ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з навчальної роботи
Національного технічного
університету України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”
к.т.н., доц.
Тетяна ЖЕЛЯСКОВА

“02 ЧЕР 2026” _____ 20__ р.

ВИТЯГ

з протоколу № 1 від 18 травня 2026 р. розширеного засідання
кафедри загальної фізики та кафедри загальної фізики та моделювання
фізичних процесів
Національного технічного університету України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

БУЛИ ПРИСУТНІ:

– від кафедри загальної фізики:
Завідувач кафедри, д.ф.-м.н., проф. Решетняк С. О.
Професор, д.ф.-м.н., Бродин О. М.
Професор, д.ф.-м.н., проф. Джежеря Ю. І.
Професор, д.ф.-м.н., проф. Калита В. М.
Професор, д.ф.-м.н., доц. Куліш В. В.
Професор, д.ф.-м.н., проф. Лінчевський І. В.
Професор, д.ф.-м.н., проф. Русаков В. Ф.
Професор, д. ф.-м.н., проф. Спарський А. О.;
Доцент, к. ф.-м.н. Братусь Т. І.
Доцент, к.ф.-м.н. Іванова І. М.
Доцент, к.ф.-м.н. Климук О. С.
Доцент, к.ф.-м.н., Пономаренко Л. П.
Доцент, к.ф.-м.н. Скіцько І. Ф.
Доцент, к.ф.-м.н. Хіст В. В.
Доцент, к.ф.-м.н. Шут А. М.
Доцент, к.ф.-м.н. Якуніна Н. О.
Старший викладач, к.ф.-м.н. Забуга А. Г.
Старший викладач к.ф.-м.н. Лаванов Г. Ю.
Старший викладач к.ф.-м.н. Скирта Ю. Б.
Старший викладач Дімарова О. В.
Старший викладач Довженко О. П.
Старший викладач Захарченко Р. В.

Старший викладач Козленко О. В.
Старший викладач Лук'яненко Е. В.
Старший викладач Пальцун С. В.
Старший викладач Ребенчук Т. Л.
Старший викладач Самар Г. В.
Старший викладач Строкач М. С.
Старший викладач Федотов В. В.
Асистент Колган В. В.
Асистент Ляховецький В. Р.
Асистент Ляшенко Т. І.
Асистент Наконечний І. А.
Аспірант Єрьомін С.І.

– від кафедри загальної фізики та моделювання фізичних процесів:
Завідувач кафедри, д.ф.-м.н., доц. Савченко Д. В.
Професор, д.ф.-м.н., проф. Горобець О. Ю.
Доцент, к.п.н., доц. Гарєєва Ф. М.
Доцент, к.ф.-м.н., доц. Чурсанова М. В.
Доцент, к.т.н. Штофель О. О.
Старший викладач Дрозденко О. В.
Старший викладач Керіта О. О.
Старший викладач Кузь О. П.
Старший викладач Подласов С. О.
Асистент Ібрагімова Н. Ю
Асистент, аспірант Стретович М. О.
Асистент, аспірант Ватолкін Д. П.

– **запрошені з інших організацій:**
Інститут магнетизму імені В.Г. Бар'яхтара НАН України, д-р фіз.-мат. наук, ст. н.с. Герасимчук І.В.
Інститут магнетизму імені В.Г. Бар'яхтара НАН України, д.ф.-м.н. Кравець А.Ф.

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта кафедри загальної фізики Козлова Олексія Анатолійовича за матеріалами дисертаційної роботи "Термомагнітні ефекти в багатошарових наноструктурах на основі сильних і розбавлених феромагнетиків та антиферомагнетиків", поданої
на здобуття ступеня доктора філософії
з галузі знань 10 «Природничі науки»
за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»,
освітньо-наукова програма «Фізика».

Тему дисертаційної роботи "Термомагнітні ефекти в багатошарових наноструктурах на основі сильних і розбавлених феромагнетиків та антиферомагнетиків"

затверджено на засіданні Вченої ради фізико-математичного факультету (протокол № 6 від “12” жовтня 2022 року)

Науковими керівниками затверджені:
д.ф.-м.н, проф. Решетняк С.О.,
д.ф.-м.н Кравець А.Ф.

2. Запитання до здобувача.
Запитання за темою дисертації ставили:
д.ф.-м.н, проф. Горобець О.Ю.
д.ф.-м.н, доц. Куліш В.В.
д.ф.-м.н, доц. Савченко Д.В.
д.ф.-м.н, проф. Джежеря Ю.І.
д.ф.-м.н, проф. Лінчевський І.В.
д.ф.-м.н, с.н.с. Бродин О.М.
д.ф.-м.н, проф. Русаков В.Ф.
д.ф.-м.н, с.н.с. Герасимчук І.В.

3. Виступи за обговореною роботою.
В обговоренні дисертації взяли участь:
д.ф.-м.н, проф. Калита В.М.
д.ф.-м.н, с.н.с. Герасимчук І.В.
д.ф.-м.н, проф. Горобець О.Ю.
д.ф.-м.н, доц. Куліш В.В.
д.ф.-м.н, доц. Савченко Д.В.
д.ф.-м.н, проф. Джежеря Ю.І.
д.ф.-м.н, проф. Лінчевський І. В.

УХВАЛИЛИ:

<u>І. ПРИЙНЯТИ</u> такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

1. Актуальність теми дослідження

Розробка спінтронних пристроїв із суто електричним керуванням магнітним станом є одним із пріоритетних напрямів сучасної фізики конденсованого стану та нанотехнологій. Магнітні багатошарові наноструктури типу спінового вентиля з температурно-керованим міжшаровим обмінним зв'язком (Кюрі-перемикачі) відкривають принципово нові можливості для реалізації безпольового перемикання магнітного стану через інжекцію електричного струму. Актуальність теми зумовлена необхідністю встановлення фізичних механізмів термічно індукованого фазового переходу в системах Fe(2)/Cr(0.4)/Fe_xCr_{100-x}(0.9)/Cr(0.4)/Fe(2), з'ясування ролі концентрації заліза та морфології розбавленого прошарку у формуванні магнітних властивостей структури, а також розробки теоретичних моделей для кількісного опису поведінки Кюрі-перемикача в

широкому діапазоні температур. Отримані результати мають практичне значення для проектування термічно активованої MRAM та нано-осциляторів.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконувалась у рамках ініціативної теми 0125U001625 «Лінійна й нелінійна динаміка, структурне впорядкування та критичні явища у функціональних середовищах» кафедри загальної фізики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. Вперше експериментально визначено критичну температуру орієнтаційного фазового переходу в струтурах Fe(2)/Cr(2)/Fe_xCr_{1-x} /Cr(2)/Fe(2) для x = 17,5%: $T_C \approx 324$ К. За нижчих температур прошарок зумовлює феромагнітно-подібне непряме зв'язування між шарами Fe; за вищих — система переходить до непрямого обмінного зв'язку RKKY антиферомагнітного типу.
2. Вперше підтверджено повністю електричне безпольове ФМ-АФМ перемикання через джоулеве нагрівання. Зіставлення r(T) і MR(j) з параболічним законом dc підтверджує еквівалентність електричного та температурного перемикання; критична густина струму $j_c = 1{,}39 \times 10^{11}$ А/м² відповідає нагріванню до $T_C \approx 324$ К.
3. Вперше продемонстровано ефект ГМО у Кюрі-перемикачі на мікросмужках шириною 9, 7 та 4 мкм; величина ефекту ≈ 0,2%. Показано оборотне Р-АР перемикання при нульовому полі.
4. Вперше продемонстровано якісну зміну механізму перемагнічування: при T = 200 К структура поводиться як одновісний феромагнетик, тоді як при T ≥ 340 К намагніченість при H = 0 зникає. Початок формування АФМ-плато при ~240 К проявляється у розщепленні піку похідної; зі зростом температури плато зміщується до H = 0.
5. Встановлено ізотропність петель гістерезису відносно напрямку поля в площині зразка та наявність польово-індукованої одновісної анізотропії, вісь якої орієнтується вздовж останнього поля насичення. Запропоновано метод відновлення поля анізотропії та обмінного поля через похідну dM/dH.
6. Побудовано дві макроспінові моделі для відновлення обмінних параметрів системи: векторну модель когерентного обертання з урахуванням біквадратного обміну та колінеарну модель метамагнетика, що аналітично описує конкуренцію непрямої ФМ та прямої АФМ компонент міжшарового зв'язку. Обидві моделі відтворюють температурні залежності обмінних параметрів.
7. Вперше показано методом Монте-Карло, що кластеризація прошарку спричиняє появу малої петлі гістерезису та зміщення

температури фазового переходу. Кластерні неоднорідності можуть призвести до виникнення додаткових каналів прямої обмінної взаємодії, а також впливають на величину непрямого міжшарового обміну завдяки появі суперпарамагнітних частинок. Показано, що розміри кластерів Fe є додатковим параметром оптимізації Кюрі-перемикача.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження

Результати дисертації мають як фундаментальне, так і прикладне значення.

З теоретичної точки зору, використано дві аналітичні макроспінові моделі (векторна модель когерентного обертання та колінеарна модель метамагнетика) для кількісного опису температурної еволюції параметрів міжшарового обмінного зв'язку. Розвинуто методи мікромагнітного моделювання розбавлених шарів методом Монте-Карло та їх інтерпретацію в контексті багатошарових магнітних структур. Встановлено роль обертальної анізотропії та її врахування в макроспінових моделях для коректного відновлення параметрів міжшарового обміну.

З практичної точки зору, результати демонструють принципову можливість неруйнівного безпольового перемикання магнітного стану спінового вентиля при кімнатній температурі через інжекцію постійного струму. Запропонований підхід оптимізації архітектури спейсера $Cr/Fe_{17,5}Cr_{82,5}/Cr$ може бути застосований при проектуванні Кюрі-перемикачів з наперед заданими температурами та полями перемикання для термічно активованої MRAM і спін-торкових нано-осциляторів.

5. Апробація результатів дисертації

Основні результати дисертації доповідалися та обговорювалися на фахових конференціях, семінарах кафедри загальної фізики КПІ ім. Ігоря Сікорського, Інституту магнетизму ім. Бар'яхтара НАН України, а також у рамках міжнародних колаборацій із Гельмгольц-центром Дрезден-Россендорф (Німеччина) та Королівським технологічним інститутом (KTH) у Стокгольмі (Швеція). Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 2 статтях у фахових наукових журналах (1 стаття у виданні першого квартилю міжнародних науково-метричних баз Scopus та Web of Science; 1 стаття у фаховому вітчизняному виданні) та 4 тезах доповідей на конференціях.

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація *Козлова Олексія Анатолійовича* визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача *(наводиться повний перелік публікацій за темою дисертації)*

За результатами досліджень опубліковано 6 наукових публікацій, у тому числі:

- 0 одноосібних монографій, 0 одноосібних розділів у колективних монографіях;
- 1 стаття у наукових фахових виданнях України;

в т.ч. 0 статей у яких число співавторів (разом із здобувачем) більше двох осіб;

- 1 стаття у періодичних наукових виданнях проіндексованих у базах Scopus та/або Web of Science Core Collection із зазначенням квартилю видання (якщо такий є);
- 0 патентів України на винахід, що пройшли кваліфікаційну експертизу;
- 0 патентів України на корисну модель;
- 4 тез виступів на наукових конференціях;
- 0 статей, що додатково відображають результати дисертації.

1. О. Козлов. Вплив розподілу Fe в шарі FeCr на магнітну поведінку кюрі перемикача Fe/Cr/FeCr/Cr/Fe. Фізика та освітні технології, № 1, 2026. DOI: 10.32782/pet-2026-1-1 **(Вітчизняний фаховий журнал, категорія Б)**
2. V. Iurchuk, O. Kozlov, S. Sorokin, S. Zhou, J. Lindner, S. Reshetniak, A. Kravets, D. Polishchuk, V. Korenivski. All-Electrical Operation of a Curie Switch at Room Temperature. Phys. Rev. Appl., vol. 20, no. 2, p. 024009, Aug. 2023. DOI: 10.1103/PhysRevApplied.20.024009 **(Закордоне видання, що входить до Web of Science та Scopus Q1 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank)**.

   Особистий внесок здобувача: Розроблено програмне забезпечення для відновлення параметрів системи за допомогою обраної моделі. Проведено аналіз та обговорення результатів. Відповіді на питання рецензентів.

   Конференції:
3. O. Kozlov V. Kalita, S. Reshetniak, A. Kravets. Thermally Controlled Interlayer Exchange Coupling in Magnetic Multilayers: Electrical Curie Switching and Field-Induced Anisotropy Effects. IEEE 43rd International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, 27-30.04.2026. P.13.

   Особистий внесок здобувача: Розроблено модель для відновлення обмінних параметрів системи, здійсненна обробка експериментальних даних, побудовано та оформлено графіки для конференції. Брав участь у написанні статті для конференції та підготовив презентацію. Особисто виконав усну доповідь результатів.
4. O. Kozlov, Reshetniak, A. Kravets, V. Korenivski, V. Kalita. Current Induced Switching of Interlayer Exchange in Spin Valves at Room Temperature. У зб.: Міжнародна конференція «Modern Problems of

Solid-State Physics and Magnetism» in memory of Academician Viktor G. Baryakhtar, Kyiv, 24-26.09.2025. P. 145-146.

Особистий внесок здобувача: Розроблено модель для відновлення обмінних параметрів системи, здійсненна обробка експериментальних даних, побудовано графіки для конференції. Брав участь у написанні статті для конференції та підготовив презентацію. Особисто виконав усну доповідь результатів.

5. О.А. Козлов, В.М. Калита, С.О. Решетняк. Методи управління опором структур з гігантським та тунельним магнетоопором за допомогою струму. У зб.: Збірник праць XXIII Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Історія розвитку науки, техніки та освіти», Київ, 2025 р., укладач Пономаренко Л.П., с. 164.

   Особистий внесок здобувача: Узагальнено досвід наукових груп щодо методів керування магнетоопором плівкових структур за допомогою струму, сформульовано аналітичну модель, побудовано та проаналізовано графіки відповідних залежностей. Брав участь у написанні тез конференції та підготовив презентацію. Особисто виконав усну доповідь результатів.

6. О.А. Козлов, Ю.Б. Скирта, С.О. Решетняк. До історії термоелектрики. У зб.: Збірник праць XIX Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Історія розвитку науки, техніки та освіти» за темою «Фізика та формування нової світової реальності», Київ, 2021 р., с. 79–81.

   Особистий внесок здобувача: Брав участь у написанні тез конференції та підготовив презентацію. Особисто виконав усну доповідь результатів.

Якість та кількість публікацій відповідають “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44”.

Дисертація Козлова О.А. оформлена відповідно до вимог, викладених у Наказі Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

<u>II. ВВАЖАТИ</u>, що дисертаційна робота Козлова Олексія Анатолійовича “ Термомагнітні ефекти в багатошарових наноструктурах на основі сильних і розбавлених феромагнетиків та антиферомагнетиків”, що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що висувають до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПІ ім. Ігоря Сікорського «Фізика».

III. РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу "Термомагнітні ефекти в багатошарових наноструктурах на основі сильних і розбавлених феромагнетиків та антиферомагнетиків", подану Козловим Олексієм Анатолійовичем на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді КПІ ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:
д-р. фіз.-мат. наук, проф., професор кафедри загальної фізики та комп'ютерного моделювання фізичних процесів ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського Горобець Оксана Юріївна;

Члени:
Рецензенти:
д-р фіз.-мат. наук, проф., професор кафедри загальної фізики ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського Джежеря Юрій Іванович;
д-р фіз.-мат. наук, доц., професор кафедри загальної фізики ФМФ КПІ ім. Ігоря Сікорського Куліш Володимир Вікторович;

Офіційні опоненти:
д-р фіз.-мат. наук, с.н.с., провідний науковий співробітник Інституту магнетизму імені В.Г. Бар'яхтара Національної академії наук України Герасимчук Ігор Вікторович;
д-р фіз.-мат. наук, проф., завідувач кафедри фізики високих технологій та електроніки, Київський національний університет імені Тараса Шевченка МОН України Прокопенко Олександр Володимирович.

Головуюча на засіданні
д.ф.-м.н., доц.,
зав. кафедри загальної фізики
та моделювання фізичних процесів — Дарія САВЧЕНКО

Вчений секретар
кафедри загальної фізики — Сергій ПАЛЬЦУН