях (Рис. 5.4.), з меншою кількістю дефектів в порівнянні з синтезом ФК на основі SiO₂.

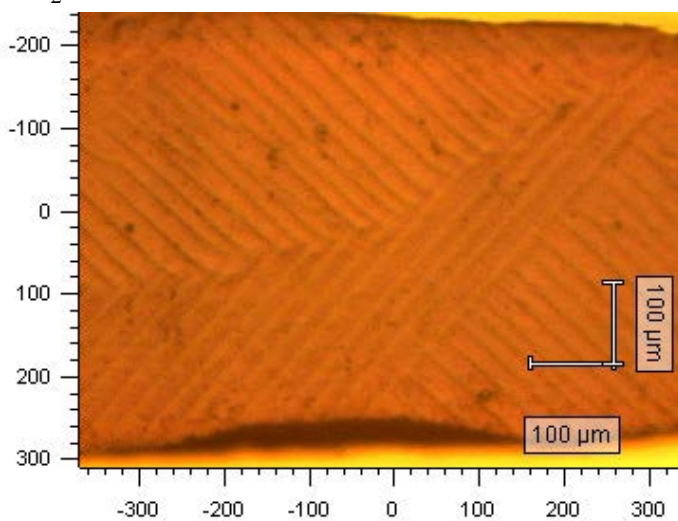


Рис. 5.4. Зображення поверхні синтезованих фотонних кристалів на основі ДНК з діаметром глобул $D=195$ нм

(Г. І. Довбешко, М. В. Оленчук, Т. О. Гануля, ІФ НАНУ)

Встановлено нелінійну динаміку генерації активних форм кисню (АФК) при опроміненні водних розчинів, які містять наночастинки $\text{GdYVO}_4:\text{Eu}^{3+}$. З'ясовано, що складний характер динаміки зумовлений двома конкуруючими механізмами: генерування АФК та їх знищення, які відбуваються на поверхні наночастинки при УФ опроміненні.

Отримано нанокристали змішаних лютецій-ітрієвих оксиортосилікатів ($\text{Lu}_{2-x}\text{Y}_x\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$) з структурою Gd_2SiO_5 -типу. Показано, що для отриманих нанокристалів при співвідношенні іонів $\text{Lu}:\text{Y} = 1:1$ спостерігається 2,5-кратне зростання інтенсивності рентгенолюмінесценції у порівнянні з нанокристалами $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$, що значно перевищує зростання інтенсивності рентгенолюмінесценції для відповідних об'ємних кристалів.

Показано здатність нанокристалів CeO_{2-x} до каталітичного розкладення гіпохлорит-аніонів (ClO^-) та встановлено визначальну роль комплексів $\text{Ce}^{3+}-\text{V}^{\cdot\cdot}-\text{Ce}^{3+}$ на поверхні нанокристалів у цьому процесі. Виявлено, що процес каталітичного розкладення гіпохлорит-аніонів супроводжується накопиченням іонів кисню наночастинкою з послідуочим вивільненням кисню після закінчення процесу розкладення.

Показано, що лазерне опромінення нанокристалів CeO_{2-x} з довжиною хвилі, що відповідає переходам з перенесенням заряду ($\text{Ce}^{4+}-\text{O}^{2-}$), пришвидшує процеси відновлення початкового співвідношення іонів $\text{Ce}^{3+}/\text{Ce}^{4+}$ в нанокристалі внаслідок пришвидшення процесів дифузії іонів кисню

(Ю. В. Малюкін, ІСМА НАНУ)

Проведені порівняльні дослідження оптичних спектрів та термо стимульованої люмінесценції (ТСЛ) плівок і нанокомпозитів полі(ди-п-гексилсилану) – ПДГС та полі(ди-п-гексилгерманію) – ПДГГ в інтервалі температур 5 – 300 К, які мають різну ступінь упорядкування. Процеси розупорядкування, які суттєві для ПДГГ, призводять до появи додаткових смуг в його оптичних спектрах, пов'язаних з різним набором транс- та гош-конформацій в сегментах полімерних ланцюгів. Неоднорідність призводить також до уширення коливальних смуг в спектрі комбінаційного розсіювання ПДГГ. Виявлено, що при введенні в нанопори кремнезему СБА-15 полімеру ПДГГ, його полімерні ланцюги на відміну від ПДГС мають не транс-конформацію, а гош-конформацію в результаті зменшення міжмолекулярної взаємодії між сегментами полімерних ланцюгів та збільшення їх рухливості. Дослідження ТСЛ плівок цих полімерів показало, що залежність енергії активації носіїв заряду цих полімерів від температури має дискретний характер. Крім того енергія цих дискретних рівнів співпадає з квантами оптичних коливань, що проявляються в КР спектрі комбінаційного розсіювання полімера. Однак наявність процесів розупорядкування в ПДГГ викликає розмиття структури на його кривій TSL та зменшення кількості спостережених дискретних рівнів енергії активації.

(Н. І. Остапенко, О. О. Керіта, Ю. В. Остапенко, ІФ НАНУ)

Секція «Низькотемпературне матеріалознавство та кріогенна техніка»

Кріогенна техніка

Наукові дослідження і розробки у галузі кріогенної техніки у 2019 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 ФТІНТ імені Б. І. Веркіна НАН України під керівництвом к.ф.-м.н. В. О. Лотоцької продовжується і удосконалюється експлуатація кріогенного устаткування, що дозволяє проводити випробування матеріалів під впливом 8 факторів навколосемного космічного простору (ФКП). Основою устаткування є унікальний комплексний імітатор факторів космічного простору (КІФК), який дозволяє також досліджувати вплив імітованих ФКП на окремі елементи конструкцій космічних апаратів, прилади і наносупутники.

У відділі надпровідних та мезоскопічних структур розроблено тепловізійний спосіб контролю якості теплоізоляції кріогенних посудин, що мають внутрішню і зовнішню ємності (кріостатів, посудин Дьюара, сховищ біопродуктів, кріоцистерн для перевезення і зберігання зріджених газів та ін.). Спосіб включає реєстрацію тепловізійною апаратурою теплового зображення поверхні виробу із залитою кріогенною рідиною, його аналіз та виявлення аномальних (гіпотермічних) областей і кількісну оцінку сумарних та локальних втрат холоду. Зареєстровано заявку на патенти України на винахід та корисну модель.

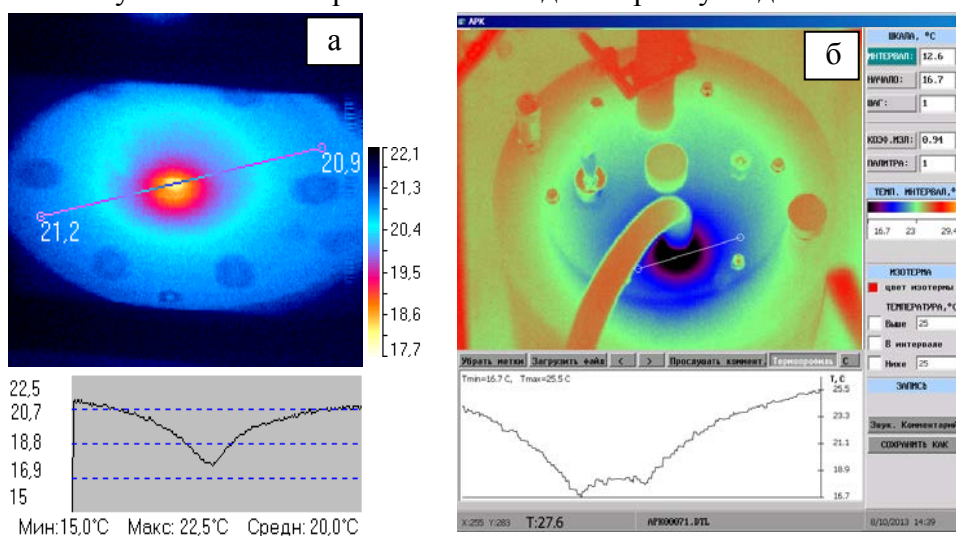


Рис. 6.1. (а) Термограма (сталий режим) днища азотного склопластикового кріостату з аномальною гіпотермічною зоною в області, яка прилягає до охолодженого до азотної температури датчика магнітного поля. (б) Теплове зображення фрагменту кришки склопластикового кріостату для магнітокардіографа в процесі заливки рідкого гелію. Внизу – теплові профілі уздовж зазначених на зображенні відрізків.

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

У ННЦ ХФТІ під керівництвом д.т.н. В. Б. Юферова для імітації сепарації відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) на ядерне паливо та продукти поділу на стадіях магнітоплазмової переробки ВЯП розробляється плазмовий фільтр мас моделюючого нерадіоактивного палива. Управління параметрами плазми може здійснюватися за допомогою високоградієнтних магнітних полів. З урахуванням цього в демонстраційно-імітаційному сепараторі пропонується магнітна система плазмового джерела, яка складається з двох надпровідних (НП) соленоїдів, де створюється магнітне поле пробкової конфігурації з максимумами $B_z \sim 3.5$ Тл та $B_z \sim 2.5$ Тл і густиною струму в обмотках $1,3 \cdot 10^4$ А/см² та $9 \cdot 10^3$ А/см², відповідно. При використанні високої густини струму в НП-обмотці велике значення набувають питання електромеханічної міцності обмотки, що визначають безпеку роботи. Особливістю перехідного процесу в цьому випадку є швидке виведення практично усієї запасеної енергії з системи: $\sim 90\%$ за 0,1 - 1 с на зовнішній опір, щоб межа допустимого нагріву НП- обмотки під час її переходу в нормальний стан не була перевищена. При цьому виникає висока напруга на обмотці (до 10 кВ). Для зменшення напруги передбачено використання змінного, зростаючого в часі зовнішнього опору ($R_{\text{ш}}$). В якості $R_{\text{ш}}$ було вибрано вольфрамовий R_w та фехралевий R_{FeCrAl} опори. Розрахунковим шляхом отримані величини R_w , які визначають темп виведення запасеної енергії з обмотки залежно від густини транспортного струму. При цьому температура вольфрамового опору T_w менше температури плавлення вольфраму, яка, у свою чергу, набагато перевершує температуру плавлення фехралю. Показано, що використання постійного фехралевого опору має більш високий рівень напруги на обмотці в часі в порівнянні з вольфрамовим опором. Крім того, використання опору зі змінною величиною зменшує величину початкової напруги на обмотці, що дозволяє збільшити густину транспортного струму.

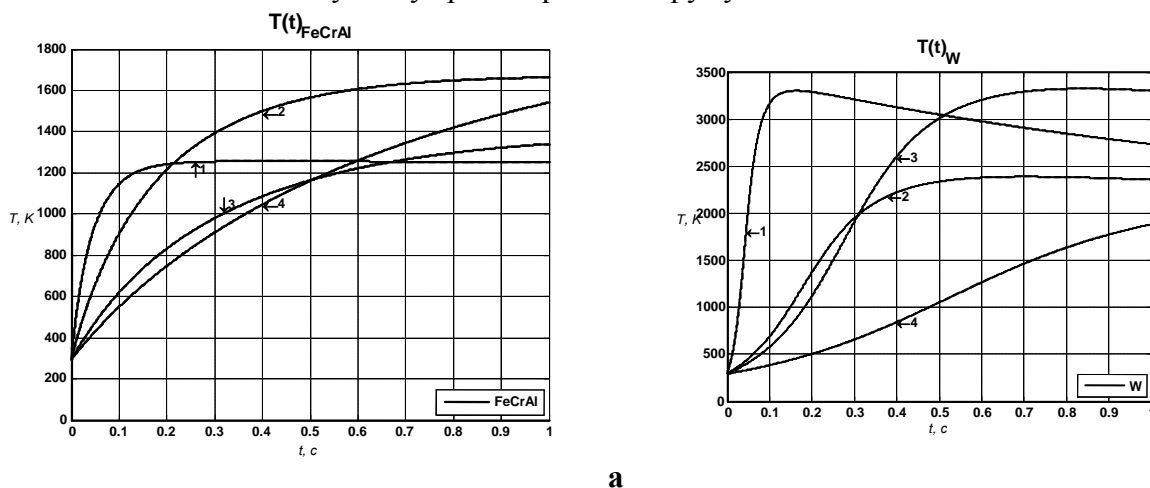


Рис. 6.2. Залежність температури зовнішнього опору в часі для різної густини струму в обмотці: 1 – $j = 8.34 \cdot 10^4$ А/см²; 2 – $j = 4.0 \cdot 10^4$ А/см²; 3 – $j = 3.2 \cdot 10^4$ А/см²; 4 – $j = 2.4 \cdot 10^4$ А/см² при використанні: а) - фехралевого опору R_{FeCrAl} ; б) - вольфрамового опору R_w .

(В. Б. Юферов, В. О. Ільчова, В. В. Катречко, О. С. Свічкар, С. В. Шарий, І. В. Буравілов, 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 в 2019 році розроблено ефективно працюючі кріорефріжератори Гіффорда-Макмагона (GM), що дозволяють забезпечувати охолодження при температурі нижче 4,2 К, і розглядаються як важливий етап у розвитку техніки отримання гелієвих температур. В сучасних двоступеневих машинах GM забезпечується виробництво холоду на рівні 4,2 К, але з відносно невеликою продуктивністю. Основна причина – низька теплоємність матеріалу, який застосовується для насадок регенераторів других ступенів машин GM. Для створення кріорефріжераторів GM на рівні 4 К вирішено два актуальні завдання: опис нестационарних процесів теплообміну в регенераторах машин GM; визначення показників ефективного регенератора для другого ступеня машини GM на основі ценосфер, що заповнюються гелієм. Наведено порівняльний аналіз різних видів насадок регенераторів, що дозволяють отримувати температури нижче 4,2 К. Обґрунтовано переваги насадок з ценосферами, заповненими гелієм. З використанням хвильового підходу до моделювання регенератора проведено аналіз роботи двоступеневого кріорефріжератора GM, що має холодопродуктивність 0,2 Вт на температурному рівні 4,2 К. Показана можливість поліпшення показників машини GM при використанні в другому її ступені регенератора, заповненого ценосферами.

В даний час велика частина гелію видобувається з природного газу по кріогенній технології шляхом парціальної конденсації на початковому етапі метану та інших вуглеводнів при кріогенних температурах. Газ, що не конденсується, – азот, гелій, водень та ін. домішки природного газу – відводяться для подальшого розділення і очищення. Перспективною технологією для отримання гелію з природного газу є мембранна технологія розділення газових сумішей. Принципова перевага цієї технології перед іншими технологіями вилучення гелію полягає в тому, що практично весь опрацьований природний газ проходить через мембранну установку транзитом, при цьому не змінюються його температура і тиск. Розроблено некріогенну технологію видобування гелію з природного газу в мембранній установці, що працює в нестационарному режимі. Розділююча мембрана в цій установці складається з мікрокапсул – ценосфер. Мікроскопічні розміри стінок таких капсул забезпечують високу швидкість дифузії гелію, недосяжну в установках зі стаціонарним режимом роботи. Розроблено хвильову методику розрахунку мембранних установок з нестационарним режимом роботи. Розрахунок проводиться розкладанням вхідного концентраційного сигналу в ряд Фур'є по власним частотам даного періодичного процесу. При цьому кожна з власних концентраційних хвиль, незалежно від інших, проходить через шар мікрокапсул. На виході всі рішення для окремих власних хвиль підсумовуються. На конкретному прикладі вилучення гелію з природного газу продемонстровані можливості нової технології. Показано, що пропускання природного газу через установку з трьома апаратами довжиною 10 м, заповненими ценосферами, дозволяє досягти коефіцієнта вилучення гелію 33%.

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

Низькотемпературне матеріалознавство

Наукові дослідження і розробки у області низькотемпературного матеріалознавства у 2019 році проводилися в основному у ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України та ННЦ “Харківський фізико-технічний інститут”.

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

Базуючись на результатах дослідження структурного стану та залежності межі плинності від розміру зерен в діапазоні від мікрометрових до нанорозмірних значень при температурах 4,2 – 400 К, з'ясовані фізичні механізми зернограничного зміцнення нанокристалічного титану, одержаного оригінальним методом кріомеханічної фрагментації зеренної структури. Запропоновано теоретичне обґрунтування виявленого при низьких температурах порушення класичного співвідношення Холла-Петча для залежності межі плинності від розміру зерна

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

Досліджено механічні властивості й кінетика пластичної деформації полікристалів ультрадрібнозернистої міді в інтервалі температур 77 – 295 К, отриманих методом рівноканальної кутової гідроекструзії. На основі даних експерименту з активної деформації та релаксації напруження отримані температурні залежності напруження та його швидкісної чутливості. Проведено розрахунок величини активаційного об'єму пластичної деформації з урахуванням впливу процесів деформаційного зміцнення та динамічного повернення. Встановлено, що активація динамічного повернення внаслідок високої щільності дислокацій в ультрадрібнозернистій міді істотно впливає на розрахунок активаційного об'єму тільки в області помірно низьких температур (вище 200 К). Припускаючи, що повернення пропорційне тривалості релаксації, зменшення активаційного об'єму може досягати 30 - 50 % від експериментального значення в залежності від температури. Низька швидкість динамічного повернення при температурах нижче 180 – 200 К є недостатньою для суттєвого впливу на розрахунок активаційного об'єму.

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

Рентгенівським методом вивчена структура полімерних плівок (термопластична плівка ароматичного полііміда типу carton Н виробництва КНР) різної товщини (75 мкм та 125 мкм) після їх деформації при низьких температурах. Механічні дослідження властивостей даних плівок проводили в умовах одновісного розтягування при температурах $T = 293$ К і $T = 77$ К при швидкостях деформації 0,85; 4,6 і 7,6 мм/хв. Виявлено, що зі збільшенням товщини

полімерних аморфних плівок спостерігається нерівномірність у розподілі щільності речовини по товщині. Деформація полімерних плівок з товщиною 75 мкм не викликає суттєвих структурних змін. Під дією навантаження в полімерній плівці з товщиною 125 мкм відбувається формування областей з дальнім порядком. Показано, що швидкість деформування істотно не впливає на структуру деформованих до руйнування плівок.

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

Методами акустичної спектроскопії та рентгеноструктурного аналізу вивчено вплив інтенсивної пластичної деформації (ПД) і подальшого відпалу на параметри дислокаційної структури ультрадрібнозернистої (УДЗ) міді технічної чистоти. В акустичному експерименті встановлено, що відпал призводить до значного зменшення щільності рухливих дислокацій. Окрім щільності рухливих дислокацій, з акустичних вимірювань була отримана оцінка напруження Пайерлса I роду. Паралельно з акустичними вимірами, проводилося дослідження параметрів дислокаційної структури зразків методом рентгенівської дифракції. Були отримані значення параметра решітки, значення мікродеформації, середній розмір областей когерентного розсіювання (ОКР), а також загальна щільність дислокацій. Виявилось, що рентгенівська щільність дислокацій на два порядки перевищує щільність рухливих дислокацій, що була оцінена в акустичному експерименті. Також встановлено, що найбільш інтенсивне зміння щільності рухливих дислокацій відбувається при температурах на 30 – 40°C менших за температуру інтенсивної зміни їх загальної щільності.

(П. П. Паль-Валь, І. С. Брауде, В. Г. Гейдаров, ФТІНТ НАНУ)

Результати дослідження мікротвердості сплаву AZ31 показують, що особливості приготування, різниця в хімічному складі, режим термічної обробки, а також глибина пластичної деформації суттєво впливають на його механічні характеристики, зокрема однорідність пластичної деформації і деформаційне зміцнення в умовах розтягування з постійною швидкістю, границю текучості, величину деформації до руйнування при різних температурах. Одна із причин підвищення твердості деформованих зразків полягає в збільшенні щільності дислокацій в об'ємі зерен, а також у зміні характеру текстури, коли кут між базисною площиною і віссю розтягування зменшується. Така поведінка мікротвердості деформованих зразків тісно пов'язана зі зменшенням макроскопічного коефіцієнта деформаційного зміцнення на третій стадії деформаційної кривої перед руйнуванням.

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

Передбачено спонтанну флексоелектричну поляризацію дислокацій у квантових кристалах гелію і водню, яка виникає завдяки взаємній поляризації електронейтральних атомів гелію і молекул водню в поєднанні з високим рівнем асиметрії їх конфігурацій у ядрах дислокацій. Виконано аналіз експериментальних результатів дослідження повзучості у квантових кристалах твердого гелію. Розроблено алгоритм обчислення енергії активації і активаційного об'єму в термоактиваційній області повзучості та одержано емпіричні оцінки цих параметрів.

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

Встановлені механічні властивості високоентропійних сплавів Fe-Mn-Co-Cr (у крупнозернистому стані) в широкому інтервалі низьких температур – 0,5 - 300 К. Виявлено, що висока пластичність (30 – 40 %) зберігається навіть при наднизькій температурі – 0,5 К. Таким чином, високоентропійний сплав Fe-Mn-Co-Cr, зберігає поліпшене співвідношення "міцність - пластичність" яке виявлене в нього при кімнатних температурах.

(С. Е. Шумилін, О. Д. Табачнікова, ФТІНТ НАНУ)

Для середньоентропійних нееквіатомних сплавів системи Fe-Cr-Co-Ni з додаванням 5 % Мо та 1 % і 2 % С у грубозернистому мікроструктурному стані у широкій області низьких температур отримані залежності деформаційної напруги та швидкісної чутливості від деформації (при одновісному стисканні), а також температурні залежності акустичних властивостей. На базі цих експериментальних залежностей проведено попередній аналіз впливу μ -преципітатів (фази збагаченої Мо) на низькотемпературні фізико-механічні характеристики зазначених сплавів.

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

Таким чином, у звітний період були одержані важливі наукові результати світового рівня, які, безсумнівно, сприятимуть зростанню науково-технічного потенціалу України в галузі низькотемпературного матеріалознавства та зміцненню наукової бази для створення нових конструкційних матеріалів. Одержані результати можуть бути використані при інженерно-технічних розробках в різних галузях промисловості (у ядерній енергетиці, аерокосмічній та медико-біологічній техніці, кріогенному приладобудуванні, та ін.). Вони можуть стати корисними при підготовці лекцій, а також підручників та учбових посібників для вищих навчальних закладів.

У відділі низькотемпературного та космічного матеріалознавства ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України, яким керує к.ф.-м.н. В. О. Лотоцька, проводились наукові дослідження і розробки у області низькотемпературного і космічного матеріалознавства у рамках теми **Ф8-12** (керівник теми – д.ф.-м.н. П. П. Паль-Валь), розділ теми **«Фізико-механічні властивості нових полімерних матеріалів космічного призначення в умовах наземної імітації факторів космічного простору»** (керівник розділу – к.ф.-м.н. В. О. Лотоцька).

Продовжено дослідження властивостей поліімідних плівок типу kapton H, що широко застосовуються в кріогеніці, космонавтиці і ядерній енергетиці. Одним з критеріїв їх застосування є відповідність механічних властивостей необхідним експлуатаційним характеристикам. Це перш за все – міцність і деформованість плівок різної товщини, які використовуються на практиці, при різних швидкостях деформації в широкому діапазоні температур 4,2 – 300 К.

Проведено дослідження впливу швидкості деформування в інтервалі $7 \cdot 10^{-5}$ - $6 \cdot 10^{-3}$ с⁻¹ на механічні властивості плівки типу kapton H (виробництва КНР) товщиною 25 мкм при одноосьовому розтягуванні в інтервалі температур 77 – 293 К. Плівки товщиною 25 мкм в порівнянні з раніше вивченими плівками товщиною 75 і 125 мкм мають ряд відмінностей в

механічній поведінці при всіх швидкостях деформації і температурах: 1) на деформаційних кривих з'являється третя стадія; 2) внесок необоротної деформації при 293 К непогано збігається з величиною деформації на третій стадії; 3) границя вимушеної еластичності, напруга руйнування і загальна деформація до руйнування не залежать від швидкості деформації; 4) зростання напруги руйнування зі зменшенням товщини до 25 мкм істотно сповільнюється і при швидкості $6 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$ практично збігається з відповідними характеристиками плівки товщиною 75 мкм. Особливості механічної поведінки плівки 25 мкм імовірно зв'язуються з найбільш хаотичним розташуванням полімерних макромолекул і активною орієнтацією макромолекул в напрямку осі розтягнення в процесі деформації.

(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 (границя вимушеної еластичності, напруга руйнування, загальна деформація до руйнування і її складові) поліімідної плівки типу kapton Н товщиною 75 мкм в умовах одноосного розтягання при температурі 293 К після впливу вакуумного ультрафіолетового (ВУФ) і ультрам'якого рентгенівського (УМР) випромінювання в діапазоні 1,24 - 170 нм протягом 100 і 500 год. Після опромінення виявлено зростання границі вимушеної еластичності і слабку, але немонотонну зміну напруги руйнування і загальної деформації до руйнування при зміні тривалості опромінення ВУФ і УМР-випромінювання (100 або 500 год.). Негативним наслідком впливу ВУФ і УМР - випромінювання є зниження в два рази вкладу еластичної деформації, оборотної при температурі деформації.

(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)

Визначено питомий об'ємний електроопір ρ виготовлених в Харбінському політехнічному інституті (КНР) поліімідних плівок, допованих наночастинками нікелю з концентрацією 0,1, 0,25 і 0,35 ваг.% і наночастинками оксиду графену 0,2; 0,3 і 0,4 ваг.%. Значення питомого електроопору обох груп плівок з даними концентраціями наночастинок при 293 К залишаються характерними для діелектриків. Найменше значення $\rho = 3,8 \cdot 10^3 \text{ Ом м}^{-1}$, що наближається до верхньої межі напівпровідників, демонструє плівка поліімиду, допованого 0,4% оксиду графену. Дана плівка в інтервалі температур 77 - 327 К має неметалеву залежність $\rho(T)$, тобто зростання опору із зниженням температури і навпаки.

(В. О. Лотоцька, О. П. Безкорсий, Ф. І. Волобуєв, ФТІНТ НАНУ)

За договорами з АТ «ФЕД» виконано роботи з **випробувань 7 зразків теплових акумуляторів на виконання робочих функцій (герметичність) в реальних умовах експлуатації.**

Визначені величини потоку гелієвої течі з 7 досліджуваних зразків теплових акумуляторів, заповнених газоподібним гелієм до тиску $P_0 = 46,3 \text{ бар}$ (при $T_0 = 85^\circ\text{C}$).

Випробування проведені у середовищі криогенного вакууму при тиску в камері з акумулятором $4 \cdot 10^{-4}$ Па і температурах 25 та 85°C. Величини потоку гелієвої течії з досліджуваних зразків менш $1 \cdot 10^{-6}$ станд. см³/с, що є гранично дозволеною технічним завданням величиною.

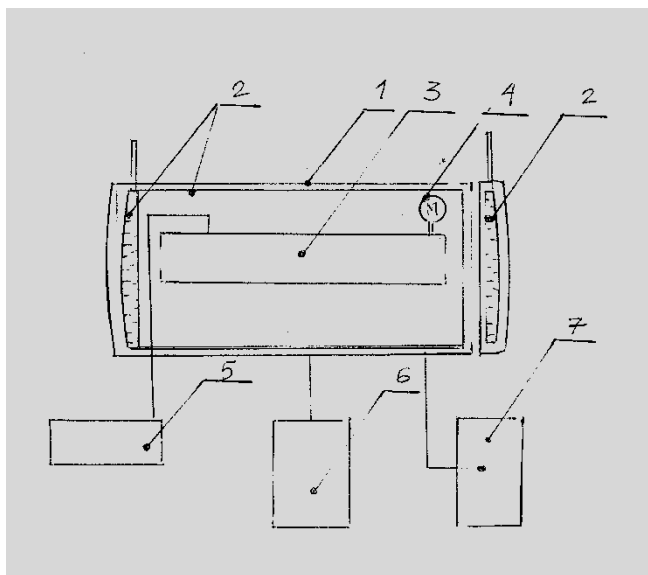


Рис. 6.3. Схема станда для випробувань на герметичність: 1 – вакуумна камера; 2 – азотний екран; 3 – зразок акумулятора ТГА; 4 – манометр; 5 – блок вимірювання температури; 6 – вакуумний пост; 7 - гелієвий тещашукач ПТИ-10

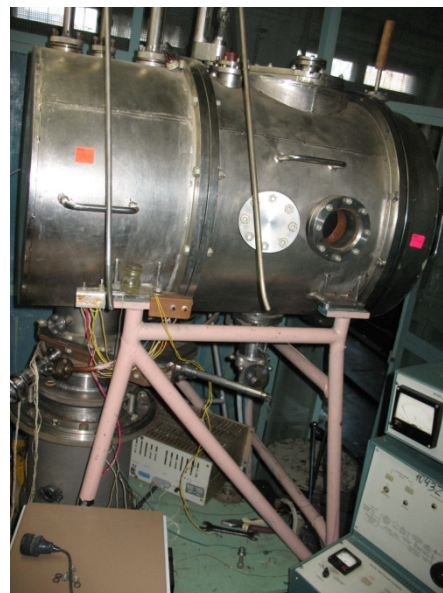


Рис. 6.4. Загальний вид станда для випробувань на герметичність

У 2019 р. було виконано випробування першого дослідного зразка ТГА. Також на протязі 2019 року проводилось відпрацювання методик випробування та обговорення умов договірних документів на виконання науково-дослідної роботи з ДП «КБ «Південне» по темі: «Дослідження стійкості зразків матеріалів, що застосовуються на космічних апаратах, до факторів космічного простору».

У відділі надпровідних та мезоскопічних структур ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України (керівник відділу – д.ф.-м.н. Шевченко С. М.) методом скануючого лазерного зонда досліджено температурні поля на поверхні плівкових структур меандрового типу $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ на підкладці $SrTiO_3$. Лазерний промінь, сфокусований на поверхню смуги, переводить локальну ділянку плівки з надпровідного в чутливий до зовнішнього випромінювання резистивний стан. Т.ч. сканування всієї структури лазерним зондом забезпечує зчитування просторового температурного рельєфу, створюваного зовнішнім випромінюванням, а сама структура при цьому еквівалентна матриці приймачів. Було виявлено, що поверхневий температурний рельєф, сформований в результаті поглинання інфрачервоного випромінювання, сфокусованого в пляму діаметром 50 мкм, розширюється до усталеного

розміру 95 мкм внаслідок теплової дифузії. Вивчено залежність довжини теплової дифузії і характерного часу досягнення максимального розігріву поверхні плівки від товщини підкладки і частоти опитування. Так як довжина теплової дифузії визначає розміри окремих чутливих елементів і оптимальну відстань між ними, отримані результати можуть бути використані при проектуванні композитних ВТНП матричних детекторів інфрачервоного випромінювання.

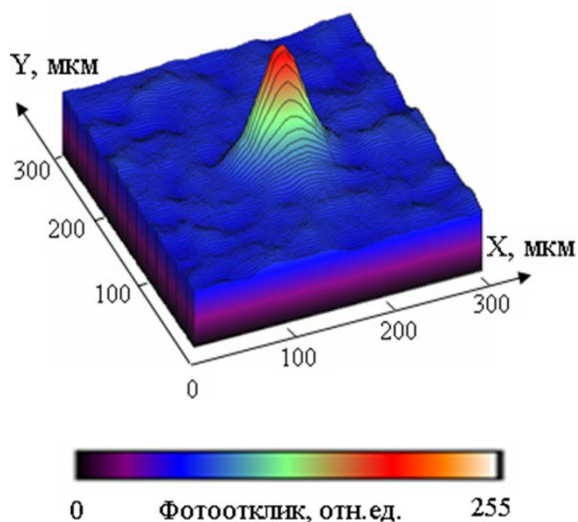


Рис. 6.5. Розпливання температурного рельєфу на приймальній площині фрагменту ВТНП меандру при поглинанні випромінювання від зовнішнього теплового джерела.

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

В відділі фізики твердого тіла і конденсованого стану речовини ННЦ ХФТІ НАН України (завідувач – д.ф.-м.н. Соколенко В. І.) у 2019 р. для диспрозійу підданому деформації гідроекструзією ($T = 300 \text{ K}$, $\varepsilon = 65 \%$) і насиченому до $\sim 40 \text{ ат.}\%$ воднем при $T = 979 \text{ K}$ виявлено сильне «аномальне» зменшення питомого електроопору ρ в температурному інтервалі 77 - 290 К: зниження середнього нахилу залежності $\rho(T)$ в антиферомагнітній ($T \sim 180 - 90$) і феромагнітній ($T < 90 \text{ K}$) областях складало ~ 50 і $\sim 30\%$, відповідно, але в області парамагнітної фази (вище $\sim 180 \text{ K}$), при сильному зменшенні ρ величина $d\rho/dT$ залишалася без змін. Вакуумний відпал в тих же умовах викликав незначне зменшення ρ у дослідженному інтервалі температур. Електроопір Du можна представити у вигляді суми незалежних вкладів: залишкового електроопору (ρ_{res}), фонного внеску, пов'язаного з розсіюванням електронів на коливаннях решітки (ρ_{ph}), і магнітного внеску (ρ_{M}) пов'язаного з розсіюванням електронів на магнітних неоднорідностях. Практично постійне значення $d\rho/dT$ в парамагнітному стані для всіх кривих свідчить про слабкий вплив гідрування і дефектів кристалічної решітки на розсіювання електронів на фонах, враховуючи, що величина $d\rho/dT$ пропорційна константі електрон-фононної взаємодії. Звідси випливає, що сильне зниження електроопору, що спостерігається, обумовлене впливом гідрування на магнітну складову $\rho_{\text{M}}(T)$. Аналіз показав, що зниження магнітного внеску в ρ в парамагнітній фазі може бути

спричинено зменшенням ефективної маси носіїв в зоні провідності внаслідок зв'язування їх частини воднем з утворенням іонів H^- і в меншій мірі – зі зменшенням параметру s-f-обміну.

(В. І. Соколенко, М. М. Пилипенко, М. Б. Лазарева, А. О. Чупіков, О. Ю. Роскошна, Ю. П. Бобров, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Отримані нові фундаментальні дані щодо температурної залежності (78 - 300 К) акустичних і пружних властивостей для високоентропійного сплаву $Al_{0,5}CoCuCrNiFe$, субмікрозернистого цирконію і титану:

- В високоентропійному сплаві $Al_{0,5}CoCuCrNiFe$ виявлена анізотропія акустичних і пружних властивостей, обумовлена наявністю аксіальної текстури, сформованої при кристалізації. Показано її зниження при зменшенні текстурованості сплаву при відпалі ($T = 1243$ К, $t = 6$ год), що спричинено зміною морфології і елементного складу фаз сплаву. У відпаленому стані сплаву при $T \sim 170$ К виявлено перетворення мартенситного типу;
- В субмікрозернистому цирконії виявлені процеси динамічного повернення в нерівноважній зернограничній області в умовах впливу мікроструктурних напружень термічної анізотропії. Більш активно вони протікають в щойно інтенсивно деформованому матеріалі, якому властивий високий показник нерівноважності границь зерен;
- В нанокристалічному титані виявлено анізотропію швидкості поздовжнього ультразвуку частотою 50 МГц обумовлену відмінністю в орієнтації текстури, сформованої при різних значеннях підвищеної температури деформації осаду-витискування з подальшою екструзією при 77 К. Аналіз температурного спектру акустичного поглинання свідчить про інтенсифікацію релаксаційних процесів, пов'язаних зі взаємодією дислокацій зі стабільними і нестабільними точковими дефектами і їх комплексами.

(О. С. Булатов, М. А. Тихоновський, О. В. Корнієць, В. С. Клочко, І. В. Колодій, І. П. Кисляк, В. І. Спиціна, П. О. Хаймович, М. А. Шульгін, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Вперше виявлені квазірегулярні аномалії теплопровідності (k) діркового високотемпературного надпровідника $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ в псевдощелинному стані, а також "гігантська" аномалія поблизу T_C . Визначено температурні аномалії щільності (n^h) носіїв заряду $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ і встановлена їх кореляція з k -аномаліями. Показано, що $n^h(k)$ -аномалії псевдощелинного стану обумовлені поетапним спарюванням носіїв заряду в позитивно заряджені бозони. Встановлено кореляцію $n^h(k)$ -аномалії поблизу T_C з конверсійним топологічним перетворенням частини поверхні Фермі, з одного боку, і структурної аномалією – з іншого.

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

Визначено температурні залежності: електричного опору і термоерс, знака температурного коефіцієнта теплопровідності і швидкості повзучості при одноосьовому розтягуванні для зразків високоентропійного сплаву $Al_{0,5}CoCuCrNiFe$ в інтервалі температур $\sim 300 - 77$ К. Показано суттєвий вплив структурного стану зразків (литі, відпалені і деформовані) на досліджувані характеристики. Вперше виявлені в діапазоні $\sim 250 - 130$ К кореляційні особливості цих характеристик є наслідком змін мікроструктури. Найбільш радикальна особливість відповідає структурно-фазовому перетворенню мартенситного типу.

(В. М. Воєводін, В. О. Фролов, Є. В. Карасьова, Є. В. Савчук, В. І. Соколенко, Т. М. Тихоновська, О. С. Тортіка, ННЦ ХФТІ НАНУ)

Методом польової іонної мікроскопії виміряна міцність на розрив графенових нанострічок. Максимальна межа міцності при $T \approx 5$ К складає ≈ 100 Гпа.

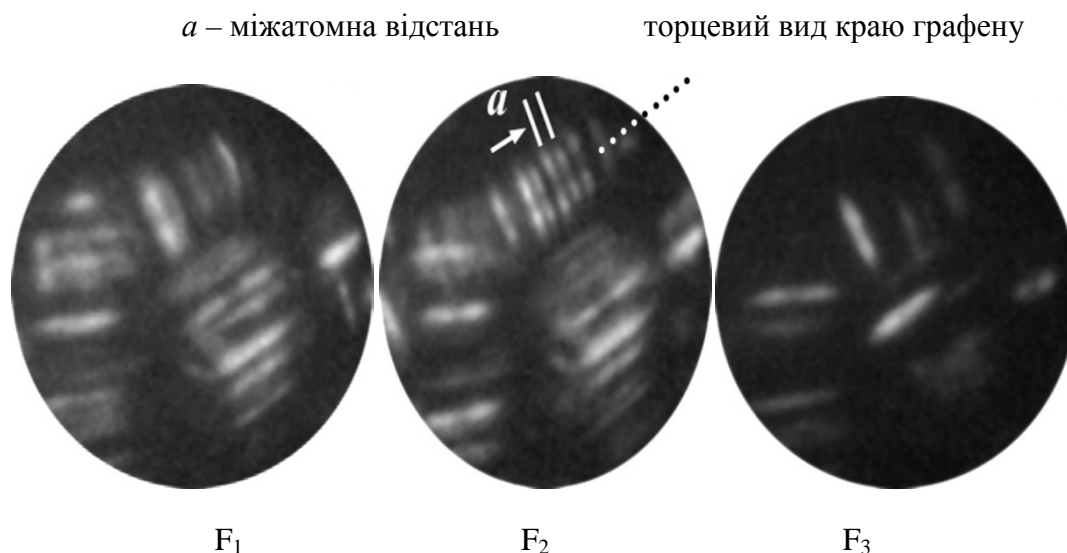


Рис. 6.6. Іонно-мікроскопічне зображення графенових стрічок при різних напруженостях електричного поля: $F_1 < F_2 < F_3$.

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

Інформація щодо надрукованих у 2019р. книжкових видань: монографій, підручників, науково-пізнавальних видань

1. Ровенчак А. А. Статистика Бозе і дробові статистики в теорії багаточастинкових систем і суміжних задачах: монографія / А. А. Ровенчак – Л.: Видавництво ЛНУ імені Івана Франка, 2019. – 316 с. – ISBN 978-617-10-0443-6.
2. Shevchenko S. N. Mesoscopic Physics meets Quantum Engineering / S. N. Shevchenko – World Scientific, 2019. – 176 pp. – <https://doi.org/10.1142/11310>, ISBN: 978-981-12-0139-4.
3. Лавров С. І. Сертифікація вугільних сорбентів йодних фільтрів систем вентиляції АЕС: монографія / С. І.Лавров, В. В.Левенець, В. І.Соколенко – Х.: Стильна типографія, 2019. – 274 с. – ISBN 978-617-7002-70-4.

Участь у підготовці та проведенні наукових конференцій, симпозіумів

1. X Міжнародна наукова конференція спеціалістів та молодих вчених «Фізика низьких температур» (ICPYS – LTP 2019) (03 – 07 червня, 2019 р., Харків, Україна) (Акад. НАН України С. Л. Гнатченко, 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, к.ф.-м.н. В. П. Коверя, д.ф.-м.н. Ю. О. Колесніченко, чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк, д.ф.-м.н. І. В. Криве, 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, чл.-кор. НАН України Е. Я. Рудавський, д.ф.-м.н. О. В. Савченко, д.ф.-м.н. С. С. Соколов, чл.-кор. НАН України М. О. Стржемечний, акад. НАН України М. Ф. Харченко, д.ф.-м.н. В. В. Чабаненко, д.ф.-м.н. С. М. Шевченко). <https://www.ilt.kharkov.ua/icpys2019/>
2. Проф. А. А. Ровенчак був членом наукового комітету конференції 11th Workshop on Current Problems in Physics: Zielona Góra – Lviv (14–17 October 2019, Zielona Góra, Poland); <http://www.if.uz.zgora.pl/~wcpp/wcpp19/>
3. Акад. НАН України Ю. В. Слюсаренко був членом оргкомітету Bogolyubov Kyiv Conference “Problems of Theoretical and Mathematical Physics”, dedicated to the 110-th anniversary of M.M. Bogolyubov, Kyiv (Ukraine) 3-6 July, 2019.
4. Чл.-кор. НАН України В. О. Карачевцев та д.ф.-м.н. Г. І. Довбешко брали участь у роботі організаційного комітету 6-th International Conference «NANOBIOPHYSICS: Fundamental and Applied Aspects» (NBP-2019) (October 1-4, 2019, Kyiv, Ukraine) <http://nbp.iop.kiev.ua/international-scientific-advisory-committee.html>
5. Акад. НАН України М. Ф. Харченко брав участь у роботі організаційного комітету International Freik Conference on the Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems (ICPTTFN-XVII) (20-25 травня 2019 р., м. Івано-Франківськ, Україна) https://conference.pu.if.ua/phys_che/start/conference_17/index.htm

6. Чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк був головою організаційного комітету KAU SciConf 2019 (23 квітня, 2019, Київ, Україна) <https://kau.org.ua/sciconf19>
7. Чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк був головою організаційного комітету Школи з прикладної фізики 2019 (APSS 2019) (24-26 квітня, 2019, Київ, Україна) <https://kau.org.ua/apss19/>
8. Чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк був головою організаційного комітету UKRATOR selection workshop (May 28, 2019, Kyiv, Ukraine) <https://kau.org.ua/news/announce?start=10>
9. Чл.-кор. НАН України Ю.В. Малюкін був заступник голови організаційного комітету школи-семінару для молодих вчених «Functional materials for technical and biomedical applications» (09 – 12 вересня, 2019, Харків, Україна) <http://school.isma.kharkov.ua/en/index.html>
10. Проф. М.Т. Черпак брав участь як рецензент у роботі програмного комітету Європейської мікрохвильової конференції (EuMC) в рамках Європейського мікрохвильового тижня (EuMW) (вересень 2019, Париж, Франція)
11. Д.ф.-м.н. В. І. Соколенко брав участь у роботі XIV Міжнародної наукової конференції «Фізичні явища в твердих тілах» (3-5 грудня 2019 р., м. Харків, Україна) https://www.univer.kharkov.ua/images/redactor/conf/2019-12-06/XIV_International_2019.pdf

Участь у редколегіях наукових видань

1. «Condensed Matter Physics» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк (заст. гол. редактора), акад. НАН України Ю. В. Слюсаренко).
2. «East European Journal of Physics» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Слюсаренко).
3. «IEEE Transaction of Applied Superconductivity» (чл.-кор. НАН України Т. О. Пріхна).
4. «ISRN Condensed Matter Physics» (чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк).
5. «Innovative Biosystems and Bioengineering» (чл.-кор. АПН МОНУ Ю. І. Горобець)
6. «Journal of Low Temperature Physics» (чл.-кор. НАН України Е. Я. Рудацький, 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. «Phase Transitions» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк).
11. «Physica B: Condensed Matter» (чл.-кор. НАН України М. О. Стржемечний).
12. «Science of Sintering» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
13. «Semiconductor Physics, Quantum and Optoelectronics» (чл.-кор. НАН України О. Є. Беляєв (заст. гол. редактора), акад. НАН України М. Г. Находкін).
14. «Telecommunications and Radio Engineering» (М. Т. Черпак).
15. «Ukrainian Journal of Physical Optics» (акад. НАН України М. Ф. Харченко).
16. «Universal Journal of Materials Science», Horizon Research Publishing, USA (чл.-кор. НАН України В.О. Карачевцев, Г. В. Камарчук).

17. «Біофізичний Вісник», ХНУ ім. В. Н. Каразіна (чл.-кор. НАН України В. О. Карачевцев)
18. «Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна, серія «Фізика» (Р. В. Вовк (гол. редактор), чл.-кор. НАН України В. О. Ямпольський).
19. «Деформация и разрушение материалов» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
20. «Електронна мікроскопія і міцність матеріалів» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
21. «Журнал математичної фізики, аналізу, геометрії» (акад. НАН України Л. А. Пастур (гол. редактор)).
22. «Журнал фізичних досліджень» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк, А. А. Ровенчак (відповідальний секретар)).
23. «Журнал нано- та електронної фізики» (чл.-кор. НАН України В. А. Татаренко).
24. «Материаловедение» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
25. «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).
26. «Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології» (чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк, чл.-кор. НАН України В. А. Татаренко(від.секретар)).
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. «Технічні гази» (Г. Є. Лавренченко (гол. редактор), С. І. Бондаренко).
32. «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).
33. «Український математичний журнал» ((акад. НАН України Л. А. Пастур).
34. «Успіхи фізики металів» (чл.-кор. НАН України В. А. Татаренко).
35. «Фізичний збірник НТШ» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк).
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. [У Харкові відзначили Міжнародний День світла – 2019](#)
[20 травня 2019 року у Фізико-технічному інституті низьких температур імені Б.І. Веркіна НАН України, що в Харкові, відбулися традиційні науково-популярні заходи з нагоди Міжнародного Дня світла, участь у яких взяли близько 300 учнів харківських шкіл](#)
Прес-служба НАН України, 30.05.2019
2. [10-а Міжнародна конференція спеціалістів та молодих вчених «Фізика низьких температур» 2019 \(ICPYS LTP 2019\)](#)
Прес-служба НАН України, 10.06.2019
3. [У Харкові пройшла Міжнародна конференція «Geometry, Differential equations and Analysis», присвячена 100-річчю від дня народження видатного математика – академіка Олексія Васильовича Погорелова](#)
Прес-служба НАН України, 27.06.2019
4. [Президент України В.О. Зеленський підписав розпорядження про призначення грантів для докторів наук](#)
Прес-служба НАН України, 07.08.2019
5. [Призначено гранти Президента України для підтримки наукових досліджень молодих учених на 2019 рік](#)
Прес-служба НАН України, 13.08.2019
6. [Перелік проектів, які подано підрозділами установ Відділення фізики і астрономії НАН України на конкурс наукових \(науково-технічних\) робіт у 2020-2021 роках](#)
Прес-служба НАН України, 19.09.2019
7. [Борис Ієремійович Веркін — організатор і керівник науково-технічних розробок ФТІНТУ](#)
Прес-служба НАН України, 17.10.2019
8. [Пам'ятник рукотворний академіка Веркіна](#)
Прес-служба НАН України, 30.10.2019
9. Академік НАН України Ю. В. Слюсаренко продовжував працювати у складі Наукового комітету Національної ради України з питань розвитку науки і технологій.
10. Професор С. Й. Вільчинський був науковим керівником національної збірної України на Міжнародній олімпіаді з фізики IPhO19, яка проходила в Ізраїлі.
11. Член-кор. НАНУ О. А. Кордюк брав участь в організації Інноваційних днів КА:
 - а. "Інноваційні рішення в енергетиці: можливості співпраці науки та бізнесу", 18 травня 2019 р.
 - б. "Інноваційні рішення в матеріалознавстві", 11 жовтня 2019 р.
12. Член-кор. НАНУ О. А. Кордюк був одним із засновників студентського клубу «Мудрамакітра» в КНУ імені Тараса Шевченка, та виступив з популярною лекцією про історію дослідження надпровідників, сучасний стан справ, та про особистий досвід роботи на європейських синхротронах, 6 вересня 2019 р

<https://t.me/ssspknu/32?fbclid=IwAR3f6p1SSCP-5Br8A5VfOpuAz000F2Z4LMEWQsQyGb2It6a3ZslgiKx2WoU>.

13. Член-кор. НАНУ О. А. Кордюк прочитав низку науково-популярних лекцій для школярів, зокрема учасників літнього фізико-математичного табору «Мудрамакітра» 7-24.08.2019, учнів ліцею №287 21.11.2019 та Київського ліцею бізнесу «Крок» 13.12.2019.
14. Д.ф.-м.н. В. І. Соколенко дав інтерв'ю на каналі медіaproекту «Накипіло» у відеоматеріалі «Чем живет институт, где работал Ландау»
<https://nakipelo.ua/uk/chem-zhivet-institut-gde-rabotal-landau-2/>

Редакційна група:

КАЛИНЕНКО
Олександр Миколайович

БУРАВЦЕВА
Любов Михайлівна

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

2019