КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Кафедра квантовоїрадіофізики та наноелектроніки

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Декан

____________ Андрій НЕТРЕБА

«____»____________2023 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Спінтроніка магнітних наносистем

для студентів

галузь знань	**10 "Природничі науки"**
спеціальність	**105 "Прикладна фізика та наноматеріали"**
освітня програма	**"Прикладна фізика та наноматеріали"**
рівень вищої освіти	**другий освітньо-науковий (магістр)**
вид дисципліни	**вибіркова**

Форма навчання	**денна**
Навчальний рік	**2024-2025**
Семестр	**3**
Кількість кредитів ECTS	**3**
Мова викладання, навчання та оцінювання	**українська**
Форма заключного контролю	**залік**

Викладач:
Товстолиткін Олександр Іванович, докторфіз.-мат. наук, професор, директор Інституту магнетизму НАН України та МОН України

Пролонговано: на 20__/20__ н. р. ___________ (_______________) « ___ » _________ 20__ р.

на 20__/20__ н. р. ___________ (_______________) « ___ » _________ 20__ р.

Розробник:

Товстолиткін Олександр Іванович, доктор фіз.-мат. наук, професор, директор Інституту магнетизму НАН України та МОН України

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

Завідувач кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки

_________________________ Г. Ю. Карлаш

Протокол № __ від « ___ » ________ 2023 р.

Схвалено науково-методичною комісією факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Протокол № ___ від « ___ » _____________ 2023р.

Голова науково-методичної комісії С. П. Радченко

« ___ » _____________ 2023року.

ВСТУП

1. Мета дисципліни – ознайомлення студентів з методами керування квантовими станами електронів у нановимірних системах та засвоєння теоретичних основ спін-залежних явищ у шаруватих тонкоплівкових структурах.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

Навчальна дисципліна «Спінтроніка магнітних наносистем» базується на циклі дисциплін професійної та практичної підготовки бакалавра, а саме: "Загальна фізика", "Фізика твердого тіла", "Теоретична фізика", "Диференціальні та інтегральні рівняння", "Мікро- та наноелектроніка".

Попередні вимоги:

1. Успішне опанування курсів математичного аналізу, загальної фізики, квантової механіки, статистичної фізики, фізики твердого тіла, основ магнетизму.
2. Знання теоретичних основ математичної фізики, методів моделювання фізичних об'єктів і процесів з використанням математичних методів та програмних продуктів, методів експериментальних досліджень, методів структурного аналізу.

3. Анотація навчальної дисципліни:

У рамках курсу «Спінтроніка магнітних наносистем» розглядаються сучасні підходи експериментального дослідження і теоретичного опису методів керування квантовими станами електронів у твердотільних системах. Мета вивчення дисципліни – ознайомлення студентів з методами кодування і передачі інформації з використанням квантових об'єктів як носіїв інформації та засвоєння теоретичних основ спін-залежних явищ у наноструктурованих системах. Результати навчання полягають в умінні кваліфіковано пояснювати механізми взаємодії магнітних та електромагнітних полів з власним магнітним моментом електрона, описуватиспін-залежні явища в шаруватих тонкоплівкових структурах, орієнтуватись у шляхах керування параметрами матеріалів магнітних наноструктур. Методи викладання: лекції, консультації. Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, контрольні роботи після основних розділів спецкурсу, іспит.

4. Завдання (навчальні цілі):

1. Сформувати у студентів базові уявлення про принципи кодування та передачі інформації в твердотільних системах з використанням квантових об'єктів як носіїв інформації та оволодіння навичками застосування отриманих знань для розв'язання прикладних задач фізики.
2. Надати основні знання з теорії спінтронних приладів, технологій їхнього створення, практичних аспектів застосування та потенціалу подальшого розвитку.
3. Навчити застосовувати отримані в галузі спінтронікизнання у подальшій професійній діяльності, а також в подальшому навчанні в аспірантурі.
4. Навчити ефективно комунікувати отримані знання перед аудиторією фахівців, що підвищуватиме конкурентоспроможність випускника магістратури на ринку праці, в т.ч. і за межами України.

Забезпечення досягнення компетентностей:

Загальні компетентності

ЗК 3. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.;

ЗК 6. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.;

ЗК 8. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.;

ЗК 14. Навики здійснення безпечної діяльності.;

Фахові компетентності

ФК 3. Здатність брати участь у проведенні експериментальних досліджень властивостей фізичної системи, фізичних явищ і процесів.;

ФК 5. Здатність брати участь у розробці схем фізичних експериментів та обранні необхідного обладнання та пристроїв для проведення експерименту.;

ФК 9. Здатність до постійного поглиблення знань в галузі прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.;

ФК 10. Здатність розуміти і використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу станів та властивостей фізичних систем.;

ФК 12. Здатність використовувати знання про фізичну природу об'єктів у роботах по створенню нових приладів, апаратури, обладнання, матеріалів і речовин, зокрема, наноматеріалів.;

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1, знати; 2, вміти; 3, комунікація; 4, автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1	Студент повинен **знати**:			30
1.1	Теоретичні основи спін-залежних явищ у шаруватих тонкоплівкових структурах,	лекції	Модульна контрольна робота	10
1.2	Методи керування квантовими станами електронів у нанорозмірних системах,	лекції	Модульна контрольна робота	10
1.3	Області застосування та вимоги до параметрів матеріалів магнітних наноструктур.	лекції	Модульна контрольна робота	10
2	Студент повинен **вміти**:			30
2.1	Кваліфіковано пояснювати механізми взаємодії магнітних та електромагнітних полів з власним магнітним моментом електрона,	лекції	Модульна контрольна робота	10
2.2	Описувати спін-залежні явища в шаруватих тонкоплівкових структурах,	лекції	Модульна контрольна робота	10
2.3	Орієнтуватись у шляхах керування параметрами матеріалів магнітних наноструктур та у доборі спеціальної сучасної наукової літератури та самостійно працювати з нею.	лекції	Модульна контрольна робота	10
3	**Комунікація:**			до 5
3.1	Здатність обґрунтовувати важливість розвитку такої галузі як спінтроніката інвестицій в цю галузь, з метою створення рушійної сили для розвитку інших галузей: ІТ, аерокосмічної, оборонної, охорони здоров'я, тощо		Доповіді студентів з використанням медійних та дистанційних технологій	*2*
3.2	Здатність до командної роботи при участі у комерційних проектах, спрямованих на створення спінтронних приладів значного ступеню інтеграції		Доповіді студентів з використанням медійних та дистанційних технологій	*3*
4	**Автономність та відповідальність:**			до 5
4.1	Здатність до самостійної роботи з науковою літературою, в т.ч. періодикою, в т.ч. іноземними мовами, за тематикою спінтроніки, наноелектроніки, інтегральної електроніки, квантової фізики		Доповіді студентів з використанням медійних та дистанційних технологій	*3*
4.2	Здатність самостійно визначати практичні перспективи запропонованих концепцій базових елементів спінтроніки		Доповіді студентів з використанням медійних та дистанційних технологій	*2*

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання:

Програмні результати навчання	**Результати навчання дисципліни**									
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	4.1	4.2
ПРН 2. Розуміння технологій та теоретичних та експериментальних методів дослідження властивостей речовин і матеріалів.	+	+	+	+	+	+	+			+

ПРН 6. Знаходити і аналізувати науково-технічну інформацію з різних джерел з використанням сучасних інформаційних технологій.				+	+	+	+		+	
ПРН 7. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, приладів і наукоємних технологій.				+	+	+	+			+
ПРН 9. Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем.	+	+	+	+	+	+	+			+
ПРН 11. Розробляти фізичні основи створення нових приладів, апаратури, обладнання, матеріалів, речовини, технологій.							+	+		+
ПРН 13. Представляти і захищати отримані наукові і практичні результати в усній та письмовій формі.				+	+		+			+
ПРН 17. Об'єктивна самооцінка отриманих результатів та спроможність забезпечувати їх надійність.				+	+	+	+	+		
ПРН 19. Проводити наукові дослідження в галузі прикладної фізики та ефективно використовувати їх результати для вирішення комплексних проблем або вивчення складних явищ на основі інтердисциплінарних знань.							+	+	+	+

7. Схема формування оцінки

7.1. Форми оцінювання студентів:

- семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1 (20 балів).
2. Модульна контрольна робота 2 (20 балів).
3. Презентація/доповідь англійською мовою (20 балів)

підсумкове оцінювання у формі заліку:

	ЗМ1/Частина 1 (*за наявності*)	ЗМ2/Частина 2 (*за наявності*)	ЗМ3/Частина 3 (*за наявності*)	Залік	Підсумкова оцінка
Мінімум	**12**	**12**	**12**	**24**	**60**
Максимум	**20**	**20**	**20**	**40**	**100**

Студент не допускається до заліку, якщо під час семестру набрав менше 36 балів.

Оцінка за залік не може бути меншою **24 балів** для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

7.3. Шкала відповідності

Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план практичних занять

№ п/п	Назва лекції	Кількість годин		
		лекції	**семінари**	**С/Р**
Змістовий модуль 1 *«Електрон як унікальний об'єкт твердотільних інформаційних систем»*				
1	**Тема 1.** *Спінтроніка: вступ до предмету, історія розвитку.*	2		2
2	**Тема 2.** *Принципи кодування та передачі інформації у твердотільних системах.*	2		2
3	**Тема 3.** *Квантові стани електрона в твердому тілі.*	2		4
4	**Тема 4.** *Магнетизм і електронний транспорт в перехідних металах.*	2		4
5	**Тема 5.** *Основні поняття та концепції спінтроніки.*	2		2
6	**Тема 6.** *Спінова поляризація та методи її створення.*	2		4

7	**Тема 7.** *Релаксація системи мобільних спінів та її механізми.*	2		4
	Модульна контрольна робота 1			2
Змістовий модуль 2 «Спін-залежні явища в магнітних наноструктурах та їх використання в пристроях спінтроніки»				
8	**Тема 8.** *Магнітні наноструктури: методи виготовлення та дослідження.*	2		4
9	**Тема 9.** *Спін-залежні явища в магнітних тунельних контактах.*	2		4
10	**Тема 10.** *Гігантський магнітоопір: експериментальні результати та природа явища.*	2		6
11	**Тема 11.** *Ефект спін-трансферного моменту обертання.*	2		6
12	**Тема 12.** *Магнітні фазові переходи та переходи метал-діелектрик у системах з колосальним магнітоопором.*	2		4
13	**Тема 13.** *Матеріали спінтроніки та вимоги до їх параметрів*	2		6
14	**Тема 14.** *Сучасні прикладні застосування спінтроніки.*	2		7
	Модульна письмова робота 2			2
	ВСЬОГО	**28**		**61**

Загальний обсяг90*год.*, в тому числі:
Лекцій **–28** *год.*
Консультації – 1 *год.*
Самостійна робота **– 61** *год.*

Теми для підготовки доповідей англійською мовою:

Quantum information processing using spins
Low-dimensional molecular magnets in spintronics
Spintronics devices: spin diode and transistor
Spin-wave optics. Diffraction and interference of spin waves.
Spin effects in solid structures: giant magnetoresistance, tunnel magnetoresistance
Spin Hall effect
Magnon crystals for information processing

Для підготовки усних доповідей англійською мовою викладач надає студенту актуальні та нещодавно (на момент доповіді) опубліковані англомовні статті у періодичних фахових виданнях або розділи монографій провідних закордонних видавництв (Springer, Willey, Oxford тощо), які розміщені в мережі інтернет в режимі вільного доступу.

9. Рекомендовані літературні джерела:

Основні джерела:

1. О.І. Товстолиткін, М.О. Боровий, В.В. Курилюк, Ю.А. Куницький. *Фізичні основи спінтроніки. Навчальний посібник.* – Вінниця, Нілан-ЛТД, 2014. – 500 с.
2. А.М. Погорілий, С.М. Рябченко, О.І. Товстолиткін. *Спінтроніка. Основні явища. Тенденції розвитку* – УФЖ. Огляди, 2010, т. 6, №1, С. 37–97 (http://archive.ujp.bitp.kiev.ua/files/reviews/6/1/r06_01_03pu.pdf)
3. В.В. Бібик, Т.М. Гричановська, Л.В. Однодворець, Н.І. Шумакова. *Фізика твердого тіла. Навчальний посібник.* – Суми, Видавництво СумДУ, 2010. – 200 с.
4. Е.С. Боровик, В.В. Еременко, А.С. Мильнер. *Лекции по магнетизму.* – М., Физматлит, 3-е изд., 2005. – 512 с.
5. О.П. Кобушкін, Я.Д. Кривенко-Еметов. *Збірник задач з квантової механіки.* – Київ, Національний технічний університет України (КПІ), 2014. – 63 с.
6. С.Г. Авдєєв, Т.І. Бабюк, О.С. Камінський. *Збірник задач з фізики, ч. 3.* – Вінниця, ВНТУ, 2010. – 84 с.

7. C.L. Tang. *Fundamentals of quantum mechanics for solid state electronics and optics*. – New York, Cambridge University Press, 2005. – 208 p.

Додаткові джерела:

1. I. Zutich, J. Fabian, S. Das Sarma. *Spintronics: Fundamentals and applications*. – Reviews of Modern Physics, 2004, vol. 76, No. 2, 323 – 410.
2. J.M.D. Coey. *Magnetism and Magnetic Materials*. – Cambridge, Cambridge University Press, 2009. – 614 p.
3. *Nanomagnetism and Spintronics*. Ed. By T. Shinjo. – Elsevier, 2009. – 346 p.
4. N.A. Spaldin. *Magnetic Materials: Fundamentals and Applications*. – Cambridge, Cambridge University Press, 2011. – 274 p.