

# КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Кафедра квантової радіофізики та наноелектроніки

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Заступник декана з навчальної роботи

\_\_\_\_\_ Олексій НЕЧИПОРУК

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Спінтроніка магнітних наносистем**

**для студентів**

рівень вищої освіти

**другий (магістерський)**

галузь знань

**10 Природничі науки**

спеціальність

**105 Прикладна фізика та наноматеріали**

освітня програма

**Прикладна фізика та наноматеріали**

вид дисципліни

**вибіркова**

Форма навчання

денна

Навчальний рік

2022/2023

Семестр

3

Кількість кредитів ECTS

4

Мова викладання

українська

Форма заключного контролю

екзамен

### **Викладач:**

Олександр ТОВСТОЛИТКІН, доктор фіз.-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:**

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

Ганна КАРЛАШ, кандидат фіз.-мат. наук, завідувач кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки.

**«ЗАТВЕРДЖЕНО»**

Завідувач кафедри квантової радіофізики  
та наноелектроніки

\_\_\_\_\_Ганна КАРЛАШ

Протокол № \_\_ від « \_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

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

Протокол № \_\_ від « \_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

Голова науково-методичної комісії

Сергій РАДЧЕНКО

« \_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року.

## 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:

- Успішне опанування курсів математичного аналізу, загальної фізики, квантової механіки, статистичної фізики, фізики твердого тіла, основ магнетизму.
- 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, описувати спін-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):**

- Сформувані 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.
- Надати основні знання з теорії спінтронних приладів, технологій їхнього створення, практичних аспектів застосування та потенціалу подальшого розвитку.
- Навчити застосовувати отримані в галузі спінтроніки знання у подальшій професійній діяльності, а також в подальшому навчанні в аспірантурі.
- Навчити ефективно комунікувати отримані знання перед аудиторією фахівців, що підвищуватиме конкурентоспроможність випускника магістратури на ринку праці, в т.ч. і за межами України.

Дисципліна спрямована на формування програмних компетентностей:

*Фахові компетентності:*

- ФК 9. Здатність до постійного поглиблення знань у галузі прикладної фізики, інженерії та комп’ютерних технологій.

### **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			
<b>1</b>	<b>Студент повинен знати:</b>			
1.1	Теоретичні основи спін-залежних явищ у шаруватих тонкоплівкових структурах, методи керування квантовими станами електронів у нанорозмірних системах, області застосування та вимоги до параметрів матеріалів магнітних	лекції	Модульна контрольна робота	30

	наноструктур.			
<b>2</b>	<b>Студент повинен вміти:</b>			
2.1	Кваліфіковано пояснювати механізми взаємодії магнітних та електромагнітних полів з власним магнітним моментом електрона, описувати спін-залежні явища в шаруватих тонкоплівкових структурах, орієнтуватись у шляхах керування параметрами матеріалів магнітних наноструктур, орієнтуватись у доборі спеціальної сучасної наукової літератури та самостійно працювати з нею.	лекції	Модульна контрольна робота	30
<b>3</b>	<b>Комунікація:</b>		Доповіді студентів з використанням медійних та дистанційних технологій	до 5
3.1	Здатність обґрунтовувати важливість розвитку такої галузі як спінтроніка та інвестицій в цю галузь, з метою створення рушійної сили для розвитку інших галузей: ІТ, аерокосмічної, оборонної, охорони здоров'я, тощо			
3.2	Здатність до командної роботи при участі у комерційних проектах, спрямованих на створення спінтронних приладів значного ступеню інтеграції			
<b>4</b>	<b>Автономність та відповідальність:</b>		Доповіді студентів з використанням медійних та дистанційних технологій	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			
4.2	Здатність самостійно визначати практичні перспективи запропонованих концепцій базових елементів спінтроніки			

## 6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання:

Програмні результати навчання	Результати навчання дисципліни					
	1.1	2.1	3.1	3.2	4.1	4.2
ПРН 1. Глибокі знання в галузі сучасної прикладної фізики і фізики наноматеріалів.	+	+			+	
ПРН 3. Знання сучасних обчислювальних та інформаційних технологій	+	+			+	+
ПРН 9. Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем.	+	+		+	+	

## 7. Схема формування оцінки

### 7.1. Форми оцінювання студентів:

#### Семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1 (30 балів).
2. Модульна контрольна робота 2 (30 балів).

#### Підсумкове оцінювання у формі іспиту:

	ЗМ1/Частина 1 (за наявності)	ЗМ2/Частина 2 (за наявності)	іспит	Підсумкова оцінка
<i>Мінімум</i>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>24</b>	<b>60</b>
<b>Максимум</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

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

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

### 7.2. Організація оцінювання.

#### Шкала відповідності оцінок:

<b>Відмінно / Excellent</b>	90-100
<b>Добре / Good</b>	75-89
<b>Задовільно / Satisfactory</b>	60-74
<b>Незадовільно з можливістю повторного складання / Fail</b>	35-59
<b>Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни / Fail</b>	0-34
<b>Зараховано / Passed</b>	60-100
<b>Не зараховано / Fail</b>	0-59

## 8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план практичних занять

№ п/п	Назва лекції	Кількість годин		
		лекції	семінари	С/Р
<b>Змістовий модуль 1 «Електрон як унікальний об'єкт твердотільних інформаційних систем»</b>				
1	<b>Тема 1. Спінтроніка: вступ до предмету, історія розвитку.</b>	2		2
2	<b>Тема 2. Принципи кодування та передачі інформації у твердотільних системах.</b>	2		2
3	<b>Тема 3. Квантові стани електрона в твердому тілі.</b>	2		6
4	<b>Тема 4. Магнетизм і електронний транспорт в перехідних металах.</b>	2		6
5	<b>Тема 5. Основні поняття та концепції спінтроніки.</b>	2		4
6	<b>Тема 6. Спінова поляризація та методи її створення.</b>	2		6
7	<b>Тема 7. Релаксація системи мобільних спінів та її механізми.</b>	4		8
	<b>Модульна контрольна робота 1</b>			1
<b>Змістовий модуль 2 «Спін-залежні явища в магнітних наноструктурах та їх використання в пристроях спінтроніки»</b>				

7	<b>Тема 8.</b> <i>Магнітні наноструктури: методи виготовлення та дослідження.</i>	2		4
8	<b>Тема 9.</b> <i>Спін-залежні явища в магнітних тунельних контактах.</i>	4		6
9	<b>Тема 10.</b> <i>Гігантський магнітоопір: експериментальні результати та природа явища.</i>	6		8
10	<b>Тема 11.</b> <i>Ефект спін-трансферного моменту обертання.</i>	4		8
11	<b>Тема 12.</b> <i>Магнітні фазові переходи та переходи метал-діелектрик у системах з колосальним магнітоопором.</i>	4		6
12	<b>Тема 13.</b> <i>Матеріали спінтроники та вимоги до їх параметрів</i>	2		6
13	<b>Тема 14.</b> <i>Сучасні прикладні застосування спінтроники.</i>	2		6
	<b>Модульна письмова робота 2</b>			1
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>40</b>		<b>80</b>

Загальний обсяг           **120** год., в тому числі:  
Лекції                       **40** год.  
Самостійна робота       **80** год.

## 9. Рекомендовані літературні джерела:

### Основні джерела:

1. О.І. Товстолиткін, М.О. Боровий, В.В. Курилюк, Ю.А. Куницький. *Фізичні основи спінтроники. 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](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. О.П. Кобушкін, Я.Д. Кривенко-Еметов. *Збірник задач з квантової механіки.* – Київ, Національний технічний університет України (КПІ), 2014. – 63 с.
5. С.Г. Авдєєв, Т.І. Бабюк, О.С. Камінський. *Збірник задач з фізики, ч. 3.* – Вінниця, ВНТУ, 2010. – 84 с.
6. С.Л. Tang. *Fundamentals of quantum mechanics for solid state electronics and optics.* – New York, Cambridge University Press, 2005. – 208 p.

### Додаткові джерела:

1. 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.