

ВИБРАНІ РОЗДІЛИ СУЧАСНОЇ ФІЗИКИ МАГНІТНИХ ЯВИЩ

1. Назва дисципліни – «Вибрані розділи сучасної фізики магнітних явищ».
2. Лектор – к.ф.-м.н., доц. Шурінова Олена Володимирівна.
- 3 Статус – дисципліна за вибором.
2. Курс, семестр – 4 семестр.
5. Кількість – кредитів – 6; загальна кількість годин – 180 (у тому числі: лекції – 48, самостійна робота – 132).
6. Форма контролю – іспит.
7. Попередні умови для вивчення – знання та вміння з курсів загальної фізики.
8. Опис курсу:

Мета навчальної дисципліни — формування у аспірантів цілісної системи фундаментальних знань про природу магнітних явищ у конденсованих середовищах та розвиток навичок дослідження сучасних магнітних матеріалів. Курс спрямований на опанування квантово-статистичних основ магнетизму, вивчення фізики низькорозмірних систем і наноструктур, а також опанування принципів спин-залежного транспорту. Особлива увага приділяється підготовці науковця до самостійного розв'язання актуальних задач сучасної наномагнітоніки та спинтроніки, вибору методів магнітної діагностики та аналізу перспективних матеріалів для електронної компонентної бази нового покоління.

Зміст курсу: Курс присвячений вивченню квантової природи магнетизму, фізики низькорозмірних систем, ефектів спинтроніки та сучасних експериментальних методів дослідження магнітних матеріалів.

Структура курсу представлена 5 розділами:

Розділ 1. Квантово-статистична теорія магнетизму. Магнітні моменти атомів. Спин-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 $\mathbf{M}$, рух меж.

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

Розділ 4. Спинтроніка та транспортні явища . Спин-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).

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 спінтроники 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).

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