

2017

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Відділення фізики і астрономії НАН України

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

2017

ЗМІСТ

Вступ	3
Склад Наукової ради з проблеми «Фізика низьких температур і кріогенна техніка»	11
Бюро Наукової ради	11
Члени Наукової ради	12
Наукові досягнення вчених України у галузі фізики низьких температур і кріогенної техніки у 2016 році	
Секція «Фізика квантових рідин та кристалів»	16
Секція «Фізика надпровідності»	27
Секція «Фізика магнітних явищ»	37
Секція «Електронні властивості твердих тіл»	60
Секція «Фізика молекулярних кристалів»	65
Секція «Низькотемпературне матеріалознавство та кріогенна техніка»	69
Кріогенна техніка	69
Низькотемпературне матеріалознавство	70
Інформація щодо надрукованих у 2016 р. книжкових видань	76
Участь у підготовці та проведенні наукових конференцій, симпозіумів	76
Участь у редколегіях наукових видань	77
Робота з пропаганди наукових досягнень та висвітлення науково-дослідної діяльності в ЗМІ	78

Вступ

Наукова рада з проблеми «Фізика низьких температур і криогенна техніка» при Відділенні фізики і астрономії НАН України працює при Фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б. І. Веркіна НАН України з 2009 р. Раду очолює академік НАН України С. Л. Гнатченко. На цей час Рада має 6 секцій: «Фізика квантових рідин та кристалів» (очолює чл.-кор. НАН України Е. Я. Рудавський); «Фізика надпровідності» (очолює чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк); «Низькотемпературний магнетизм» (очолює акад. НАН України М. Ф. Харченко); «Електронні властивості твердих тіл» (очолює Ю. О. Колесніченко); «Фізика молекулярних кристалів» (очолює чл.-кор. НАН України М. О. Стржемечний); «Низькотемпературне матеріалознавство та криогенна техніка» (очолює С. І. Бондаренко). До складу Ради входять 66 провідних фахівця з фізики низьких температур з Києва, Харкова, Одеси, Львова тощо. В Інтернеті розміщена веб-сторінка Ради http://www.ilt.kharkov.ua/bvi/structure/naukova_rada_fntkt_u.htm/. Науковий звіт за результатами наукових досліджень у 2017 році буде розміщен на веб-сторінці Ради. Підсумки та результати досліджень, проведених у 2014-2016 рр., підсумовані у наукових звітах, які теж доступні на веб-сторінці Ради.

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

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

Чимало установ НАН України та закладів МОН України також проводять активні дослідження в галузі фізики низьких температур та криогенної техніки. Представники основних з них входять до складу Ради. Серед них Інститут фізики НАН України, Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України, Інститут магнетизму НАН України та МОН України, Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова, Радіоастрономічний інститут НАН України, Інститут фізики конденсованих систем НАН України, ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, Інститут монокристалів НАН України, Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, НТУ України «Київський політехнічний інститут», НТУ «Харківський політехнічний інститут», Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Інститут холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В. С. Мартиновського тощо. Має свого представника в Раді, Г. К. Лавренченка, і Східноєвропейська асоціація виробників технічних газів «СІГМА» (засновниками якої є ТОВ «Елме Мессер Україна» (м. Харків), ПКФ «Кріопром» ТОВ

(м. Одеса), ТОВ «Інститут низькотемпературних енерготехнологій» (м. Одеса)). «СІГМА» опікується формуванням та реалізацією єдиної науково-технічної політики в області вдосконалення установок розділення повітря та інших газових сумішей, систем виробництва та скраплення низькотемпературних технічних газів, забезпечення їх ефективної й безпечної експлуатації, до її складу входять більше 40 підприємств та організацій.

У 2017 році Рада приймала участь у вирішенні наступних задач: формування напрямів досліджень з фізики та техніки низьких температур в Україні, підтримка високого рівня фундаментальних та прикладних досліджень, організація конференцій, координація видавничої діяльності з низькотемпературної тематики, підготовка кадрів, підтримка та розвиток традицій української школи фізики та техніки низьких температур. Також, за дорученням Бюро Відділення фізики і астрономії НАН України фахівці ради провели експертизу ряду запитів на проведення науково-дослідних робіт з низькотемпературної тематики.

Активну участь взяли члени ради у науковому забезпеченні організації міжнародних та українських наукових конференцій з низькотемпературної тематики. Незважаючи на складні умови, у 2017 році Фізико-технічний інститут низьких температур провів 8-у Міжнародну конференцію спеціалістів та молодих вчених «Фізика низьких температур-2017». Тематика форуму охоплювала основні напрями досліджень з низькотемпературної фізики, зокрема, низькотемпературний магнетизм, нанофізику, надпровідність, фізику квантових рідин та криокристалів, теоретичну фізику конденсованого стану, нанобіофізику тощо. З 16 запрошеними лекціями виступили провідні вчені із США, Німеччини, Японії, Франції, Великобританії, Португалії, Чехії, Індії, Грузії, Росії та України. Було представлено 155 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. Усі доповіді викликали велику зацікавленість та отримали позитивну оцінку аудиторії. Дискусії, що проходили під час доповідей та в перервах, були цікавими і динамічними. В умовах сьогодення, незважаючи на низку труднощів з організації, конференцію було проведено на якісно високому рівні.

У 2017 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. Академік НАН України С. Л. Гнатченко та В. О. Карачевцев очолювали Організаційний комітет 5-ї міжнародної конференції «Nanobiophysics: Fundamental and Applied Aspects» (2-5 жовтня, 2017 р., Харків, Україна). Академіки НАН України С. Л. Гнатченко та М. Ф. Харченко брали участь у роботі Програмного комітету 8-ї Міжнародної конференції спеціалістів та молодих вчених «Фізика низьких температур-2017» (29 травня - 02 червня, 2017 р., Харків, Україна). П. П. Паль-Валь входив до Міжнародного наукового комітету 18 Міжнародної конференції із внутрішнього тертя та механічної спектроскопії ICIFMS-18 (12-15 вересня, 2017 р., Фос-ду-Ігуасу, Бразилія <http://www.icifms18.com.br/committes.php>) та є співголовою Організаційного комітету 6-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Структурна релаксація в твердих тілах» ICSRS-6 (22-24 травня, 2018 р., Вінниця, Україна). Чл.-кор. НАН України М. О. Стржемечний увійшов до складу Програмного комітету 12-ї Міжнародної конференції з фізики криокристалів «Cryocrystals and Quantum Crystals» (26-31 серпня, 2018 р., Вроцлав, Польща). Молодий науковець ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України Н. С. Мисько-Крутік співголовою

організації Міжнародної конференції IONS Balvanos 2017 (25-28 липня, Бальванош, Румунія). Г. К. Лавренченко (асоціація «СІГМА» разом з ІНТЕТ) очолював організаційні комітети, які організували та провели в 2017 р. два міжнародні семінари з актуальної тематики «Вдосконалення виробництва аміаку, діоксиду вуглецю та карбаміду» (13 - 16 червня, 2017 р., Одеса, Україна) та «Підвищення ефективності та безпеки виробництв продуктів розділення повітря» (19 - 22 вересня, 2017 р., Одеса, Україна).

В той же час, члени Ради беруть активну участь у роботі великих Міжнародних наукових товариств: перш за все, це Українського фізичного товариства, Європейського та Американського фізичних товариств, а також Математичних товариств: Українського, Американського та Європейського. Крім участі у засіданнях та наукових формах, вчені працюють в комітетах та комісіях. У 2017 році структурно оформив свою діяльність молодіжний осередок міжнародного оптичного товариства (The Optical Society, OSA, www.osa.org) та Міжнародного товариства з оптики та фотоніки (The International Society for Optics and Photonics, SPIE, www.spie.org).

Обмін актуальною науковою інформацією, знайомство з останніми досягненнями в певних галузях науки забезпечується і тим, що вчені беруть активну участь у організації роботи відкритого Загальнофізичного семінару, що працює при ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України на регулярній основі. До участі у семінарі запрошуються з доповідями провідні вчені з академічних установ та університетів України та інших країн. Семінар відвідують студенти старших курсів та аспіранти Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна та Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» та ін. За минулий рік було проведено 5 засідань семінару на яких виступили учені як з наукових установ Харкова та Києва, так і з Франції та Великої Британії.

Слід відмітити, що налагоджена також і активна взаємодія та обмін інформацією в галузі фізичних досліджень між провідними науковими установами Харкова. Організований та працює Харківський міський Загальнофізичний семінар в Будинку вчених. Семінар відбувається під головуванням академіків НАН України Л. А. Пастура та І. М. Неклюдова, секретарем семінару є завідувач відділу теоретичної фізики ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України І. В. Криве. Усього за 2017 рік було проведено 6 міських семінарів на яких з доповідями виступили як харківські вчені, так і науковці з Японії та Мексики.

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. У 2017 р. журнал надрукував 200 наукових статей, з яких 8 оглядів з актуальних проблем фізики низьких температур та 5 коротких повідомлень. Зазначимо, що збереження традицій школи низькотемпературної фізики в Україні є одним з пріоритетів роботи журналу, так. у 2017 році було видано 7 спеціальних тематичних випусків журналу, а саме: №1 та №2 «До 100-річчя від дня народження І. М. Ліфшиця», №4 «XXI Уральська міжнародна зимова школа з фізики напівпровідників», №5 «До 70-річчя від дня народження С. Л. Гнатченко», №7 «Надпровідні та мезоскопічні структури. До 70-річчя від дня народження А. М. Омелянчука», №8 «Low dimensionality and inhomogeneity effects in quantum matter. До 85-річчя від дня народження В. В. Єременко», №11 «До 80-річчя від дня народження А. І. Звягіна».

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 найреєстрованих фізичних журналів України: імпаکت-фактор журналу «Фізика низьких температур», який підраховується незалежним Institute for Scientific Information, дорівнює 0,804, 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.

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

1. «Condensed Matter Physics» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк (заст. гол. редактора), чл.-кор. НАН України Ю. В. Слюсаренко).
2. «East European Journal of Physics» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Слюсаренко).
3. «IEEE Transaction of Applied Superconductivity» (чл.-кор. НАН України Т. О. Пріхна).
4. «ISRN Condensed Matter Physics» (чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк).
5. «Journal of Low Temperature Physics» (чл.-кор. НАН України Е. Я. Рудавський).
6. «Journal of Magnetism and Magnetic Materials» (чл.-кор. НАН України Б. О. Іванов).
7. «Modern Instrumentation» (О. В. Савченко)
8. «Phase Transitions» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк).
9. «Physica B: Condensed Matter» (чл.-кор. НАН України М. О. Стржемечний).
10. «Science of Sintering» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
11. «Semiconductor Physics, Quantum and Optoelectronics» (чл.-кор. НАН України О. Є. Беляєв (заст. гол. редактора), акад. НАН України М. Г. Находкін).
12. «Telecommunications and Radio Engineering» (М. Т. Черпак).
13. «Ukrainian Journal of Physical Optics» (акад. НАН України М. Ф. Харченко).
14. «Вісник КНУ імені Тараса Шевченка, серія «Радіофізика та електроніка» (Г. А. Мелков).
15. «Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна, серія «Фізика» (Р. В. Вовк (гол. редактор), чл.-кор. НАН України В. О. Ямпольський).
16. «Деформация и разрушение материалов» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
17. «Електронна мікроскопія і міцність матеріалів» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
18. «Журнал математичної фізики, аналізу, геометрії» (акад. НАН України Л. А. Пастур (гол. редактор)).
19. «Журнал фізичних досліджень» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк).

20. «Материаловедение» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
21. «Металофізика та новітні технології» (чл.-кор. НАН України В. М. Антонов, чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк).
22. «Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології» (чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк).
23. «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).
24. «Радиофизика и радиоастрономия» (акад. НАН України В. М. Шульга).
25. «Сверхтвердые материалы» (чл.-кор. НАН України Т. О. Пріхна).
26. «Технічні гази» (Г. Є. Лавренченко (гол. редактор), С. І. Бондаренко).
27. «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).
28. «Фізичний збірник НТШ» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк).
29. «Фізична інженерія поверхні» (акад. НАН України М. Г. Находкін).
30. «Физика 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).
31. «Хімія, фізика та технологія поверхні» (чл.-кор. НАН України В. Й. Сугаков).
32. «Ядерна фізика та енергетика» (чл.-кор. НАН України В. Й. Сугаков (заст. гол. редактора)).

Члени Ради активно беруть участь у атестації наукових кадрів і наукових установ. Так, зокрема, у ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України працюють 3-и спеціалізовані вчені ради з присудження наукових ступенів доктора (кандидата) наук в галузі фізичних та математичних наук. За 2017 рік відбувся захист 1 докторської та 8 кандидатських дисертацій.

Спільна діяльність Ради та ряду провідних університетів Києва, Харкова, Одеси була також спрямована на координацію спеціальних навчальних програм на кафедрах вищих навчальних 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».

Провідні фахівці ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України читають курси лекцій та ведуть 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, а також і в інших вищих навчальних закладах. Зокрема, у 2017 році науковцями було прочитано для студентів цих філій курси лекцій та проведені практичні заняття за такими темами: кріотехнології в енергетиці та теплофізиці, низькотемпературні проблеми енергетики, фізика високотемпературних надпровідників, магнітні властивості атома та слабкий магнетизм, фізика магнітних явищ у конденсованому середовищі,

магнітовпорядковані речовини, основи фізики магнітних явищ, низькі температури в енергетиці; наноструктурні матеріали та нанотехнології в нетрадиційній та відновлюваній енергетиці; сучасні методи наукового експерименту; сучасні методи експериментальних досліджень магнетиків, фізика та техніка низьких температур; квантові технології та мезоскопічна фізика, мас-спектрометрія у біофізичних дослідженнях, «medical and biological physics» (in English), фізика твердого тіла; фізична кінетика; квантова теорія металів; оптика та спектроскопія матеріалів, мезоскопічна фізика, теоретична фізика; основи динамічної теорії кристалів тощо.

У 2017 р. у ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України проходили стажування близько десяти викладачів ХНУ ім. В. Н. Каразіна та НТУ «ХП».

Організація учбового процесу у ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України органічно поєднується з участю студентів-практикантів у проведенні наукових досліджень у сучасних галузях фізики низьких температур та математики, їх залученням до підготовки наукових доповідей і статей за результатами експериментів та розрахунків. 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 «ХП» регулярно знайомляться з роботою Центра колективного користування НАН України «Скрапнений азот», який обладнаний унікальною в Україні установкою з виробництва скрапленого азоту StirLIN-8 фірми Stirling Cryogenics & Refrigeration BV. Студенти 4 - 6-го курсів фізико-технічного та фізичного факультетів Харківського національного університету та фізико-технічного факультету НТУ «ХП» проходять практику та активно займаються науковими дослідженнями в лабораторіях ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України: вивчають температурні залежності псевдощілини в монокристалах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ під тиском до 1 Гпа; в магнітних полях досліджують вплив домішок титану та гафнію на магніторезистивність полікристалів $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ в області надпровідного переходу; досліджують фріделевські осциляції у двовимірному електронному газі з спін-орбітальною взаємодією; вивчають динамічні властивості наномеханічного резонатора та частотні властивості стохастично-параметричного посилення сигналів зі складним спектром у надпровідних квантових інтерферометрах, досліджують макроскопічні структури, що моделюють процес перетворення провідного каналу точкового контакту в наноструктурний електрохімічний протяжний елемент, теоретично досліджують тунелювання спін-поляризованих електронів в молекулярних транзисторах, спінтронну термоелектрику тощо.

За результатами досліджень з участю студентів було підготовлено близько десятка статей та доповідей на XIII Міжнародній науковій конференції «Фізичні явища в твердих тілах», присвяченій 100-річчю з дня народження академіка І. М. Ліфшиця (5-8 грудня, 2017 р., Харків, Україна), Міжнародній конференції «XXXIX Max Born Symposium: 5th International Symposium on optics & its applications (OPTICS-2017)» (3-7 липня, 2017 р., Вроцлав, Польща), 8-й Міжнародній конференції спеціалістів та молодих вчених «Фізика низьких температур-2017» (29 травня - 02 червня, 2017 р., Харків, Україна), 5-й міжнародній конференції «Nanobiophysics: Fundamental and Applied Aspects» (2-5 жовтня 2017 р., Харків, Україна), Міжнародній конференції «Carbon Nanomaterials: Structure and Properties» (25-27 вересня, Київ, Україна) тощо.

Так склалося, що в установах, які ведуть дослідження в галузі фізики низьких температур та криогенної техніки, також 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 є О. В. Ватажук, ведеться активна робота з метою всебічного сприяння науковій, дослідницькій та іншій творчій діяльності молодих вчених інституту, а також, залучення до роботи в інституті талановитої наукової молоді та пропаганди наукових знань. Рада опікується організацією та проведенням Міжнародної конференції професіоналів та молодих вчених «Фізика низьких температур», яка загалом проводиться вже більше десяти років поспіль. Крім того, Рада регулярно організує та проводить екскурсії студентів та школярів старших класів до наукових відділів ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України, приймає активну участь у «Днях науки» та «Фестивалі науки».

Згідно розпорядження №152 від 7 квітня 2017 р. Голови Харківської обласної державної адміністрації було утворено Ради молодих вчених при Харківській обласній державній адміністрації у кількості 30 осіб, що представляють вищі навчальні заклади та наукові установи регіону. Голова Ради молодих вчених і спеціалістів ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України О. В. Ватажук увійшла до складу цієї Ради, яка є колегіальним виборним дорадчим органом при Харківській облдержадміністрації та була утворена для забезпечення прав та інтересів молодих вчених Харківщини. Метою діяльності ради є сприяння реалізації прав молодих вчених щодо їх участі у формуванні та реалізації державної політики у відповідній сфері, забезпечення їх активної участі в проведенні наукових досліджень та захисту їх прав та інтересів. Створення Ради сприяло взаємодії Харківської обласної державної адміністрації з молодими вченими, стимулюванню їхньої професійної діяльності. Серед головних завдань ради – підготовка пропозицій щодо створення правових і соціально-економічних умов для залучення молодих вчених до роботи в різних галузях науки, консультативна підтримка молодих вчених у здійсненні наукової діяльності, співробітництво з іноземними замовниками наукової продукції, сприяння залученню молодих вчених до участі у конкурсах наукових робіт, формування колективів молодих вчених для виконання перспективних наукових проєктів, підтримка молодих вчених у проведенні ними науково-організаційних, наукових та освітніх заходів, сприяння розвитку і вдосконаленню наукової сфери України та її інтеграції у світовий та європейський дослідницький простір.

У 2017 році члени Ради, науковці ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України провели значну роботу з пропаганди наукових досягнень та ознайомлення громадськості з науково-дослідною діяльністю, яка ведеться в галузі фізики низьких температур. Інститут взяв активну участь у проведенні просвітницьких заходів та акцій з пропаганди наукових досягнень, зокрема, у проведенні 11-го Всеукраїнського фестивалю науки (травень 2017 р.), у всеукраїнському проєкті «Днів науки. Весна 2017», та SCIENCE WEEK з нагоди Всесвітнього дня науки в ім'я миру та розвитку «Дні науки. Харків 2017», «VII Наукових пікніків» тощо. Слід зазначити, що діяльна позиція науковців ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України була відзначена рядом дипломів та відзнак від організаторів цих просвітницьких заходів. На протязі року проводились також дні відкритих дверей, під час яких Інститут відвідало більше 200 студентів Національного технічного університету «ХПІ», Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна, Харківського регіонального інституту державного управління Національної академії державного управління при Президентові України, школярів гімназій та харківських загальноосвітніх шкіл. Програма днів відкритих дверей включала екскурсії до науково-

дослідних відділів, знайомство з історією фізичних досліджень в галузі фізики низьких температур в Харкові та історією ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України, зустрічі з провідними науковцями Інституту. Проводили екскурсії директор академік НАН України С. Л. Гнатченко, академік НАН України Л. А. Пастур, чл.-кор. НАН України Е. Я. Рудавський, провідні наукові співробітники В. К. Чаговець, В. А. Майданов, М. П. Міхін, В. О. Горькавий, члени Ради молодих вчених ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна М. С. Барабашко, Р. М. Баснукаєва, О. М. Ватажук, Н. В. Гамаюнова, В. Г. Гейдаров, Г. О. Герус, Н. С. Місько-Крутик, Є. В. Петренко, С. М. Попережай, Ю. О. Савіна, Ю. О. Шаповалов та інші. У листопаді 2017 р. молоді вчені Харкова, відповідно до мети Всесвітнього дня науки в ім'я миру та розвитку, показали гостям ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України базові експерименти з оптики (розповсюдження й заломлення світла, явища дисперсії, дифракції, поляризації та селективного відбиття світла, дослідження об'єктів під мікроскопом, оптичні ілюзії, продемонстрували роботу електричних схем з фотоелементами та низькотемпературні досліди з рідким азотом (випаровування рідкого азоту при кімнатній температурі, явище магнітної левітації, формування хмар, демонстрація змін властивостей речовин і поведінка живих тканин при низьких температурах) та інші.

В той же час науковці приймають участь у підвищенні рівня викладання природничих наук та математики у школі. Так, члени Ради долучилися до підготовки навчальних програм з курсів фізики та курсу астрономії для учнів 10-11 класів загальноосвітніх навчальних закладів. Комісією очолив академік НАН України В. М. Локтев. У місячний термін комісія підготувала проекти відповідних програм, які готові до впровадження вже з наступного навчального року. Академік НАН України М. Ф. Харченко приймав активну участь в обговоренні проектів програм з фізики і астрономії як окремих навчальних предметів у загальноосвітніх школах. А. С. Похила є позаштатним членом редколегії журналу «Фізика в школах України» Видавничої групи «Основа» (Харків) та редагує добірку «Новини науки і техніки».

Підсумовуючи, можна зазначити, що навіть в складних умовах сьогодення члени Наукової ради не тільки проводять на високому рівні наукові дослідження, а й активно займаються координаційною діяльністю з проблеми «Фізика низьких температур і кріогенна техніка» як в Україні, так і на міжнародному рівні, та намагаються налагодити і підтримувати ефективну взаємодію з вищими навчальними закладами та установами МОН України. Зазначимо, що доцільно було б, для активізації роботи Ради з проблеми «Фізика низьких температур і кріогенна техніка», розширити роботу з експертного оцінювання організацій та підрозділів, які працюють за низькотемпературною тематикою, науково-дослідних робіт і запитів на отримання наукових грантів, проводити обговорення робіт, які висунуті на здобуття премій НАН України імені видатних вчених, планів підготовки та видання монографій з низькотемпературної тематики.

СКЛАД

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

Голова Наукової ради:

акад. НАН України **Гнатченко Сергій Леонідович**

Заступники голови:

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

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

Вчений секретар:

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

Бюро Наукової ради

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

Члени Наукової ради

Секція «Фізика квантових рідин та кристалів»

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

Секція «Фізика надпровідності»

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

Секція «Фізика магнітних явищ»

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

Секція «Електронні властивості твердих тіл»

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

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

Секція «Фізика молекулярних кристалів»

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

Секція «Низькотемпературне матеріалознавство та кріогенна техніка»

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

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

Наукові результати вчених України у галузі фізики низьких температур і кріогенної техніки у 2017 році

Секція «Фізика квантових рідин та кристалів»

Проведено експерименти зі збудження гідродинамічних потоків у надплинному гелії при змушених коливаннях кварцового камертона, зануреного в рідину. Досліджено нелінійні коливання, які виникають при збільшенні сили, що їх збуджує, і проявляються перекошуванням форми резонансної амплітудно-частотної характеристики в порівнянні з лоренцовими кривими, типовими для гранично малої сили. Нелінійні резонансні криві описані з використанням нелінійного рівняння Дуффінга, параметри якого встановлені при порівнянні теоретичного розрахунку з експериментальними даними.

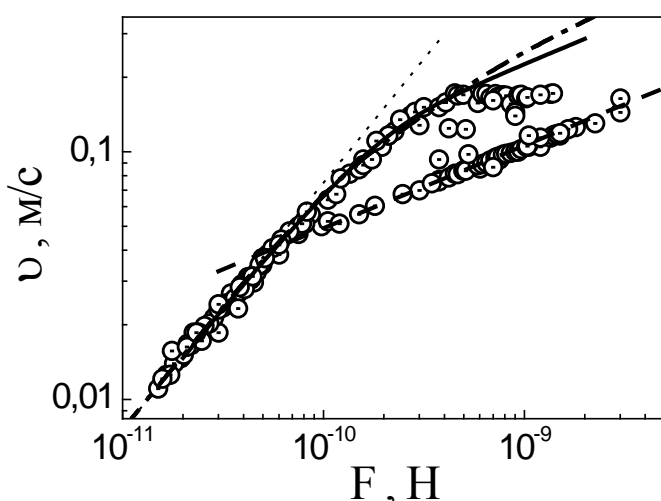


Рис. 1.1. Залежність швидкості коливань камертона від прикладеної сили при температурі 140 мК

Залежність швидкості коливань ніжок камертона від збуджуючої сили, встановлена з використанням рівняння Дуффінга (суцільна лінія), виявляється близької до залежності, що раніше була отримана для квазіламінарного плинку ^2He . Вона включає до себе, крім лінійного по швидкості коливань, внесок, який типовий для ламінарного руху рідини, а також кубічний по швидкості внесок у силу взаємного тертя (штрих-пунктирна лінія). Ця сила обумовлена розсіюванням фононів на квантованих вихорах у турбулентному потоці. Пунктирна лінія стаціонарний – турбулентний режим течії, та крапки лінійна залежність швидкості коливань у ламінарному режимі течії.

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

Досліджено вплив домішкових атомів ^3He на коефіцієнт опору, який виникає при коливаннях кварцового резонатора, поміщеного в надплинний розчин ^3He в ^4He , в режимі ламінарного потоку рідини. В роботі була виміряна температурна залежність резонансних кривих кварцових камертонів з резонансною частотою 32 кГц в надплинному розчині з концентрацією ^3He 0,05 і 0,15 в широкому діапазоні збуджуючих сил. Отримані дані дозволили побудувати температурну залежність коефіцієнта опору. За допомогою нормування на ефективну площу тіла, що коливається, побудована і проаналізована концентраційна залежність коефіцієнта опору кварцового камертона і сфери, що коливаються в надплинних розчинах ^3He в ^4He .

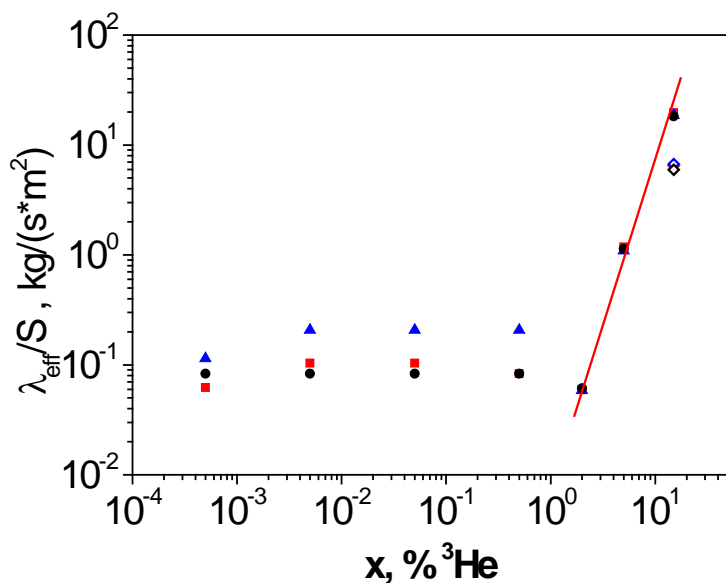


Рис. 1.2. Концентраційна залежність нормованого лінійного коефіцієнта опору λ_{eff}/S : ● – $T = 0,5$ К; ▲ – $T = 0,8$ К; ■ – $T = 1$ К. Суцільна лінія відповідає залежності $\lambda_{\text{eff}}/S \sim x^3$

(В. А. Бахвалова, І. А. Гриценко, В. К. Чаговец, Г. А. Шешин, ФТІНТ НАНУ)

Показано, що у трикомпонентному газі квазічастинок надплинного гелію (^2He), який утворено фононами, ротонами та квантованими вихровими кільцями (КВК), рівновага встановлюється миттєво у масштабах часів розглянутих експериментів. У результаті утворюється єдина нормальна компонента, яка може рухатися щодо надплинної компоненти зі швидкістю \mathbf{w} . Показано, що при наявності \mathbf{w} в ^2He виникає електричне поле, яке спостерігалось в експериментах. Причини цього полягають в анізотропній залежності енергії КВК від його імпульсу при наявності \mathbf{w} та існування дипольного моменту у КВК. Розглянуто випадок, коли дипольний момент КВК утворено його власним дипольним моментом та дипольним моментом, створеним зовнішнім полем. Розв'язано задачу про виникнення електричного потенціалу в стоячій хвилі другого звуку в зовнішньому постійному електричному полі. Отримано електричні потенціали, що виникають в хвилі першого звуку за рахунок флексоелектричного ефекту, прискорення рідини та зовнішнього постійного електричного поля. За отриманими формулами виконано чисельні розрахунки, які дозволяють зіставити теорію з експериментами та можуть стимулювати постановку нових експериментів.

(І. М. Адаменко, Є. К. Немченко, ХНУ)

Слабкий розчин ^3He у надплинному ^4He є унікальним квантовим об'єктом, в якому співіснують дві фермі-рідини різної вимірності: тривимірна фермі-рідина ^3He атомів в об'ємі розчину і двовимірна фермі-рідина ^3He атомів на поверхні. Взаємодія цих двох фермі-рідин змінює характер процесу відбиття тривимірних квазічастинок від вільної поверхні розчину (Рис. 1.3), що впливає на динаміку поверхні квантової рідини. Для вивчення нових ефектів, що індукуються взаємодією двох різних фермі-рідин, досліджувалася рухливість вігнеровського кристала (ВК) електронів над поверхнею розчину $^3\text{He}-^4\text{He}$. В результаті цих досліджень виявлено аномальне збільшення рухливості ВК (Рис. 1.4) в порівнянні з випадком, коли дві фермі-рідини можна вважати такими, що не взаємодіють (лінія S). Це збільшення рухливості пояснене нетривіальним відбиттям тривимірних квазічастинок від поверхні розчину (Рис. 1.3c), яке не зводиться до загальноприйнятих дзеркального (Рис. 1.3a) або дифузного (Рис. 1.3b) відбиттів.

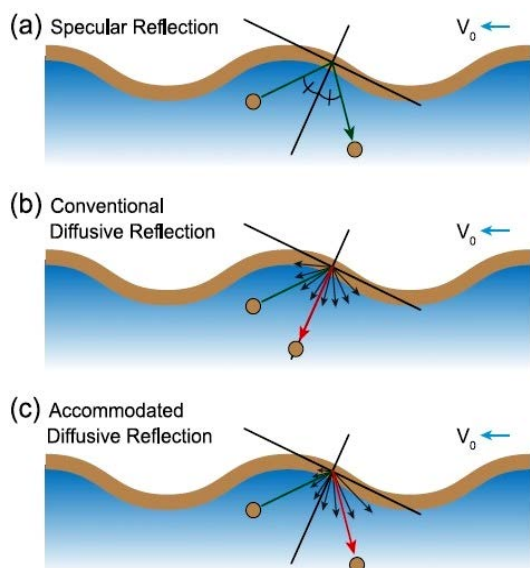


Рис. 1.3. Схематичне зображення різних моделей відбиття квазічастинок ^3He від рельєфу поверхні розчину в системі координат, рухомій разом з рельєфом.

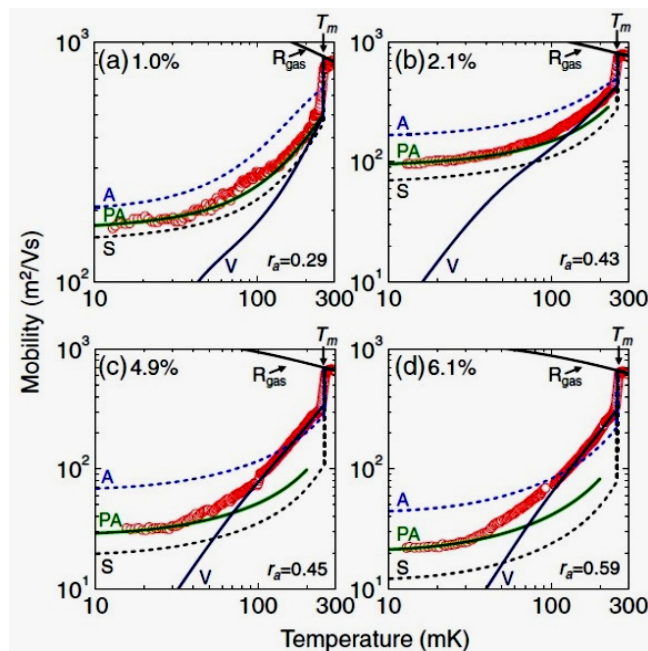


Рис. 1.4. Температурна залежність рухливості ВК для різних концентрацій розчину. Теорія: в'язкий режим (V), дзеркальне відбиття (S), повна акомодация (A), часткова акомодация (PA) з параметром

(Н. Ikegami, D. Sato, K. Kono, RIKEN (Japan); К. Kim, Н. Choi, KAIST (Korea); Ю. П. Монарха, ФТІНТ НАНУ)

Методом молекулярної динаміки проведено моделювання струмових процесів у просторово впорядкованій системі поверхневих електронів над рідким гелієм (вігнерівському кристалі), яка розташована у вузькому каналі з обмеженим характером руху поперек каналу завдяки дії утримуючого потенціалу параболічного типу. Показано, що електричні поля, прикладені вздовж електронної системи при вимірюваннях електричного струму, можуть призводити до значного перестроювання просторової конфігурації електронів. Наслідком цього перестроювання і є струм, що вимірюється в ході експерименту. Показано, що при певних умовах електрони можуть залишати канал, долаючи енергетичний бар'єр, що призводить до появи сплесків на струмових характеристиках системи. На основі порівняння результатів моделювання з існуючими експериментальними даними був зроблений висновок про те, що ефекти, які спостерігались в експериментах, зумовлені виключно електрон-електронною взаємодією та впливом зовнішніх полів і не мають відношення до особливостей електрон-риплонної взаємодії.

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

Вперше проведено експериментальне дослідження уявної компоненти діелектричної проникності рідкого ^4He методом шепучої галереї в області температур 1,2 – 2,6 К. Експериментальний пристрій являв собою діелектричний дисковий резонатор, занурений в рідкий гелій і працюючий на високоякісних модах шепучої галереї на ротонній частоті.

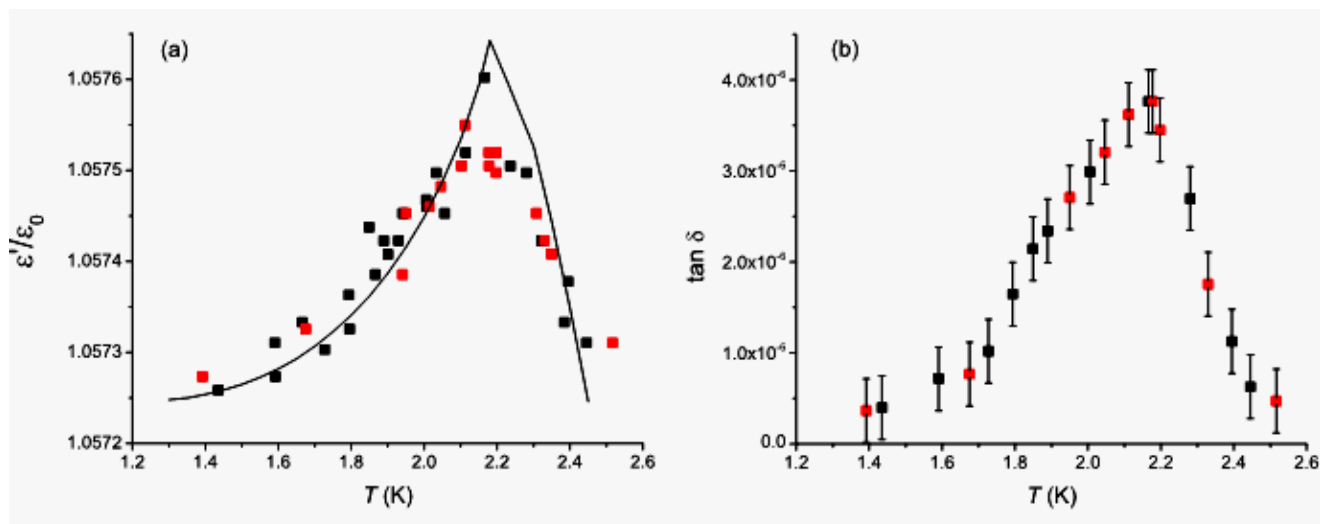


Рис. 1.5. Діелектрична проникність ϵ'/ϵ_0 (a) та уявна втрата $\tan \delta = \epsilon''/\epsilon'$ (b) рідкого гелію в залежності від температури. Дані побудовані при збільшенні (червоні символи) та зменшенні (чорні символи) температури, відповідно. Суцільна лінія показує ϵ'/ϵ_0 від реф. (R. J. Donnelly, C. F. Varenghi, Journal of Physical and Chemical Reference 27, 1217, 1998).

Це дозволило виміряти як дійсну, так і уявну частину діелектричної проникності. Одержані експериментальні значення для дійсної частини діелектричної проникності рідкого

гелію добре узгоджуються з попередніми дослідженнями. Це показано порівнянням з даними з роботи Донеллі та Баренжі, що позначено суцільною лінією на Рис. 1.5(a). Що до поведінки уявної компоненти діелектричної проникності, то вперше спостережено сильне її зростання (на порядок величини) поблизу температури надплинного переходу (Рис. 1.5(b)). Така поведінка може бути пов'язана із зростанням ротонного механізму дисипації та впливу флуктуацій та потребує спеціального теоретичного дослідження.

(О. С.Рибалко, ФТІНТ НАНУ, А. В. Смородін, Д. Константінов, ОІСТ, Окінава, Японія).

Проведена верифікація нещодавно виявленого явища у надплинному гелії – електричного відгуку при збудженні хвилі другого звуку. Зроблено це за допомогою різних підсилювачів, в тому числі таких, які працюють при криогенних температурах. Розроблений криогенний передпідсилювач складається з розташованого біля резонатора транзистора. Успіх визначило те, що в якості основного елемента підсилювача був обраний польовий транзистор, що відноситься до класу гетероструктурних псевдоморфних елементів, у яких активація електронів струмопереносу здійснюється не термічно, а вбудованим полем гетеропереходу. Представлено розгорнутий опис стандартних методик вимірювання електричного відгуку в хвилі другого звуку. Наведено найбільш вдалі схеми підсилювачів для прецизійних низькотемпературних вимірювань, а також аналіз чутливості різних вимірювальних систем. Основна мета роботи – обґрунтування достовірності ефекту електричної активності, що виникає в резонаторі з ^2He при збудженні хвилі другого звуку. Показано, що спостережений сигнал електричного відгуку не пов'язаний із зовнішніми перешкодами або внутрішніми наведеннями, а також не є результатом ні прямого акустоелектричного перетворення, ні термоконтактних потенціалів. Проведено також аналіз і порівняння нових експериментальних даних, отриманих в наукових групах Харкова та Праги.

(О. С. Рибалко, ФТІНТ НАНУ, Т. В. Чаговець, Інститут фізики, Прага, Чеська республіка, О. М. Корольов, ІРЕ НАНУ)

Показано, що в багатокомпонентних рідинах, щільних газах та твердих розчинах можуть утворюватись нанокластери, стабільність яких обумовлена спонтанним обертанням наночастинок. Спонтанне обертання нанокластерів пов'язано зі зростанням обертальної ентропії, яке призводить до зростання частоти обертання наночастини та оптимізації форми і розміру наночастинок. В більшості випадків утворення наночастинок призводить до зростання вільної енергії системи, тобто нанокластери являються метастабільними утвореннями. У випадку надплинної рідини двокомпонентність її обумовлена наявністю надплинної та нормальної компонент. У випадку газів параметром, що змінюється є їх густина.

(А. І. Карасевський, ІМФ НАНУ)

Виявлені нові особливості кінетики фазового розшарування та наступної гомогенізації твердого розчину ^4He в ^3He з концентрацією 90% ^3He в області температур 0,1 – 1,5 К. В експерименті розшарування ініціювалось як при швидкому охолодженні однорідного розчину, так і при повільному охолодженні маленькими сходишками по температурі. Для реалізації швидкого охолодження був використаний спеціальний слабкий зв'язок між вимірювальною коміркою та камерою розчинення рефрижератора. Після досягнення в системі повного розшарування викликався зворотній фазовий перехід до гомогенного стану шляхом нагріву розчину.

Встановлено, що кінетика гомогенізації твердого розчину суттєво залежить від кінетики попереднього фазового розшарування. При цьому, після перших 30 – 50 сек після початку гомогенізації часова залежність тиску розчину добре описується експоненціальним законом. Показано, що у випадку швидкого охолодження часова константа в 5 – 7 разів менша, ніж у випадку повільного охолодження. Наочно вплив кінетики розшарування на кінетику наступної гомогенізації демонструється на Рис. 1.6, де приведено відносне змінення тиску dP у процесі гомогенізації. У випадку швидкого охолодження (крива 2) гомогенізація розчину практично завершується через 200 сек, а при повільному охолодженні (крива 1) гомогенізація продовжується навіть через 1000 сек після початку фазового переходу. Показано, що одержані експериментальні результати узгоджуються з моделлю гомогенного зародкоутворення.

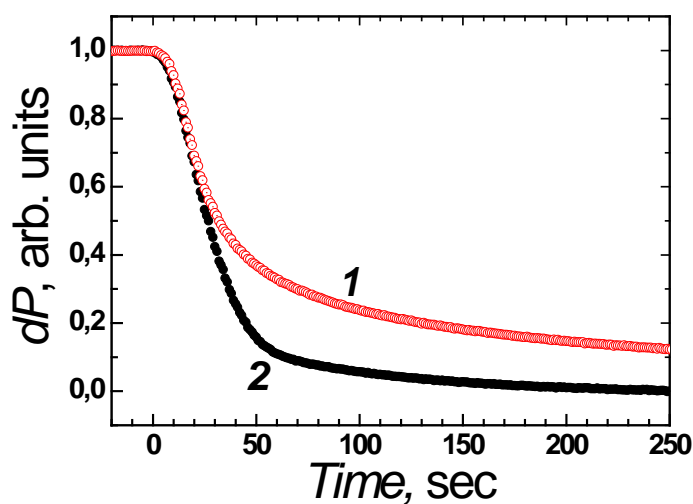


Рис. 1.6. Порівняння кінетики гомогенізації в кристалах, де попереднє фазове розшарування було одержано при повільному охолодженні (крива 1) та при швидкому охолодженні (крива 2).

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

Методом імпульсного ядерного магнітного резонансу була досліджена ядерна намагніченість ^3He , адсорбованого наноструктурним матеріалом МСМ-41 з прямолінійними гексагональними каналами розміром 2,4 нм. В експерименті вимірювалась амплітуда сигналу спінової луни h_0 , яка виникала в системі ядерних спінів ^3He після подачі двох зондуєчих імпульсів. Виявлено, що в області температур 1,3 – 8 К та покриттів ^3He 21,60 – 24,48 мкмоль/м² температурна залежність h_0 може бути описана єдиною функцією, яка відповідає

закону Кюрі. Одержані в експерименті значення h_0 були зіставлені з розрахунковими значеннями відповідної амплітуди $(h_0)_p$, яка зумовлена ядерною намагніченістю в системі ядерних спінів у зовнішньому магнітному полі. На Рис. 1.7 приведені значення відношення $a=h_0/(h_0)_p$, яке в межах $\pm 6\%$ дорівнює одиниці.

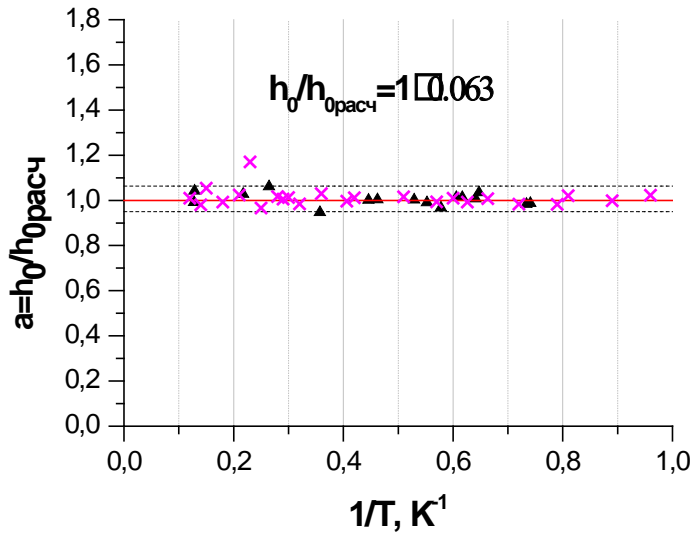


Рис. 1.7. Відношення вимірної амплітуди спінової луни до її розрахунковому значенні в залежності від температури. Пояснення в тексті.

На графіку, крім результатів даної роботи (7), наведені також результати аналогічних вимірювань в системі газоподібного ^3He (x), яка має властивості, характерні ідеального термалізованого газу. Добре узгодження цих результатів означає, що температура ядерної системи адсорбованого ^3He співпадає з виміряними в експерименті значеннями термодинамічної температури.

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

При температурах вище 1,3 К проведено експериментальне дослідження нових особливостей релаксації тиску у нерівноважних швидко вирощених кристалах слабого твердого розчину ^3He в ^4He . Була використана циліндрична вимірювальна комірка, на торцях якої були встановлені ємнісні датчики тиску. Виявлено, що при швидкості охолодження кристалів гелію в процесі їхнього росту 4 мК/с різниця тисків ΔP , яку показують датчики, при 1,3 К становила 2,4 бар. При подальшому ступінчастому підвищенні температури величина ΔP зменшувалась, але зникла лише після ретельного відпалу у передплавильній області температур. Досліджено кінетику зміни тиску при різних температурах, а одержані результати були інтерпретовані в рамках моновакансійної моделі дифузійного механізму структурної релаксації. Запропонована модель дає таку залежність ΔP від часу:

$$\Delta P(t) = \frac{1}{1+\beta} \Delta P(0) + \frac{\beta}{(1+\beta)} \Delta P(0) \exp \left[-D_v (1+\beta) \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 t \right], \quad (1)$$

де β – безрозмірний параметр, що визначається пружними властивостями кристалу, D_v коефіцієнт дифузії вакансій, L довжина вимірювальної комірки, і вона добре узгоджується з результатами експерименту (см. рис. 1.8).

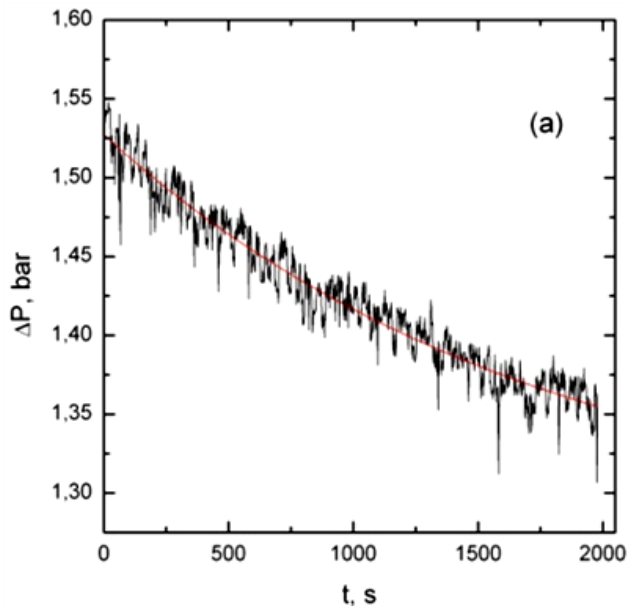


Рис. 1.8. Експериментальна залежність $\Delta P(t)$ та її апроксимація формулою (1) (червона лінія).

В рамках проведеного аналізу знайдено також коефіцієнт дифузії вакансій ареніусовського типу та енергію активації процесу. Запропонована модель може бути основою для розвитку теорії структурної релаксації в кристалах гелію зі складною нерівноважною структурою.

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

Нещодавно Х. Lin та ін. експериментально встановили, що твердий ^4He у гексагональній щільноупакованій (ГЩУ) фазі демонструє аномальну поведінку термодинамічних характеристик, передусім температурних залежностей тиску $P(T)$ та теплоємності $C(T)$. Зокрема, на стандартній залежності $C(T) \sim T^3$ спостерігається пік надлишкової теплоємності в області наднизьких температур 0,01 – 0,2 К. Нами запропонована теоретична модель ГЩУ фази твердого гелію, що інтерпретує кристал ^4He як політип з хаотичним пакуванням щільно упакованих двовимірних площинах з атомів на трикутній ґратці. Ця модель раніше вже дозволила нам адекватно інтерпретувати експериментально виміряну аномальну поведінку $P(T)$ кристала ^4He . Тепер, розрахунки, виконані в моделі ґраткового газу (квазі-Ізінг модель), дозволяють адекватно інтерпретувати температурні залежності надлишкової теплоємності $C_{ex}(T)$ ГЩУ кристала ^4He . Результати порівняння теорії з експериментом представлені на Рис. 1.9.

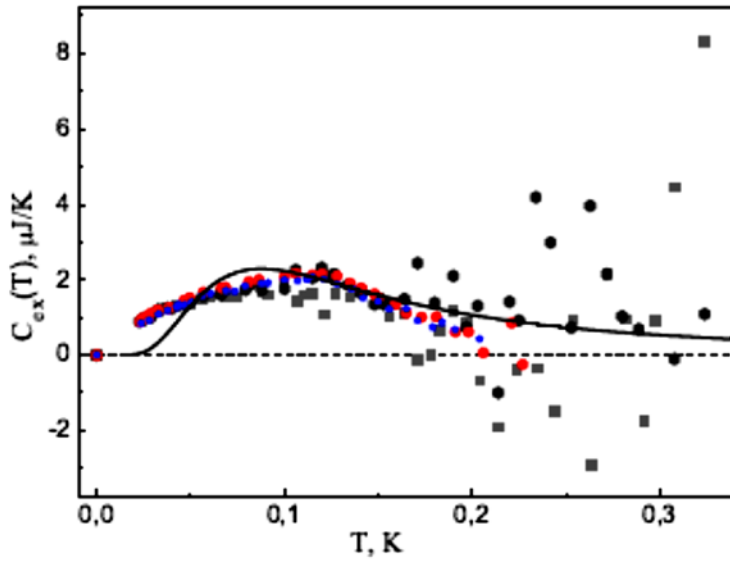


Рис. 1.9. Надлишкова теплоємність ГЦУ ${}^4\text{He}$ з вмістом домішок ${}^3\text{He}$ 1ppb та 0.3ppm (дискретні дані – експеримент, суцільна лінія – наша теорія).

(К. А. Чишко, ФТІНТ НАНУ)

Побудовано теорію квазі-нейтральних рівноважних станів зарядів над поверхнею рідкого діелектрика. Теорія базується на перших принципах квантової статистики для систем, що складаються з багатьох тотожних частинок. Запропонований підхід полягає в поєднанні варіаційного принципу, модифікованого на випадок таких систем, і моделі Томаса – Фермі. У рамках побудованої теорії здобуто систему рівнянь самоузгодження, що встановлюють співвідношення між основними параметрами опису фізичної системи: потенціалом статичного електричного поля, функцією розподілу зарядів і профілем поверхні рідкого діелектрика. Система рівнянь використана для вивчення фазових переходів системи до просторово-періодичних станів. Зокрема, запропонований метод застосований для аналізу властивостей фазових переходів у системі до просторово-періодичних структур хвилеподібного типу. Із використанням аналітичних та чисельних методів проведено детальне вивчення критичних параметрів таких фазових переходів над поверхнею тонкої плівки рідкого діелектрика. Обговорено критерії стабільності нової асиметричної фази у розглянутій системі.

(Д. М. Литвиненко, Ю. В. Слюсаренко, ІТФ ННЦ ХФТІ НАНУ)

Сформульовано модель самоузгодженого поля для суміші бозе – і фермі – частинок. Детально розглянуто випадок точкової взаємодії, для якого в явному вигляді знайдені термодинамічні функції суміші і вивчена Бозе–Ейнштейнівська конденсація взаємодіючих частинок в ферміон–бозонній системі. Показано, що зі збільшенням концентрації домішки фермі–частинок температура Бозе–Ейнштейнівської конденсації знижується, а особливості в термодинамічних величинах при температурі фазового переходу згладжуються. Побудовано діаграми стійкості суміші в координатах концентрація–температура, температура–густина і густина–концентрація. Як і у випадку чистої бозе–системи, в стані суміші з бозе–ейнштейнівським конденсатом залежність термодинамічного потенціалу від постійної

взаємодії між бозе–частинками має неаналітичний характер, внаслідок чого виявляється неможливим побудову теорії збурень за величиною константи взаємодії бозе–частинок.

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

Інфляція вважається одним з ключових стартових етапів еволюції Всесвіту, який відбувається при низьких температурах і по завершенню якої температура Всесвіту практично близька до абсолютного нуля і за своїми властивостями Всесвіт нагадує квантову рідину. За останніми даними спостережень місії Planck найбільш ймовірною моделлю інфляції є так звана модель Старобінського, в основі якої лежить припущення про існування вкладу від квадрату скалярної кривини в ефективну гравітаційну дію. У моделі інфляції Старобінського з кінетичним зв'язком ефективного поля інфлатона з електромагнітним полем нами було досліджено можливість генерації великомасштабних магнітних полів під час інфляції та прехітінгу. Розглянуто випадок експоненційної функції зв'язку і показано, що для певного вікна параметрів можливе створення великомасштабних магнітних полів, що відповідають спостережуваним даним в сучасну епоху. Спектр цих магнітних полів має ухил у блакитну сторону. Генерація електромагнітних полів відбувається наприкінці інфляційної стадії, коли еволюція інфлатона починає виходити з режиму повільного скочування. Тоді швидка зміна функції зв'язку призводить до тахіонної нестабільності у рівнянні Максвелла, що породжує експоненційне наростання всіх мод, які на момент завершення інфляції перетнули горизонт. Також показано, що стадія прехітінгу дає незначний внесок у підсилення мод, оскільки параметричний резонанс є ефективним тільки для кількох перших осциляцій інфлатона.

(С. Й. Вільчинський, КНУ та Університет Женев, Швейцарія; Е. В. Горбар, КНУ та ІТФ НАН України; О. О. Соболев, І. В. Руденок, КНУ)

Вихор – найвідоміша, та одна з найуніверсальніших просторових структур, що зустрічаються в природі, і зокрема в квантових рідинах і Бозе-Ейнштейнівських конденсатах (БЕК). Нелінійність середовища типу суміші квантових рідин гелій-4 та гелій-3 або суміші БЕКів, в якому виникають вихори може суттєво вплинути на його стійкість та просторово-часову динаміку. В останні роки все більше уваги викликають дослідження вихорових структур в нелокальних нелінійних середовищах таких як суміші БЕКів, в яких відгук середовища визначається інтенсивністю в просторово протяжній області. Нелокальність є ключовою особливістю багатьох фізичних систем, оскільки вона запобігає катастрофічному колапсу та порушенням симетрії азимутальної нестабільності інтенсивних хвильових пучків в самофокусуючих нелінійних середовищах. Це відкриває інтригуючу перспективу для стабілізації складних топологічних структур, таких як солітони вищого порядку, вихрові кільця та вихрові комплекси. Використовуючи пряме чисельне моделювання, знайдено клас циліндрично-симетричних просторових солітонів n -го порядку з розподілом інтенсивності з центральним максимумом, оточеним світлими кільцями різного розміру. Досліджено динамічні властивості цих солітонів більш високого порядку в середовищі з термічною нелокальною нелінійністю. Теоретично показано, що вихровий комплекс, що складається з

вихрового кільця та вихрової лінії, що несуть дві незалежні топологічні заряди, можна створити шляхом збурення стабільного оптичного вихрового солітона в нелокальних нелінійних середовищах.

(В. М. Білошительский, А. О. Олійник, О. І. Якименко КНУ, П. М. Кругленко ІФН НАНУ, А. С. Десятников Університет Назарбаєва, Казахстан)

Секція «Фізика надпровідності»

Було теоретично досліджено динаміку системи кубіт-резонатор – основної системи галузі, що називається квантова електродинаміка контурів. Така система складається з надпровідникового кубіта та резонатора на основі лінії передач. Обчислення було проведено в наближеннях відомих як полу-класичне та полу-квантове, зокрема, було з'ясовано різницю між ними та можливість використання більш простого полу-класичного наближення. Обговорюється потенціал таких систем для застосувань для термометрії та реалізації ємності з пам'яттю, мемемності.

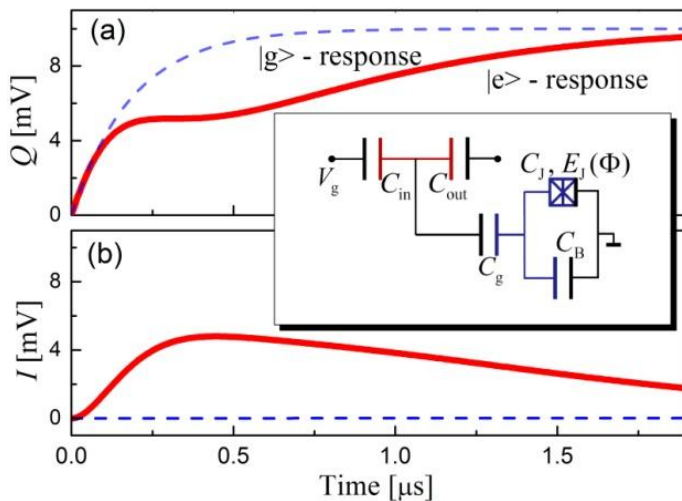


Рис. 2.1. Схема системи кубіт-резонатор та часова динаміка квадратур. Кубіт є транзмоном на основі джозефсонівського контакту, шунтованого ємністю. Транзмон ємнісно пов'язаний до резонатора. Спостережують квадратури поля I та Q на виході з резонатора після того, як кубіт був приготовлений в основному ($|g\rangle$) чи збудженому ($|e\rangle$) стані.

(С. М. Шевченко, ФТІНТ НАНУ та ХНУ)

У надпровідниках на основі заліза: •виявлено аномальний розмірний перехід у кутовій залежності магнітоопору (Рис. 2.2), що знайшло пояснення у неочікувано широкій області існування поверхневої надпровідності; •визначено, що ренормалізація квазічастинкового спектру обмежена по енергії шириною зони провідності, що доводить ключову роль електрон-електронної взаємодії у механізмі цієї ренормалізації (Рис. 2.3); •та показано, що аномальний зсув квазічастинкових зон з температурою також можна пояснити такою взаємодією, яка на міжатомному рівні призводить до блокування електронних перескоків між найближчими сусідами (Рис. 2.4).

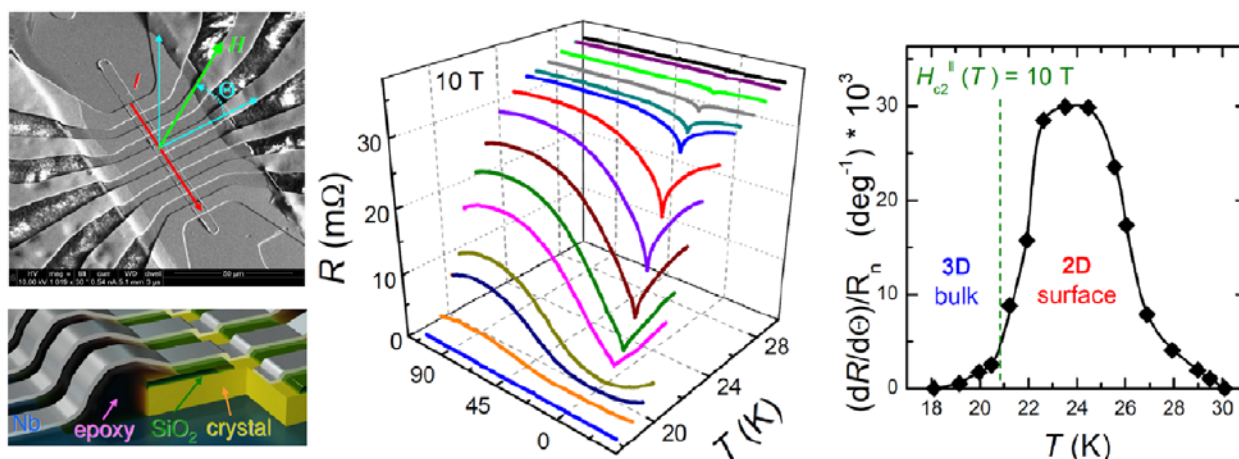


Рис. 2.2. Аномальний 2D-3D перехід у магнітоопорі (центр) надпровідника на основі заліза $\text{Ba}_{1-x}\text{Na}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ свідчить про існування неочікувано широкої області існування поверхневої надпровідності (праворуч). Ліворуч: зображення одного з досліджених зразків отримане скануючим електронним мікроскопом та 3D-ескіз зразка.

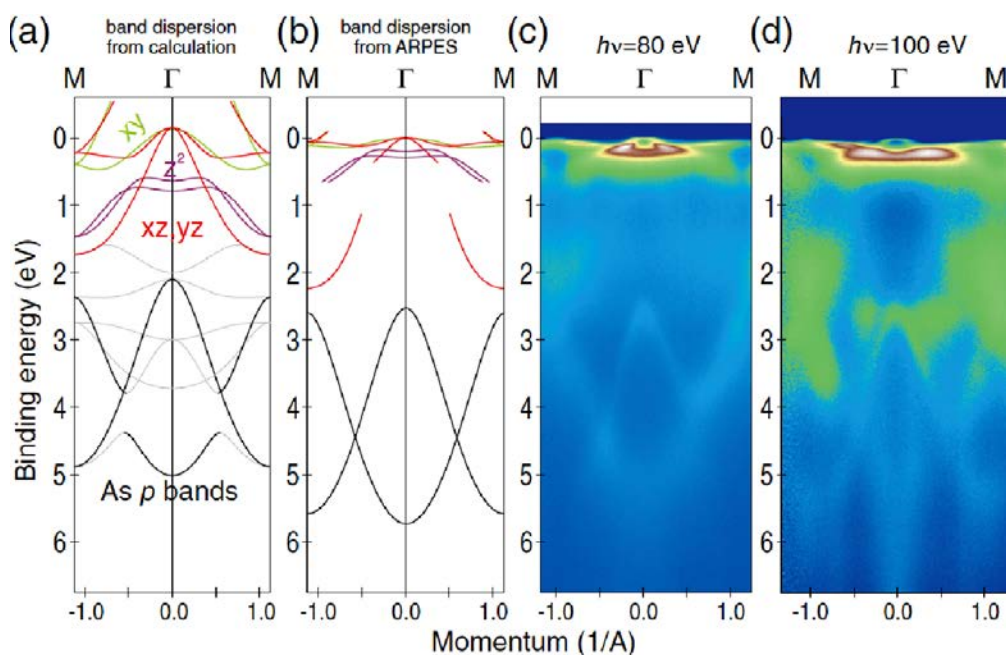


Рис. 2.3. Порівняння зонних розрахунків (a) з електронними зонами (b) визначеними з ARPES-спектрів NaFeAs (c,d) та низки інших надпровідників на основі заліза дозволило зробити висновок, що ренормалізація квазічастинкового спектру цих матеріалів обмежена по енергії шириною зони провідності.

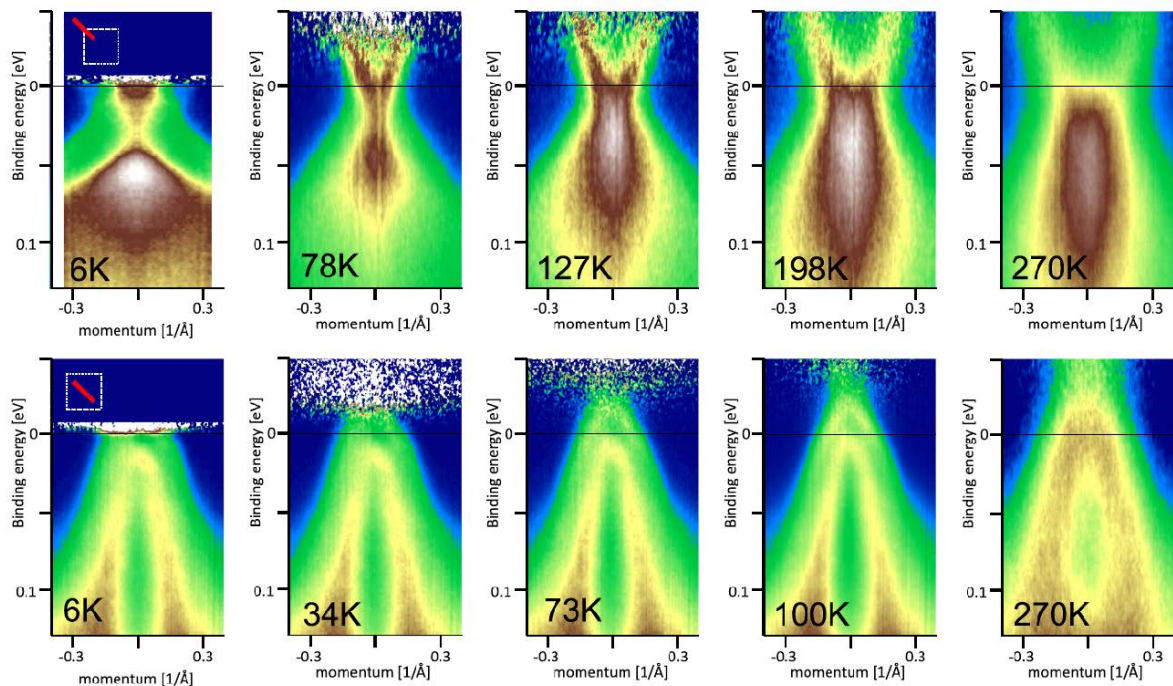


Рис. 2.4. ARPES-спектри, отримані при різних температурах від 6 до 270 К у центрі зони Брілюена FeSe. Нижній ряд: експериментальні поверхі Фермі з кута (а,b) та центру (с,d) зони Брілюена при різних температурах.

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

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

(В. І. Гавриленко, С. С. Апостолов, З. О. Майзеліс, чл.-кор. НАНУ В. О. Ямпольський ІРЕ НАНУ)

Теоретично досліджено проходження терагерцевої електромагнітної хвилі поперечно-магнітної поляризації через одновимірний фотонний кристал кінцевої товщини, що містить дефект у вигляді пластини шаруватого надпровідника, надпровідні шари якого ортогональні

шарам фотонного кристала. Отримано аналітичний вираз для коефіцієнта проходження і показано, що прозорість в забороненій зоні фотонного кристала може бути істотно посилена за рахунок резонансного збудження локалізованих на дефекті мод.

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

Для створення нового типу надпровідних пристроїв з поліпшеними параметрами було розроблено нові технологічні підходи, включаючи нанорозмірний дизайн гетероструктур. В роботі були створені гібридні гетероструктури MoRe-Si(W)-MoRe (схематичне зображення приведене на Рис. 2.5), в яких шляхом використання ефектів самоорганізації сформовані квантові точки (кластери вольфраму) всередині напівпровідникових бар'єрів, що складаються з суміші кремнію та оксиду кремнію.

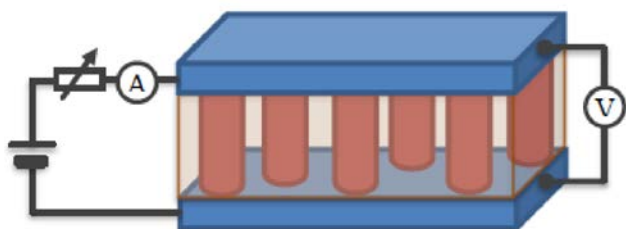


Рис. 2.5. Схематичне зображення створених гетероструктур MoRe-Si(W)-MoRe, у яких між двома плівками надпровіднику MoRe розташовані бар'єри з напівпровіднику, в якому містяться кластери металу.

Дослідження структурного стану окремих шарів гетероструктури MoRe, Si(W) були виконані з використанням просвічуючої та скануючої електронної мікроскопії. Об'єктом дослідження методом просвічуючої електронної мікроскопії (на мікроскопі JEM-2000FX) були спеціально створені модельні плівкові шари Si(W), що мали товщину 200 нм. Виявилось, що в аморфному шарі суміші кремнію та оксиду кремнію утворюються окремі кластери з вольфраму. Дифракційні дослідження показали, що як кремній так і вольфрам знаходяться в аморфному стані. Вольт-амперні характеристики гетероструктур MoRe-Si(W)-MoRe вимірювалися у широкому діапазоні напруг від -900 до 900 мВ при температурах від 4,2 К до 77 К. При перевищенні певного значення вмісту вольфраму в створюваних бар'єрах Si(W) створювані гетероструктури демонструють виникнення надпровідного струму через них, при цьому гетероструктури демонструють наявність значних надлишкових струмів I_{exc} в них та наявність підвищених значень добутку $I_C R_N$ – надпровідного критичного струму I_C гетероструктури на її опір R_N в нормальному стані.

Показано що перехід до резистивного стану гетероструктур та їх складових може реалізуватися по механізму виникнення центрів проковзування фази.

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

Існуюче модельне уявлення про стійкість критичного стану надпровідників засновано на аналізі тільки примітивною ситуації – плоского проникаючого фронту магнітного потоку. В реальності, внаслідок стохастичної динаміки вихорів або/та неоднорідного піннінга, фронт є шорстким (Рис. 2.6.(a)). З використанням еліптичної моделі критичного стану проведено комп'ютерне моделювання шорсткого фронту магнітного потоку в циліндрі з жорсткого надпровідника II-го роду. Зокрема, використовуючи щільність критичного струму з просторовою періодичністю, отримано розподіл індукції \mathbf{B} магнітного поля близький до того, який спостерігається в зразках реальних матеріалів в режимах екранування і захоплення магнітного потоку. Моделювання, через управління параметрами, дозволяє досягти різних рівнів шорсткості на профілі індукції (Рис. 2.6. (b,c,d)), а також, отримати на фронті і за ним складні траєкторії циркуляції критичного струму, побачити утворення островців мейснеровського стану (Рис. 2.6. (e, f)), відтворювати картини фронтів, пов'язаних з границями перемагнічування всередині надпровідника. Особливістю розробленої моделі є можливість її застосування для аналізу стійкості критичного стану (стійкості експлуатаційних параметрів) надпровідників для їх практичного застосування в сильних магнітних полях.

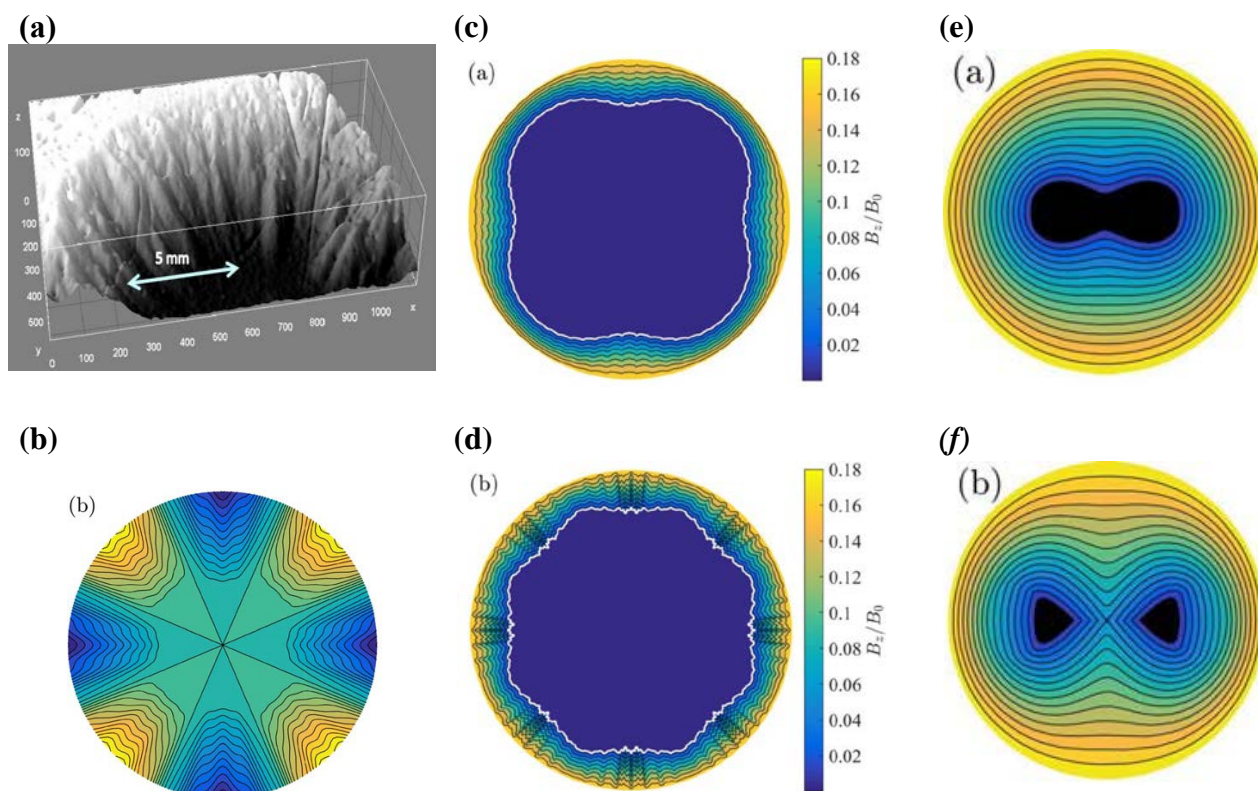


Рис. 2.6. (a). Магнітооптичне зображення структури профілю індукції \mathbf{B} на поверхні диску з NbTi 50%. Моделювання неоднорідного проникнення поля з різним рівнем шорсткості фронту (в,c,d,e) та виникнення островів мейснеровського стану (дві чорні плями (e,f)) внаслідок зростання зовнішнього поля.

(В. В. Чабаненко, О. М. Чумак, ДонФТІ НАНУ; С. Romero-Salazar, F. Pérez-Rodríguez, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Мексика)

В результаті застосування апаратури з часовою роздільною здатністю напруги $\sim 10^{-7}$ сек, вперше виявлена та проаналізована тонка структура термомагнітних лавин, що виникають в процесі виходу захопленого потоку, в монокристалічному диску V_3Si , який розташовано в перпендикулярному зовнішньому магнітному полі (H_{ext}). На Рис. 2.7. (а) представлена петля гістерезису намагніченості $M(H_{ext})$ зі стрибками потоку Φ при лавинах. На вставках зображені структури стрибків напруги на котушці індуктивності $U(t) \sim d\Phi/dt$ у часі (t) при лавинах. Котушка намотана на бічній поверхні диска. Деталі структури лавини показані на Рис. 2.7. (b). На рисунку видно, що на основний імпульс, пов'язаний з макролавиною, накладаються більш дрібні імпульси, що трактуються як мікролавіни. Їх є кілька сотень штук. Ми вважаємо, що окремі мікролавіни, відповідають виходу зв'язки вихорів з окремого центру піннінга. В цьому випадку, тонка структура лавини характеризує «ємність» центрів піннінга, тобто кількість вихорів, що може утримувати центр піннінга. Площа під імпульсом напруги визначає кількість потоку в мікролавіні $\Delta\Phi_{\mu av}$ (вставка на Рис. 2.7. (b)). Звідси можна визначити число вихорів s , захоплених окремими центрами піннінга ($s = \Delta\Phi_{\mu av} / \Phi_0$; Φ_0 – квант потоку). Встановлено, що, кожна зв'язка (bundle) при 4,2 К містить від 10^4 до 10^6 вихорів. Тривалості мікролавін знаходяться в межах $5 \div 50 \mu s$.

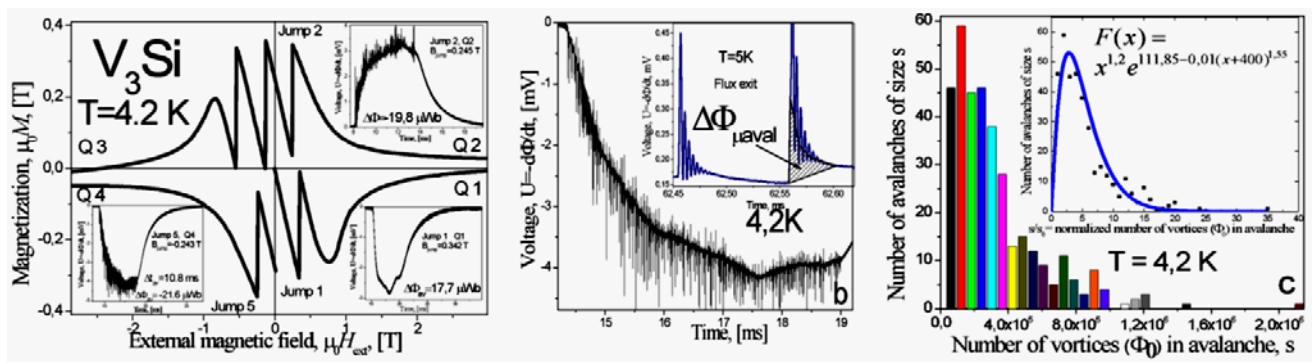


Рис. 2.7. (а) – петля гістерезису $M(H_{ext})$; вставки: залежність від часу напруги на котушці ($U(t)$), що реєструється при стрибках потоку ($\Delta\Phi_{av}$) в різних квадрантах Q1, Q2, та Q4; температура 4,2К. (b) – тонка структура лавини; вставка: структури двох мікролавін; заштрихована площа визначає величину потоку $\Delta\Phi_{\mu av}$ в мікролавіні; (c) - розподіл мікролавін за розмірами; вставка - апроксимація функції розподілу аналітичною залежністю $F(x)$.

На рис. 2.7. (c) представлена гістограма розподілу мікролавін за розмірами для 4,2 К та її апроксимація безперервною кривою. Гістограми розподілів при 4,2К і 5К добре представляються аналітичною залежністю з максимумом: $N(x) = x^n \exp(a - b(x-c)^k)$, тут N – число лавин, що мають розмір s , $x = s/s_{min}$ – розмір лавин, який приведений до мінімального. Значення n і k для обох температур практично збігаються. Цей факт може свідчити про те, що зі зміною температури природа центрів піннінга не змінюється.

(В. В. Чабаненко, О. І. Кучук, О. М. Чумак, ДонФТІ НАНУ; В. Ф. Русаков, ДонНУ; A. Nabiałek, Institute of Physics, PAN, Warsaw).

Чисельними методами розраховані параметри для створення когерентного випромінювання у пачках довгих контактів Джозефсона. Розроблена математична модель, яка дозволяє розраховувати вольт–амперні характеристики довгих контактів Джозефсона та пачок довгих контактів, знаходити розподілення напруг вздовж контактів, а також проводити розрахунки потужності емісії контактів.

(О. М. Гриб, Р. В. Вовк ХНУ, В. Є. Шатернік, ІМФ НАНУ)

Обґрунтовано запропоновану авторами версію про природу раніше виявленої особливості в температурній залежності мікрохвильових втрат в порожнистому резонаторі з тонкою надпровідною плівкою, розташованою перпендикулярно магнітному полю резонатора. Експеримент в X-діапазоні хвиль з плівкою при паралельній орієнтації по відношенню до мікрохвильового поля показує відсутність особливості. Її поява в області $T \leq T_c$ при паралельній орієнтації плівки пояснюється зміною орієнтації і розподілу поля в плівці при зміні температури. Порівняння експериментальних даних стосовно тонкої плівки надпровідного халькогеніду FeSeTe з результатами аналізу теоретичної моделі, яка не враховує зміну поля в плівці, показує, що модельне уявлення можна використовувати при мікрохвильових імпедансних дослідженнях плівок з перпендикулярною орієнтацією в інтервалі температур від низьких до $\sim 2T_c/3$.

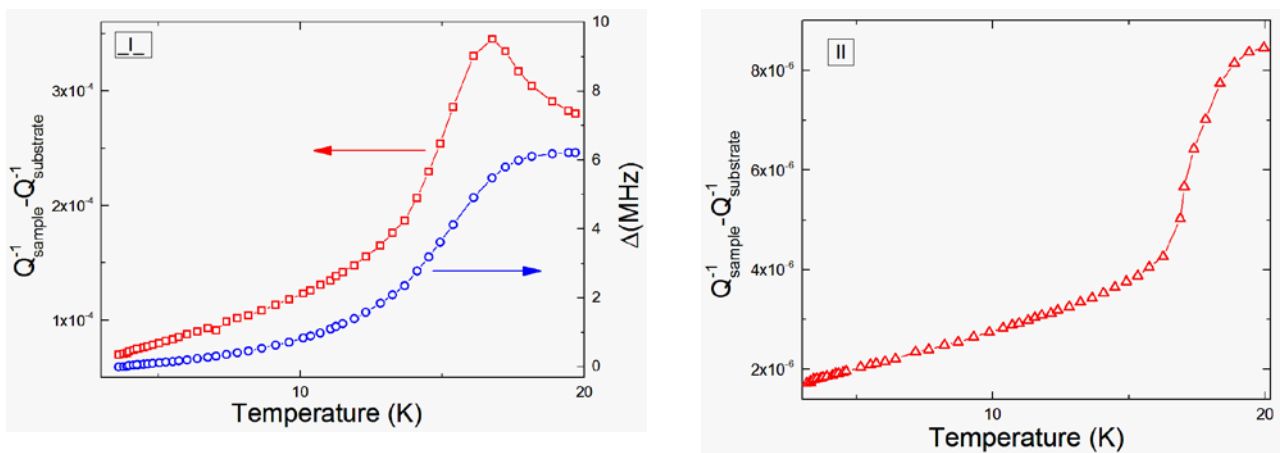


Рис. 2.8. Температурна залежність мікрохвильових втрат $Q_s^{-1}(T)$ та зсуву $\Delta f(T)$ резонатора при \perp -ій плівки $\text{FeSe}_{1-x}\text{Te}_x$ відносно поля в резонаторі (ліворуч) та температурна залежність мікрохвильових втрат $Q_s^{-1}(T)$ резонатора при \parallel -ій орієнтації плівки $\text{FeSe}_{1-x}\text{Te}_x$ відносно поля в резонаторі.

В роботі отримано також співвідношення для ефективного поверхневого імпедансу надпровідних плівок в N -стані, які необхідні при побудові залежності ефективного імпедансу від температури в інтервалі, що включає T_c . Виявлений ефект очікується для тонких плівок всіх надпровідників 2-го роду.

(О. А. Баранник, М. Т. Черпак, ІРЕ НАНУ; Y.-S. Xie, L. Sun, X. Zhang, IOP CAS, Beijing, China)

Досліджено залежність густини квазічастинкових станів плівки свинцю, традиційного надпровідника з синглетним за спіном спаруванням електронів, від товщини нанорозмірного шару феромагнітного нікелю, який знаходиться у безпосередньому контакті зі свинцем. Виявлено, що глибина проникнення надпровідних кореляцій в нікель має той же порядок величини, що і в контактах свинцю з нормальним металом. Таку поведінку можна пояснити виникненням на інтерфейсі неоднорідного в реальному або імпульсному просторі обмінного поля, яке призводить до ефективної конверсії спін-синглетних (що швидко згасають в феромагнетику) куперівських пар в спін-триплетні пари, стійкі по відношенню до обмінної взаємодії.

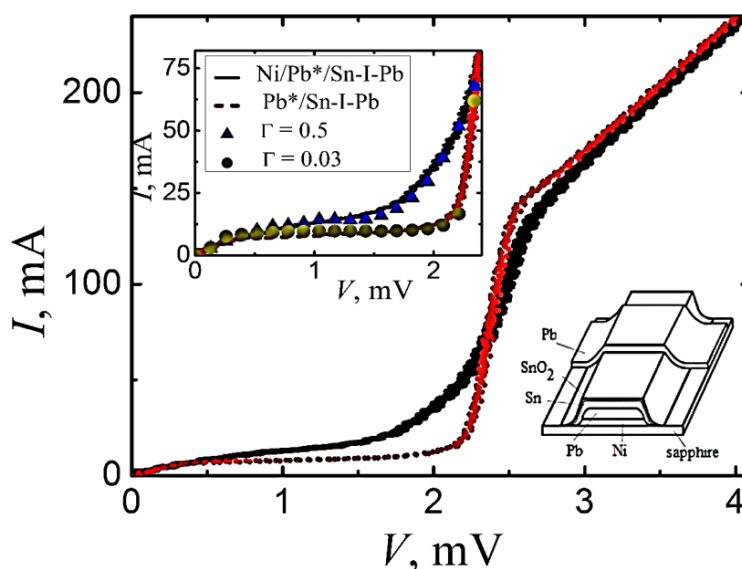


Рис. 2.9. Вольт-амперні характеристики гібридних гетероструктур Ni/Pb*/Sn-I-Pb (суцільна крива) і Pb*/Sn-I-Pb (штрихова крива), $d_{\text{Ni}} = 30$ нм. На лівій вставці виміряні I-V криві в підцилінній області порівнюються з теоретичними. На правій вставці схематично зображено багатoshарова структура Ni/Pb*/Sn-I-Pb.

(Е. М. Руденко, А. О. Краковий, І. В. Короташ, М. О. Білоголовський, ІМФ НАНУ)

В рамках моделі пружних вихрових ниток Абрикосова у одновихровому наближенні обраховано критичний струм депінінгу для надпровідника із протяжними лінійними дефектами, орієнтованими уздовж кристалографічної вісі c (перпендикулярно двовимірним надпровідним шарам) у шаруватому надпровіднику типу REBCO. Отримано залежність поверхневої густини критичного депінінгу $j_{0c}(H, \theta)$ від величини та орієнтації зовнішнього магнітного поля відносно кристалу (θ – кут нахилу магнітного поля H до кристалографічної вісі c), показане на Рис. 2.10. Встановлено існування скейлінгового співвідношення типу:

$$\Delta j_c \equiv j_c(H, 0) - j_c(H, \theta) \propto H \sin \theta$$

Це співвідношення справедливо для не дуже сильних магнітних полів, коли можна нехтувати міжвихоровою взаємодією у порівнянні із взаємодією вихору із лінійним (стовбчастим) дефектом. Експерименти, виконані на монокристалах YBCO із стовбчастими дефектами, досить добре узгоджуються із цим співвідношенням при не дуже сильних магнітних полях, як це продемонстровано на Рис. 2.10. (праворуч).

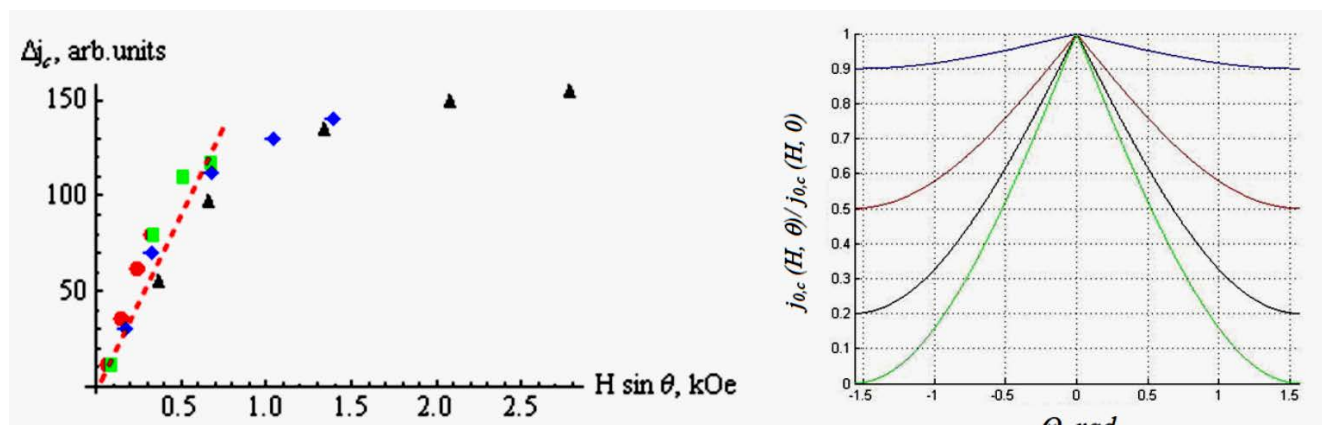


Рис. 2.10. Нормалізована кутова залежність густини критичного струму депінінгу вихрової нитки $j_{0c}(H, \theta) / j_{0c}(H, 0)$; блакитна лінія – $H = 0.1 H^*$; червона – $H = 0.5 H^*$; чорна – $H = 0.8 H^*$; зелена – роботі $H = H^*$. Тут $H^* = \lambda j_{0c}(0; 0)$ (ліворуч) та фітування експериментальних даних з кутової залежності густини критичного струму депінінгу в A.V. Silhanek, et.al., Phys. Rev. B **65**, 174525 (2002) (праворуч).

(Е. М. Руденко, А. О. Краковний, І. В. Короташ, М. О. Білоголовський, ІМФ НАНУ)

Проведені першопринципні розрахунки густини станів поблизу рівня Фермі (DOS), побудовані карти розподілу електронної густини і ентальпії утворення структур $MgB_{2-x}O_x/C_x$. Показано, що найбільш вигідно в разі заміщення бору на кисень утворення з'єднань $MgB_{1.75}O_{0.25}$ (якщо кисень замінює бор в сусідніх положеннях). Дуже близькі за складом матеріали з високим рівнем надпровідних характеристик були отримані експериментально.

Рентгенографічний аналіз матеріалів на основі MgB_2 показав, що вони містять фази MgB_2 і MgO . Згідно кількісному Оже-аналізу (який проводився після видалення поверхневого окисленого шару шляхом іонного травлення в камері мікроскопа) фаза диборида магнію містла деяку невелику кількість кисню, і її стехіометрія приблизно відповідала складу $MgB_{2.2-1.7}O_{0.4-0.6}$. Рентгеноструктурний аналіз із застосуванням методу Рітвельда зразків, отриманих в різних умовах, також показав, що основні фази у зразках з високим рівнем надпровідних характеристик (густина критичного струму, критичних магнітних полів, температури переходу до надпровідного стану) відповідають складам $MgB_{1.68-1.8}O_{0.2-0.32}$.

Першопринципні розрахунки ентальпій формування MgB_2 і $MgB_{1,75}O_{0,25}$ показали, що вона нижча для фази з заміщенням бору на оксиген ($\Delta H_f = -150,6$ мєВ / атом для MgB_2 і $\Delta H_f = -191,4$ мєВ / атом для $MgB_{1,75}O_{0,25}$), тобто формування твердих розчинів $MgB_{1,75}O_{0,25}$ є енергетично більш вигідним. На відміну від заміщення бору на оксиген, заміщення бору на карбон (навіть у незначних кількостях) дуже сильно впливає на надпровідні характеристики дибориду магнію, а також на зміну розподілу електронної густини. Тому заміщення на кисень у кількості 0,25 ат.% веде до дуже незначної зміни надпровідних характеристик матеріалу. Оскільки заміщення оксигеном бору у сусідніх позиціях вигідніше з енергетичної точки зору, це пояснює тенденцію кисню утворювати паралельно з матричною фазою $MgB_{1,75}O_{0,25}$ агломерати Mg-B-O у ній (оскільки, як правило, концентрація домішкового кисню більша, аніж необхідна для формування твердого розчину $MgB_{1,75}O_{0,25}$). Моделювання утворення вакансій у позиціях Mg, як у випадку структури MgB_2 , так і у випадку структури $MgB_{1,75}O_{0,25}$, показало, що такі процеси є енергетично не вигідними (розраховані ентальпії формування, ΔH_f , $Mg_{0,875}B_2$ та $Mg_{0,75}B_{1,75}O_{0,25}$ становлять $-45,5$ та $-93,5$ мєВ/атом, відповідно).

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

Секція «Фізика магнітних явищ»

Вперше експериментально виявлено п'єземагнітоелектричний (ПМЕ) ефект, існування якого в антиферомагнетиках було теоретично передбачене більш, ніж півсторіччя тому (G. T. Rado, Phys. Rev., 128, 2546, 1962). ПМЕ – це п'єзоелектричний ефект, викликаний присутністю постійного магнітного поля H , або п'єземагнетизм, стимульований постійним електричним полем E , або ж деформаційно-залежне перенормування лінійного магнітоелектричного ефекту. Ефект відповідає енергії $\varepsilon_{imkl} E_i H_m u_{kl}$. Стимульована деформацією магнітоелектрична поляризація описується виразом $P_i = \varepsilon_{imkl} H_m u_{kl}$ де комбінація $\varepsilon_{imkl} H_m$ грає роль ефективного п'єзоелектричного модуля $e_{ikl}^{eff}(H)$.

Ми зареєстрували ПМЕ в експерименті з акустоелектричних перетворень. В монокристалі LiCoPO_4 ефективний електричний п'єзомодуль росте лінійно зі збільшенням магнітного поля (Рис. 3.1., ліва панель). Температурна залежність компоненти п'єземагнітоелектричного тензору, вигляд якої нагадує температурну залежність антиферомагнітного параметра порядку, показує, що ПМЕ існує тільки в магнітовпорядкованому стані кристала (права панель рисунка).

За нашими оцінками інтенсивність п'єземагнітоелектричної взаємодії виявилася досить слабкою – максимальна величина ПМЕ коефіцієнта в досліджуваному кристалі склала $\sim 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ C/m}^2 \text{T}$. Можливо, тому всі попередні спроби експериментального підтвердження існування ПМЕ, зокрема і в LiCoPO_4 , до цього часу були безуспішними.

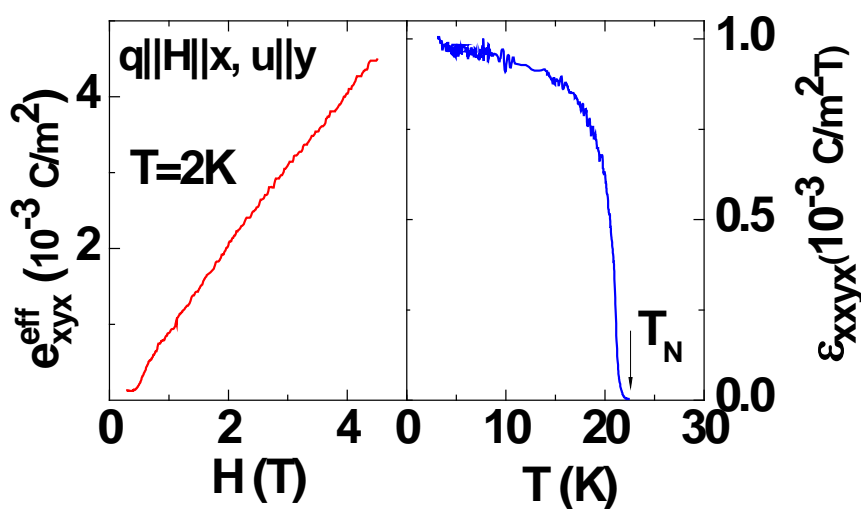


Рис. 3.1. П'єзовідгук кристала LiCoPO_4 на деформацію зсуву. Ліва панель – магнітопольова залежність компоненти тензору ефективного п'єзомодуля. Права панель – температурна залежність компоненти п'єземагнітоелектричного тензору.

(В. Д. Філь, М. П. Колодяжна, Г. А. Звягіна, І. В. Білич, К. Р. Жеков, ФТІНТ НАНУ)

Вперше проведено комплексні дослідження теплоємності, теплопровідності, магнітної сприйнятливості, електричної поляризації і раманівського розсіювання світла в монокристалах з магнітною ґраткою кагоме $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{X}$ ($X = \text{Cl}, \text{Br}$). Оскільки базовою одиницею магнітної структури є трикутники магнітних іонів, в кристалах завдяки фрустрації обмінних взаємодій розвиваються сильні квантові спінові флуктуації. При дослідженні цих кристалів в одному з них (в $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{Cl}$) нами було виявлено структурний фазовий перехід другого роду при $T^* \sim 115\text{K}$, що супроводжується появою нових фононних мод, які добре виявляються в спектрах розсіювання світла (Рис. 3.2.(b)). Після антиферромагнітного впорядкування ($T_N \sim 25\text{K}$) в спектрах розсіювання обох сполук з'являється додатковий пік магнітного походження, інтенсивність якого швидко зростає при охолодженні (Рис. 3.2.(c)) і стає на порядок більшою інтенсивності сусідніх фононних піків. Проведений теоретичний аналіз вказує на те, що аномальна інтенсивність магнітного розсіювання світла пов'язана із резонансною взаємодією низькоенергетичних фононів з квантовими спіновими флуктуаціями, які появляються при охолодженні до температури Нееля та стають щільними при подальшому зниженні температури.

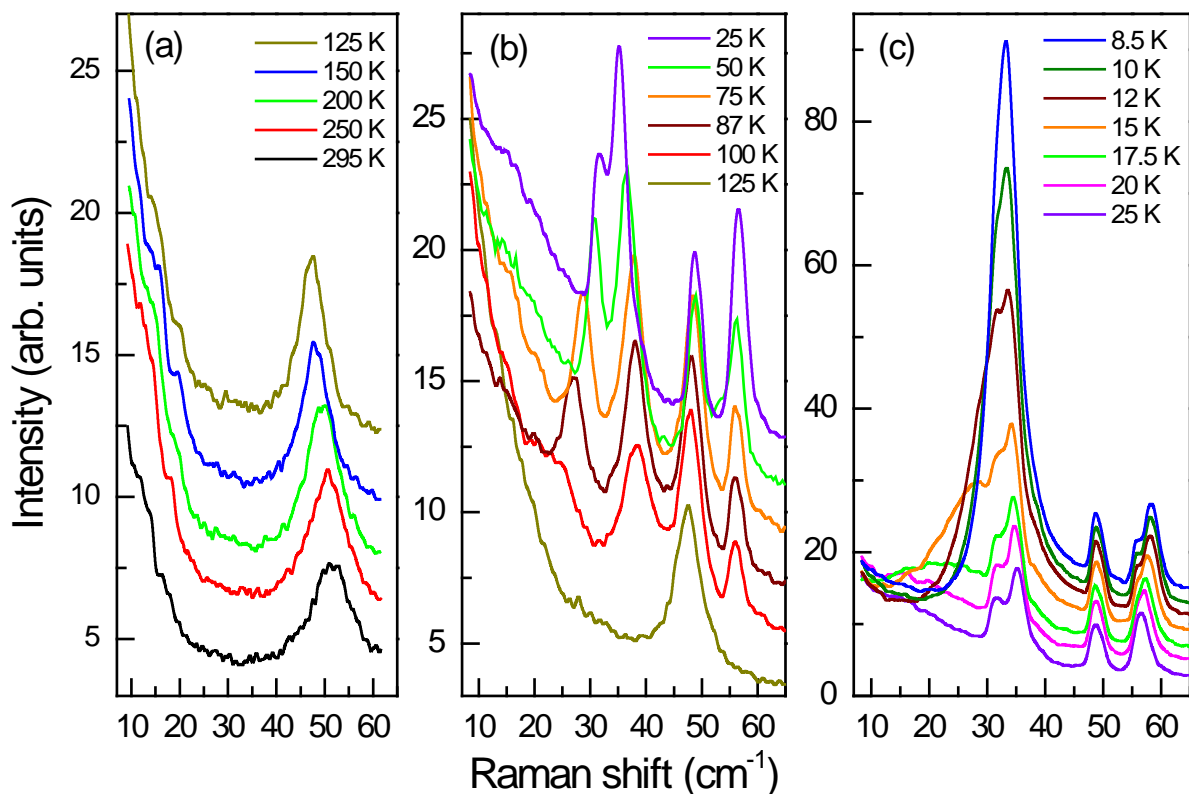


Рис. 3.2. Спектри фононного і магнітного розсіювання світла в кристалі $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{SeO}_3)_2\text{O}_2\text{Cl}$ в трьох діапазонах температур 295 К – $T^* \sim 115\text{K}$ (a), $T^* - T_N \sim 25\text{K}$ (b) та $T_N - 8.5\text{K}$ (c).

(В. П. Гнезділов, В. С. Курносов, ФТІНТ НАНУ; Ю. Г. Пашкевич, ДонФТІ НАНУ; P.Lemmens, ICMP TU Braunschweig, Germany; П. Бердоносів, В. Долгих, Е. Кузнецова, В. Прядун, К. Захаров, А. Васильєв, МГУ, Росія)

Вперше проведено дослідження диференційної магнітної сприйнятливості монокристалічного антиферомагнітного магнетоелектрика LiCoPO_4 в імпульсному магнітному полі до $H=300$ кЕ, спрямованому вздовж вектора антиферомагнетизму $\mathbf{H} \parallel \mathbf{b}$, в діапазоні початкових температур зразка 1,6 – 20,8 К та побудовано фазову діаграму магнітних станів в координатах (H, T_i) , де T_i – вихідна температура зразка. Виявлено, що при температурі нижче 8 К руйнування антиферомагнітного впорядкування магнітним полем відбувається шляхом двох переходів 1-го роду та одного переходу 2-го роду. При температурах більших за 8 К в області існування магнітної фази II (см. Рис. 3.3.), намагніченість якої складає близько $1/3(M_{\text{sat}})$, виявлено додаткову лінію магнітних фазових переходів першого роду $H^*(T)$, при яких магнітна група симетрії кристалу має зберегтись. Існування цієї лінії вказує на утворення під дією магнітного поля станів, в яких відсутній далекий магнітний порядок для поперечних спінових компонент.

Показано, що при температурах зразка, більших за $T_i > 14$ К, полярна фаза III, якій властива лінійна залежність $M_y(H_y)$, не спостерігається. На цій підставі зроблено висновок про існування критичної точки (T_{cr3}), де з'єднуються лінії переходів H_2 та H_3 , та визначено її координати $H_{cr3} = 225$ кЕ, $T_{cr3,i}^{\text{adiabat}} = 12.6$ К шляхом екстраполяції залежності величини стрибка намагніченості від температури $\Delta M_2(T)$ до нульової величини при фазовому переході в H_2 .

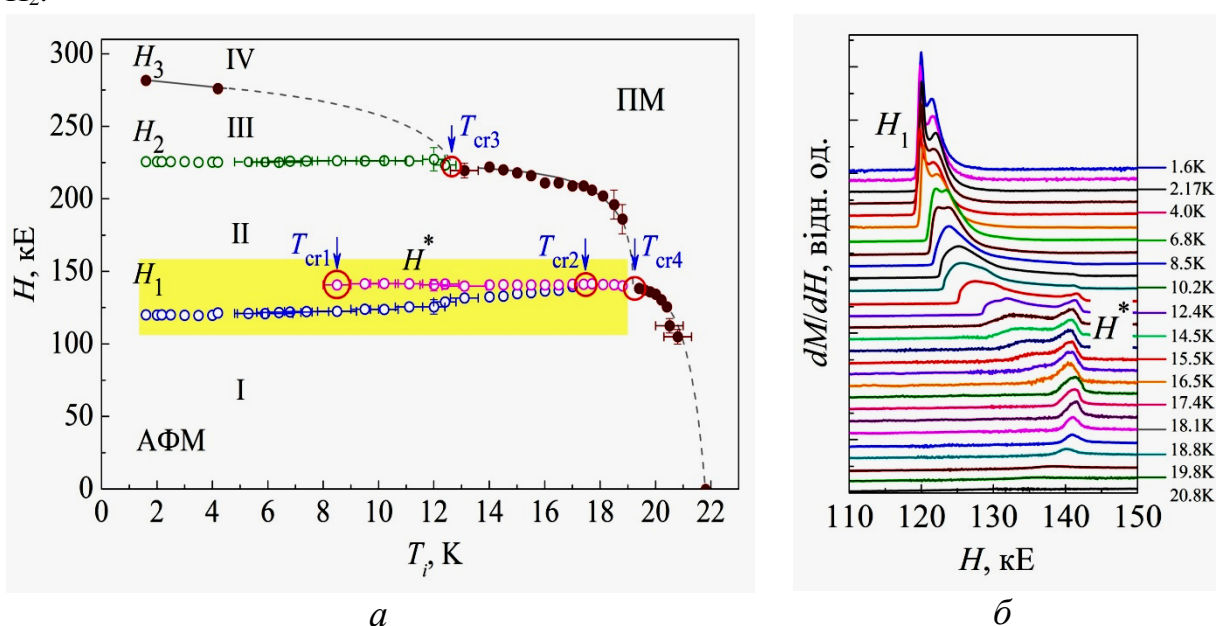


Рис. 3.3. а) (H, T_i) -діаграма магнітних фазових переходів в LiCoPO_4 , що відбуваються під дією імпульсного магнітного поля. T_i — початкова температура зразка. Кружками позначені області існування критичних точок. б) Температурна еволюція диференційної магнітної сприйнятливості LiCoPO_4 в околі першого фазового переходу (на фазовій діаграмі ця область зафарбована).

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

Вперше досліджено спектри оптичного поглинання антиферомагнітного фероборату гольмію $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$ в широкому діапазоні температур, включаючи температури магнітного впорядкування ($T_N = 38\text{K}$) та спонтанного спін-переорієнтаційного переходу ($T_{\text{SR}} = 4.7\text{K}$). Серед сімейства рідкісноземельних тригональних фероборатів $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$ представляє особливий інтерес завдяки наявності у нього структурного та двох магнітних фазових переходів, складних магнітних структур та яскраво виражених магнітоелектричних властивостей.

При спонтанному фазовому переході від легкоосної до легкоплощинної магнітної структури виявлено стрибкоподібні зміни енергій ліній поглинання Ho^{3+} та їх розщеплень (Рис. 3.4.а). Трансформація спектрів поглинання є наслідком змін енергій основного та збуджених станів гольмію, а також їх розщеплень в обмінному полі підсистеми заліза.

Характерною особливістю спектрів в області спін-переорієнтаційного фазового переходу (4.5 – 4.7 К) є одночасна присутність ліній, що відповідають як легкоосній, так і легкоплощинній фазам (Рис. 3.4.б). Це свідчить про співіснування в кристалі в вузькій області температур цих двох магнітних фаз, що є характерним для фазових переходів першого роду.

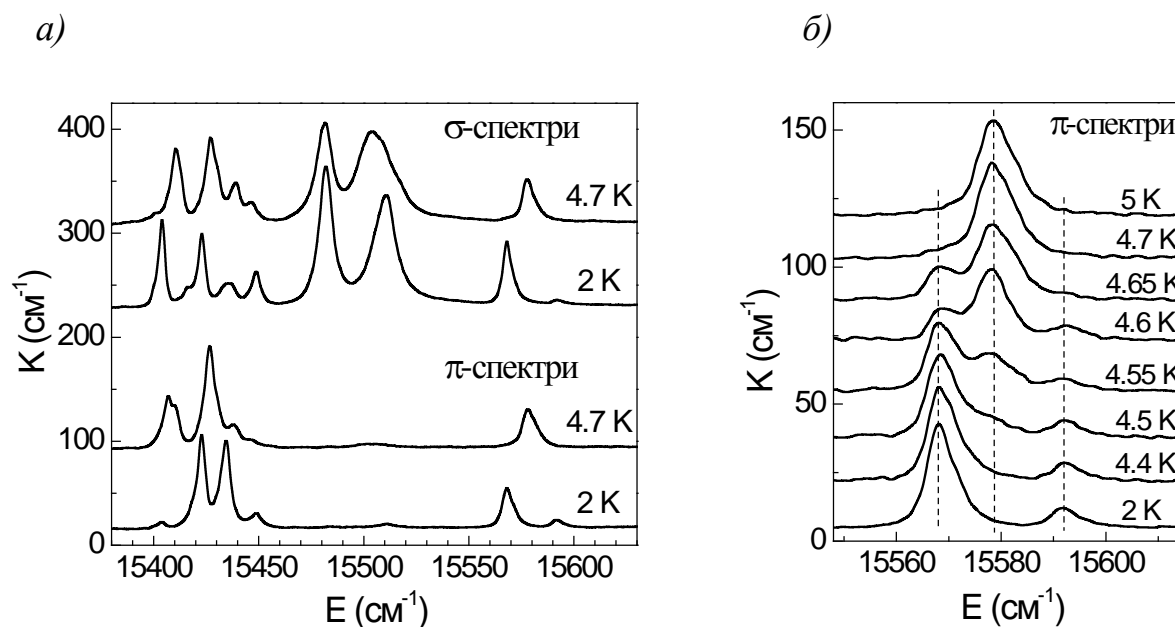


Рис. 3.4. Спектри поглинання $\text{HoFe}_3(\text{BO}_3)_4$ в області оптичного переходу $^5I_8 \rightarrow ^5F_5$ іону Ho^{3+} в легкоосній (2 К) та легкоплощинній (4.7 К) магнітних станах кристалу (а). Серія спектрів в області спін-переорієнтаційного фазового переходу (б).

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

Проведено експериментальне дослідження залежності магнітної сприйнятливості χ напівпровідникової сполуки SmS , яка є типовим парамагнетиком типу Ван-Флека, від всебічного тиску P . Отримані результати свідчать про значне зростання сприйнятливості з ростом тиску, що характеризується значеннями баричної похідної: $d \ln \chi / dP = 14,2$ та $6,3 \text{ Мбар}^{-1}$ при температурах 78 та 300 К, відповідно.

Щоб встановити механізм такої поведінки, яка взагалі не є притаманною для магнетизму Ван-Флека, були проведені детальні розрахунки електронної будови та магнетизму сполуки в залежності від об'єму елементарної комірки. Доведено, що окрім парамагнетизму Ван-Флека від іонів Sm^{2+} в сполуці SmS існує надлишковий внесок в сприйнятливості (близько 30 %), який походить від зонних електронних станів і пов'язаний з їхньою специфікою. Згідно з розрахунками (Рис. 3.5.), вузька валентна зона сполуки, що утворена станами 4f електронів, відокремлена від зони провідності 5d електронів відносно малою енергетичною щілиною $\Delta \sim 0,2$ еВ. Ця особливість електронного спектру породжує помітний орбітальний внесок в магнітну сприйнятливості сполуки SmS , величина якого є зворотно пропорційною щілині Δ . Згідно розрахункам цей внесок виявляється суттєво залежним від об'єму елементарної комірки завдяки помітному зменшенню Δ під тиском. Результати розрахунків кількісно узгоджуються з експериментально спостереженим впливом тиску на магнітну сприйнятливості SmS .

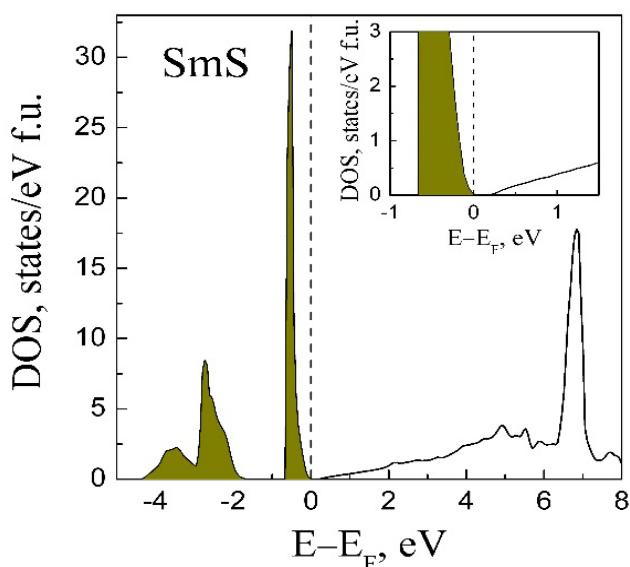


Рис. 3.5. Густина електронних станів в SmS .

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

За допомогою SQUID магнітометрії в інтервалі температур 2 – 300 К досліджено магнітні властивості подвійних шаруватих гідроксидів на основі кобальту $\text{Co}^{\text{II}}(n)\text{Al}^{\text{III}}$ [$n = \text{Co}/\text{Al} = 2$ і 3], які є перспективними мультифероїками. Обидві сполуки є парамагнітними вище температури 8 К. Нижче цієї температури магнітний момент різко збільшується, досягаючи максимального значення при температурах $T_{\text{max}} \sim 4,0$ К і 3,2 К для $\text{Co}(2)\text{Al-NO}_3$ і $\text{Co}(3)\text{Al-NO}_3$, відповідно. Нижче температури T_{max} температурні залежності намагніченості, виміряні після охолодження зразків без магнітного поля (ZFC) і в магнітному полі (FC), демонструють істотно різну поведінку, яка є характерною для сполук типу магнітного скла (Рис. 3.6.(а)).

Вперше виявлена високотемпературна аномалія магнітних властивостей шаруватих гідроксидів: в інтервалі температур 75 – 175 К, при якій зворотна магнітна сприйнятливості

$1/\chi(T)$ змінює величину нахилу. Обидві сполуки, перебуваючи в парамагнітному стані, демонструють зміну температурних залежностей ефективного магнітного моменту (Рис. 3.6.(б)) і зміну парамагнітної температури Кюрі Θ . В низькотемпературній області (8 – 75 K), парамагнітна температура Кюрі приблизно в два рази менша в порівнянні з високотемпературною (175 – 300 K), що свідчить про зниження обмінної взаємодії і рівня феромагнітних кореляцій при низьких температурах. Запропоновано теоретичне обґрунтування виявленої аномалії, пов'язане з температурною залежністю орієнтації гідроксильних груп і спотворень гідроксильних октаедрів, що оточують іони кобальту.

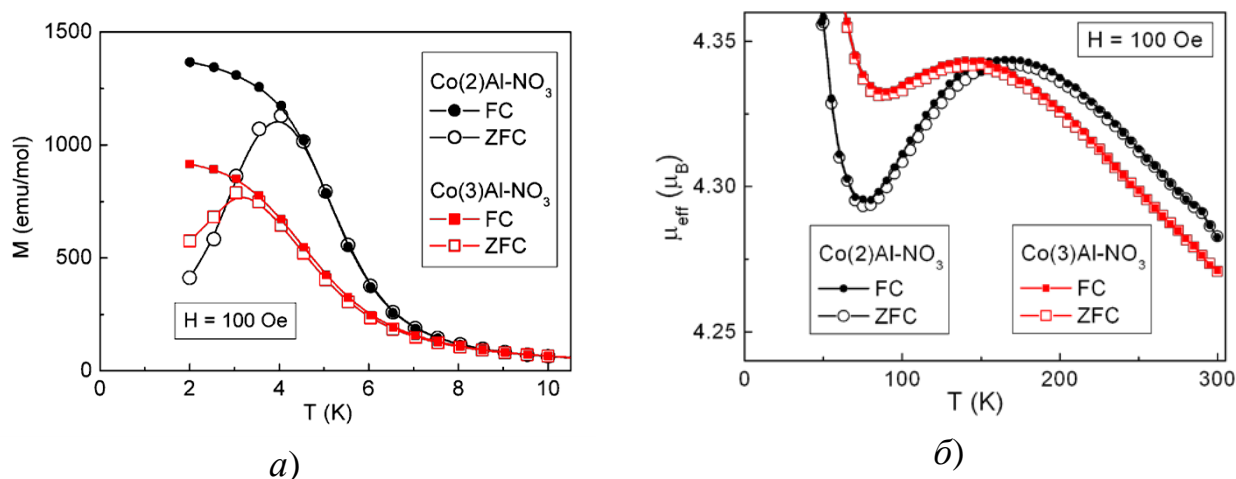


Рис. 3.6.:(а) – Температурні залежності статичної намагніченості для подвійних шаруватих гідроксидів Co(2)Al-NO_3 і Co(3)Al-NO_3 , які виміряні в ZFC і FC модах в магнітному полі 100 Oe; (б) – Ефективний магнітний момент, μ_{eff} , розрахований з температурних залежностей магнітної сприйнятливості. Експериментальні дані було апроксимовано за допомогою закону Кюрі-Вейса.

(О. Федорченко, О. Фертман, В. Десненко, ФТІНТ НАНУ, D. E. L. Vieira, A. N. Salak, M. G. S. Ferreira, A. V. Lopes, Institute of Materials, University of Aveiro, Portugal, A. Feher, Institute of Physics, Košice, Slovakia, Ю. Пашкевич, Р. Бабкін, ДонФТІ НАНУ)

Магнітні скірміони є топологічно стійкими спіновими структурами, що привертають до себе увагу своїми можливостями застосування в енергоефективних пристроях інформаційних технологій. Структура магнітного скірміону (см. Рис. 3.7. (а)) утворюється під впливом сильної взаємодії Дзялошинського-Моріі в кристалах з порушеною інверсійною симетрією, зокрема в кристалах, що мають структури типу B20.

Нами експериментально, з використанням позаосьової електронної голографії (ПЕГ), та за допомогою мікромагнітних симуляцій досліджувався локальний розподіл намагніченості в скірміонній ґратці в тонкій плівці FeGe. Кристалічна структура FeGe належить до структури типу B20 (просторова група $P2_13$). При температурі близько 278 K відбувається гелікоїдальне спінове впорядкування, а в магнітному полі створюється гексагональна ґратка скірміонів типу Блоха (Рис. 3.7. (b)). При збільшенні зовнішнього магнітного поля скірміонна ґратка поступово розпадається і система скірміонів стає неупорядкованою. Нами було виявлено, що розподіл намагніченості в області між найближчими скірміонами в (Рис. 3.7. (c), (d)) близький до розподілу намагніченості в доменній стінці Блоха (Рис. 3.7. (e), (g)). Між більш

віддаленими скірміонами розподіл намагніченості складніший, він демонструє модуляцію і зміну кіральності (Рис. 3.7. (f), (h)). Наявність максимумів намагніченості, що зазначені червоними стрілками на Рис. 3.7. (h), є якісно новим, невідомим раніше результатом.

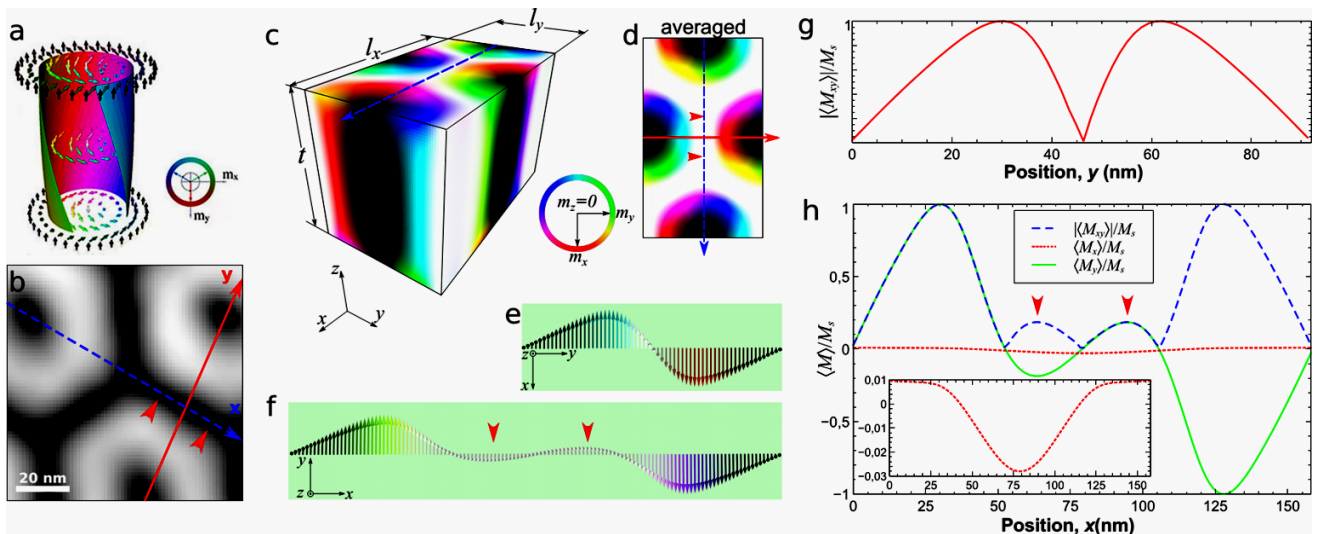


Рис. 3.7. (а) схематичний розподіл намагніченості скірміона блохівського типу, (b) фрагмент скірміонної ґратки (за величиною тангенціальної усередненої намагніченості) у плівці FeGe товщиною 100 нм (результати отримані з ПЕГ) в зовнішньому нормальному магнітному полі 100 мТ; синя та червона лінії на (b) позначають досліджувані позиції ліній сканування намагніченості; (c)-(h) результати мікромагнітної симуляції для плівки FeGe: (c) намагніченість в симуляційному домені; (d) середня намагніченість, що спроектована на площину xy ; (e) та (f) намагніченість уздовж червоної та синьої ліній на рис. (d) та (b); (g) та (h) величина компонент спроектованої на поверхню плівки намагніченості, що відповідає (e) та (f). Червоні стрілки вказують положення додаткових максимумів між скірміонами уздовж синьої лінії.

(А. С. Савченко, ДонФТІ НАНУ; A. Kovacs, J. Caron, N. S. Kiselev, S. Blugel, R. E. Dunin-Borkowski, Forschungszentrum Jülich, Germany; K. Shibata, Center for Emergent Matter Science, Japan; Z.-A. Li, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, China; N. Kanazawa, Y. Tokura, The University of Tokyo, Japan)

Останнім часом вихрова динаміка легкоплосинних феромагнетиків привертає увагу як теоретиків (в зв'язку з проблемами термодинаміки Бозе – Ейнштейнівських конденсатів), так і експериментаторів (в зв'язку з можливим застосуванням магнітних вихорів в елементах пристроїв для спінтроники). Тому в межах класичної моделі двовимірного легкоплосинного феромагнетика розглянуто його нелінійну динаміку, зокрема солітонну та вихрову. Оскільки ідеальні вільні одиночні вихори мають нескінченну енергію, в реальності вихори можуть з'являтися лише в процесі роз'єднання вихрових пар, що мають кінцеву енергію. Запропоновано сценарій збудження магнітних вихорів з неперервним зростанням енергії,

починаючи від нульової. Виведено динамічні рівняння для малоамплітудних солітонних збуджень намагніченості та одержано їх розв'язки.

На Рис. 3.8. (a,b) приведено розподіл намагніченості (m_z) і завихреності (γ) в цих малоамплітудних солітонах. Доведено, що солітони мають вихрову природу, що демонструє Рис. 3.8. b, і містять зародок вихрового квадруполя. Із зростанням енергії локалізовані збудження перетворюються в зв'язані стани двох вихрових пар. Знайдено точні аналітичні розв'язки для цих магнітних квадруполів і описано їх динаміку. Магнітні вихрові квадруполи характеризуються двома динамічними параметрами (швидкістю та внутрішньою частотою обертання вихорів), тобто являють собою двовимірний аналог двопараметричних динамічних магнітних солітонів в квазіодновимірних системах. На Рис. 3.9. ілюструється типова динамічна поведінка магнітних квадруполів з вихровою парою (1-2) і антивихровою парою (3-4). При подальшому зростанні енергії ці солітони розпадаються на магнітні вихрові диполі, для яких в наближенні малих амплітуд виведені ефективні динамічні рівняння і отримано аналітичні вирази їх розв'язків – квазітопологічних двовимірних збуджень лібівського типу. При подальшому зростанні температури магнітні вихрові пари розпадаються за сценарієм Березінського-Костерліця-Таулеса.

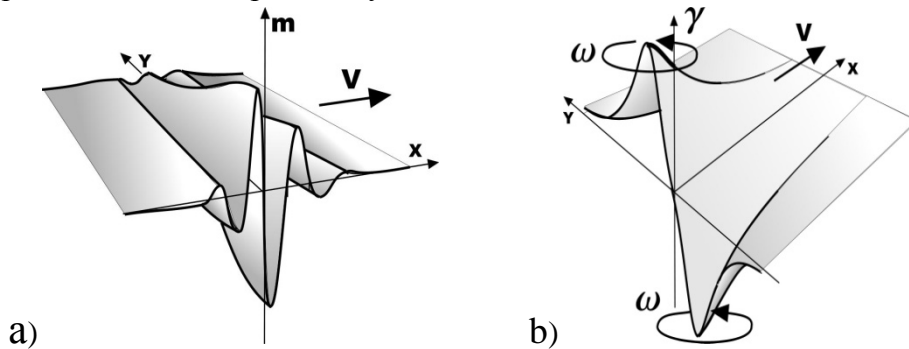


Рис. 3.8.

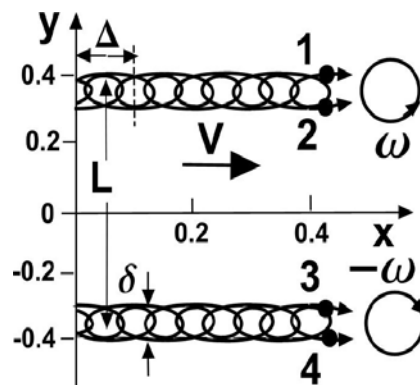


Рис. 3.9.

(О. С. Ковальов, ФТІНТ НАНУ)

Проведено кількісний опис експерименту з оптичного збудження зв'язаних коливань спінового і орбітального моменту в антиферромагнетик. Експеримент проведено в Токійському університеті на кристалі оксиду кобальту з використанням лазерних імпульсів з енергією 130 мДж/см^2 і тривалістю 50 фс. Довжина світлової хвилі складала 1500 нм, а

поляризація світла була циркулярною та лінійною з різними азимутами осі поляризації. Спостерігалися збуджені світлом чотири моди магнітних коливань з частотами 4,4 ТГц, 6,6 ТГц, 8,6 ТГц і 8,9 ТГц. (Рис. 3.10).

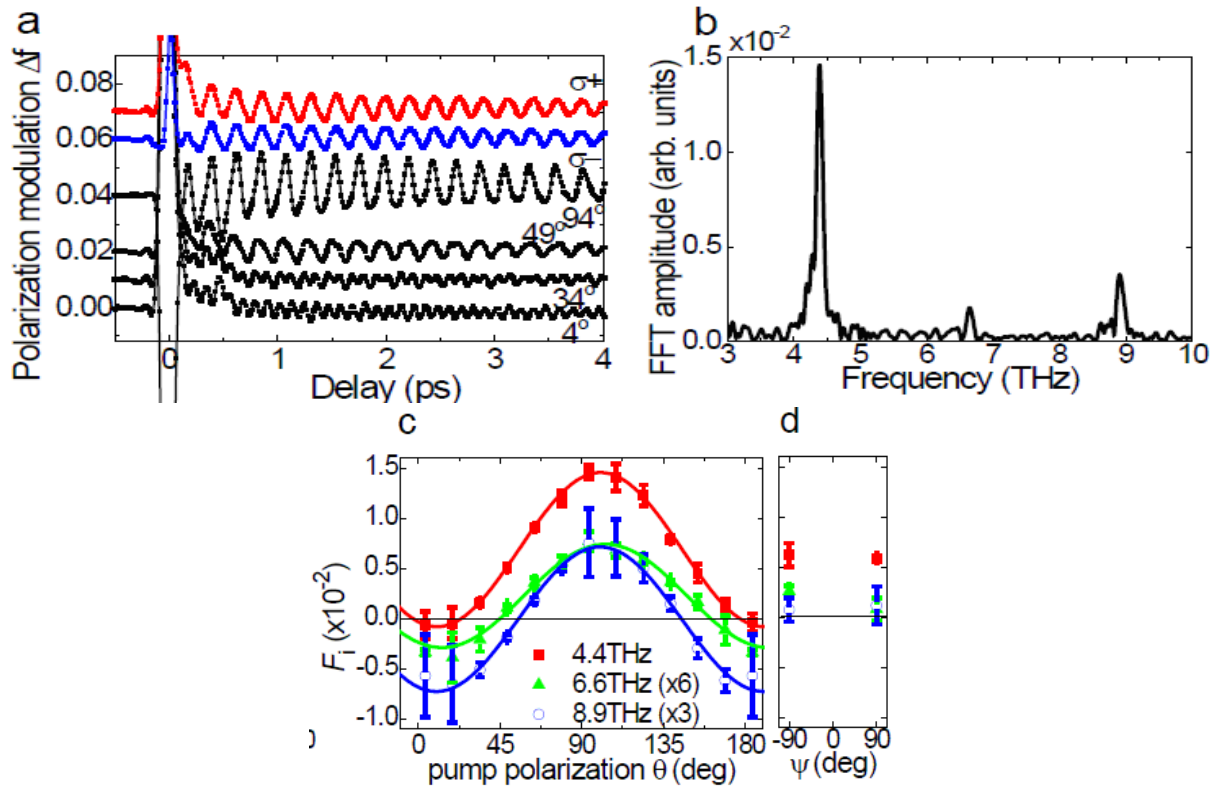


Рис. 3.10. Реєстрація магнонних мод в кристалі CoO: (а) зміна оптичного сигналу Δf як функція часу після дії імпульсу збудження, імпульси накачки були поляризовані або циркулярно (σ^+ , σ^-), або лінійно (вказано азимутальні кути θ); (b) амплітуди Фур'є-компонент сигналу при $\theta = 94^\circ$; (c, d) Амплітуда F в пробній функції $\Delta f(t) \equiv F e^{-\alpha \Omega t} \sin(\Omega t + \vartheta)$ для мод 4,4, 6,6 і 8,9 ТГц як функція θ при лінійній поляризації (c) і при двох циркулярних поляризаціях σ^\pm ($\psi = \mp 90^\circ$) збуджуючого світла (d).

Як значення частот, так і величини амплітуд спостереженої модуляції зареєстрованих сигналів є рекордними для подібних експериментів. Теоретичний розрахунок базувався на оригінальній моделі зв'язаних коливань спінового і орбітального моментів при врахуванні динамічних змін як поздовжньої, так і поперечної компонент орбітального моменту. При аналізі задачі повністю враховувались симетрійні аспекти проблеми. Було визначено частоти і поляризації всіх мод і знайдено параметри гамільтоніану системи. Показано, що відношення амплітуди коливань орбітального моменту до спінового не мале і варіюється від 0,5 до 1,2 для всіх чотирьох мод, що пояснює рекордно велику ефективність збудження різних магнонних мод навіть для частот порядку 10 ТГц. Збудження магнітних коливань з такими частотами відкривають можливість підвищення швидкодії чисто оптичних приладів для запису і обробки інформації.

(Б. А. Іванов, ИМаг НАНУ и МОНУ; В. И. Бутрим, Технический университет МИСиС, Москва, Россия; T. Satoh, R. Iida, T. Higuchi, Y. Fujii, A. Koreeda, H. Ueda, T. Shimura, K. Kuroda, Токійський університет, Японія).

Системи, які об'єднують в клас квантових спінових рідин, зараз викликають велику увагу дослідників. Причина такої уваги полягає в тому, що квантові спіни в таких системах неупорядковані, незважаючи на велику взаємодію між спінами. Відсутність впорядкування в таких системах зумовлена або фрустрацією спін-спінових зв'язків, або посиленними в низьковимірних спінових системах квантовими флуктуаціями, або ж обома причинами. Фрустрації або квантові флуктуації руйнують далекий магнітний порядок. Однак близькі кореляції дуже сильні в квантових спінових рідинах. Типовим представником квантової спінової рідини є модель Кітаєва для спінів на гексагональній двовимірній ґратці, що має обидві характерні риси квантових спінових рідин – магнітну фрустрацію та низьку вимірність.

Нами було теоретично вивчено нелінійний відгук спінів в рамках моделі Кітаєва на змінне магнітне поле. В магнітно впорядкованих системах таке поле призводить до так званої параметричної нестійкості – експоненційному з часом зростанню числа спінових хвиль при резонансі. Використовуючи точний квантово-механічний розв'язок задачі в моделі Кітаєва, нами показано, що в квантовій спіновій рідині таке параметричне накачування не призводить до параметричної нестійкості. Магнітний момент системи тільки осцилює з часом. Нами показано, що на відміну від одновимірних квантових спінових рідин, двовимірна модель Кітаєва допускає поглинання змінного поля в безщільному режимі (див. Рис. 3.11).

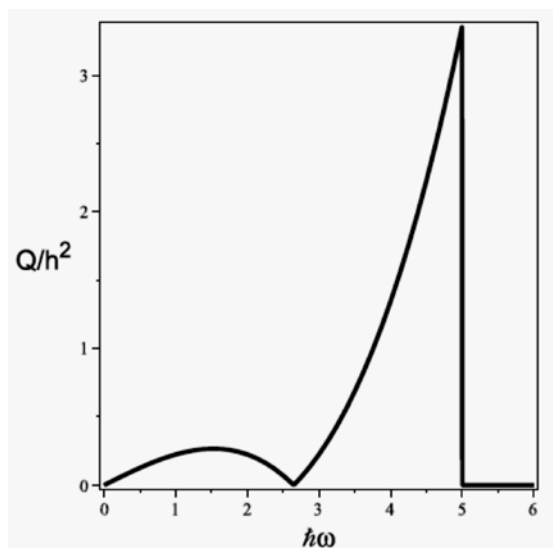


Рис. 3.11: Поглинання (нормоване на квадрат амплітуди змінного поля) в моделі Кітаєва в залежності від частоти поля накачування в безщільному режимі.

(А. А. Звягін, ФТІНТ НАНУ)

Однією з головних цілей дослідницької діяльності в магнітоніці є пошук механізмів, що дозволяють керувати динамікою спінів електричним полем, оскільки на практиці електричним полем набагато простіше маніпулювати, ніж магнітним. Хоча спіни безпосередньо не взаємодіють з електричним полем, їх керування електричним полем може бути реалізоване за допомогою різних магнетоелектричних ефектів. Наприклад, зовнішнє електричне поле може змінювати спін-орбітальну взаємодію між спінами іонів у магнітних кристалах. Ці зміни призведуть до зсуву частоти спінової хвилі, яка є лінійною функцією як прикладеного електричного поля, так і хвильового вектора спінової хвилі.

Недавні експериментальні дослідження в цій області продемонстрували, що завдяки спіно-орбітальній взаємодії існує можливість модифікувати дисперсію спінової хвилі навіть у таких центросиметричних магнетиках як YIG ($\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$). Без електричного поля спінові хвилі розповсюджуються практично ізотропно, і енергія переноситься ними приблизно однаково у всіх напрямках. Застосовуючи електричне поле, можна створювати каустики, сильно зібрані промені енергії, на заданих частотах. Напрямки фокусування не є зворотними - каустичні промені з'являються лише з одного боку точкового джерела (см. Рис. 3.12.). Показано, що під впливом зовнішнього електричного поля ступінь асиметрії потоку енергії спінової хвилі можна ефективно змінювати. Таким чином, зовнішнє електричне поле дає набагато більш зручну можливість налаштовувати дисперсійні залежності та змінювати напрямки фокусування спінової хвилі у порівнянні з методом зміни товщини плівки. Ці ефекти мають важливі наслідки для пристроїв магنونіки, де ключову роль відіграє передача кутового моменту та енергії.

Таким чином, ми продемонстрували, що електричне поле є енергоефективним способом керування спіновим струмом, що поширюється в діелектричних магнітних плівках. Це відкриває нові можливості для маніпулювання спіновими хвилями та розробки магنونних пристроїв, що керуються електричним полем.

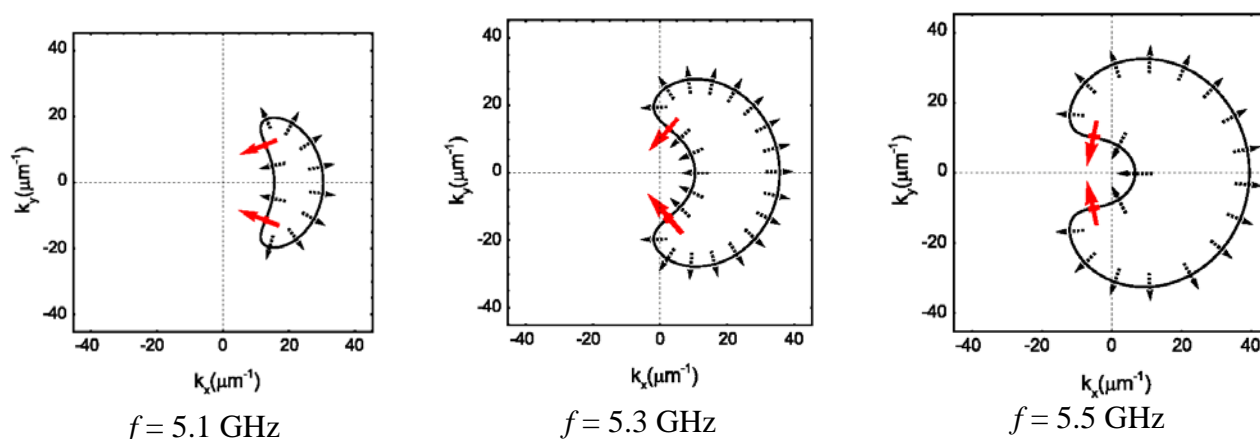


Рис. 3.12. показує групову швидкість спінової хвилі (штрихові лінії зі стрілкою) уздовж заданої ізочастотної поверхні (суцільна замкнута крива). Суцільні червоні стрілки показують очікувані напрямки фокусування енергії спінової хвилі (каустики). Електричне поле $E = 2 \cdot 10^7$ V/m, плівка YIG товщиною $d = 2$ nm.

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

Магнітні нанокластери у низьковимірних магнетиках, як групи спінів, протилежно орієнтованих до спінів матриці, виникають внаслідок магнітного безладдя при швидкому охолодженні кристалів і є відповідальними за особливості резонансного поглинання ними НВЧ поля. Про їх існування свідчить наявність локальних піків поглинання при частотах менших межі спектру спінових хвиль. В роботі побудовано теорію локальних коливань спінових кластерів довільного розміру в рамках дискретної моделі Такено – Хомма, яка повністю враховує обмінну взаємодію між спінами і магнітну анізотропію. Для такої системи одержано точні розв'язки, що описують нанокластери, і методом локальних збурень знайдено

явні вирази для частот локалізованих збуджень, графіки яких представлено на рис. 3.13 а). Визначено межі стійкості спінових нанокластерів в залежності від їх розмірів і параметрів обміну та анізотропії феромагнетика. Показано, що нестійкість веде або до руйнації нанокластеру, або до його перетворення в магнітний нанодомен, який обмежено неколінеарними доменними стінками. Розв'язано задачу розсіювання спінових хвиль на кластерах довільного розміру і отримано явні аналітичні вирази для їхніх коефіцієнтів відбиття і проходження (рис. 3.1 б)). Запропоновано модель метаматеріалу, що складається з слабковзаємодіючих магнітних молекул, який має знайдені динамічні властивості. Виявлені умови стійкості спінових нанокластерів та спектральні особливості низьковимірних магнетиків, що їх містять, можуть бути використані при розробці нових типів запису та зберігання інформації в комп'ютерних технологіях.

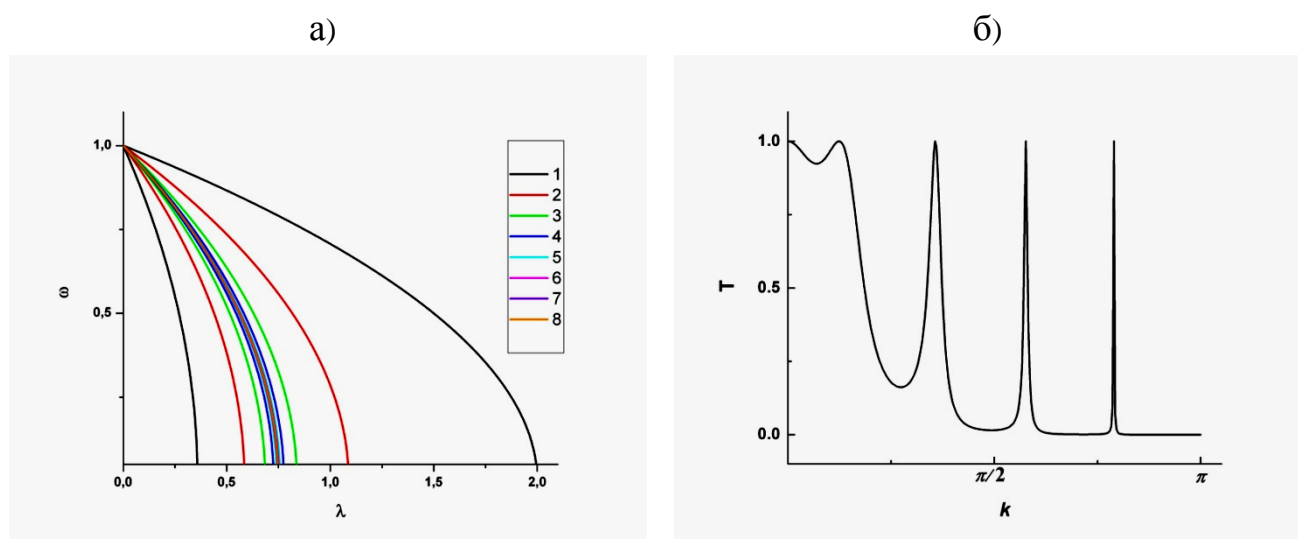


Рис. 3.13. (а) Частоти ω локальних коливань нанокластерів з числом спінів від 1 до 8 як функції параметру λ – відношення констант обмінної взаємодії та легкової анізотропії. Для кожного кластера існують дві локальні моди, які позначені одним кольором. Межі стійкості кластерів визначаються критичними значеннями λ , при яких частота першої моди стає рівною нулю. (б) Залежність від квазіхвильового вектора k коефіцієнту проходження T спінових хвиль через стійкий нанокластер, який складається з чотирьох спінів. Видно, що такий кластер майже повністю прозорий для довгих хвиль, та існує дискретний набір значень квазіхвильового вектора, для якого коефіцієнт проходження в точності дорівнює одиниці.

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

Запропоновано простий напівемпіричний метод опису електронної структури вільних багатоелектронних рідкоземельних іонів. Метод враховує спин-орбітальну взаємодію, а також релятивістські взаємодії, відомі як складові Брейта. Для опису спектрів використовується повна ортонормована система багатодетермінатних воднеподібних функцій. Показано, що набір параметрів для розрахунку електронного спектра вільного рідкоземельного іону з похибкою меншою ніж 5% може бути обмежений ефективним ядерним зарядом рідкоземельного іону та константою, пов'язаною з урахуванням складових Брейта. Використовуючи відомі експериментальні спектри іонів вільних рідкоземельних металів, ці

параметри були розраховані для основних термів *всіх* рідкоземельних іонів. Отримані результати є відправною точкою для обчислення спектрів рідкоземельних іонів в лігандному оточенні, а також магнітних властивостей сполук, що вміщують рідкоземельні іони. Метод є складовою частиною методу модифікованої теорії кристалічного поля (МТКП), що розроблено в ДонФТІ НАНУ. Розрахунки проведені за допомогою МТКП дають змогу отримувати кількісні результати, використовуючи мінімальну кількість параметрів. Завдяки останньому розрахунки не вимагають тривалого часу та значних комп'ютерних потужностей.

(О. Горностаєва, Р. Бабкін, К. Ламонова, С. Орел, Ю. Пашкевич, ДонФТІ НАНУ)

Манганіт тербія $TbMnO_3$ належить до сімейства мультифероїків, які останнім часом активно вивчаються завдяки властивим їм лінійним магнетоелектричним ефектам, що виникають під дією зовнішніх електричного та магнітного полів. Ще в 1962 році Радо передбачив так званий п'єзомагнетоелектричний (ПМЕ) ефект, при якому електрична поляризація появляється при одночасній дії механічних напружень і магнітного поля, а намагніченість – при дії механічних напружень і електричного поля. Вперше ПМЕ ефект був експериментально виявлений лише в 2015 році японськими фізиками в кристалі диспрозієвого ортофериту $DyFeO_3$.

Проведений феноменологічний аналіз показав можливість появи п'єзомагнетоелектричного ефекту в $TbMnO_3$ в достатньо сильних магнітних полях та при низьких температурах, коли спіни іонів тербію та марганцю однорідно впорядковані. Показано, зокрема, що при існуванні в кристалі механічних напружень, які створюють пружні деформації u_{xy} , спрямоване вздовж кристалічної осі b магнітне поле $H > 6T$ має створювати електричну поляризацію P_y , а при наявності деформації u_{xz} – поляризацію P_z . Прогнозуються також можливості появи лінійних електро – та магнітострикцій.

(І. Е. Чупис, ФТІНТ НАНУ)

Деструктивна інтерференція у квантовій механіці може привести до локалізації частинки навіть за відсутності безладу. В одночастинковому спектрі це проявляється як наявність бездисперсійної (плоскої) зони. Сильно скорельовані системи з плоскою зоною мають багато несподіваних властивостей, наприклад, плоскозонний феромагнетизм Мільке-Тасакі у моделі Габарда. Інший приклад – фрустровані квантові антиферомагнетики Гайзенберга з плоскою магнетонною зоною. Такі системи можуть мати фазовий перехід лад-безлад при низькій температурі в магнітному полі дещо меншому за поле насичення.

Недавно Х. Танака і співавтори [J.Phys.Soc.Jpn. **83**, 103701 (2014)] синтезували сполуку $Ba_2CoSi_2O_6Cl_2$, у якій реалізується спін-1/2 антиферомагнітна модель Гайзенберга на фрустрованому подвійному квадратному шарі. Згідно з теорією [Phys. Rev. B **74**, 144430 (2006)] у цій моделі за наявності магнітного поля відбувається фазовий перехід Ізинга-Онзагера. Але модель для $Ba_2CoSi_2O_6Cl_2$ має враховувати 1) анізотропію XXZ взаємодії Гайзенберга, яка близька до XY анізотропії і 2) майже вдвічі більший g фактор для поля у XY

площині за g фактор для поля, спрямованого вздовж осі z . Використовуючи концепцію плоскостонних магніонів, ми розробили теорію магнітних властивостей $\text{Ba}_2\text{CoSi}_2\text{O}_6\text{Cl}_2$, яка 1) пояснює експериментально виміряні криві намагніченості та 2) передбачає фазовий перехід при низьких температурах (<3.17 K) за наявності магнітного поля (>32.16 T). Теоретично розрахована фазова діаграма для сполуки $\text{Ba}_2\text{CoSi}_2\text{O}_6\text{Cl}_2$ показана на Рис.3.14. справа. Зліва показано теоретичне передбачення для температурного профілю теплоємності у магнітному полі $H = 47.5$ T, прикладеному вздовж осі z .

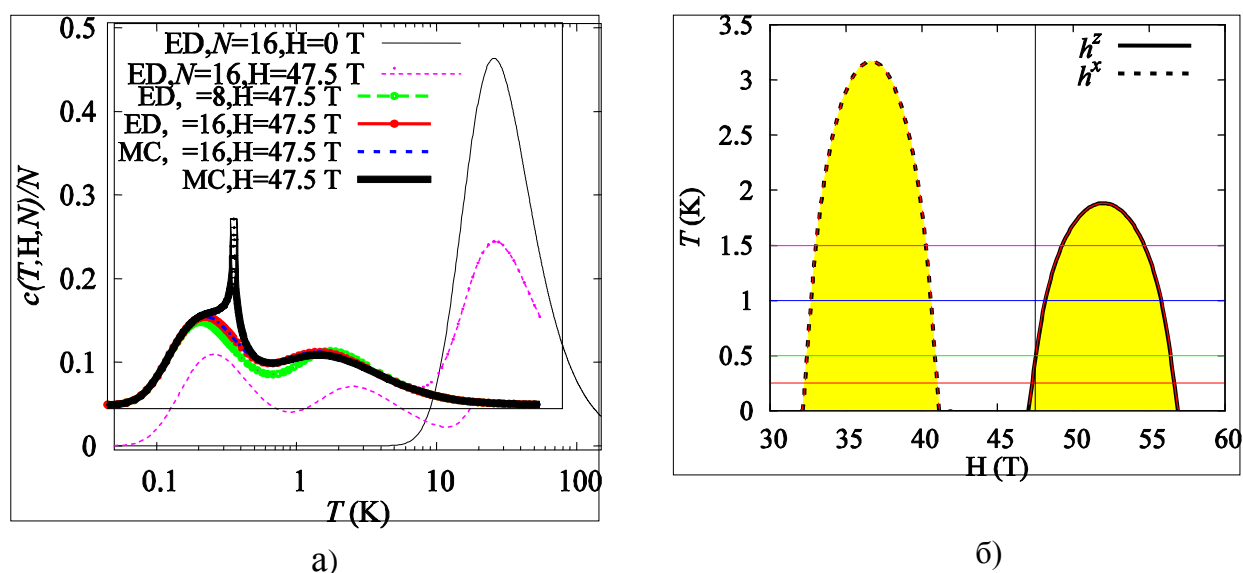


Рис.3.14 (а) Теоретично передбачена температурна залежність магнітної теплоємності $\text{Ba}_2\text{CoSi}_2\text{O}_6\text{Cl}_2$ при $H=0$ T і $H=47.5$ T ($T_c \approx 0.46$ K). ED – дані точної діагоналізації для вихідної і ефективної моделей з різним числом вузлів N ; MC – дані Монте Карло для ефективної моделі, яка має 16 і 65236 вузлів. (б) Теоретично передбачена фазова діаграма для $\text{Ba}_2\text{CoSi}_2\text{O}_6\text{Cl}_2$ у площині «поле – температура» для поля $(0,0,h^z)$ (суцільна лінія) і поля $(h^x,0,0)$ (штрихова лінія).

(О. Крупницька, В. Баліга, Т. Крохмальський, О. Держко, ІФКС НАНУ)

Спінова інжекція – фундаментальне явище в спінтроніці гібридних систем «магнітний провідник – немагнітний провідник» (M–N систем). Вона полягає у впорскуванні електричним полем спін-поляризованого струму у немагнітний провідник із магнітного, та зумовлює відомий ефект гігантського магнітоопору. Нами прогнозується новий спін-електричний ефект, що є зворотним до ефекту спінової інжекції. А саме, спінова поляризація в немагнітному провіднику індукує різницю електричного потенціалу між ним і контактуючим магнітним провідником. Розглянуто різновиди ефекту: квазірівноважні, та кінетичні. У найпростішому випадку ефект виходить із термодинамічної рівноваги, коли стрибок електричного потенціалу $\delta\varphi = (2e)^{-1} (\Pi_{M\downarrow} + \Pi_{M\uparrow})^{-1} (\Pi_{M\downarrow} - \Pi_{M\uparrow}) \delta\mu$ компенсує спінову дифузію, подібно до контактної різниці потенціалів («магніто-контактна» різниця потенціалів), завдяки зумовленій обміном зміні щільності електронних станів у магнетик у $\Pi_{M\downarrow} \neq \Pi_{M\uparrow}$ та неперервності електрхімічного потенціалу на M–N інтерфейсі. e –

елементарний заряд, $\delta\mu = \mu_{\downarrow} - \mu_{\uparrow}$ – різниця спінових компонент хімічного потенціалу. При цьому на М – N інтерфейсі, звичайно, формується подвійний електричний шар. Ефект може бути використаним для керування спіновими сигналами (спін-польовий транзистор), у магнітній флеш-пам'яті нового типу, створенні нанокompatитних матеріалів із гігантським магніто-електричним ефектом, та (в поєднанні із фазовим переходом метал-діелектрик) електретів із магнітним керуванням.

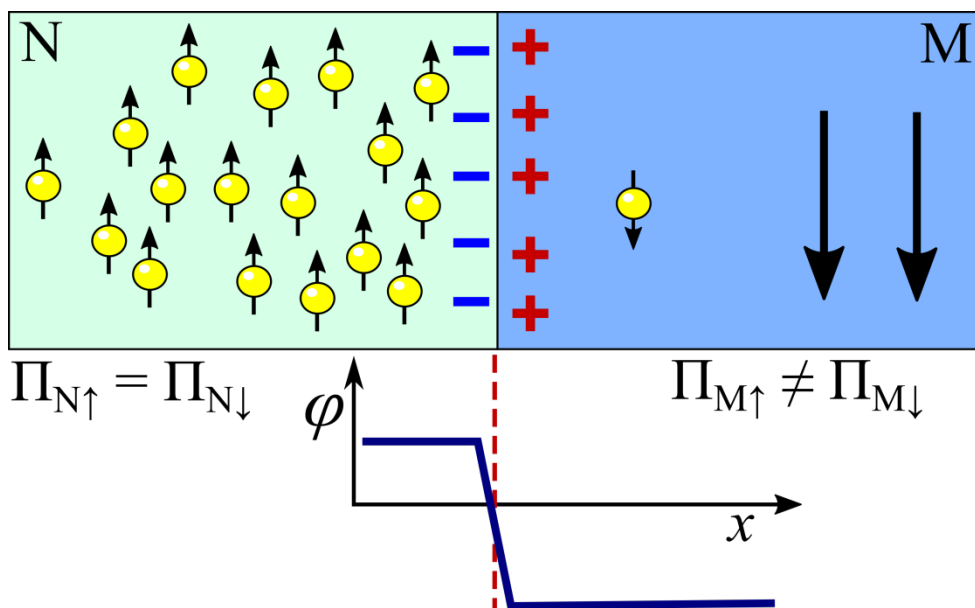


Рис. 3.15. Магніто-контактна різниця потенціалів. Жовті кульки – електрони, маленькими стрілками показані напрямки їх спінів. Великі чорні стрілки – намагніченість магнетика. Спінова дифузія компенсується відповідною різницею електричних потенціалів.

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

Експериментально досліджено надвисокочастотне ($f = 70 - 80$ ГГц) феромагніто-резонансне (ФМР) поглинання в гексагональному масиві $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$ – нанодротів діаметром 10 нм і з відстанню між центрами нанодротів 40 нм. Ці нанодрооти осаджені в нанопорах оксиду алюмінія (Al_2O_3). Дані ФМР дозволили знайти основні параметри нанодротів, зокрема поля магнітної анізотропії при $T = 300$ К і $T = 4,2$ К. Визначено гіромагнітне відношення при цих температурах та показано його незмінність. Показано також, що гіромагнітне відношення для масиву нанодротів є набагато меншим, ніж для об'ємного $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}$. Доведено, що причиною того є нанорозмірний характер об'єкту, а саме – поверхневі ефекти в ньому.

Проведено розрахунок резонансних частотно-польових залежностей як функцій температури в рамках моделі нанорозмірних гранул та показано, що намагніченість добре описується формулою:

$$M_s(T) = M_{s0} \left[1 - s(T/T_c)^{\frac{3}{2}} - (1-s)(T/T_c)^p \right]^{\frac{1}{3}},$$

де $p = 5/2$, s – експериментальний параметр.

Виявилось, що отримана з ФМР-експерименту за допомогою цього виразу величина поля анізотропії значно більша, ніж це очікувалося з розрахунку. Показано, що швидше за все, збільшення анізотропії відбувається завдяки впливу підкладки з алюмінію.

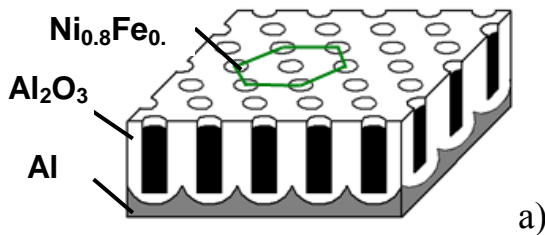
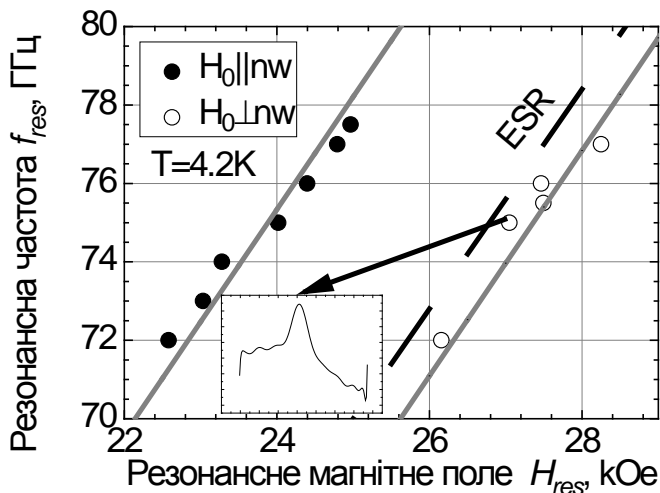


Рис. 3.16: а) геометрія досліджуваної структури,

б) Резонансна частотно-польова залежність для $T = 4.2$ К: точки – експеримент, лінії – розрахунок.



б)

(А. С. Вакула, С. В. Недух, С. Ю. Польовий, С. И. Тарапов, ІРЕ НАНУ)

Феромагнітні кільця привертають до себе значну увагу завдяки їх унікальним магнітним властивостям та потенційному прикладному використанню в таких пристроях, як магніторезистивна пам'ять, біометричні зонди і магнітна логіка. Як статичні, так і динамічні магнітні властивості в кільцях можна варіювати, змінюючи внутрішній і зовнішній радіуси кілець, їхні параметри (кількість, товщина і матеріал шарів), а також створюючи структурні дефекти. Конфігурація розщеплення мод у кільцях концептуально відрізняється від розщеплення в наноструктурах аналогічної симетрії, тобто в циліндричних нанодротах і дисках нанодотів.

Ми досліджували стоячі спінові хвилі у плоских пермалоевих кільцях в нахиленому зовнішньому полі з використанням феромагнітної резонансної спектроскопії. Зовнішнє магнітне поле \mathbf{H} було достатньо великим для насичення зразків. При $\theta = 0^\circ$ (перпендикулярна

геометрія) ми спостерігали три чіткі резонансні лінії. У випадку порушення циліндричної симетрії, тобто коли зовнішнє поле \mathbf{H} було прикладене не по нормалі до площини кілець, відбувається розщеплення мод. Ми дали всебічне пояснення спін-хвильових спектрів нанокілець при магнітному полі, прикладеному під кутом до площини півки. Значення частот спін-хвильового резонансу, отримані експериментально, аналітично і за допомогою комп'ютерного моделювання, добре корелюють між собою. Особливості множинного розщеплення спектрів у кільцях під впливом нахиленого магнітного поля пояснюються на основі аналітичної теорії збурень у загальному контексті явища розщеплення мод в наночастинках.

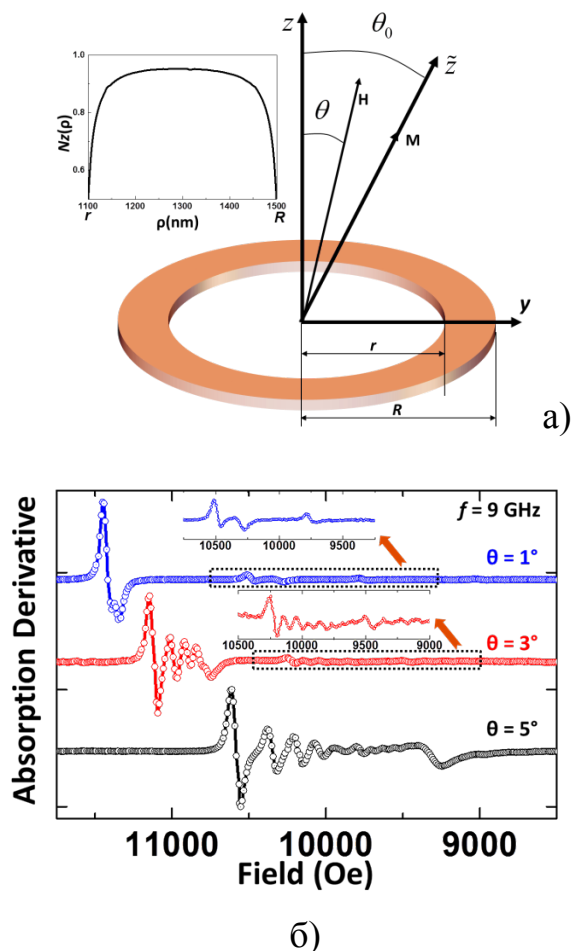


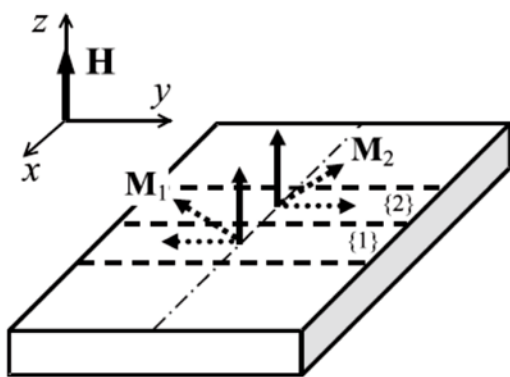
Рис. 3.17. а): Ескіз тонкого циркулярного нанокільця і позначення кутів; вставка: розмагнічуючий фактор як функція радіальної координати, Розрахунки і експерименти було проведено для кілець з внутрішнім радіусом $r = 1100$ nm, зовнішнім радіусом $R = 1500$ nm і товщиною $a = 30$ nm. б): Крива поглинання ФМР для пермалоевих кілець товщиною 30 nm при $f = 9$ GHz з кутом θ , який змінюється від 1 до 5 градусів.

(X. Zhou, A. O. Adeyeye, National University, Singapore, Г. Н. Каказей, Universidade do Porto, Portugal, О. В. Тартаківська, ІМ НАНУ)

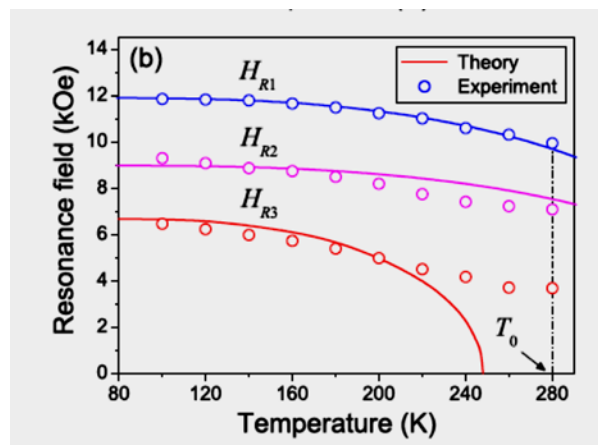
Розробка фізичних основ процесів перемагнічування в системах магнітних нанoeлементів та методів керування їх магнітними та магнітодинамічними характеристиками є необхідною для створення новітніх систем запису та зчитування інформації, керованих генераторів та фільтрів надвисокої частоти.

Досліджено особливості феромагнітного резонансу та магнітні властивості епітаксialьних плівок $\text{Ni}_{46.0}\text{Mn}_{36.8}\text{S}_{n11.4}\text{Co}_{5.8}/\text{MgO}(001)$. В цих плівках в околі 280 K відбувається структурне мартенситне перетворення. В спектрі феромагнітного резонансу спостерігається одна резонансна лінія для аустенітної фази та три резонансні лінії в

двійникованій мартенситній фазі. Магнітні вимірювання показали наявність переважно феромагнітного впорядкування в обох фазах. За таких умов в мартенситній фазі має спостерігатися тільки одна резонансна лінія. Для пояснення існування трьох резонансних ліній в мартенситній фазі було запропоновано теоретичну модель, яка виходить з припущення наявності слабкого антиферомагнітного обміну між феромагнітними структурними двійниками в плівці (Рис. 3.18.(а)). Використовуючи запропоновану модель для аналізу експериментальних даних, з температурних залежностей двох резонансних ліній були визначені значення константи анізотропії $\beta = 11,2$ та константи обміну $\delta = 2,92$. Отримані константи використовувались для розрахунку значення резонансного поля для третьої лінії. Як видно з Рис. 3.18.(б), спостерігається добра відповідність між експериментальними даними та теорією в діапазоні температур від 100 К до температури мартенсит-аустенітного перетворення. Отримане значення для константи обміну відповідає дуже низькому ефективному полю АФМ обміну (порядку 1,5 кЕ), оскільки кількість магнітних іонів, які взаємодіють антиферомагнітно через границі двійників набагато менша за загальну кількість магнітних іонів у двійнику. Аналогічна ситуація спостерігається в структурах синтетичних антиферомагнетиків, які застосовують в приладах, де використовується ефект гігантського магнітоопору, а також у спінових вентилях.



а)



б)

Рис. 3.18. (а): Схематичне зображення двійкованої магнітної плівки в перпендикулярному магнітному полі. Числами 1 та 2 позначені двійникові варіанти. Точкові, пунктирні та суцільні стрілки показують напрями векторів намагніченості для зовнішнього магнітного поля $H = 0$, $H < H_{A-F}$ та $H > H_{A-F}$, відповідно. Тут H_{A-F} – поле фазового переходу з антиферомагнітного у феромагнітний стан; (б): Експериментальні (кружечки) та теоретичні (лінії) температурні залежності резонансних полів в плівках $\text{Ni}_{46.0}\text{Mn}_{36.8}\text{S}_{n11.4}\text{Co}_{5.8}/\text{MgO}(001)$ у мартенситному стані.

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

Останнім часом зростає інтерес до використання магнітних наночастинок (МНЧ) у біології та медицині. Ведеться розробка та дослідження МНЧ для підвищення контрасту в магнітно-резонансній томографії, цілеспрямованої (керованої) доставки ліків, локального

нагріву певних ділянок живих організмів (магнітна наногіпертермія). Останній напрям використовує здатність МНЧ нагріватися під дією змінного магнітного поля і розглядається як один із важливих методів неінвазивної терапії онкохворих. Однак, оскільки широкий спектр експериментів з використанням живих організмів є утрудненим, низка питань, що стосуються оптимізації параметрів МНЧ, залишається нез'ясованою до цього часу. Тому важливого значення набуває розробка методів теоретичного опису та моделювання поведінки реальних ансамблів наночастинок.

Нами була розроблена методика моделювання поведінки реальних ансамблів МНЧ у змінних магнітних полях різної частоти та амплітуди, яка дозволяє мінімізувати загальну кількість експериментів, виділити вклади в магнітну сприйнятливості від наночастинок різного розміру, вказати шляхи оптимізації параметрів МНЧ. Дієвість розробленої методики продемонстровано на прикладі наночастинок $(\text{La,Sr})\text{MnO}_3$, які є перспективними індукторами магнітної наногіпертермії. Особливістю таких МНЧ є можливість автоматичної підтримки необхідної температури нагріву, що унеможливує ризики нерівномірного нагріву пухлин, а також перегріву і пошкодження здорових тканин.

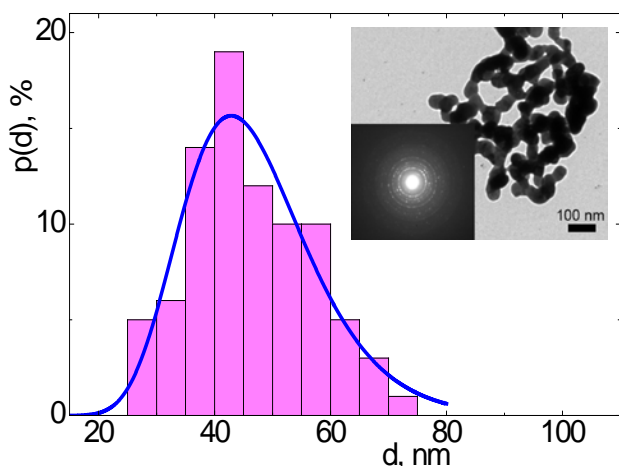


Рис. 3.19. Діаграма розподілу наночастинок $(\text{La,Sr})\text{MnO}_3$ за розмірами. На вставці показано фрагмент мікрофотографії ансамблю наночастинок та дані електронної дифракції.

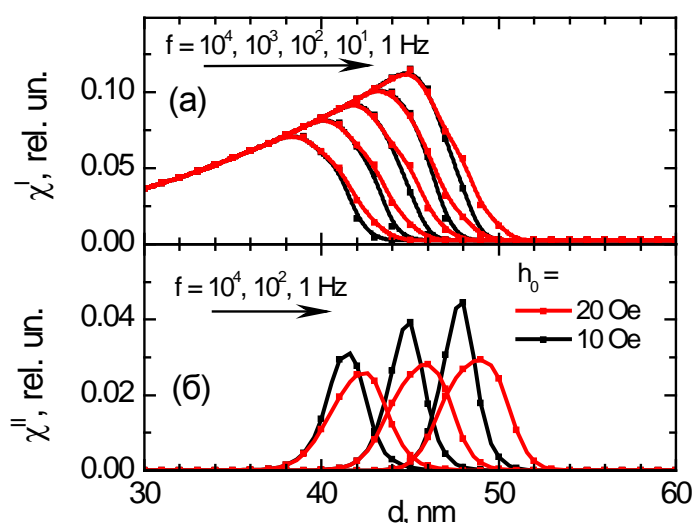


Рис. 3.20. Дійсна (а) та уявна (б) компоненти магнітної сприйнятливості в залежності від розміру наночастинок $(\text{La,Sr})\text{MnO}_3$. Наведено дані розрахунків для різних частот та амплітуди змінного магнітного поля.

Використовуючи дані розподілу МНЧ $(\text{La,Sr})\text{MnO}_3$ за розмірами (Рис. 3.19.) та результати магнітостатичних вимірювань, розраховано дійсну (Рис. 3.20. (а)) та уявну (Рис. 3.20. (б)) компоненти магнітної сприйнятливості як для МНЧ певного розміру, так і для всього ансамблю. Визначено вклади від наночастинок певного розміру у магнітну сприйнятливості всього ансамблю, зроблено висновки щодо шляхів оптимізації параметрів МНЧ.

(Д. М. Поліщук, О. І. Товстолиткін, ІМаг НАНУ та МОНУ; Д. Г. Ковальчук, А. В. Боднарук, В. М. Калита, С. М. Рябченко, ІФ НАНУ; С. О. Солопан, А. Г. Білоус, ІЗНХ НАНУ)

Розробка резистивної пам'яті з довільним доступом (resistive random access memory – RRAM) є на сьогодні одним із найважливіших напрямів науково-технологічної діяльності. Принцип роботи пристроїв цього класу ґрунтується на явищі «м'якого пробую» діелектриків, яке може бути оборотним і відтворюваним. При цьому резистивні властивості діелектриків змінюються шляхом прикладання певного електричного поля. Такі процеси носять назву резистивного перемикання і є перспективними для використання в енергонезалежній пам'яті.

Останнім часом процеси, подібні до резистивного перемикання, були виявлені в гетероструктурах $(\text{La,Ba})\text{MnO}_3/\text{ZnO}$. Дослідження головним чином проводили в області кімнатних температур. Слід зазначити, що $(\text{La,Ba})\text{MnO}_3$ виявляє температурні зміни магнітного стану і електричної провідності, однак, до цього часу вплив таких змін на поведінку гетероструктур $(\text{La,Ba})\text{MnO}_3/\text{ZnO}$ залишається практично не дослідженим.

Нами були досліджені електричні, магнітні та резонансні властивості наноструктур $(\text{La,Ba})\text{MnO}_3/\text{ZnO}$, виготовлених методом іонно-променевого осадження на монокристалічних підкладках MgO (001). Виявлено, що в області відносно невеликих значень прикладеної електричної напруги ($|U| < 0,2$ В), зразки мають властивості, характерні для типових *p-n* переходів. Однак, за умови, що напруга перевищує певне порогове значення, зразки демонструють яскраво виражене резистивне перемикання (Рис. 3.21).

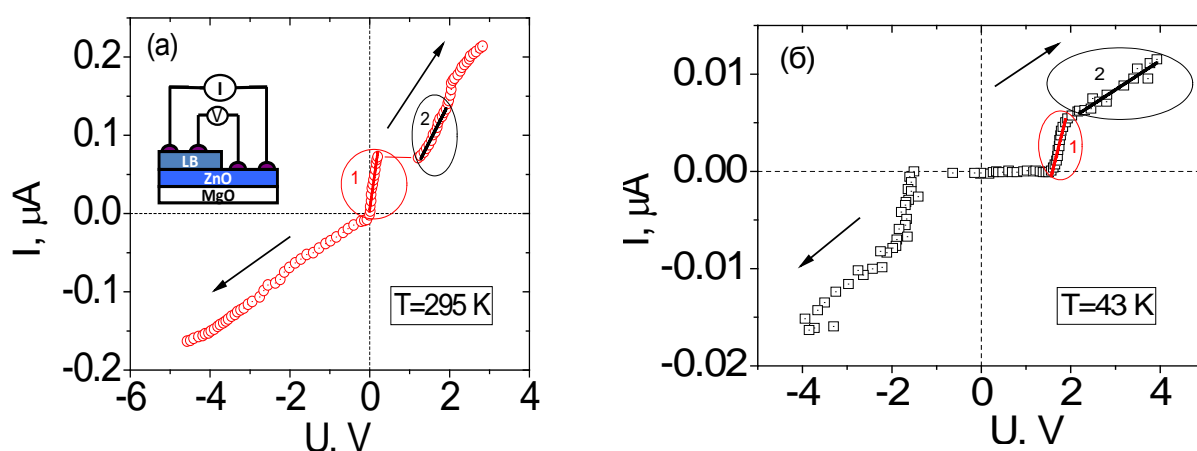


Рис. 3.21. Вольт-амперні характеристики $(\text{La,Ba})\text{MnO}_3/\text{ZnO}$ наноструктур при 295 К (а) і 43 К (б) (стрілками показано напрями зміни електричної напруги в процесі вимірів).

Виконано аналіз температурної поведінки та особливостей резистивного перемикання при кімнатних та низьких температурах. Показано, що порогові значення електричної напруги і характерні значення електричного опору є температурно-залежними. Зроблено висновок, що температурно-індукована зміна магнітного стану $(La,Ba)MnO_3$ відіграє важливу роль в процесах резистивного перемикання і її потрібно брати до уваги при аналізі поведінки таких структур.

Отримані результати сприяють знаходженню нових технологічних шляхів виготовлення нанорозмірних магнітних структур, що мають властивості резистивного перемикання з контрольованими і відтворюваними параметрами.

(Т. І. Полек, О. І. Товстолиткін, А. М. Погорілий, ІМаг НАНУ та МОНУ; Т. Endo, Y. Nakamura, Sagamihara Surface Lab, Sagamihara, Japan).

Досліджені магнітні фазові перетворення в системі $(Sm_{1-y}Gd_y)_{0.55}Sr_{0.45}MnO_3$ ($0 \leq y \leq 1$), викликані змінами складу зразків, температури та напруженості зовнішнього магнітного поля. Зразки системи $(Sm_{1-y}Gd_y)_{0.55}Sr_{0.45}MnO_3$ були приготовлені у вигляді таблеток діаметром 6 мм і товщиною 1,2 мм. Проведений аналіз особливостей температурних залежностей ac магнітної сприйнятливості зразків кераміки $Gd_{0.55}Sr_{0.45}MnO_3$, виміряних на різних частотах в інтервалі температур 4,2 – 100 К, і сингулярностей серії ізотерм dc намагніченості $M(H)$.

Нами виявлені порогові особливості в серії послідовних експериментальних ізотерм 1, 2 і 3, виміряних в $Gd_{0.55}Sr_{0.45}MnO_3$ при температурі 4,2 К, при якій згідно з даними вимірів температурних залежностей ac магнітної сприйнятливості $\chi(T)$ можна було очікувати існування фази безщілинної спінової рідини в нульовому зовнішньому магнітному полі (рис. 3.22.).

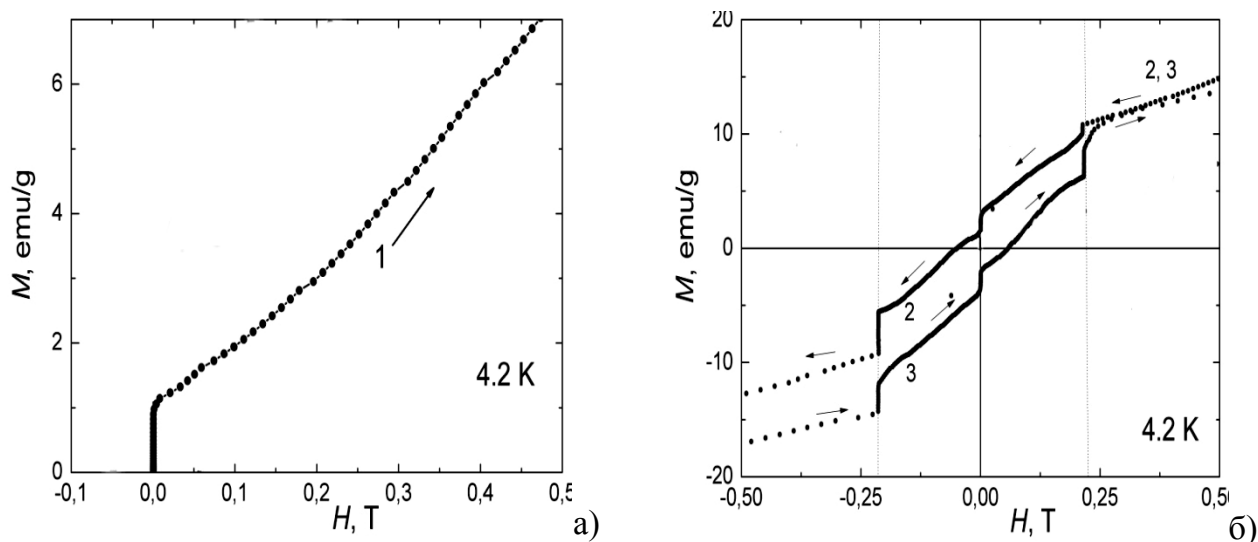


Рис. 3.22. Порогові особливості ізотерм намагнічування $Gd_{0.55}Sr_{0.45}MnO_3$ при температурі 4,2 К (1 - початкова крива намагнічування зразка)

Згідно з роботами А. J. Willans, J. T. Chalker, R. Moessner (Phys. Rev. Lett. 104,237203 (2010); Phys. Rev. 84, 115146 (2011)) у безщілинній спіновій рідині з'являються індуковані

зовнішнім магнітним полем пари пов'язаних взаємодією локалізованих магнітних моментів, що супроводжується стрибкоподібною зміною польової залежності магнітної сприйнятливості поблизу нульового поля. Поява індукованих зовнішнім полем пар магнітних моментів зареєстровано як стрибок dc -намагніченості поблизу нульового магнітного поля (Рис. 3.22.(а)). Представлені на Рис. 3.22. (б) ізотерми намагнічування-розмагнічування 2 і 3 демонструють стрибки на польових залежностях $M(H)$. В ході процесу розмагнічування (Рис. 3.22. (б), ізотерма 2), перехід з спін-поляризованої фази в фазу з топологічним порядком відбувається стрибком і супроводжується різким падінням намагніченості. Автори припускають, що природа виявленого ефекту згідно моделі Гейзенберга–Китаєва може бути пов'язана з існуванням безщільної Z_2 спінової рідини. Відповідно до цієї моделі передбачається пороговий ріст намагніченості зразків, індукований збільшенням магнітного поля, в зв'язку з квантовими фазовими переходами в стан з топологічним порядком при $H \approx 0$ і спін-поляризовану фазу при $H > H_c$.

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

В останні десятиліття дослідженню фізичних властивостей манганітів $RMnO_{3\pm\delta}$ і $R_{1-x}A_xMnO_3$ (де R – іон рідкісноземельного ряду La^{3+} – Lu^{3+} ; A – двоцвалентний елемент Ca , Ba) приділяється велика увага як по причині їх цінності для практичного застосування, так і з фундаментальної точки зору. Залежно від концентрацій x або δ фізичні властивості манганітів різко змінюються, і ці сполуки проходять через ланцюжок фазових перетворень з різними типами упорядкування: структурного, магнітного, зарядового. Магнітними властивостями манганітів можна ефективно керувати або шляхом заміщення рідкісноземельного іону R^{3+} на лужноземельні A^{2+} для $R_{1-x}A_xMnO_3$, або шляхом зміни концентрації кисню в межах $2.5 \leq (3 \pm \delta) \leq 3.3$ для $RMnO_{3\pm\delta}$.

Наша робота була спрямована на з'ясування природи магнітного стану слабо аніон-надлишкового манганіту лантану $LaMnO_{3+\delta}$ (надлишок кисню $\delta \approx 0,0375$). Детально вивчені особливості температурних і польових залежностей магнітного моменту монокриста – лічного зразка в області температур 2 – 350 К в різних режимах вимірювання і магнітних полях до 5 Т уздовж осі c кристала (Рис. 3.23). Побудовано польові залежності виявлених особливих температурних точок, таких як температура магнітного упорядкування (T_c), магнітного склування (T_f), початок значного розщеплення магнітних фаз або роздвоєння кривих магнітної сприйнятливості (ZFC , $FC\uparrow$, T^*), температура максимальної швидкості фазового розшарування (T_{trans}), початок другого етапу розщеплення фаз (T^{**}). Експериментально виявлено, що відмінність ZFC і $FC\uparrow$ моментів зразка вже детектується при T_f (яка близька до T_c), в той час як значне зростання фазового розшарування починається нижче T^* . Виявлено, що відношення нахилів лінійних ділянок польових залежностей $T_f(H)$, $T^*(H)$, $T_{trans}(H)$ і $T^{**}(H)$ може бути представлено як відношення чисел **1:2:4:6**, що передбачає єдиний механізм формування або їх спільну природу. Отримані результати повністю узгоджуються з модельними уявленнями магнітного фазового розшарування, що передбачають формування автолокалізованих станів типу нанорозмірних феромагнітних крапель в об'ємній антиферомагнітній матриці.

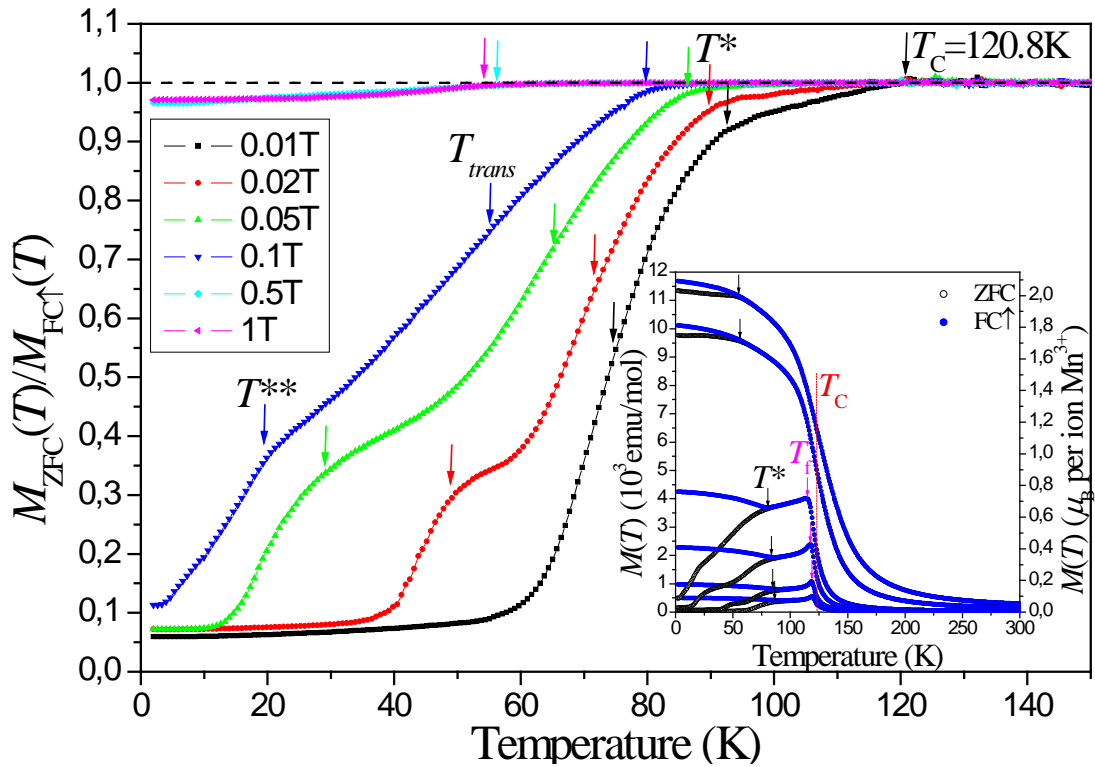


Рис. 3.23. Фрагмент температурної залежності відношення моментів $M_{ZFC}(T)/M_{FC\uparrow}(T)$ в різних магнітних полях ($H \parallel c$). Стрілками відмічені температури особливих точок нижче T_C . Пунктирною лінією показано рівень повного збігу магнітного моменту зразка. На вставці показані температурні залежності магнітного моменту $M_{ZFC}(T)$ (\circ) і $M_{FC\uparrow}(T)$ (\bullet) в відповідних полях спостереження.

(В. О. Пашенко, І. К. Галетич, В. А. Сіренко, В. В. Єременко, А. В. Єременко, ФГІНТ НАНУ; В. В. Брук, УкрНДІЕП МЕРП).

Секція «Електронні властивості твердих тіл»

Проведено теоретичне дослідження аномального магнітооб'ємного ефекту в сполуці YCo_2 , відомої як обмінно-посилений парамагнетик Паулі, в якому згідно літературним даним спостерігається метаманітний перехід системи колективізованих електронів в феромагнітний стан в магнітних полях близько 70 Тл. Для сполуки є також характерними сильна і немонотонна залежність магнітної сприйнятливості від температури, $\chi(T)$, та великий магнітострикційний ефект. Детальні розрахунки електронної структури і парамагнітної сприйнятливості YCo_2 , включаючи їх залежність від об'єму елементарної комірки, виконані в наближенні функціоналу електронної густини (DFT) з використанням модифікованого релятивістського методу LMTO з повним потенціалом (FP-LMTO). Отримані результати свідчать, що домінуючим внеском у магнітну сприйнятливість YCo_2 є обмінно-посилений спіновий парамагнетизм 3d станів кобальту, який характеризується при низьких температурах фактором Стонера $S \sim 20$. Показано, що особливості залежності $\chi(T)$ в формі максимуму при $T \sim 250$ К можна якісно пояснити формою густини електронних станів поблизу рівня Фермі (Рис. 4.1.).

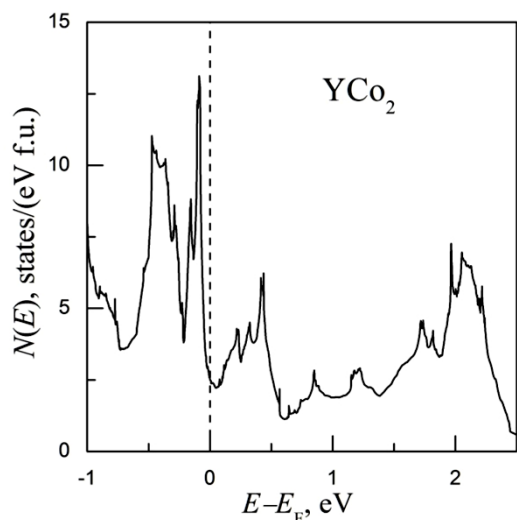


Рис. 4.1. Густина електронних станів в YCo_2

Розрахована величина магнітооб'ємного ефекту при $T = 0$ К, $d \ln \chi / d \ln V = 15$, цілком узгоджується з експериментальним результатом, що витікає з літературних даних по магнітострикції та проведених нами прямих вимірювань ефекта всебічного тиску на магнітну сприйнятливості сполуки. Розумне погодження розрахункових і експериментальних значень сприйнятливості χ та магнітооб'ємного ефекту $d \ln \chi / d \ln V$ свідчать про адекватність використаного зонного опису металевих систем, близьких до магнітної нестійкості. Наведені в роботі теоретичні та експериментальні дані про величину магнітооб'ємного ефекту в YCo_2 можуть бути використані при аналізі аналогічних властивостей дво-підграткових магнетиків типу RCo_2 для обліку в цих системах домінуючого внеску в магнетизм, обумовленого обмінними взаємодіями між 3d станами кобальту.

(І. П. Журавльова, Г. Є. Гречнев, А. С. Панфіов, А. О. Лёгенька, ФТІНТ НАНУ)

На основі *ab initio* розрахунків повністю релятивістським лінійним методом MT-орбіталей у наближеннях локальної спінової густини (LSDA) та LSDA+*U*, а також з використанням узагальненого градієнтного наближення (GGA) отримані результати систематичного вивчення електронної структури і магнітних властивостей складних оксидів $A_2CrB'O_6$ ($A = Ca, Sr, B' = W, Re \text{ і } Os$). Досліджено вплив тонкої взаємодії між спин-орбітальним зв'язком, електронними кореляціями та спотворенням кристалічної ґратки на електронну структуру цих подвійних перовскітів. Зокрема, показано, що оксид Sr_2CrOsO_6 без урахування спин-орбітальної взаємодії є феримагнітним напівметалом зі спіновими магнітними моментами, які точно компенсуються, або спин-асиметричним компенсованим напівметалічним феримагнетиком, в якому електрони і дірки є повністю поляризованими та мають протилежні напрямки спіну, незважаючи на нульовий повний магнітний момент і, отже, відсутність макроскопічного магнітного поля. Спин-орбітальна взаємодія вносить зміну в цю картину, даючи ненульовий повний магнітний момент. При цьому зміни в зонній структурі є невеликими. Отже магнітний момент насичення, який спостерігається експериментально в феримагнітному Sr_2CrOsO_6 , цілком зумовлений спин-орбітальною взаємодією. Виявлено, що можливі кисневі вакансії призводять до змішаної валентності атомів Cr і зменшення намагніченості насичення в Sr_2CrWO_6 та Sr_2CrReO_6 .

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

Теоретично вивчено просторовий розподіл локальної густини станів (ЛГС) та локальної густини намагніченості (ЛГН) поблизу точкового магнітного дефекту у двовимірному виродженому електронному газі в умовах комбінованої спин-орбітальної взаємодії (СОВ) Рашби–Дрессельхауса. Досліджено залежність Фрідельєвських осциляцій від співвідношення констант СОВ. Отримано асимптотичні вирази для осцилюючої частини ЛГС та ЛГН, справедливі при досить великих відстанях від дефекту. Показано, що Фрідельєвські осциляції у розглянутому випадку є істотно анізотропними та при певному співвідношенні констант СОВ містять декілька гармонік. Знайдено періоди осциляцій для напрямів, що співпадають з осями симетрії фермі-контурів. Запропоновано метод визначення двох констант СОВ шляхом вимірювання періодів Фрідельєвських осциляцій ЛГС та ЛГН для різних гармонік.

(І. В. Козлов, Ю. О. Колесніченко, ФТІНТ НАНУ)

Проведено детальні дослідження магнітоопору в дірковий гетероструктурі $Si_{0.4}Ge_{0.6}/Ge/Si_{0.4}Ge_{0.6}$. Виявлено прояв явища «биття» осциляцій Шубнікова – де Гааза які спостерігаються на залежності опору структури від магнітного поля, що є характерним для систем з двома окупованими квантовими рівнями. Про це також свідчить спостереження двох частот осциляцій виявлених під час їх Фур'є аналізу. За допомогою розробленої методології розрахунку кінетичних характеристик носіїв заряду, таких як щільність дірок, рухомість та ефективна маса виявлено, що ці параметри мають різне значення на кожному квантовому рівні. У системі що досліджено знайдено доказ прояву нового «феромагнітного» стану в магнітних полях $\sim 9T$. Цей стан з'являється за умов прояву квантового ефекту Холла на обох окупованих квантових рівнях та обумовлений своєрідним рухом рівнів Ландау, які є заселеними зарядами з протилежними спінами та належать до різних квантових рівнів.

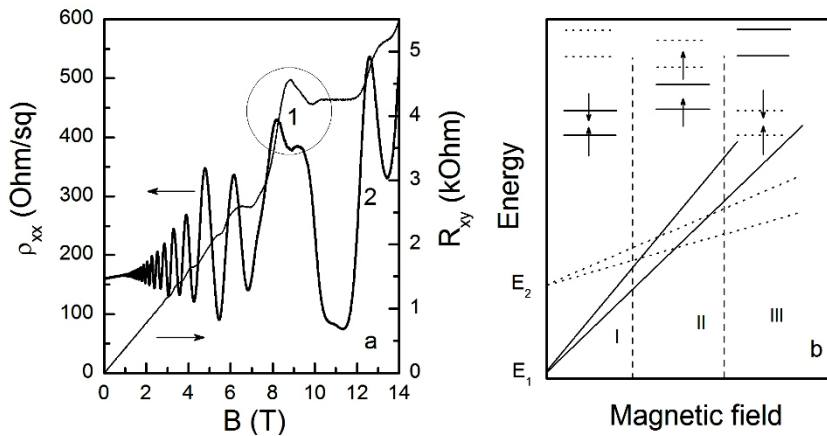


Рис. 4.2.

(В. В. Андрієвський, І. Б. Беркутов, ФТІНТ НАНУ)

Теоретично доведено, що наносистема може бути механічно активована за допомогою теплового потоку. При цьому основну роль в механізмі активації відіграє електрон-електронна взаємодія (енергія двохчастинного стану електронів з протилежними спінами не дорівнює сумі енергій одночастинних станів). На відміну від відомих механізмів активації руху запропонований механізм не потребує ні протікання електричного струму крізь систему, ні прикладення зовнішніх електромагнітних полів. Таким чином, запропоновано наноелектромеханічний тепловий двигун, який може бути використаний для створення наноробототехніки.

(С. І.Кулініч, ФТІНТ НАНУ)

Вивчений вплив електрон-фононої взаємодії на спектр та транспортні характеристики діраківських електронів в одношарових карбонових нанотрубках. Показано, що псевдомагнітна частина потенціалу взаємодії електронів з поперечними фононами індукує щілину в спектрі електронів. Розглянуто два механізми утворення щілини - пайєрлсовський фазовий перехід та кореляційний механізм за рахунок віртуального обміну електронів поперечними фононами. Розрахована вірогідність розсіювання масивних діраківських ферміонів на скалярному (електростатичному) потенціалі скінченного розміру та знайдені індуквані електрон-електронними кореляціями перенормування первинної амплітуди розсіювання.

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

За допомогою мікроконтактної спектроскопії андреєвського відбиття досліджено надпровідний стан залізовмісного надпровідника FeSe. Проведено аналіз результатів згідно теорії Блондера-Тінкхама-Клапвейка та встановлено двощілинний характер надпровідного стану. Вперше отримана температурна та магнітопольова залежність надпровідних щілин (см. Рис. 4.3.). Температурна залежність обох щілин близька до стандартної поведінки БКШ, тоді як у магнітному полі величина щілин зменшується незначно, хоча інтенсивність надпровідних особливостей на спектрах повністю придушується. Встановлені усереднені величини більшої (L) та меншої (S) надпровідної щілини $\langle \Delta_L \rangle = 1.8 \pm 0.4$ meV і $\langle \Delta_S \rangle = 1.0 \pm 0.2$ meV та їх приведені значення $2\langle \Delta_L \rangle / k_B T_c = 4.2 \pm 0.9$ і $2\langle \Delta_S \rangle / k_B T_c = 2.3 \pm 0.5$. Виявлено, що вклад меншої надпровідної щілини у спектри складає декілька десятків відсотків і зменшується з ростом

температури і магнітного поля. Не було виявлено особливостей у спектрах, які б свідчили про без щільний стан або про наявність менших за величиною надпровідних щілин.

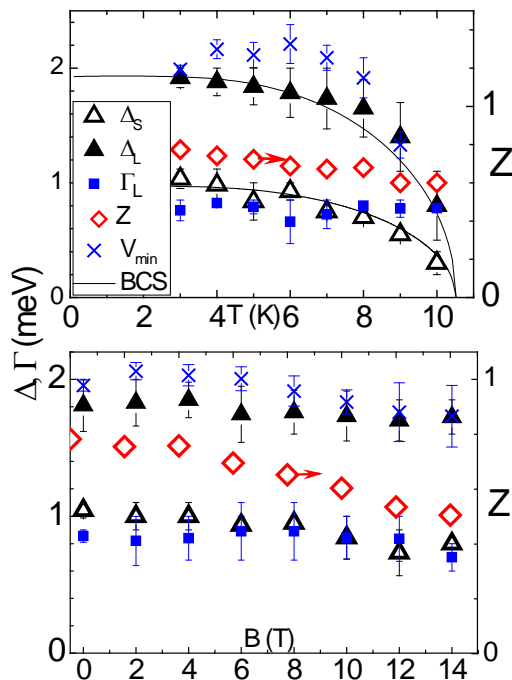


Рис. 4.3.

(Ю. Г. Найдюк, О. Є. Квітницька, Н. В. Гамаюнова, Д. Л. Башлаков, Л. В. Тютрина, ФТІНТ НАНУ)

Вперше проведено докладну експериментальну верифікацію ефекту електричної активності в надплинному ^2He при порушенні хвилі другого звуку. Силами двох наукових груп (Харків-Прага) було розроблено належну методику і техніку спостережень і показано, що сигнал електричного відгуку не пов'язаний із зовнішніми перешкодами або внутрішніми наведеннями, а також не є результатом ні прямого акустоелектричного перетворення, ані наявності термоконтактних потенціалів. Спеціально для виконання прецизійних вимірів електричної активності були розроблені унікальні надмалощумливі підсилювачі, в тому числі на гетероструктурних транзисторах, із розташуванням першого ступеню в безпосередній близькості від об'єкту дослідження (акустичного резонатора), при температурі оточення біля 2К. Зарядова чутливість приймальної системи на базі згаданих підсилювачів становить біля одного електрона, тобто близька до фізично-детермінованої межі. Розроблений апаратний комплекс може бути застосований при проведенні різноманітних акусто-електричних досліджень за умов криогенного і надглибокого охолодження.

(О. С. Рибалко, ФТІНТ НАНУ; Т. В. Чаговец, Ins. of Ph. ASCR, Czech Republic; О. М. Корольов, РІ НАНУ)

Досліджено ефекти, пов'язані з бозе-конденсацією у сумішах бозе- та фермі-атомів у оптичних ґратках. Встановлено умови, за яких внаслідок зміни роду фазового переходу відбувається фазове розшарування з появою краплин бозе-конденсату. Передбачено можливість т.зв. «реентрант» поведінки – коли конденсат існує при проміжних температурах, зникаючи при прямуванні до абсолютного нуля. Фазова поведінка таких сумішей, розрахована аналітично, узгоджується з даними комп'ютерного моделювання. Оптичні ґратки

з ультрахолодними атомами вважаються перспективними фізичними об'єктами з точки зору створення квантових комп'ютерів.

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

Вивчення перерізів комбінаційного розсіяння світла в сильноскорельюваних електронних системах в експериментах за наявності імпульсів нагнітання та виміру. В рамках нерівноважної теорії динамічного середнього поля, розраховано та досліджено перерізи непружного розсіяння світла в експериментах за участі імпульсів нагнітання та виміру. У випадку \mathbf{V}_{1g} симетрії, отримано аналітичний вираз для нерезонансної складової перерізу розсіяння, що в діаграмному вигляді відповідає голій петлі. В нерівноважному випадку, неперенормована петля складається з двох функцій Гріна, які залежать від часів, що лежать на різних гілках контура Каданова-Бейма-Келдиша. Розрахунки здійснено для моделі Фалікова-Кімбала, яка у даному підході має точний розв'язок. Розглянуто випадки малої $U=0.5$ та великої $U=2.0$ кулонівської взаємодії, що у рівноважному стані визначає металічну та діелектричну фази, відповідно. Змінюючи час дії імпульсу виміру, проаналізовано часову еволюцію стану системи до і після дії імпульсу нагнітання, тобто з часу, коли система була в рівноважному стані і впродовж дії зовнішнього збурення, яке вивело систему з рівноваги. Отримано, що під дією зовнішнього поля виникають т.з. зони Флоке, які зникають при більших часах (коли імпульс нагнітання перестає діяти). З співвідношення між стоксівською та антистоксівською складовими перерізу розсіяння, вдалося дослідити часову еволюцію ефективної температури системи. Отримано, що під дією поля температура зростає і досягає певного значення, яке не змінюється при більших часах після дії імпульсу. Розрахунки здійснено для різних значень вихідної (рівноважної) температури.

(О. П. Матвеев, А. М. Швайка, ІФКС НАНУ спільно з Дж. Фріріксом, Джорджтаунський університет, США і Т. Деверо, Стенфордський університет, США)

З допомогою одновимірного перетворення Йордана-Вігнера отримано точні результати для термодинамічних характеристик спин-1/2 XY моделі магнетоелектрика з механізмом Кацури-Нагаоши-Балацького зв'язку локалізованих магнітних моментів із локальною електричною поляризованістю комірки кристалічної ґратки на зигзаг ланцюжку. Побудовано фазові діаграми основного стану та розраховано при нульовій температурі залежності намагніченості та електричної поляризації від магнітного та електричного полів. Показано, що задача зигзаг ланцюжка у випадках, коли електричне поле є напрямлене паралельно, або перпендикулярно до осі, вздовж якої лежить зигзаг ланцюжок, ефективно є задачею прямого ланцюжка. Також встановлено, що якщо кут нахилу зовнішнього електричного поля α співпадає із кутом, що характеризує геометрію зигзаг ланцюжка θ (тобто напрям поля співпадає із напрямом кожного другого зв'язка ґратки), тоді кут нахилу вектора електричної поляризації не залежить ні від магнітного поля, ні від модуля електричного. При α ж відмінному від θ кут нахилу електричної поляризації може бути немонотонною функцією абсолютного значення електричного поля.

(О. Р. Баран, ІФКС НАНУ)

Секція «Фізика молекулярних кристалів»

Вперше показано, що піки у низькотемпературній залежності коефіцієнту теплового розширення квазідвовимірної органічної солі $k\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu[N(CN)}_2\text{]Br}$ відповідають фазовому переходу цього монокристалу у орієнтаційно-впорядкований стан в інтервалі температур T_g 74-80 К. Виявлено, що квантові кореляції у електронній підсистемі кристала приводять до особливостей в температурній залежності коефіцієнту теплового розширення при $T^* \approx 50$ К. Встановлено, що перехід у надпровідний стан при $T_c \approx 11$ К супроводжується від'ємним тепловим розширенням кристала. Інформація про фазовий стан та низькотемпературне теплове розширення таких кристалів необхідна для створення нового покоління надчутливих молекулярних сенсорів, а також може дозволити просунути у вирішенні проблеми надпровідності при відносно високих температурах.

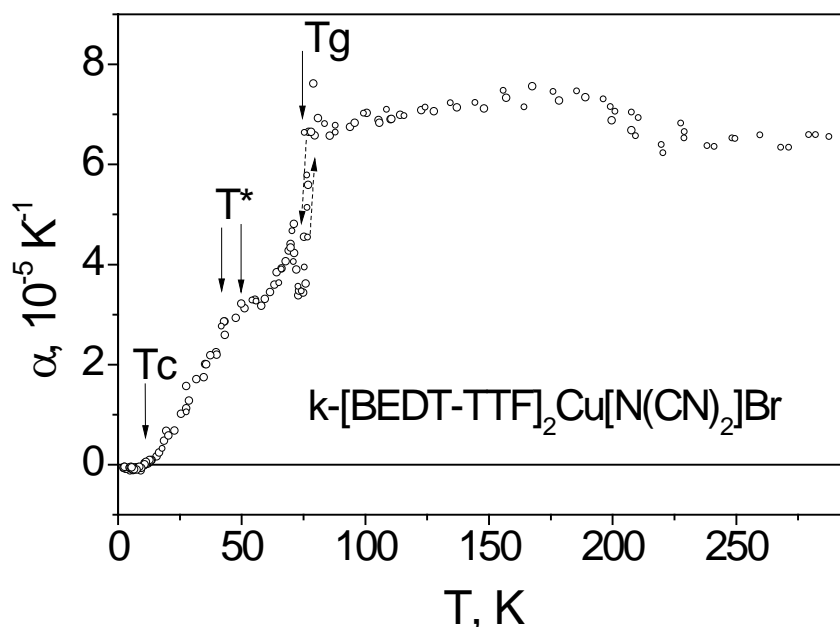


Рис. 5.1. Коефіцієнти теплового розширення зразка $k\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu[N(CN)}_2\text{]Br}$ в напрямку кристалографічної осі **b**.

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

Добре відомо, що в ідеальних неметалевих кристалах теплоємність C має бути пропорційна кубу температури T^3 . Проте, дослідження температурної залежності теплоємності C монокристалів орто-бромбензофенону (2-BrBP) від 0,4 до 305 К привели до неочікуваного результату: по-перше, при температурах нижче 3 К спостерігається залежність $C \sim T$; по-друге, при дещо вищих температурах спостерігається чітко визначений так званий Бозе-пік. Обое ці признаки притаманні твердим тілам, в яких є присутній той чи інший

безпорядок (позиційний, орієнтаційний, тощо). Така поведінка пояснюється наявністю характерних для усіх похідних бензфенону низькочастотних внутрішньо-молекулярних коливальних мод.

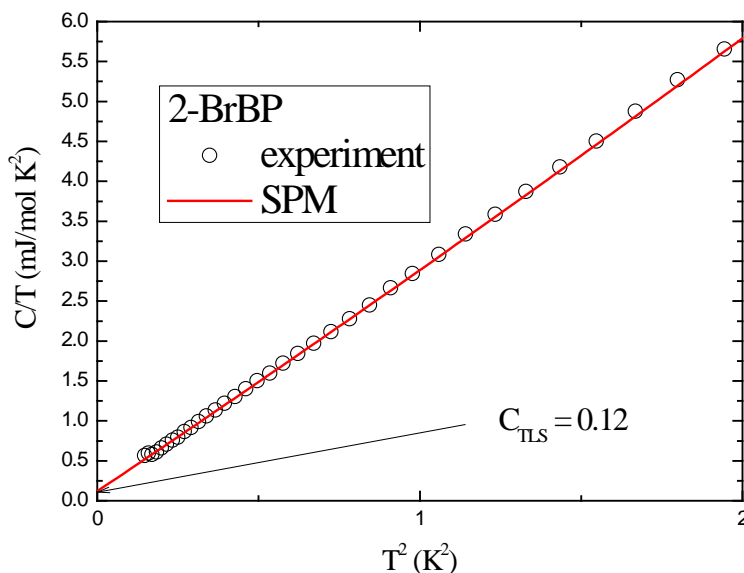


Рис.5.2. Температурна залежність (у координатах C/T від T^2) низькотемпературної теплоємності монокристалу орто-бром-бензофенону (червона пряма – залежність згідно теорії андерсоновських дво-рівневих систем); відсічка (0.12) характеризує типове значення енергії андерсоновського дублету

(М. О. Стржемечний, О. І. Кривчіков, С. Г. Степанян, О. О. Романцова, ФТІНТ НАНУ)

Досліджено ізохорну теплопровідність кристалічного 2-пропанолу $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ на зразках різної щільності в температурному інтервалі від 100 К і до початку плавлення. Для всіх зразків вона зменшувалася зі зростанням температури; при цьому спостерігалися сильніші відхилення від залежності $\kappa \propto 1/T$, ніж при тиску насиченої пари. Проведено порівняння з теплопровідністю 1-пропанолу. Показано, що теплове розширення помітно впливає на температурну залежність теплопровідності в досліджених одноатомних спиртах. Так розраховані нами коефіцієнти \mathbf{B}_i , що описують внесок дифузних мод в теплопровідність, відрізняються в два рази в ізобарному і ізохорному випадках. Для 1 і 2-пропанолу дифузний внесок значно перевищує фононний, що вказує на сильне розсіювання в обох ізомерах. Показано, що коефіцієнт \mathbf{A}_i , відповідальний за фононний внесок, істотно залежить від щільності, в той час як коефіцієнт \mathbf{B}_i , що описує дифузійний внесок, практично незмінний, що добре узгоджується з теорією. Експериментальні результати обговорюються як в рамках стандартної дебаєвської моделі теплопровідності з різними граничними умовами, так і з погляду нових теоретичних підходів. Показано, що експериментальні результати добре описуються залежністю $\kappa(T) = \mathbf{A}_i / T^n + \mathbf{B}_i$ при відповідному виборі параметрів \mathbf{A}_i і \mathbf{B}_i для $n = 1; 1,5; 2$, і складно віддати перевагу тій чи іншій моделі на основі аналізу лише температурної залежності ізохорної теплопровідності

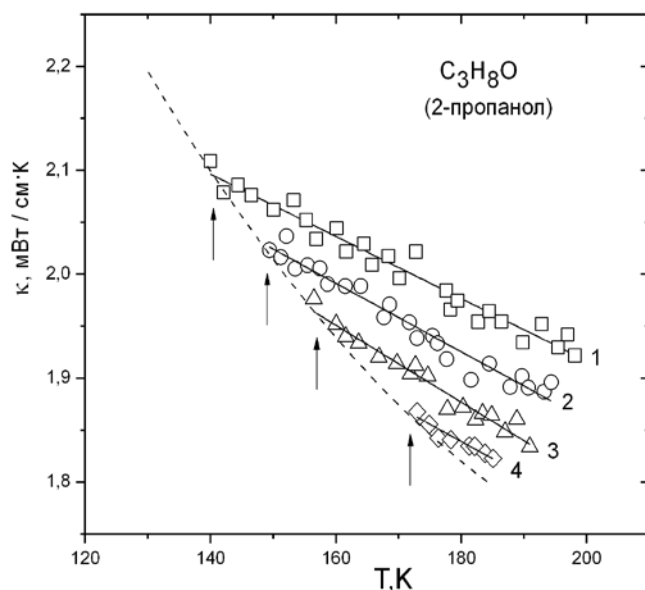


Рис. 5.3. Ізохорна теплопровідність зразків кристалічного 2-пропанолу різної густини: \square - №1 $V_m = 64.8 \text{ см}^3/\text{моль}$; \circ - №2 $V_m = 65.3 \text{ см}^3/\text{моль}$; Δ - №3 $V_m = 65.8 \text{ см}^3/\text{моль}$; \diamond - №4 $V_m = 66.1 \text{ см}^3/\text{моль}$. Штриховою лінією показана теплопровідність при тиску насиченої пари.

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

Електростатичне зарядження наноструктурованих азотних плівок вивчено методами оптичної та струмової емісійної спектроскопії: катодолюмінесценцією, термо- та фото-стимульованою люмінесценцією та екзоелектронною емісією, а також реєстрацією пост-десорбції. Отримані дані безпосередньо вказують на накопичення некомпенсованого від'ємного просторового заряду в азотних плівках, попередньо опромінених електронним пучком, і демонструють їх здатність зберігати заряди обох знаків при низьких температурах.

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

Проаналізовані умови, при яких виникає генерація і рух екситонних солітонів (областей конденсованих фаз) в подвійних квантових ямах напівпровідників при стаціонарній накачці і наявності зовнішньої тягнучої сили. Показано, що існує мінімальний розмір системи, при якому стан з рухомими солітонами може бути створений. Знайдена залежність мінімального значення тягнучої сили, необхідної для генерації рухомих солітонів, від розмірів системи.

(В. В. Михайловський, В. Й. Сугаков, ІЯД НАНУ)

Запропоновано пояснення існування довгопробіжних треків в мінералах muscovite тіса з використанням моделі акселеронів - атомів, які прискорюються при фазових переходах з метастабільного стану в основний.

(В. Й. Сугаков, ІЯД НАНУ)

Проведені розрахунки впливу оптичних коливань на термолюмінесцентні криві полімерів в залежності від ступеня упорядкування полімеру та типу підкладки, на якій знаходиться плівка полімеру. Результати пояснюють експерименти, отримані співробітниками Інституту фізики НАНУ при дослідженні термолюмінесцентних кривих і енергій активації різних полімерних плівок, нанесених на різні підкладки.

(В. Й. Сугаков, ІЯД НАНУ; Н. І. Остапенко, Ю. В. Остапенко, О. О. Керіта, ІФНАНУ)

Сцинтилятори на основі органічних монокристалів використовуються для детектування найбільш шкідливих для людського організму короткопробіжних заряджених випромінювань. Одним із шляхів збільшення світлового виходу таких детекторів є збільшення площі органічного елемента. Нові органічні детектори з великою площею і довільною конфігурацією були виготовлені на основі композиційних і полікристалічних матеріалів.

▪ Досліджені спектри фотолюмінесценції (ФЛ) і збудження в області 5 – 290 К монокристалів та двох нових сцинтиляційних матеріалів (полікристалічних та композиційних) на основі мікрокристалічних гранул стильбену різного розміру, спресованих гарячим пресуванням або введених в прозору гель-композицію відповідно.

▪ Показано, що спектри ФЛ полікристалів і монокристалів при 5 К складаються з чотирьох смуг 348, 367, 390 і 410 нм і співпадають при збудженні в області їх поглинання 260 – 330 нм. При збудженні довжинами хвиль при 350 – 390 нм в спектрах ФЛ з'являються додатково нові слабкі смуги 374, 397, 417 і 442 нм, які мають домішкову або дефектну природу. З цим результатом узгоджується збіг спектрів збудження, знятих для кожної смуги ФЛ при 5 К. Тільки для смуг ФЛ при 390 і 410 нм в спектрах збудження додатково з'являються слабкі смуги при 348, 365 і 384 нм, що мають, мабуть, також домішкову або дефектну природу. Ці дані, а також збіг чисто електронних смуг в спектрах поглинання, збудження і ФЛ свідчить про те, що смуги в спектрі ФЛ мають екситонну природу.

▪ Істотне зміщення смуг в спектрах ФЛ полікристалів і композиційних матеріалів (до 435 см^{-1}) в сторону менших довжин хвиль при збільшенні температури від 5 до 290 К свідчить про існування в досліджених зразках квазі-неперервного набору локалізованих станів, розподілених по Гаусу, який пов'язаний з різним розташуванням в молекулах стильбену бензольних кілець відносно $C = C$ зв'язку.

▪ Показано, що інтенсивність ФЛ полікристалів збільшується зі збільшенням розміру мікрокристалічних гранул і незначно знижується (на 13%) для гранул 2,5 мм в порівнянні з інтенсивністю ФЛ монокристалів. Оскільки полікристали не мають технологічних обмежень по площі і конфігурації в порівнянні з монокристалами, вони є новими ефективними сцинтиляторами для використання в радіоекології, радіобіології та радіомедицині.

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

Секція «Низькотемпературне матеріалознавство та кріогенна техніка»

Кріогенна техніка

Наукові дослідження і розробки у галузі кріогенної техніки у 2017 році проводилися в основному у ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України, ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут і в ТОВ «Інститут низькотемпературних енерготехнологій (ІНТЕТ, м. Одеса).

У ФТІНТ ім. 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 навколоземного космічного простору (ФКП). Основою устаткування є унікальний комплексний імітатор факторів космічного простору (КІФК), який дозволяє також досліджувати вплив імітованих ФКП на окремі елементи конструкцій космічних апаратів, прилади і наносупутники.

Також група співробітників ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України під керівництвом д.т.н. С. І. Бондаренка (відділ надпровідних і мезоскопчних структур) спільно з китайськими вченими Чунцинської Академії Науки та Технології (м. Чунцин) приймала участь у виконанні Міжнародного проекту Китаю **«Високотемпературний магнітний сепаратор руди»**

(С. І. Бондаренко, О. В. Кревсун, ФТІНТ НАНУ)

У ННЦ ХФТІ під керівництвом д.т.н. В. Б. Юферова для розвитку методів плазмової переробки оксидного палива ядерних енергетичних реакторів розробляється експериментальний магніто-плазмовий сепаратор для сепарації іонів у багатокомпонентній оксидній плазмі. Магнітна система сепаратора складається з двох частин: обмотки в області плазмового джерела і обмотки в області сепарації. В області сепарації рівень магнітних полів, що забезпечується водоохолоджуваною обмоткою, складає ~0,1 Тл. Для отримання магнітних полів 2 – 5 Тл в області плазмового джерела передбачається використати надпровідний (НП) соленоїд. З метою зменшення ваги і вартості сепаратора магнітна система орієнтована на Nb-Ti надпровідник з високою щільністю струму (до $8 \cdot 10^4 \text{ A/cm}^2$). Для підвищення надійності НП обмотки, розташованої в області плазмового джерела, при роботі в стаціонарному режимі в магнітних полях 2 – 5 Тл був застосований комплексний підхід, який включає: використання сучасних НП матеріалів з високими струмопровідними характеристиками; низьку величину допустимого нагріву обмотки (50 К); обмотку, що компаундується; швидке виведення майже усієї запасеної енергії на змінний зовнішній опір; електроізоляцію між струмовводами; непряме охолодження обмотки; наявність проміжного радіаційного екрану, що охолоджується рідким неонам; використання ВТНП-струмовводів, і т.п.

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

У ТОВ "Інститут низькотемпературних енерготехнологій", яке входить до складу Східноєвропейської асоціації виробників технічних газів "СІГМА" під керівництвом д.т.н. Г. К. Лавренченка на початковому етапі досліджень були проаналізовані різні способи збільшення виходу рідкого кисню у повітроділювальній установці (ПРУ) середньої продуктивності, оскільки в Україні в даний час відчувається стійкий попит на криогенні ПРУ середньої продуктивності для отримання рідкого кисню. У зв'язку із зростанням тарифів на електроенергію основним завданням при розробці і створенні таких ПРУ є досягнення в них мінімально можливого споживання енергоресурсів. Деякі із способів вдалося застосувати в установках нового покоління. На прикладі ПРУ КжК – 0,5 було продемонстровано, що навіть часткове впровадження запропонованих способів істотно збільшує в ній виробництво рідкого кисню. Подальше вдосконалення цієї установки дозволило нам понизити питомі витрати електроенергії до 1,0 – 1,1 кВтг/кг рідкого кисню. Проведені дослідження показали, що у ПРУ можна поршневий чотириступінчастий компресор замінити на відцентровий із збереженням практично тих же високих показників установки. При такому підході до розробки ПРУ середнього тиску вдасться створювати їх на основі тільки машин динамічного принципу дії. Цей результат є дуже значущим, оскільки сприятиме випуску ПРУ, які не уступають за показниками установкам передових закордонних компаній.

Робота виконувалася фахівцями заводу «Кріопром» (м. Одеса) із залученням співробітників ТОВ «Інститут низькотемпературних енерготехнологій» і Східноєвропейської асоціації виробників технічних газів «СІГМА».

Низькотемпературне матеріалознавство

Наукові дослідження і розробки у області низькотемпературного матеріалознавства у 2017 році проводилися в основному у ФТІНТ ім. Б. І. Веркіна НАН України та Інституті проблем матеріалознавства ім. Францевича (ІПМ).

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 з метою встановлення фізичних механізмів пластичної деформації в умовах глибокого охолодження досліджені механічні властивості низько високоентропійних сплавів (ВЕС), наноструктурних (НС) та ультрадрібнозернистих (УДЗ) металів і сплавів в інтервалі температур 0,5 – 300 К.

У високоентропійному сплаві $Ti_{30}Zr_{25}Hf_{15}Nb_{c20}Ta_{10}$ в інтервалі температур 4,2 – 350 К виявлено високу міцність (до 1.4 ГПа при 4,2 К) при збереженні досить високого резерву пластичності за рахунок створення у цих сплавах УДЗ або НС стану за допомогою різних методів інтенсивної пластичної деформації (ПД). Отримані низькотемпературні властивості роблять ВЕС новими перспективними матеріалами для прикладного використання в широкій області температур

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

Проведене дослідження мікромеханічних властивостей монокристалів і криовальцьованих полікристалів чистого титану в інтервалі температур 77 – 300 К свідчить

про контролюючу роль рельєфу кристалічної ґратки в гальмуванні ковзних дислокацій у процесі пластичної деформації під дією зосередженої сили. Показано, що мікроіндентування є інформативним і ефективним методом щодо оцінки анізотропії механічного опору кристалів та розмірного ефекту при індентуванні і інтерпретації зазначених характеристик.

(С. В. Лубенець, Л. С. Фоменко, В. А. Москаленко, ФТІНТ НАНУ)

Виявлена морфологічна анізотропія одного з основних розмірних структурних елементів нанокристалічного титана – кристалітів, що зумовлює анізотропію механічних властивостей (межі плинності) в інтервалі температур 4,2 – 300 К. Одержаний результат є важливим для науково аргументованих рекомендацій щодо вдосконалення технологічних розробок зі створення сучасних наноматеріалів з новими конструкційними і функціональними властивостями.

(В. А. Москаленко, Ю. М. Погрібна, Р. В. Смолянець, І. С. Брауде, ФТІНТ НАНУ)

У континуальному наближенні досліджено суттєво нелінійний ефект – взаємодію дислокацій і краудіонів з деформаціями вигину 2D кристалів. Показано, що дія на 2D кристал поперечних сил і обумовлений ними вигин кристалічної плівки обумовлює появу повздовжніх силових ефектів і як наслідок – рух дислокацій і краудіонів у площині кристалу. Одержано явні вирази для сил діючих на дислокації і краудіони при розгляді вигину ізотропної 2D мембрани. Це суттєво нелінійний ефект і він принципово пов'язаний з геометричними і топологічними особливостями 2D кристалів у порівнянні з 3D кристалами, у яких деформаційна мода вигину і обумовлені нею сили відсутні.

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

Вивчено зв'язок між швидкістю деформаційного зміцнення та нестійкістю плин у вигляді макроскопічних стрибків напруги полікристалів Cu-OF при розтяганні в атмосфері рідкого ^3He . Показано, що нестійкість плин у вигляді макроскопічних стрибків напруження на кривій розтягання проявляється при граничному напруженні, достатньому для активації динамічного повернення, а масштаб і статистика стрибків напруги визначаються розміром зерна і щільністю дислокацій, які варіювалися шляхом відпалу ультрадрібнозернистих полікристалів після рівноканальної кутовий гідроекструзії.

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

Досліджено нешмідівський рух дислокацій в базисній та призматичній площинах ковзання у магнії. Розрахована точна форма бар'єрів Пайєрлса для α -типу крайового та гвинтового дислокаційного ковзання в базисній і призматичній площинах в магнії з використанням декількох видів міжатомних потенціалів

(О. М. Ватажук, ФТІНТ НАНУ)

Досліджена еволюція параметрів дислокаційної підсистеми грубозернистих і наноструктурних зразків цирконію на різних етапах ПД-фрагментації зернової структури зразків та їх подальшого відпалу. Встановлено, що значне збільшення щільності дислокацій та

зменшення середнього розміру зерна призводить до звуження статистичного розподілу часів релаксації процесу термоактивованого відкріплення дислокацій від домішок. При рекристалізаційному відпалі НС цирконію спостерігається часткове повернення більшості параметрів утвореної під час ПД дислокаційної структури, що вказує на термічну нестабільність структури НС зразків. В той же час, ширина статистичного розподілу часів релаксації при відпалі продовжує зменшуватися (повернення відсутнє), що свідчить про подальшу гомогенізацію дислокаційної структури зразків внаслідок суттєвого зменшення щільності дислокацій та зниження рівня внутрішніх напружень.

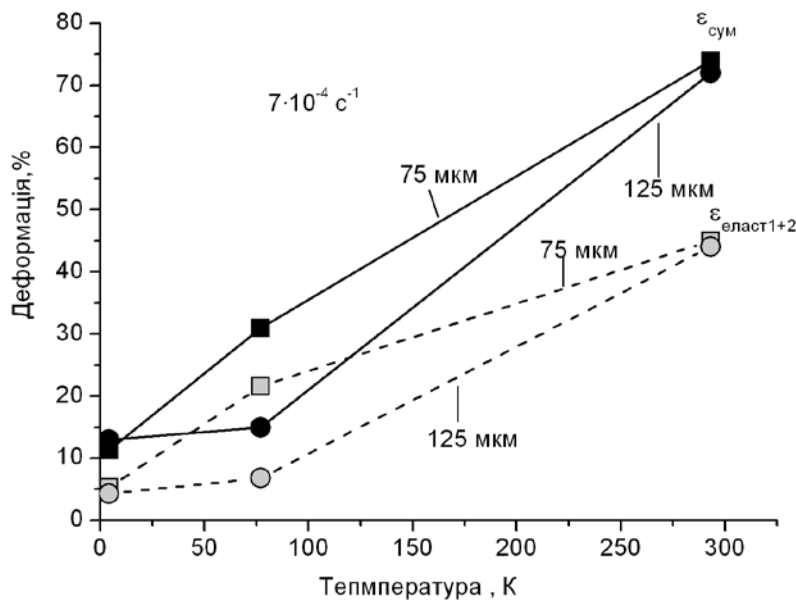
(П. П. Паль-Валь, Л. М. Паль-Валь, О. М. Ватажук, ФГІНТ НАНУ)

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

У відділі низькотемпературного та космічного матеріалознавства ФГІНТ ім. Б. І. Веркіна 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 **Ф8-11** (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).

Завершено комплексне дослідження в інтервалі температур 4,2 – 293 К механічних властивостей поліімідних плівок типу картоп Н різної товщини (75, 125 мкм) виробництва КНР, що використовуються в конструкціях космічних апаратів (КА) як основа терморегулюючих покриттів, у якості сонячних відбивачів і антен, електроізоляційних матеріалів, матеріалів кріплення приладів та ін. Встановлено стадійність, характер деформаційних кривих та складові сумарної деформації до руйнування $\epsilon_{\text{сум}}$ (пружня $\epsilon_{\text{пр}}$, високоеластична, оборотна при температурі випробування $\epsilon_{\text{еласт1}}$, затримана високоеластична $\epsilon_{\text{еласт2}}$ та необротна $\epsilon_{\text{необ}}$). Наявність у зразках затриманої еластичної деформації $\epsilon_{\text{еласт2}}$ призводить до скорочення довжини зразків при відігріванні після низькотемпературної деформації та при витримці при 293 К після попередньої деформації. Визначено температурні залежності та чутливість до швидкості деформації міцностних та деформаційних характеристик. Виявлено швидкісну чутливість границі змушеної еластичності $\sigma_{\text{в}}$ та внеску оборотної при температурі випробування високоеластичної деформації $\epsilon_{\text{еласт1}}$. Встановлено вплив масштабного фактора (товщини плівки) на механічні характеристики та температуру границі переходу до склоподібного стану.

Рис. 6.1.

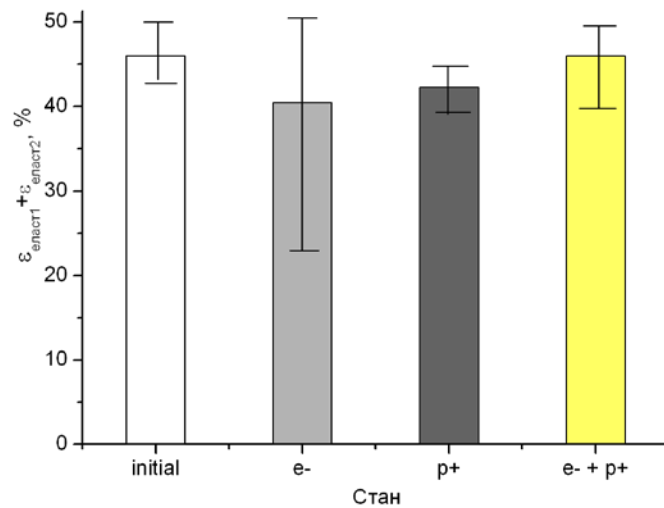


Плівка товщиною 75 мкм у всьому інтервалі температур перебуває в області змушеної еластичності та зберігає деяку еластичність впритул до 4,2 К. Плівка товщиною 125 мкм при 77 К виходить на нижню границю області змушеної еластичності та при 4,2 К переходить до склоподібного стану.

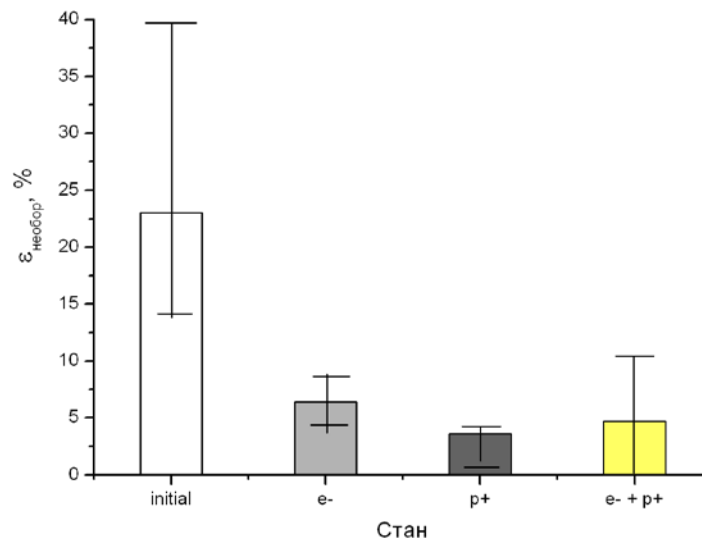
(В. О. Лотоцька, Л. Ф. Яковенко, Е. М. Алексенко, ФТІНТ НАНУ, В. В. Абраїмов, Wen Zhu Shao, Харбінський політехнічний інститут, м.Харбін, КНР)

Проведено дослідження впливу факторів космічного простору (ФКП) шляхом сумісного опромінення протонами та електронами на механічні властивості при 293 К поліімідної плівки товщиною 75 мкм типу kapton H виробництва КНР. Установлено, що опромінення плівок корпускулярними частинками флюенсом 10^{16} ч/см^2 , що відповідає 100 екв. рокам перебування на висоті $H = 400 \text{ км}$, призводить до збільшення границі змушеної еластичності σ_B на 10%, зниження межі міцності на 12% та сумарної деформації на 25 %. Вперше виявлено, що при цьому плівки зберігають практично на тому ж рівні внесок загальної змушеної еластичної деформації ($\epsilon_{\text{еласт1}} + \epsilon_{\text{еласт2}}$), обумовленої переорієнтацією сегментів макромолекул. Основне зменшення сумарної деформації відбувається за рахунок скорочення внеску необоротної деформації (на 80%), що пов'язана із в'язко-текучими процесами пересування макромолекул у цілому.

Збереження високого рівня границі змушеної еластичності і, властиво, внеску змушеної еластичності плівок після високої дози опромінення має важливе наукове та прикладне значення в галузі створення нових поколінь КА з часами життя 5 – 10 – 15 – 20 років



а)



б)

Рис. 6.2. Середні значення загальної високоеластичної ($\epsilon_{\text{еласт1}} + \epsilon_{\text{еласт2}}$) (а) і необоротної деформації $\epsilon_{\text{необор}}$ (б) поліімідної плівки товщиною 75 мкм при кімнатній температурі у вихідному стані і після опромінення електронами e^- , протонами p^+ та сумісного опромінення ($e^- + p^+$)

(В. О. Лотоцька, Л. Ф. Яковенко, Є. М. Алексенко, Н. І. Величко, І. П. Зарицький, Г. І. Сальтевський, ФТІНТ НАНУ)

Проведено експериментальне дослідження впливу ФКП, таких як середовище (нормальна атмосфера, вакуум) та температура випробування (293 К та 100 К), на триботехнічні характеристики (коефіцієнти тертя та зносостійкість) пар тертя з новим

самозмашувальним композиційним антифрикційним матеріалом ІПМ-306 виробництва ІПМ НАН України, призначеного для використання в тертьових спряженнях КА.

Виявлено, що в нормальних умовах спостерігається стрибкоподібний характер змінювання сили тертя у процесі експерименту. При низькій температурі у вакуумі для усіх пар тертя зафіксована зміна характеру фрикційної взаємодії контактуючих поверхонь – стабілізація сили тертя. Зміна умов призводить також до зміни механізму зношування з мікрорізання у нормальних умовах до вигладжування поверхні тертя у напрямку ковзання при низькій температурі у вакуумі і свідчить про більшу зносостійкість в екстремальних умовах.

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

В період з 01.2017 р. по 06.2017 р. було проведено відпрацювання методики випробування на термоциклування у вакуумі багатошарових пакетів екранно-вакуумної ізоляції в інтервалі температур $-100 - +100^{\circ}\text{C}$ для виконання науково-дослідної роботи з ДП «КБ «Південне» по темі «Проведення випробувань щодо впливу факторів космічного простору на зразки чохлав ЕВТІ», але договір з ДП «КБ «Південне» не було підписано з ініціативи ДП «КБ «Південне». Ряд умов договору, необхідних ФТІНТ НАН України, були визнані ДП «КБ «Південне» справедливими, але виконувати їх ДП «КБ «Південне» відмовилося.

В період з 10.2017 р. по 12.2017 р. іде обговорення, відпрацювання методик випробування та підписання договорів на виконання науково-дослідних робіт:

- з ДП «КБ «Південне» по темі: «Дослідження стійкості зразків матеріалів, що застосовуються на космічних апаратах, до факторів космічного простору»;
- з ПАТ «ФЕД» по темі: «Термо-вакуумні випробування теплового газового акумулятора, призначеного для роботи в екстремальних умовах».

У ІПМ під керівництвом чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільмана сформульовано уявлення про те, що напруження Пайерлса-Наббаро ($\sigma_{\text{П-Н}}$) (напруження, яке необхідне для подолання дислокаціями потенційних бар'єрів в кристалічній решітці при 0 К) можна розглядати як теоретичну міцність при дислокаційному механізмі деформації кристалічних матеріалів. Величина $\sigma_{\text{П-Н}}$ може бути визначена по температурній залежності твердості \mathbf{H} в області криогенних температур. Значення \mathbf{H} при 0 К визначається екстраполяцією значень \mathbf{H} на 0 К з урахуванням лінійного характеру залежності $\mathbf{H}(\mathbf{T})$ при низьких температурах для ковалентних, частково ковалентних кристалів і ОЦК металів (тобто матеріалів з високим рівнем $\sigma_{\text{П-Н}}$). Розрахунок напруження плинності $\sigma(\mathbf{0}) = \sigma_{\text{П-Н}}$ проводиться за величиною твердості $\mathbf{H}(\mathbf{0})$ за розробленою теорією. Виконаний аналіз показав, що в розробленій методиці визначення пластичності методом індентування значення пластичності при 0 К ($\delta_{\mathbf{H}}(\mathbf{0})$) може розглядатися теоретична пластичність при дислокаційному механізмі деформації. Вибір базового сплаву за рівнем механічних властивостей при дислокаційному механізмі деформації повинен проводитися з урахуванням як $\sigma_{\text{П-Н}}$, так і характеристики пластичності $\delta_{\mathbf{H}}(\mathbf{0})$.

(Б. А. Галанов, Ю. В. Мільман, С. І. Чугунова, І. В. Гончарова, І. В. Воскобойник, ІПМ)

Інформація щодо надрукованих у 2017р. книжкових видань: монографій, підручників, науково-пізнавальних видань

1. Вовк Р. В Нові керамічні композиційні матеріали інструментального призначення / Р. В. Вовк, Е. С. Геворкян, В. П. Нерубацький, М. М. Прокопів, В. О. Чишкала, О. М. Мельник – Х.: Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2017. – 150 с.
2. Доценко І. С. Методи математичної фізики (розділ “Спеціальні функції”): навч. посібник / І. С. Доценко, С. І. Доценко, О. О. Приходько.– Київ, 2017. – 106 с. – Електронне видання.

Участь у підготовці та проведенні наукових конференцій, симпозіумів

1. VIII Міжнародна наукова конференція спеціалістів та молодих вчених «Фізика низьких температур» (ICPYS LTP 2017) (29 травня – 02 червня, 2017 р., Харків, Україна) (Акад. НАН України С. Л. Гнатченко, д.ф.-м.н. Г. Є. Гречнев, д.ф.-м.н. О. В. Долбин, к.ф.-м.н. О. М. Калиненко, 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, 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, чл.-кор. НАН України М. О. Стржемечний, акад. НАН України М. Ф. Харченко, д.ф.-м.н. В. В. Чабаненко, д.ф.-м.н. С. М. Шевченко). <http://www.ilt.kharkov.ua/kmu2017/>
2. Академік НАН України С. Л. Гнатченко очолював програмний комітет V Міжнародної наукової конференції «NANOBIOPHYSICS: Fundamental and Applied Aspects» (2 – 5 жовтня 2017 р., Харків, Україна). <http://www.ilt.kharkov.ua/nbp2017>
3. Академік НАН України Л. А. Пастур був головою Оргкомітету V Міжнародної наукової конференції «Analysis and Mathematical Physics» AMPH-2017 (19 – 24 червня 2017 р., Харків, Україна) <http://www.ilt.kharkov.ua/amph2017/>
4. Доктор ф.-м.н. П. П. Паль-Валь входив до Міжнародного наукового комітету 18th International Conference on Internal Friction and Mechanical Spectroscopy (ICIFMS-18) (September 12-15, 2017 – Foz do Iguaçu, Brazil), <http://www.icifms18.com.br/>
5. Чл.-кор. НАН України Т. О. Пріхна входила до складу Міжнародного організаційного комітету V Міжнародної наукової конференції «Oxide Materials for Electronic Engineering» (OMEE-2017) (29 мая – 2 червня, 2017 р., Львів, Україна). <http://science.lpnu.ua/omee-2017>
6. Чл.-кор. НАН України Т. О. Пріхна входила до складу Міжнародного організаційного комітету «Tenth Japanese-Mediterranean Workshop on Applied Electromagnetic Engineering for Magnetic, Superconducting, Multifunctional and Nano Materials» (JARMED'10) (July 4 – 8, 2017, Izmir, Turkey) <http://japmed10.iyte.edu.tr>
7. Чл.-кор. НАН України Т. О. Пріхна входила до складу Міжнародного організаційного комітету «10th International Workshop on Processing and Applications of Superconducting

- (RE)BCO Large Grain Materials» (PASREG 2017) (December 11-12, 2017, Tokyo, Japan)
<http://pasreg5.s114.xrea.com/>
8. Чл.-кор. НАН України Т. О. Пріхна входила до складу Міжнародного оргкомітету «Cryogenic Engineering Conference and International Cryogenic Materials Conference» (CEC – ICMC 2017) (July 9 – 13, 2017, Madison Wisconsin, USA)
<https://indico.cern.ch/event/578092/>
 9. Д.ф.-м.н. М. Т. Черпак брав участь у роботі програмного комітету Європейської мікрохвильової конференції «47th European Microwave Conference» (EuMW 2017), (October 8 – 12, 2017, Nuremberg, Germany) <https://eventegg.com/eumc-2017/>
 10. Д.ф.-м.н. М. Т. Черпак брав участь у роботі програмного комітету IEEE Ukraine Conference (UKRCON) (29 мая – 2 червня, 2017 р., Київ, Україна)
<http://ukrcon.ieee.org.ua/>
 11. Д.ф.-м.н. Р. В. Вовк був головою оргкомітету XIII Міжнародної наукової конференції «Фізичні явища в твердих тілах» (5 – 8 грудня, 2017р., Харків, Україна)
<https://www.science-community.org/uk/node/183280>
 12. ТОВ "Інститут низькотемпературних енерготехнологій" спільно з Асоціацією "СІГМА" (д.т.н. Г. К. Лавренченко) організував і провів міжнародній семінар «Вдосконалення виробництва аміаку, діоксиду вуглецю і карбаміду» (13 – 16 червня, 2017 р., Одеса, Україна).
 13. ТОВ "Інститут низькотемпературних енерготехнологій" спільно з Асоціацією "СІГМА" (д.т.н. Г. К. Лавренченко) організував і провів міжнародній семінар «Підвищення ефективності і безпеки виробництв продуктів розділення повітря» (19 – 22 вересня, 2017 р., Одеса, Україна)

Участь у редколегіях наукових видань

1. «Condensed Matter Physics» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк (заст. гол. редактора), чл.-кор. НАН України Ю. В. Слюсаренко).
2. «East European Journal of Physics» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Слюсаренко).
3. «IEEE Transaction of Applied Superconductivity» (чл.-кор. НАН України Т. О. Пріхна).
4. «ISRN Condensed Matter Physics» (чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк).
5. «Journal of Low Temperature Physics» (чл.-кор. НАН України Е. Я. Рудацький).
6. «Journal of Magnetism and Magnetic Materials» (чл.-кор. НАН України Б. О. Іванов).
7. «Modern Instrumentation» (О. В. Савченко)
8. «Phase Transitions» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк).
9. «Physica B: Condensed Matter» (чл.-кор. НАН України М. О. Стржемечний).
10. «Science of Sintering» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
11. «Semiconductor Physics, Quantum and Optoelectronics» (чл.-кор. НАН України О. Є. Беляєв (заст. гол. редактора), акад. НАН України М. Г. Находкін).
12. «Telecommunications and Radio Engineering» (М. Т. Черпак).
13. «Ukrainian Journal of Physical Optics» (акад. НАН України М. Ф. Харченко).
14. «Вісник КНУ імені Тараса Шевченка, серія «Радіофізика та електроніка» (Г. А. Мелков).

15. «Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна, серія «Фізика» (Р. В. Вовк (гол. редактор), чл.-кор. НАН України В. О. Ямпольський).
16. «Деформация и разрушение материалов» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
17. «Електронна мікроскопія і міцність матеріалів» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
18. «Журнал математичної фізики, аналізу, геометрії» (акад. НАН України Л. А. Пастур (гол. редактор)).
19. «Журнал фізичних досліджень» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк).
20. «Материаловедение» (чл.-кор. НАН України Ю. В. Мільман).
21. «Металлофізика та новітні технології» (чл.-кор. НАН України В. М. Антонов, чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк).
22. «Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології» (чл.-кор. НАН України О. А. Кордюк).
23. «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).
24. «Радиофизика и радиоастрономия» (акад. НАН України В. М. Шульга).
25. «Сверхтвердые материалы» (чл.-кор. НАН України Т. О. Пріхна).
26. «Технічні гази» (Г. Є. Лавренченко (гол. редактор), С. І. Бондаренко).
27. «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).
28. «Фізичний збірник НТШ» (чл.-кор. НАН України І. В. Стасюк).
29. «Фізична інженерія поверхні» (акад. НАН України М. Г. Находкін).
30. «Физика 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).
31. «Хімія, фізика та технологія поверхні» (чл.-кор. НАН України В. Й. Сугаков).
32. «Ядерна фізика та енергетика» (чл.-кор. НАН України В. Й. Сугаков (заст. гол. редактора)).

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

1. [Дні науки 2017: рідкий азот та оптичні ілюзії](#)
[ИнформБюро | Новости](#)

2. [5-а Міжнародна конференція «Нанобіофізика: фундаментальні та прикладні аспекти» \(NBP-2017\)](#)
Прес-служба НАН України, 12.10.17
3. [5-а Міжнародна конференція «Аналіз і математична фізика»\(АМРН-2017\).](#)
Прес-служба НАН України, 03.07.17
4. [8-а Міжнародна конференція спеціалістів та молодих вчених «Фізика низьких температур – 2017» \(ICPYS-LTP 2017\)](#)
Прес-служба НАН України, 07.06.17
5. [Kyiv STEM Festival,](#)
27.05. 17, Київ
6. [програма "Азбука реальності"](#)
Радіо Промінь, 07.07. 17
7. [Дні науки КАУ та ІМФ НАН України в UNIT.City](#)
12.11.17, Київ
8. О. А. Кордюк: Організація відкритого [Загального семінару КАУ](#), де у 2017 зробили науково-популярні доповіді: Олег Кришталь, Олександр Скороход, Денис Макаров, Юрій Штанов, Дмитро Каменський.
9. Р. В. Вовк був куратором літніх фізичних таборів України і залучав студентів до активної наукової роботи.
10. С. Й. Вільчинський був науковим керівником збірної України на міжнародній олімпіаді з фізики.

Редакційна група:

КАЛИНЕНКО
Олександр Миколайович

БУРАВЦЕВА
Любов Михайлівна

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

2017