

# 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

Спеціальні розділи прикладної фізики

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

4

Кількість кредитів ECTS

5

Мова викладання

українська

Форма заключного контролю

залік

### Викладач:

Андрій ГОРЯЧКО, доктор фіз.-мат. наук, доцент кафедри квантової радіофізики та наноелектроніки.

Пролонговано:

на 20\_\_/20\_\_ н. р. \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ ) « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
на 20\_\_/20\_\_ н. р. \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ ) « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Розробник:**

Андрій ГОРЯЧКО, доктор фіз.-мат. наук, доцент 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 зі спеціальними розділами прикладної фізики присвяченими електронній структурі металів, напівпровідників та діелектриків та впливу цієї структури на робочі параметри та принцип дії сучасних та перспективних твердотільних електронних приладів.

### **2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

Навчальна дисципліна «Спеціальні розділи прикладної фізики» базується на циклі дисциплін професійної та практичної підготовки бакалавра та магістра, а саме: “Загальна фізика”, “Фізика твердого тіла”, “Теоретична фізика”, “Диференціальні та інтегральні рівняння”, «Прикладна фізика та електроніка».

Попередні вимоги:

1. студент повинен знати: основні закони, рівняння та співвідношення курсів загальної фізики, фізики твердого тіла, теоретичної фізики, лінійної алгебри, диференціальних та інтегральних рівнянь, прикладної фізики та електроніки.

2. студент повинен вміти: будувати фізичні моделі твердотільних напівпровідникових приладів, ідентифікувати основні наближення для спрощення математичного опису їхніх робочих параметрів.

3. студент повинен знати: базові основи теорії твердотільних електронних приладів, основні режими роботи, робочі параметри та схемотехнічні рішення, в яких вони застосовуються, а також основи технології їхнього серійного виробництва.

### **3. Анотація навчальної дисципліни:**

Вивчення дисципліни «Спеціальні розділи прикладної фізики» дозволяє опанувати глибинні фізичні основи сучасних та перспективних електронних приладів. Центральним поняттям курсу є зонна структура твердого тіла, методи її розрахунку для ідеальних монокристалів, наноструктурованої речовини (електронні метаматеріали), нанорозмірних зразків, поверхонь та інтерфейсів, а також вплив особливостей цієї структури на робочі властивості нанорозмірних приладів сучасної інтегральної електроніки. Розглядаються як аналітичні методи розрахунку електронної структури так і чисельні методи із застосуванням суперкомп’ютерів. Під електронною структурою розуміють набір одноелектронних хвильових функцій просторової змінної та відповідне кожній такій функції значення власної енергії квантового стану частинки. Для цього, детальна увага приділяється методам розв’язку багатоелектронної квантовомеханічної задачі Шредінгера, шляхом її редукції до системи одноелектронних задач та врешті до системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Подано картину сучасної наноелектроіоники як набору нанорозмірних областей із металічними або напівпровідниковими властивостями розділеними ізолюючими областями із діелектричними властивостями, або тунельними переходами. Висвітлюються методи розрахунку транспорту носіїв заряду через тунельні переходи та через металеві або напівпровідникові області під дією прикладеного електричного поля, проілюстровано вплив зонної структури цих областей на величину цього струму та врешті на вольтамперні характеристики усього електронного приладу.

### **4. Завдання (навчальні цілі):**

- Надати основні відомості з курсу «Спеціальні розділи прикладної фізики», які становлять невід’ємну складову загально-наукової підготовки магістра за спеціальністю «Прикладна фізика та наноматеріали».

- Надати основні знання з теорії електронної структури нанорозмірних твердих тіл та наноструктурованого конденсованого середовища, теорії тунелювання та транспорту носіїв електричного заряду.

- Навчити застосовувати одержані знання у професійній науковій (при подальшому навчанні в аспірантурі) або виробничій діяльності в сфері розробки, проектування або виробництва приладів твердотільної наноелектроніки в цивільному або оборонному секторі.

- Навчити ефективно застосовувати отримані знання для профорієнтаційної роботи серед потенційних абітурієнтів, а також для комунікації на нефахову аудиторію стейкхолдерів, законодавців та урядовців, з метою допомоги в розробці оптимальних стратегій державних та приватних інвестицій у високотехнологічні галузі економіки України.

Дисципліна спрямована на формування програмних компетентностей:

*Загальні компетентності:*

- ЗК 13. Здатність працювати автономно.

*Фахові компетентності:*

- ФК 6. Здатність брати участь у обробленні та оформленні результатів експерименту.

### 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>	студент повинен <b>знати</b> :	лекційні та практичні заняття з використанням персональних комп'ютерів	письмові модульні контрольні роботи	до 45
1.1	Загальні основи фізики електронної підсистеми наноструктур	==	==	До 10
1.2	Базові підходи до чисельного моделювання обчислення електронних властивостей конденсованої фази	==	==	До 6
1.3	Основні принципи використання пакетів програмного забезпечення із відкритим кодом для розрахунку електронної структури нанокластерів	==	==	До 6
1.4	Основні технологічні підходи до створення сучасних інтегральних наноелектронних приладів, включаючи атомно-контрольоване нанесення плівок.	==	==	До 8
1.5	Основні фізичні моделі спінзалежних явищ та протікання спінополяризованих струмів	==	==	До 7
1.6	Основні фізичні моделі та підходи до опису тунелювання електронів	==	==	До 8
<b>2</b>	студент повинен <b>вміти</b> :	лекційні та практичні заняття з використанням персональних комп'ютерів	письмові модульні контрольні роботи	до 45
2.1	Будувати алгоритми розрахунку електронної структури в наближенні Борна-Опенгеймера	==	==	До 15
2.2	Застосовувати програмні пакети з відкритим доступом для чисельного розрахунку електронних станів у нанорозмірних зразках	==	==	До 15
2.3	Визначати обсяг обчислень необхідний для коректного аналізу запропонованого перспективного нанорозмірного електронного приладу	==	==	До 15
<b>3</b>	<b>комунікація:</b>	лекційні та практичні заняття з використанням персональних комп'ютерів	письмові модульні контрольні роботи	до 5
3.1	Здатність донесення до колег-фахівців інформації про результати власних досліджень, розробок та обчислень в галузі прикладної фізики на конференціях, симпозіумах та робочих нарадах	==	==	До 3
3.2	Здатність до командної роботи в міжнародних наукових колабораціях	==	==	До 2
<b>4</b>	<b>автономність та відповідальність:</b>	лекційні та практичні заняття з використанням персональних комп'ютерів	письмові модульні контрольні роботи	до 5
4.1	Здатність до самостійної постановки наукової задачі в дослідженнях електронної структури нанокластерів	==	==	До 3
4.2	Здатність самостійно визначати наукову новизну результатів, що публікуються та доповідаються іншими фахівцями	==	==	До 2

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

Програмні результати навчання	Результати навчання дисципліни													
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	4.1	4.2	
ПРН 1. Глибокі знання в галузі сучасної прикладної фізики і фізики наноматеріалів	+	+	+	+	+	+								
ПРН 2. Розуміння технологій та теоретичних та експериментальних методів дослідження властивостей речовин і матеріалів							+	+	+					
ПРН 15. Розробляти та формулювати свої професійні висновки та розумно їх аргументувати для фахової та нефахової аудиторії.										+	+	+	+	

## 7. Схема формування оцінки

**7.1. Форми оцінювання студентів:** рівень досягнення всіх запланованих результатів навчання визначається за результатами написання письмових контрольних робіт. Внесок результатів навчання у підсумкову оцінку, за умови їх опанування на належному рівні:

- результати навчання 1.1 – 1.6 [**знання**] – до 45 %;
- результат навчання 2.1 – 2.3 [**вміння**] – до 45%;
- результат навчання 3.1-3.2 [**комунікація**] – до 5%;
- результат навчання 4.1-4.2 [**автономність та відповідальність**] – до 5%;

Форми оцінювання студентів:

**Семестрове оцінювання:** контроль здійснюється за таким принципом.

1. Контрольна робота з тем 1-7 (письмово): РН 1.1-3, РН 2.1, РН 3.1, РН 4.1 – 30 балів.

2. Контрольна робота з тем 8-14 (письмово): РН 1.4-6, РН 2.2-3, РН 3.2, РН 4.2 – 30 балів.

**Підсумкове оцінювання (у формі заліку):** форма заліку – письмово-усна. Всього за залік можна отримати від 0 до 40 балів. Умовою досягнення позитивної оцінки за дисципліну є отримання не менш ніж 60 балів, при цьому, оцінка за залік не може бути меншою **24 балів**.

**Умови допуску до підсумкового заліку:** умовою допуску до заліку є отримання студентом сумарно не менше, ніж *критично-розрахунковий мінімум* за семестр – **36 балів**.

## 7.2. Організація оцінювання:

Оцінювання за формами контролю:

Семестрова робота	Кількість балів	
	Min. – балів	Max. – балів
Модульна контрольна робота №1	18	30
Модульна контрольна робота №2	18	30

Орієнтований графік оцінювання:

Форма оцінювання	Орієнтовний період для здійснення відповідної форми оцінювання
Модульна контрольна робота №1	квітень
Модульна контрольна робота №2	травень
Залік	травень

Розрахунок балів, які отримують при успішній здачі заліку:

Значення	Семестр	Залік	Підсумкова оцінка
Мінімум	36	24	60
Максимум	60	40	100

### 7.3. Шкала відповідності оцінок

Оцінка (за національною шкалою) / National grade	Рівень досягнень, % / Marks, %
<b>Зараховано / Accepted</b>	90-100%
<b>Не зараховано / Not Accepted</b>	75-89%
	60-74%
	0-59%

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

№ з/п	Назва теми	У тому числі - кількість годин		
		Лекції	Практичні, лабораторні	Самостійна робота
1	Вступ та огляд курсу “Спеціальні розділи прикладної фізики”.	6	-	10
2	Основні уявлення про електронну структуру нанокристалу та її складові.	4	-	8
3	Загальні методи обчислення електронної структури, аналітичні та чисельні підходи.	4	-	8
4	Редукція багатоелектронної квантово-механічної задачі Шредінгера до одноелектронної.	4	-	8
5	Розрахунки спінзалежної електронної структури речовини.	4	-	8
6	Електронна структура нанорозмірних молекул.	4	-	8
7	Розрахунок тунельного струму між нанорозмірними терміналами із відомою електронною структурою.	4	-	8
8	Побудова елементної бази наноелектроніки на основі комбінації нанорозмірних острівців та тунельних бар'єрів.	4	-	8
9	Нанотранзистори.	4	-	8
10	Нанорозмірні пристрої зберігання інформації на основі квантових точок.	4	-	8
11	Приклади перспективної елементної бази молекулярної наноелектроніки.	4	-	8
12	Топологічні ефекти в електронній структурі нанорозмірних зразків.	4	-	10
<b>Всього</b>		<b>50</b>	<b>-</b>	<b>100</b>

Загальний обсяг **150** год., в тому числі:  
 Семінарські **50** год.  
 Самостійна робота **100** год.

## **9. Рекомендовані літературні джерела:**

### **Основні джерела:**

1. D.A. Sholl, J.A. Steckel. Density Functional Theory – A Practical Introduction. – John Wiley & Sons Inc, 2009. – 238 pp.
2. F. Giustino. Materials Modelling using Density Functional Theory – Properties and Predictions. – Oxford University Press, 2014. – 286 pp.
3. R.M. Martin. Electronic Structure – Basic Theory and Practical Methods. – Cambridge University Press, 2020. – 762 pp.

### **Додаткові джерела:**

1. F. Hagelberg. Electron Dynamics in Molecular Interactions. – Principles and Applications – Imperial College Press, 2014. – 925 pp.
2. M. Pourfath. The Non-Equilibrium Green's Function Method for Nanoscale Device Simulation. – Springer Verlag Wien, 2014. – 256 pp.
3. M.V. Fischetti, W.G. Vandenberghe. Advanced Physics of Electron Transport in Semiconductors and Nanostructures. – Springer International Publishing Switzerland, 2016. – 474 pp.