

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор Інституту теоретичної
фізики ім. М.М.Боголюбова
НАН України
академік НАН України
А.Г. Загородній



АНОТОВАНИЙ ЗВІТ
про виконану роботу у 2021 році в рамках реалізації проєкту
із виконання наукових досліджень і розробок
Топологічні фази матерії та збудження в діраківських матеріалах, джозефсонівських
переходах та магнетиках

Назва конкурсу: __ Підтримка досліджень провідних та молодих учених _____
Рєєстраційний номер Проєкту: _____

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (реєстраційний номер та назва Проєкту) __ 2020.02/0051 «Топологічні фази матерії та збудження в діраківських матеріалах, джозефсонівських переходах та магнетиках»

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих учених» протокол від «16-17» вересня 2020 року № 21.

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Загальна тривалість виконання проєкту _ 2020 _ рік – _ 2022 _ рік

Тривалість виконання Проєкту у 2021 році

Початок – 30.04.2021
(дата укладання Договору про виконання наукового дослідження і розробки)

Закінчення – 15.12.2021

Загальна вартість Проєкту, грн. 7,934,412.00

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 850,657.00

2-й рік 3,579,800.00

3-й рік 3,503,955.00

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту залучено 9 виконавців, з них:

доктори наук 3;

кандидати наук 2;

інші працівники 4.

1. Керівник проєкту – Шарапов Сергій Геннадійович, завідувач лабораторії сильнокорельованих низьковимірних систем відділу теорії нелінійних процесів в конденсованих середовищах Інституту теоретичної фізики (ІТФ) ім. М.М. Боголюбова НАН України, доктор фіз.-мат.наук.
2. Гусинін Валерій Павлович, завідувач відділу астрофізики та елементарних частинок Інституту теоретичної фізики (ІТФ) ім. М.М. Боголюбова НАН України, доктор фіз.-мат.наук.
3. Золотарюк Ярослав Олександрович, провідний науковий співробітник Інституту теоретичної фізики (ІТФ) ім. М.М. Боголюбова НАН України, доктор фіз.-мат.наук.
4. Стародуб Іван Олексійович, науковий співробітник Інституту теоретичної фізики (ІТФ) ім. М.М. Боголюбова НАН України, кандидат фіз.-мат.наук.
5. Черній Юрій Аркадійович, (ЦП договір з ІТФ), доктор філософії.
6. Шубний Володимир Олексійович, провідний інженер Інституту теоретичної фізики (ІТФ) ім. М.М. Боголюбова НАН України.
7. Букатова Дарина Владиславівна, аспірантка Інституту теоретичної фізики (ІТФ) ім. М.М. Боголюбова НАН України.
8. Бугайко Олександр Валентинович, студент фізичного факультету Київського національного університету ім. Тараса Шевченка.
9. Німий Ігор Олександрович, студент кафедри теоретичної та математичної фізики Київського академічного університету (1 етап) та Кулинич Єлизавета Сергіївна студентка фізичного факультету Київського національного університету ім. Тараса Шевченка (2 етап).

3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(Ї) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

Субвиконавці відсутні.

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проєкту (до 200 знаків)

Метою проєкту є отримання кращого теоретичного розуміння топологічних фаз та збуджень у матеріалах та системах сучасної фізики конденсованих систем, передбачення нових експериментально спостережуваних ефектів та пошуки їх можливого застосування.

4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)

1. Дослідити колапс рівнів Ландау та ефект Нернста-Еттінсгаузена у діраківських матеріалах.
2. Дослідити плазмонний спектр в драбиноподібній джозефсонівській лінії передачі (ДЛП), основна увага приділятиметься існуванню бездисперсійних плоских зон.
3. Дослідити динаміку феромагнітних та антиферомагнітних скірміонів, електронні стани у викривлених плівках.

4.3. Детальний зміст Проєкту:

- Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Природа топологічних збуджень гарантує їх стійкість щодо зовнішніх збурень. Діраківські матеріали мають властивості топологічних ізоляторів. Суміжне поняття - топологічний перехід Ліфшиця (ТПЛ). Тому вони є ідеальними кандидатами для елементів пристроїв квантової інформації. Флюксони використовуються як носії квантового біта інформації. Магнітні солітони вони розглядаються як ключові елементи новітніх пристроїв спінтроники та комп'ютерної логіки.

- Новизна Проєкту (до 400 знаків)

Ми дослідимо колапс рівнів Ландау крайових станів, спіновий термомагнітний ефект у діраківських матеріалах, та спіновий ефект Нернста-Еттінсгаузена. Також буде досліджено процес зчитування флюксоном стану кубіта в джозефсонівських ліній передачі та плоскі зони

плазмонного спектру в ній. Крім цього, буде розглянуто ефекти кривизни плівки в динаміці феромагнітних та антиферомагнітних скірміонів, і індуковані ними деформації еластичної феромагнітної плівки.

- Методологія дослідження (до 400 знаків)

Дослідження діраківських матеріалів ґрунтуватиметься на аналітичному і чисельному розв'язку рівнянь. Дослідження джоєфсонівських ліній передачі ґрунтувалися на аналітичному та чисельному розв'язуванні дискретного рівняння синус-Гордона. Скірміони у плівках вивчатимуться методом колективних змінних у наближенні малої кривизни.

5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:

5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)

За 2021 за проєктом опубліковано 5 статей в провідних міжнародних наукових журналах.

1. O.V. Pylypovskyi, **Y.A. Borysenko**, J. Fassbender, D.D. Sheka, D. Makarov, "Curvature-driven homogeneous Dzyaloshinskii–Moriya interaction and emergent weak ferromagnetism in anisotropic antiferromagnetic spin chains", *Appl. Phys. Lett.* **118**, 182405 (2021). (Q1)

<https://aip.scitation.org/doi/10.1063/5.0048823>

Єлизавета Борисенко була виконавцем (асистентом) проєкту у 2020 р.

Показано, що в залежності від радіуса антиферомагнітного кільця та амплітуди зовнішнього магнітного поля реалізується один з трьох рівноважних розподілів параметра Нееля.

2. **S.G. Sharapov**, A.A. Varlamov, C.Goupil, A.V. Kavokin, "Nernst and Ettingshausen effects in the Laughlin geometry", *Phys. Rev. Research* **3**, 013140 (2021). (Новий open access журнал, який ще не має квартіля.) <https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.3.013140>

Прояснено термодинамічне походження співвідношення між ефектом Нернста та струмами намагніченості.

3. D.O. Oriekhov, **V.P. Gusynin**, V.M. Loktev, "Orbital susceptibility of T-graphene: Interplay of high-order van Hove singularities and Dirac cones", *Phys. Rev. B* **103**, 195104 (2021). (Q1)

<https://doi.org/10.1103/PhysRevB.103.195104>

Розрахована густина станів тетраграфену та орбітальна сприйнятливість, і встановлено можливість фазового переходу діамagnetизм – парамагнетизм, який можна перевірити на експерименті.

4. Y. Yerin, **V.P. Gusynin**, **S.G. Sharapov**, A.A. Varlamov, "Genesis and fading away of persistent currents in a Corbino disk geometry", *Phys. Rev. B* **104**, 075415 (2021). (Q1)

<https://doi.org/10.1103/PhysRevB.104.075415>

Представлені результати детальних аналітичних та чисельних розрахунків електронного спектру, постійних струмів для диску Корбіно, розміщеного в постійному магнітному полі.

5. V. Kagalovsky, D. Nemirovsky, **S.G. Sharapov**, **V.O. Shubnyi**, Electrostatic potential and magnetic moment of radially insulating Corbino disk, *Physica E* **137**, 115049 (2021). (Q2)

<https://doi.org/10.1016/j.physe.2021.115049>

Знайдено електричний потенціал, створений двома коаксіальними металевими контактами на краях диска Корбіно. Обґрунтовано як саме можна практично створити електричний потенціал в геометрії Корбіно, в якій ми досліджуємо колапс рівнів Ландау.

Знайдено амплітудний розподіл для плазмонних мод в драбинкоподібному масиві джозефсонівських контактів. Закінчена стаття, яку відправлено до архіва препринтів та на рецензування до журналу:

D.V. Bukatova and Y. Zolotaryuk, Flat and almost flat bands in the quasi-one-dimensional Josephson junction array, Preprint <http://arxiv.org/abs/2112.02555> , submitted to J. Phys. Cond. Mat (Q1).

Знайдено залежність локалізованої плазмонної моди в масиві джозефсонівських контактів з домішковим контактом та просторово-неоднорідним струмом живлення.

Продемонстровано що дискретність джозефсонівської лінії передачі підвищує чутливість процесу зчитування стану кубіту за допомогою флюксона. Побудовано залежність часу затримки флюксона на кубіті від сталої дискретності та залежності порогового струму закріплення флюксона на кубіті від сталої дискретності та амплітуди домішки. Написання відповідної статті - на стадії завершення.

На стадії завершення знаходиться робота по дослідженню колапсу рівнів Ландау, а саме зроблена більша частина розрахунків і оформлюється стаття.

Робота виконана співавтором проєкту Костянтином Єршовим. За час який минув з подання проєкту через складну епідеміологічну ситуацію для уникнення зайвих переїздів Костянтину Єршову продовжили контракт у Інституті конденсованих систем і матеріалознавства товариства Лейбніца (IFW Dresden Німеччина) і він не є безпосереднім виконавцем проєкту у 2021 році, але виконав роботу, яка була в заявці. В поданих ним на рецензування статтях вказано, що робота була виконана в рамках проєкту НФДУ. Костянтин Єршов продовжує бути співробітником ІТФ ім. М.М. Боголюбова НАНУ на громадських засадах. На першому етапі у 2020 році Костянтин Єршов дистанційно керував роботою Єлизавети Борисенко, яка була виконавцем (асистентом) проєкту у 2020 році.

1. K. Yershov, Dynamics of domain walls in curved antiferromagnetic wires, Preprint <https://arxiv.org/abs/2111.11261>

2. K. Yershov, A. Kakay, V. Kravchuk, Curvature induced drift and deformation of magnetic skyrmions: comparison of ferro- and antiferromagnetic cases, Preprint <https://arxiv.org/abs/2111.07349>

5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами

Проєкт є фундаментальним тому наукова продукція (окрім звіту та наукових статей) не передбачається.

5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)

Проєкт не містить прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок.

5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.

Велика частина отриманих результатів вже опублікована у провідних світових наукових журналах. Також вони були оприлюднені у відкритому доступі на ресурсі наукових препринтів arxiv.org. Роботи, які знаходяться на рецензуванні у журналах, також викладені на arxiv.org. Також було заплановано своєчасне розповсюдження інформації про наукові результати та презентації учасників на наукових заходах (семінари, наукові збори, конференції).

У 2021 нам дещо було зменшено фінансування, тому враховуючи складну епідемічну ситуацію було вирішено відмовитися від поїздок на конференції. Тим не менше, Сергій Шарапову вдалося прийняти участь у двох конференціях та зробити дві запрошених доповіді:

1. S.G. Sharapov, "Brief history of thermoelectric and thermomagnetic phenomena and the Nernst effect in the Laughlin and Corbino geometries", 11th International Conference on Nanomaterials: Applications & Properties, 5-11 Sept. 2021 Odesa, Ukraine.

2. С.Г. Шарапов, "Thermoelectric and thermomagnetic phenomena: from history to the Nernst effect in the Laughlin and Corbino geometries", XXI Всеукраїнська школа-семінар та конкурс молодих вчених зі статистичної фізики і теорії конденсованої речовини, Львів, 11 -12 жовтня, 2021. (Ця конференція відбулася в онлайн форматі.)

Також Сергія Шарапова запросили виступити на колоквиумі в університеті Риму "Тор Вергата" (Università degli Studi di Roma "Tor Vergata") 12 листопада 2021.

В усіх цих доповідях було присутнє посилання на НФДУ.

Примітка: Анотований звіт не повинен містити відомостей, заборонених до відкритого опублікування

Науковий керівник Проєкту

завідувач лабораторії сильнокорельованих
низьковимірних систем відділу теорії
нелінійних процесів в конденсованих середовищах
Інституту теоретичної фізики (ІТФ)
ім. М.М. Боголюбова НАН України
(посада)

Сергій ШАРАПОВ _____
(Власне ім'я та ПРИЗВИЩЕ)



(підпис)