

# 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

“Фізика твердого тіла”

для студентів

галузь знань

**10 Природничі науки**

спеціальність

**105 Прикладна фізика та наноматеріали**

рівень вищої освіти

**бакалавр**

освітньо-наукова програма

**“Еконофізика”**

вид дисципліни

**вибіркова**

Форма навчання

**денна**

Навчальний рік

**2022/2023**

Семестр

**8**

Кількість кредитів ECTS

**9**

Мова викладання, навчання  
та оцінювання

**українська**

Форма заключного контролю

**іспит**

### Викладач:

Кулик Сергій Петрович, кандидат 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:**

Кулик Сергій Петрович, кандидат 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** – студенти мають засвоїти базові ідеї та концепції фізики твердого тіла, зрозуміти природу фундаментальних явищ в кристалічних структурах та їх застосування в сучасній твердотільній електроніці, опанувати навички застосування отриманих знань для аналізу практичних задач твердотільної мікро- та наноелектроніки.

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

Навчальна дисципліна “Фізика твердого тіла” базується на циклі дисциплін професійної та практичної підготовки: “Математичний аналіз”, “Атомна фізика”, “Електродинаміка”, “Квантова механіка”, “Радіотехнічні кола та сигнали”.

Попередні вимоги:

1. студент повинен знати: основні закони, рівняння та співвідношення курсу загальної фізики, курсу атомної фізики, курсу квантової механіки та теорії електричних кіл.

2. студент повинен вміти: будувати найпростіші лінійні фізичні моделі, читати, розуміти та будувати електричні схеми, розв’язувати найпростіші лінійні диференціальні рівняння та задачі на власні значення.

3. студент повинен знати: основи теорії перехідних процесів в електричних колах, моделі базових активних та пасивних елементів електричних кіл та їхні основні параметри, основи фізичних явищ в конденсованому середовищі в мезоскопічному масштабі.

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

В курсі “Фізика твердого тіла” вивчаються теоретичні основи фізики твердого тіла та їх застосування до аналізу прикладних задач твердотільної електроніки. Основна увага приділена питанням коливальних кристалічної ґратки, законам руху електрона в ідеальному та збуреному періодичних полях, явищам переносу (проходження струму), а також контактним явищам у напівпровідниках.

### **4. Завдання (навчальні цілі):**

1. Надати основні відомості з курсу “Фізика твердого тіла”, які складають важливу частину загально-наукової підготовки студента за спеціальністю “Прикладна фізика та наноматеріали”.

2. Сформулювати розуміння квантової природи ефектів в твердому тілі.

3. Підготувати слухачів до здатності аналізувати проблеми сучасного стану твердотільної електроніки.

4. Сформулювати вміння, застосовувати методи теорії твердого тіла для вирішення конкретних задач твердотільної електроніки.

Забезпечення досягнення компетентностей:

**ЗК-2.** Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.

**ЗК-7.** Навички використання інформаційних та комунікаційних технологій.

**ЗК-8.** Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

**ФК-7.** Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії, економіки та комп’ютерних технологій.

**ФК-8.** Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем, для пошуку методів можливих рішень задач у галузі економіки.

**ФК-9.** Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.

## 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 заняття з використанням комп'ютерних засобів візуалізації даних	письмові модульні контрольні роботи	до 50
1.1	Теоретичні та експериментальні методи дослідження будови і властивостей кристалів; сучасні напрямки розвитку фізики твердого тіла.	==	==	До 8
1.2	Знати та розуміти основні поняття електронної теорії твердого тіла: поверхня Фермі, самоузгоджене поле, теорема Блоха, квазіхвильовий вектор, зонна структура, густина електронних станів, ефективна маса тощо.	==	==	До 8
1.3	Теоретичні основи кінетичної теорії твердого тіла: рівняння Больцмана та його наближений розв'язок у випадку електропровідності та теплопровідності; теоретичне підґрунтя термоелектричних явищ.	==	==	До 9
1.4	Знати та розуміти основні поняття розділу динаміка твердого тіла: температура Дебая, фонони та фононний спектр тощо; основні положення та відмінності наближень Дебая та Ейнштейна для розрахунку теплоємності твердих тіл.	==	==	До 8
1.5	Основи теорії атомного магнетизму, діаманетизм та парамагнетизм діелектриків. Особливості магнітних властивостей електронів провідності; теоретичні основи ферромагнетизму.	==	==	До 8
1.6	Основні характеристики контактних явищ: бар'єру Шотки. p-n переходу; принципи роботи та параметри пристроїв на основі p-n переходу, тунельних діодів та біполярних транзисторів.	==	==	До 9
<b>2</b>	студент повинен <b>вміти</b> :	лекційні заняття з використанням комп'ютерних засобів візуалізації даних	письмові модульні контрольні роботи	до 35
2.1	Застосовувати методи розрахунку електронної структури починаючи від наближення майже вільних та сильнозв'язаних електронів та закінчуючи переліком сучасних методів електронних розрахунків.	==	==	До 10
2.2	Вільно володіти загально вживаними термінами теорії твердого тіла: поверхня Фермі, обмінний інтеграл, зонна структура, ефективна маса, силова матриця, температура Дебая, фонони, магнони, екситони, плазмони тощо.	==	==	До 15
2.3	Вміти знаходити у довідниковій літературі відповідні параметри, що характеризують властивості твердих тіл.	==	==	До 10
<b>3</b>	<b>комунікація</b> :	лекційні заняття з використанням комп'ютерних засобів візуалізації даних	письмові модульні контрольні роботи	до 10

3.1	Здатність ефективно комунікувати з колегами, аргументовано та відповідально подавати інформацію за обраною тематикою дослідження	==	==	До 5
3.2	Здатність бути відповідальним за внесок в роботу команди при вирішенні поставленої задачі	==	==	До 5
4	<b>автономність та відповідальність:</b>	лекційні заняття з використанням комп'ютерних засобів візуалізації даних	письмові модульні контрольні роботи	до 5
4.1	Здатність самостійно визначати практичні перспективи використання нових наноматеріалів для створення сучасних пристроїв твердотільної та наноелектроніки.	==	==	До 2
4.2	Здатність до самостійної роботи з науковою літературою, у т.ч. періодичними виданнями, у т.ч. іноземними мовами, за тематикою фізики твердого тіла та наноелектроніки.	==	==	До 3

**6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання**

Результати навчання дисципліни	Код													
	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	
<b>Програмні результати навчання (назва)</b>														
<b>ПРН 2.</b> Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики, методи розрахунків при розв'язанні економічних задач.	+	+		+	+						+	+	+	+
<b>ПРН 3.</b> Відшукувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації.							+		+	+	+	+	+	+
<b>ПРН 5.</b> Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів. <b>ПРН-9.</b> Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики.							+	+	+				+	+
<b>ЗК-2.</b> Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу та суспільство і у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.	+	+	+	+	+	+	+	+	+					+
<b>ЗК-7.</b> Навички використання інформаційних та комунікаційних технологій.												+		
<b>ЗК-8.</b> Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.													+	+
<b>ФК-7.</b> Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії, економіки та комп'ютерних технологій.												+	+	+
<b>ФК-8.</b> Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем, для пошуку методів можливих рішень задач у галузі економіки													+	
<b>ФК-9.</b> Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.									+	+		+	+	+

## 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 40%;
- результат навчання 3.1-3.2 [комунікація] – до 5%;
- результат навчання 4.1-4.2 [автономність та відповідальність] – до 10%;

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 іспиту):** форма іспиту – письмово-усна. Екзаменаційне завдання складається із 2 питань, питання оцінюються по 20 балів. Всього за заліку можна отримати від 0 до 40 балів. Умовою досягнення позитивної оцінки за дисципліну є отримання не менш ніж 60 балів,
- **умови допуску до підсумкового іспиту:** умовою допуску до іспиту є отримання студентом сумарно не менше, ніж *критично-розрахунковий мінімум 36 балів* за семестр. Студенти, які протягом семестру сумарно набрали меншу кількість балів, ніж критично-розрахунковий мінімум **36 балів**, для одержання допуску до іспиту обов'язково повинні написати додаткову контрольну роботу.

**7.2. Організація оцінювання;** (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням орієнтованого графіку 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	березень
Модульна контрольна робота №2	травень
Залік	червень

*Розрахунок балів, які отримують при успішній здачі іспиту:*

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</b> / Accepted	90-100%
<b>Не зараховано</b> / Not Accepted	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	Кристалічні структури. Трансляційна симетрія.	2	2	15
2	Гратка Браве. Вектори трансляції, примітивна комірка. Комірка Вігнера-Зейтца. Гратка з базисом. Обернена гратка. Індокси Мілера.	2	2	15
3	Періодичний потенціал. Функції Блоха та їх властивості. Зони Брілюена. Схеми приведеної, розширеної зон та зон, що повторюються.	2	2	15
4	Рівняння Шредінгера для кристала. Адіабатичне наближення.	2	2	15
5	Електрони в слабкому потенціалі. Метод слабого зв'язку. Енергетичні рівні поблизу брегівської площини. Заборонені зони.	2	2	15
6	Метод сильного зв'язку.	2	2	15
7	Коливання одновимірної гратки з одним атомом в комірці. Коливання одновимірної гратки з базисом. Акустична та оптична гілки.	2	2	15
8	Особливості коливань тривимірної гратки. Анггармонічні ефекти в кристалах.	2	2	15
9	Нормальні моди і фонони.	2	2	15
10	Теплоємність кристалів. Теплоємність електронів провідності в металах	2	2	15
11	Діамагнетизм і парамагнетизм кристалів. Упорядковані магнетики. Феромагнетики, антиферомагнетики, феримагнетики.	2	2	15
12	Основні та неосновні носії заряду в напівпровідниках, їх концентрація. Електропровідність напівпровідників. Рухливість носіїв заряду. Ефективна маса.	2	2	15
13	Контактні явища. Формування та властивості бар'єру Шоткі. р-п перехід. Основні властивості. Пристрої на основі р-п переходу. Тунельні діоди.	2	2	15
14	Біполярні транзистори. Схеми включення та характеристики. Уніполярні транзистори.	2	2	15
<b>Всього</b>		<b>28</b>	<b>28</b>	<b>210</b>

Загальний обсяг **270** год., в тому числі:  
Лекції **28** год.



Практичні, лабораторні	28 год.
Консультації	4 год.
Самостійна робота	210 год.

### **Самостійна робота студентів (СРС).**

1. Теорія металів Зоммерфельда. Недоліки моделі вільних електронів
2. Нескінченні ґратки і скінчені кристали
3. Деякі важливі приклади кристалічних структур з базисом
4. Визначення кристалічних структур за допомогою дифракції рентгенівських променів
5. Поверхня Фермі
6. Функції Ваньс
7. Домішкові рівні. Населеність домішкових рівнів при термодинамічній рівновазі
8. Недоліки моделі статичної ґратки.
9. Експериментальні методи визначення фононного спектра
10. Дефекти в кристалах
11. Фотодіоди, світлодіоди
12. Напівпровідникові лазери
13. Термоелектричні та гальваноманітні явища
14. Ефект Пельтьє

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

#### **Основні джерела:**

1. Ю.М. Поплавко, Фізика твердого тіла, Том 1. Структура, квазічастинки, метали, магнетика, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во "Політехніка", 2017.
2. Ю.М. Поплавко, Фізика твердого тіла, Том 2. Діелектрики, напівпровідники, фазові переходи, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во "Політехніка", 2017.
3. Charles Kittel, Introduction to Solid-State Physics, 7<sup>th</sup> Edition, Wiley, 1995, 688 pp.
4. James Patterson, Bernard Bailey, Solid-State Physics. Introduction to the theory, 2<sup>nd</sup> Edition, Springer, 2012, 850 pp.
5. Пінкевич І.П., Сугаков В.Й. Теорія твердого тіла. К.: ВПЦ Київського ун-ту, 2006. – 336 с.

#### **Додаткові і джерела:**

1. Третьяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників: Підручник: У 2 т. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. – Т. 1. – 338 с.
2. Зиненко В. И., Сорокин Б. П., Турчин П. П. Основы физики твердого тела. М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2001. – 336 с.
2. S. Sze. Physics of Semiconductor Devices. – John Wiley & Sons, 2010. – 756 pp.
3. D.L. Pulfrey. Understanding Modern Transistors and Diodes. – Cambridge University Press, 2010. – 335 pp.