

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Кафедра експериментальної фізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан фізичного факультету

Вовк Руслан Володимирович

“ 02 ” 09 2025 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Вибрані розділи сучасної фізики магнітних явищ.
(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти третій (освітньо-науковий)

галузь знань 10 Природничі науки
(шифр, назва галузі)

спеціальність 104 Фізика та астрономія
(шифр, назва спеціальності)

освітня програма «Фізика та астрономія»
спеціалізація _____

(шифр, назва)

Вид дисципліни вибіркова
факультет фізичний

2025 / 2026 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

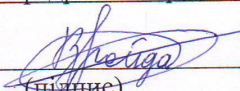
«29» 08 2025 року, протокол № 10.

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

Шурінова Олена Володимирівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент
закладу вищої освіти кафедри експериментальної фізики
Програму схвалено на засіданні кафедри експериментальної фізики

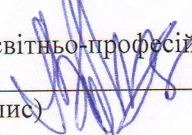
Протокол від «24» 06 2025 року № 6.

В.о. завідувача кафедри експериментальної фізики



(підпис) Володимир ПОЙДА
(прізвище та ім'я)

Програму погоджено з гарантом освітньої (освітньо-професійної) програми (керівником
проектної групи) «Фізика та астрономія».
(назва освітньої програми)

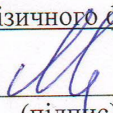
Гарант освітньої (освітньо-професійної) програми (керівник проектної групи)


(підпис) Руслан БОВК
(прізвище та ім'я)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «28» 08 2025 року №5.

Голова методичної комісії фізичного факультету



(підпис) Микола МАКАРОВСЬКИЙ
(прізвище та ім'я)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Вибрані розділи сучасної фізики магнітних явищ» складена відповідно до освітньо-наукової програми «Фізика та астрономія» підготовки фахівців третього освітньо-наукового рівня вищої освіти.

Спеціальності 104 Фізика та астрономія.

1. Опис навчальної дисципліни

1.1 Метою вивчення навчальної дисципліни є підготовка аспіранта до самостійної науково-дослідної діяльності в галузі сучасної фізики магнітних явищ та наноструктур.

1.2 Основне завдання вивчення дисципліни: сформувати у здобувачів третього освітньо-наукового рівня вищої освіти фундаментальні уявлення для самостійної наукової роботи в галузі магнетизму

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми “Фізика та астрономія” здобувачі повинні мати такі компетентності:

Інтегральна компетентність: Здатність продукувати нові ідеї, розв’язувати комплексні проблеми науково-дослідницької та/або розробницької, та/або інноваційної діяльності у сфері фізики та/або астрономії, застосовувати методологію науково-дослідницької та педагогічної діяльності, а також проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

Загальні компетентності:

ЗК1. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК3. Здатність розв’язувати комплексні наукові проблеми на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням професійної етики та академічної доброчесності

Фахові компетентності:

СК1. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері фізики та/або астрономії, інтегрувати знання з різних галузей, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

1.3. Кількість кредитів – 6.

1.4. Загальна кількість годин – 180.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
За вибором	
Вид кінцевого контролю: підсумковий семестровий контроль (екзамен)	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
2-й	
Семестр	
4-й	
Лекції	
48 год.	
Лабораторні заняття	
0 год.	
Практичні заняття	
0 год.	
Самостійна робота	
132 год.	

1.6. Заплановані результати навчання

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною у відповідності до ОНП «Фізика та астрономія»:

ПРН1. Мати сучасні концептуальні та методологічні знання з фізики та/або астрономії та дотичних до них міждисциплінарних напрямів, а також необхідні навички, достатні для проведення фундаментальних і прикладних наукових досліджень з метою отримання нових знань та/або здійснення розробок та інновацій.

ПРН10. Мати навички захисту прав інтелектуальної власності.

ПРН11. Організовувати освітній процес і проводити педагогічну діяльність у сфері фізики та/або астрономії, забезпечувати відповідне наукове, навчально-методичне та нормативне забезпечення.

ПРН12. Мати навички застосовувати інформаційні технології, цифрові прилади та відповідне обладнання при проведенні експериментальних і теоретичних досліджень, а також навчальних занять із фізики та астрономії.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. *Квантово-статистична теорія магнетизму.* Магнітні моменти атомів. Спін-орбітальна взаємодія. Види обмінної взаємодії: прямий, непрямий, супер-обмін, РККІ. Магнітна анізотропія: кристалічна, наведена та поверхнева. Статистика магнітних систем. Моделі Ізінга та Гейзенберга. Фазові переходи.

Розділ 2. *Мікромагнетизм та доменні структури.* Енергія мікромагнетизму. Теорія доменної структури. Статика та динаміка доменних меж (стінки Блоха, Нееля, вихори). Процеси перемагнічування: обертання вектора **M**, рух меж.

Розділ 3. *Фізика магнітних нанокристалів та низькорозмірних систем* Розмірні ефекти. Критичний розмір однодоменності нанокристала. Суперпарамагнетизм. Релаксація Нееля та Брауна. Час блокування. Поверхневий магнетизм та інтерфейсні ефекти (Exchange Bias). Ансамблі нанокристалів, що взаємодіють. Суперспінове скло.

Розділ 4. *Спінтроніка та транспортні явища.* Спін-залежний транспорт. Ефекти GMR та TMR. Спінові фільтри. Спіновий торк (STT) та спіновий ефект Холла. Магнітна пам'ять (MRAM). Топологічний магнетизм: Скірміони та хіральні структури.

Розділ 5. *Експериментальні методи та застосування.* Сучасна магнітна діагностика (VSM, SQUID, MOKE, XMCD). Перспективні матеріали (мультифероїки, 2D-магнетики).

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Квантово-статистична теорія магнетизму.						
Разом за розділом 1	36	9				27
Розділ 2. Мікромагнетизм та доменні структури						
Разом за розділом 2	36	10	16	8		26
Розділ 3. Фізика магнітних нанокристалів та низькорозмірних систем						
Разом за розділом 3	36	10				26
Розділ 4. Спінтроніка та транспортні явища						
Разом за розділом 4	36	10				26
Розділ 5. Експериментальні методи та застосування						
Разом за розділом 5	36	9				27
Усього	180	48				132

4. Завдання для самостійної роботи

Самостійне опрацювання навчальної літератури за рекомендованим переліком

літератури. Самостійне вивчення рекомендованих тем згідно з планом.
Кількість годин 132

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Опанувати концепцію геометричної фрустрації в магнітних системах та вивчити стан «спінового льоду» в пірохлорах.	11
2	Дослідити квантові спінові рідини (Spin Liquids) як стани матерії без далекого магнітного порядку навіть при $T = 0$ К.	11
3	Вивчити модель Стонера для зонного магнетизму (itinerant magnetism) та зрозуміти природу магнетизму в металах групи заліза.	11
4	Опанувати основи магнітоніки: дослідити закони дисперсії спінових хвиль та їх використання для передачі інформації без руху електронів.	11
5	Вивчити явище спінової калоритроніки, зокрема спіновий ефект Зеєбека (генерування спінового струму за допомогою градієнта температури).	11
6	Дослідити нелінійні ефекти в мікрохвильовому магнетизмі та магнітний хаос у наноосциляторах.	11
7	Опанувати фізику антиферромагнітної спінтроніки: дослідити переваги використання антиферромагнетиків як активних робочих елементів (швидкість ТГц-діапазону, відсутність розсіяних полів).	11
8	Вивчити концепцію вейлівських напівметалів (Weyl semimetals) та їхні унікальні магнітотранспортні властивості.	11
9	Дослідити орбітроніку: вивчити можливість генерації та використання орбітальних струмів як альтернативи спіновим струмам.	11
10	Дослідити теорію та практику магнітної гіпертермії: вивчити механізми перетворення енергії змінного магнітного поля в тепло для терапії раку.	11
11	Опанувати принципи роботи магнітних сенсорів на основі гігантського магнітного імпедансу (GMI) для детекції надслабких біомагнітних сигналів.	11
12	Вивчити фізику магнітокалоричного ефекту та принципи створення систем магнітного охолодження при кімнатних температурах.	11
	усього	132

Разом на усі види самостійної роботи студентів за семестр – 132 год.

5. Індивідуальні завдання

Не передбачені.

6. Методи навчання

Методи навчання: словесні методи усного викладу знань (репродуктивний метод, пояснювально-ілюстративний метод, проблемне викладання): лекція, бесіда; наочні методи: використання ілюстративного матеріалу та лекційних демонстрацій. Під час самостійної роботи аспірантів використовуються такі методи навчання: частково-пошуковий, дослідницький метод.

7. Методи контролю

Поточний контроль, (письмовий проміжний контроль № 1 (30 балів), письмовий проміжний контроль № 2 (30 балів), семестровий підсумковий контроль – екзамен (письмовий) – 40 балів.

Схема нарахування балів

Поточний рубіжний контроль, семестровий підсумковий контроль – екзамен.			Сума
Розділ 1- Розділ3	Розділ 4- Розділ 5	Екзамен	
30	30	40	
			100

Критерії оцінювання рівня засвоєння теоретичних знань та набуття умінь і практичних навичок студентів при виконанні ними лабораторних робіт з дисципліни «Фізика – електрика та магнетизм».

Відмінно, 90-100 балів .

Глибоке розуміння фізики явища, вільне володіння математичним апаратом, критичний аналіз сучасної наукової літератури (Scopus/WOS).

Добре, 70-89 балів.

Повне розкриття теми, правильне використання термінології, але відсутній глибокий порівняльний аналіз або зв'язок із власною дисертацією.

Задовільно, 50-69 балів.

Базове розуміння теми, опис загальних принципів без заглиблення в сучасні нюанси або складні математичні моделі.

Незадовільно, 1-49 балів.

Фрагментарні знання, наявність грубих фізичних помилок, неспроможність пояснити базові механізми.

Кожна письмова контрольна робота складається із 6 тестів закритого типу, правильне виконання кожного з яких оцінюється у 5 бали

Екзаменаційне завдання складається з 4 теоретичних питань, кожне з яких оцінюється у 10 балів

11. Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

12. Рекомендована література

Базова література

1. Coey J. M. D. Magnetism and Magnetic Materials. Cambridge : Cambridge University Press, 2010. 632 p.
2. Blundell S. Magnetism in Condensed Matter. Oxford : Oxford University Press, 2001. 256 p.
3. Stohr J., Siegmann H. C. Magnetism: From Fundamentals to Nanoscale Dynamics. Berlin : Springer, 2006. 820 p.
4. Бар'яхтар В. Г., Іванов Б. О., Четверіков О. Л. Динаміка магнітних доменів : монографія. Київ : Наукова думка, 2010. 340 с.
5. Skomski R. Simple Models of Magnetism. Oxford : Oxford University Press, 2008. 360 p.
6. Chikazumi S. Physics of Ferromagnetism. 2nd ed. Oxford : Oxford University Press, 1997. 668 p.

Допоміжна література

1. Zelezny J., et al. Altermagnetism: Progress and Perspectives in 2025. *Nature Reviews Materials*. 2025. Vol. 10. P. 45–62. (Огляд нового класу магнітних матеріалів).
2. Huang B., et al. Emerging 2D Magnetic Materials and Heterostructures. *Chemical Reviews*. 2025. Vol. 125, Iss. 3. P. 1120–1155. (До розділу про 2D-магнетики та наноструктури).
3. Fert A., et al. The 2025 Roadmap on Spintronics and Skyrmionics. *Journal of Physics: Condensed Matter*. 2025. Vol. 37. Art. 153001. (Фундаментальний прогноз розвитку спітроніки від лауреата Нобелівської премії).
4. Popov M., et al. Advanced Magnetic Diagnostics in the Quantum Era. *IEEE Transactions on Magnetism*. 2026. Vol. 62, No. 1. P. 1–15. (Свіжа стаття про сучасні методи SQUID та VSM).

13. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. European School on Magnetism (ESM) – Repository: magnetism.eu/esm/repository-topics.html
2. MuMax3 (Мікромагнетизм на GPU): mumax.github.io (Головний стандарт для моделювання доменів та динаміки (Розділ 2 та 4)).
3. OOMMF (NIST): math.nist.gov/oommf/ (Класичний пакет для розрахунку магнітних структур).
4. Vampire (Атомістичне моделювання): vampire.york.ac.uk (Використовується для моделювання наночастинок (Розділ 3) та обчислення температури Кюрі.)
5. Magnetism Encyclopedia: magnetism.eu/85-ema.htm