



# СПІНТРОНІКА ТА МАГНОНІКА

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	<i>10 Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>104 Фізика та астрономія</i>
Освітня програма	<i>Фізика</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів/150 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	<i>час і місце проведення аудиторних викладені на сайті <a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: доктор фізико-математичних наук, професор Горобець Оксана Юріївна, e-mail: <a href="mailto:Gorobets.oksana@gmail.com">Gorobets.oksana@gmail.com</a></i>
Розміщення курсу	<i><a href="http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2gr6GZDyihI5SyRV52uR6BH6cnzWGulHyhUVkTKi2EnZTqi554UrA">http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2gr6GZDyihI5SyRV52uR6BH6cnzWGulHyhUVkTKi2EnZTqi554UrA</a> розділі «Доступні курси/Горобець О.Ю»</i>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

*Одне з найцікавіших завдань, які вирішує сучасна електроніка – це створення дуже швидких пристроїв без високих втрат енергії у вигляді тепла. Вважається, що в перспективі нас чекають пристрої без хімічних реакцій, які переводять електрику в енергію постійного магнітного поля і також здійснюють зворотне перетворення, магніторезистивна пам'ять з нульовим енергоспоживанням і довготривалим ресурсом, більш досконалі, ніж зараз, магнітні головки запису в жорстких дисках, а також оптичні пристрої нанометрових масштабів. Ключем до інновацій подібного типу є управління спінами частинок в функціональних матеріалах. Перемикаючи напрямки спінів та спінових магнітних моментів, можна змінювати магнітні властивості речовини. А головне – здійснюється перемикання спінів дуже просто, швидко і майже без втрат енергії. З ідеї керування спінами для запису і передачі інформації народилися два проривних напрямки в електроніці – спінтроніка (в ній використовується заміна електричного струму електронів в металах на спіновий струм) і магنونіка (вивчає спінові хвилі). На принципах спінтроніки або магنونіки будуть засновані всі перераховані вище пристрої. Функціональні матеріали для цих областей в останні роки викликають високий інтерес – приблизно кожні п'ять років кількість присвячених їм публікацій подвоюється.*

*Мета навчальної дисципліни – формування у аспірантів компетентностей в області спінтроніки та магنونіки.*

*Предмет навчальної дисципліни – явища протікання спінових струмів та розповсюдження спінових хвиль в нанорозмірних магнітовпорядкованих матеріалах.*

### **Програмні результати навчання:**

**Компетентності:** (ФК01) здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання в спітроніці та магنونіці та дотичних до них міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з магнетизму та суміжних галузей.

**Знання:** (ПРН01) передові концептуальні та методологічні знання зі спітроніки та магنونіки і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

**Уміння:** (ПРН05) планувати і виконувати дослідження зі спітроніки та магنونіки та дотичних міждисциплінарних напрямків з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати у контексті усього комплексу сучасних знань зі спітроніки та магنونіки.

Після засвоєння матеріалу дисципліни аспіранти отримають знання зі спітроніки та магنونіки; набудуть уміння застосовувати здобуті фундаментальні знання теорії спін-залежних ефектів в магнетиках при розробці нових наукових методик та в новітніх промислових технологій, в зразках нових матеріалів, для пояснення отриманих даних і передбачення нових наукових результатів, класифікувати та описувати явища протікання спінових струмів та розповсюдження спінових хвиль, складати математичні моделі опису спінових струмів та спінових хвиль; отримають досвід практичного застосування методів опису спінових струмів та спінових хвиль, проведення досліджень і узагальнення їх результатів в області явищ і процесів, що відбуваються та супроводжують протікання спінових струмів та розповсюдження спінових хвиль, самостійної роботи з навчальною, науковою та довідковою літературою у області спітроніки та магنونіки українською та іноземними мовами.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Вивчення даної дисципліни базується на дисциплінах «Загальна фізика: електрика та магнетизм», «Фізика магнітних явищ» першого та другого рівнів вищої освіти. Знання, отримані аспірантами з дисципліни «Спітроніка та магنونіка», використовуються при підготовці наукових доповідей та наукових статей, а також при захисті дисертації.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Назви тем	Кількість годин			
	Всього	У тому числі		
		Лекції	Практичні заняття	СРС
Тема 1. Динаміка намагніченості. Магнітний резонанс.	8	2	1	5
Тема 2. Інжекція і накопичення спінів.	8	2	1	5
Тема 3. Явища в магнітних тунельних контактах.	8	2	1	5
Тема 4. Магнітна динаміка, індукована спін-поляризованим струмом.	8	2	1	5

Тема 5. Напівпровідникова спінтроніка.	8	2	1	5
Тема 6. Матеріали спінтроніки.	8	2	1	5
Тема 7. Спінтронні пристрої.	8	2	1	5
Тема 8. Основи магنونіки.	8	2	1	5
Тема 9. Нові перспективні напрямки магنونіки і спінтроніки.	8	2	1	5
Тема 10. Теорія гігантського магнетопору і тунельного магнетопору.	8	2	1	5
Тема 11. Низькорозмірні молекулярні магнети і спінтроніка.	8	2	1	5
Тема 12. Методи експериментального дослідження матеріалів спінтроніки.	8	2	1	5
Тема 13. Пристрої спінтроніки та їх застосування.	8	2	1	5
Тема 14. Спіновий транспорт і пристрої спінової логіки.	8	2	1	5
Тема 15. Спінова накачка і динаміка.	8	2	1	5
Тема 16. Теплові ефекти в спінтроніці.	8	2	1	5
Тема 17. Спінові квантові обчислення.	8	2	1	5
Тема 18. Магнетонні кристали для обробки інформації.	8	2	1	5
<b>Разом</b>	<b>144</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>90</b>
Залік	6			6
<b>Всього годин</b>	<b>150</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>96</b>

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Базова

- [1] Ю. А. Куницький, В. В. Курилюк, Л. В. Ододворець, and І. Ю. Проценко, *Основи Спінтроніки: Матеріали, Прилади Та Пристрої* (Сум. держ. ун-т, Суми, 2013).
- [2] О. І. Товстолиткін, М. О. Боровий, В. В. Курилюк, and Ю. А. Куницький, *Фізичні Основи Спінтроніки* (Нілан-ЛТД, Вінниця, 2014).
- [3] Y. Xu, D. D. Awschalom, and J. Nitta, *Handbook of Spintronics* (Springer, Dordrecht, 2016).
- [4] A. V. Chumak, A. A. Serha, and B. Hillebrands, *Magnonic Crystals for Data Processing* (arXiv:1702.06701, n.d.).
- [5] В. Г. Барьяхтар, Б. А. Иванов, В. Н. Криворучко, and А. Г. Данилеви, *Современные Проблемы Динамики Намагниченности: От Основ До Сверхбыстрой Релаксации* (Химджест, Киев, 2013).

### Додаткова

- Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. - М.: Наука, 1982.- 623 с.
- Барьяхтар В. Г., Иванов Б. А. Магнетизм - что это? - К.: Наукова думка, 1981. - 207 с.
- Ахиезер А. И., Барьяхтар В. Г., Пелетминский С. В. Спиновые волны. - М.: Наука, 1967. - 368 с.
- Барьяхтар В. Г., Иванов Б. А. В мире магнитных доменов. - К.: Наукова думка, 1986.- 160 с.
- Вонсовский С. В. Магнетизм. - М.: Наука, 1971. - 1032 с.
- Ивановский В. А., Чеорникова Л. А. Физика магнитных явлений. Семинары.- М.: Изд. Моск. унив., 1981. - 288 с.
- Уайт Р. М. Квантовая теория магнетизма. - М.: Мир, 1972. - 308 с.

### Навчальний контент

#### 4. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційна частина забезпечується інформаційно-рецептивним методом, надаючи базу для використання репродуктивного методу та методу проблемного викладу на практичних заняттях.

#### Лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Тема 1. Динаміка намагніченості. Магнітний резонанс [1–5].
2	Тема 2. Інжекція і накопичення спінів [1–5].
3	Тема 3. Явища в магнітних тунельних контактах [1–5].
4	Тема 4. Магнітна динаміка, індуквана спін-поляризованим струмом [1–5].
5	Тема 5. Напівпровідникова спінтроніка [1–5].
6	Тема 6. Матеріали спінтроніки [1–5].
7	Тема 7. Спінтронні пристрої [1–5].
8	Тема 8. Основи магنونіки [1–5].
9	Тема 9. Нові перспективні напрямки магنونіки і спінтроніки [1–5].
10	Тема 10. Теорія гігантського магнетоопору і тунельного магнетоопору [1–5].
11	Тема 11. Низькорозмірні молекулярні магніти і спінтроніка [1–5].
12	Тема 12. Методи експериментального дослідження матеріалів спінтроніки [1–5].
13	Тема 13. Пристрої спінтроніки та їх застосування [1–5].
14	Тема 14. Спіновий транспорт і пристрої спінової логіки [1–5].
15	Тема 15. Спінова накачка і динаміка [1–5].
16	Тема 16. Теплові ефекти в спінтроніці [1–5].
17	Тема 17. Спінові квантові обчислення [1–5].
18	Тема 18. Магнетні кристали для обробки інформації [1–5].

#### Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять з кредитного модуля передбачають формування у аспірантів практичних навичок представлення результатів наукових досліджень.

№	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Практичне заняття 1. Динаміка намагніченості. Магнітний резонанс [1–12].

2	Практичне заняття 2. Інжекція і накопичення спінів [1–12].
3	Практичне заняття 3. Явища в магнітних тунельних контактах [1–12].
4	Практичне заняття 4. Магнітна динаміка, індукована спін-поляризованим струмом [1–12].
5	Практичне заняття 5. Напівпровідникова спінтроніка [1–12].
6	Практичне заняття 6. Матеріали спінтроніки [1–12].
7	Практичне заняття 7. Спінтронні пристрої [1–12].
8	Практичне заняття 8. Основи магнетоники [1–12].
9	Практичне заняття 9. Нові перспективні напрямки магнетоники і спінтроніки [1–12].
10	Практичне заняття 10. Теорія гігантського магнітоопору і тунельного магнітоопору [1–12].
11	Практичне заняття 11. Низькорозмірні молекулярні магніти і спінтроніка [1–12].
12	Практичне заняття 12. Методи експериментального дослідження матеріалів спінтроніки [1–12].
13	Практичне заняття 13. Пристрої спінтроніки та їх застосування [1–12].
14	Практичне заняття 14. Спіновий транспорт і пристрої спінової логіки [1–12].
15	Практичне заняття 15. Спінова накачка і динаміка [1–12].
16	Практичне заняття 16. Теплові ефекти в спінтроніці [1–12].
17	Практичне заняття 17. Спінові квантові обчислення [1–12].
18	Практичне заняття 18. Магнетонні кристали для обробки інформації [1–12].

### **Контрольні роботи**

Метою контрольної роботи є перевірка вмінь аспірантів самостійно розв'язувати наукові задачі з магнетоники і спінтроніки, вмінь використання відповідних теоретичних, експериментальних методів та програмних продуктів.

Перевірка практичних навичок відбувається у вигляді контрольної роботи, завданнями до якої є складання презентації власних наукових досліджень в галузі магнетоники і спінтроніки. Перевірка знання теоретичного матеріалу на контрольних заходах відбувається у вигляді усних запитань викладача та відповідей аспіранта з окремих розділів програми.

### **5. Самостійна робота аспіранта**

№	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин СРС
1.	Тема 1. Динаміка намагніченості. Магнітний резонанс. [1-12]	10
2.	Тема 2. Інжекція і накопичення спінів. [1-12].	10
3.	Тема 3. Явища в магнітних тунельних контактах. [1-12].	10
4.	Тема 4. Магнітна динаміка, індукована спін-поляризованим струмом. [1-12].	10
5.	Тема 5. Напівпровідникова спінтроніка.	10

	[1-12].	
6.	Тема 6. Матеріали спінтроніки. [1-12].	10
7.	Тема 7. Спінтронні пристрої. [1-12].	10
8.	Тема 8. Основи магнетоніки. [1-12].	10
9.	Тема 12. Нові перспективні напрямки магнетоніки і спінтроніки. [1-12].	10

## Політика та контроль

### 6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- правила відвідування занять (згідно розкладу і згідно загально-університетського розпорядку);
- правила поведінки на заняттях (активність на практичних заняттях є обов'язковою, бали за активність на практичних заняттях не ставляться, відключення телефонів є обов'язковим);
- правила захисту індивідуальних завдань (тестування <http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2gr6GZDyihI5SyRV52uR6BH6cnzWGuLHyhUVkTki2EnZTqi554UrA> у розділі «Доступні курси/Горобець О.Ю»);
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів (штрафні бали не призначаються, заохочувальні бали призначаються суворо згідно підрозділу 8 цього силабусу);
- політика дедлайнів та перескладань (згідно загально-університетського розпорядку);

політика щодо академічної доброчесності (згідно загально-університетського розпорядку);

### 7. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: тести

Календарний контроль: контроль виконання самостійної роботи та завдань практичних занять проводиться двічі на семестр у формі тестів як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестрова атестація проводиться у вигляді заліку. Для оцінювання результатів навчання застосовується 100-бальна рейтингова система і університетська шкала.

Рейтинг аспірантів 2 курсу магістратури ФМФ з «Спінтроніки та магнетоніки» складається з балів, які вони отримують за:

- 1) СРС
- 2) Практичні заняття

Система рейтингових балів та критерії оцінювання.

Аспірантам, які успішно виконують СРС (самостійна робота аспірантів), можуть нараховуватися за семестр максимум 30 балів. СРС полягає у самостійній роботі із вивчення лекційного матеріалу. Перевірка виконання СРС здійснюватиметься оцінюванням результатів тестування в системі Moodle [http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S\\_yRV52uR6BH6cnzWGu\\_LHyhUVkTki2EnZTqi554UrA](http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S_yRV52uR6BH6cnzWGu_LHyhUVkTki2EnZTqi554UrA) у розділі Доступні курси/Горобець О.Ю.

Аспірантам, які успішно виконують завдання практичних занять, можуть нараховуватися за семестр максимум 70 балів. Перевірка виконання завдань практичних занять здійснюватиметься оцінюванням результатів тестування в системі Moodle

[http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S\\_yRV52uR6BH6cnzWGu\\_LHyhUVkTkI2EnZTqi554UrA](http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S_yRV52uR6BH6cnzWGu_LHyhUVkTkI2EnZTqi554UrA) у розділі Доступні курси/Горобець О.Ю.

Сума вагових балів контрольних заходів зі «Спінтроники та магноники» протягом семестру складає  $R_c = 100$  балів.

Рейтингова шкала з спінтроники та магноники складає  $R_D = R_c = 100$  балів.

Якщо аспірант протягом семестру набрав не менше 60 балів, він отримує залік автоматом.

Для виставлення оцінок до залікової книжки рейтинг переводиться у оцінки відповідно до таблиці.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
95-100	Відмінно
85-94	Дуже добре
75-84	Добре
65-74	Задовільно
60-64	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані інші умови допуску до екзамену	Не допущено

Якщо ж аспірант протягом семестру набрав менше 60 балів, він має скласти залікову контрольну роботу у вигляді тесту в системі Moodle [http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S\\_yRV52uR6BH6cnzWGu\\_LHyhUVkTkI2EnZTqi554UrA](http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S_yRV52uR6BH6cnzWGu_LHyhUVkTkI2EnZTqi554UrA) у розділі Доступні курси/Горобець О.Ю., ваговий коефіцієнт якої складає 100 балів. При цьому, стартовий рейтинг не враховується. Кількість набраних на заліковій контрольній роботі балів переводиться в оцінку за тою ж шкалою. Якщо аспірант набрав протягом семестру 60 балів і більше, але хоче підвищити свою рейтингову оцінку, він може це зробити шляхом складання залікової контрольної роботи у вигляді тесту в системі Moodle [http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S\\_yRV52uR6BH6cnzWGu\\_LHyhUVkTkI2EnZTqi554UrA](http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S_yRV52uR6BH6cnzWGu_LHyhUVkTkI2EnZTqi554UrA) у розділі Доступні курси/Горобець О.Ю., ваговий коефіцієнт якої складає 100 балів. При цьому, стартовий рейтинг не враховується.

## 8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль наведено в тестах в системі Moodle [http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S\\_yRV52uR6BH6cnzWGu\\_LHyhUVkTkI2EnZTqi554UrA](http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S_yRV52uR6BH6cnzWGu_LHyhUVkTkI2EnZTqi554UrA) у розділі «Доступні курси/Горобець О.Ю.»;

можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою не передбачена.

## Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором кафедри загальної фізики та фізики твердого тіла, д.ф.-м.н., професором Горобець О.Ю.

Ухвалено кафедрою Загальної фізики та фізики твердого тіла (протокол № 06-21 від 18.06.2021 р.)

Погоджено Методичною комісією Фізико-математичного факультету (протокол № 11 від 23.06.2021)