КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Кафедра фізичної електроніки

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан

_____________ Андрій Нетреба

« ____ » ___________ 2023 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Фізика конденсованого середовища

для студентів

галузь знань	10 «Природничі науки»
спеціальність	105 «Прикладна фізика та наноматеріали»
рівень вищої освіти	другий (магістерський)
освітня програма	«Прикладна фізика та наноматеріали»
вид дисципліни	Обов'язкова компонента

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2023/2024
Семестр	1
Кількість кредитів ECTS	4
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	залік

Викладач:
Стріха Максим Віталійович, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізичної електроніки

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

КИЇВ – 2023

Розробник:
Стріха Максим Віталійович, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри фізичної електроніки

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

Завідувач кафедри фізичної електроніки

______________________Анатолій ВЕКЛИЧ

Протокол № 34 від « 29 » червня 2023 р.

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

Протокол № ____від « ____» ______________ 202__р.

Голова науково-методичної комісії Сергій РАДЧЕНКО

« ____» ______________ 202__року.

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Фізика конденсованого середовища» є складовою освітньої програми підготовки фахівців за освітнім рівнем «магістр» галузі знань 10 «Природничі науки» зі спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Дана дисципліна входить у нормативний блок.

Викладається у 1 семестрі (магістри 1 року навчання) в обсязі 120 год. (4 кредити ECTS) зокрема: лекції – всього 38 год., самостійна робота – 81 год., консультації – 1 год. У курсі передбачено 2 змістових модулі. Дисципліна завершується заліком.

1. Мета дисципліни є отримання студентами систематизованих уявлень про різні розділи сучасної фізики конденсованих середовищ, насамперед пов'язані із можливістю застосування в електроніці та в інших новітніх технологіях, та поглиблених знань про різноманітні квантові процеси, які відбуваються у цих середовищах, насамперед – у металах, напівпровідниках та низьковимірних структурах.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:
Навчальна дисципліна «Фізика конденсованого середовища» базується на циклі дисциплін професійної та практичної підготовки, зокрема, «Електрика та магнетизм», «Диференціальні рівняння», «Квантова механіка», «Математична фізика».

3. Анотація навчальної дисципліни:
У програмі дисципліни розглядаються визначення фізики конденсованих середовищ, класифікація конденсованих середовищ (Кристали. Аморфні тверді тіла. Квазікристали. М'яка речовина. Рідкі кристали. Полімери); основні наближення й методи фізики конденсованих середовищ; фонони, теплоємність, теплопровідність, статистика Фермі й статистика Бозе-Айнштайна; електрони в твердих тілах, зонна структура; класифікація твердих тіл (Метали. Напівпровідники. Діелектрики); електрони в електричному полі, провідність металів, електрон-фононна взаємодія, надпровідність, надплинність, магнітні явища в конденсованих середовищах; спінтроніка; зонна структура напівпровідників; метод ефективної маси, енергетичні рівні; статистика електронів і дірок, рівень Фермі; нерівноважні носії, феноменологічна теорія рекомбінації; центри рекомбінації і центри прилипання, модель Лекса каскадного захоплення носіїв на мілкі домішки; багатофононне захоплення носіїв заряду на глибокі центри й термічна іонізація; Оже-рекомбінація; оптичні переходи, фотопровідність; фізичні основи роботи напівпровідникових приладів; особливості фізичних процесів у низьковимірних структурах; визначення квантових цяток, квантових дротів, квантових ям; явище кулонівської блокади; графен. З усіх тем програми студенти паралельно отримують знання англійської наукової термінології в обсягах, достатніх для прочитання англомовних джерел із визначеної теми, рекомендованих для самостійного опрацювання.

4. Завдання (навчальні цілі):

1) надати основні відомості курсу фізики конденсованих середовищ, які складають важливу частину загально-фізичної та інженерної підготовки студента-магістра за спеціальністю «Прикладна фізика та наноматеріали».
2) узагальнити відомі поняття курсів «Електрика та магнетизм», «Диференціальні рівняння», «Квантова механіка», «Математична фізика», простежити взаємозв'язок об'єктів досліджень фізики конденсованого середовища з іншими компонентами підготовки; продемонструвати застосування теоретичних відомостей до розв'язання практичних та експериментальних задач;
3) покласти основу для застосування знань, умінь, навичок і комунікацій у професійній діяльності, розвиток логічного та аналітичного мислення студентів;

4) прищепити вміння розв’язувати прикладні задачі методами фізики конденсованого середовища.

Дисципліна скерована на формування програмних компетентностей:
ЗК 1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;
ЗК 5. Здатність спілкуватися іноземною мовою;
ЗК 7. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні;
ЗК 11. Здатність працювати в команді;
ЗК 14. Навики здійснення безпечної діяльності;
ФК 3. Здатність брати участь у проведенні експериментальних досліджень властивостей фізичної системи, фізичних явищ і процесів;
ФК 6. Здатність брати участь у обробленні та оформленні результатів експерименту;
ФК 10. Здатність розуміти і використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу станів та властивостей фізичних систем;
ФК 13. Здатність брати участь у роботах зі складання наукових звітів та у впровадженні результатів проведених досліджень та розробок;

Програмні результати навчання:
ПРН 1. Глибокі знання в галузі сучасної прикладної фізики і фізики наноматеріалів;
ПРН 3. Знання сучасних обчислювальних та інформаційних технологій;
ПРН 6. Знаходити і аналізувати науково-технічну інформацію з різних джерел з використанням сучасних інформаційних технологій;
ПРН 9. Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем;
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.

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**:	лекційні заняття, заняття з використанням математичних пакетів	письмові модульні контрольні роботи, оцінювання виконання завдань для самостійної роботи	до 50
1.1	основні поняття фізики конденсованого середовища			
1.2	базові механізми перенесення тепла й електрики в конденсованих середовищах			
1.3	квантові механізми, які зумовлюють надпровідність і надплинність			
1.4	основні типи розсіювання електронів провідності в металах і в напівпровідниках			
1.5	основні властивості феро- та антиферомагнетиків			
1.6	основні поняття зонної структури напівпровідників			
1.7	основи статистики рівноважних та нерівноважних носіїв у напівпровідниках			

1.8	основні поняття фізики низько вимірних систем, зокрема графену.			
2	студент повинен **вміти**:	лекційні заняття, заняття з використанням математичних пакетів	письмові модульні контрольні роботи, оцінювання виконання завдань для самостійної роботи	до 35
2.1	отримувати основні рівняння для електро- й теплопровідності			
2.2	аналізувати внесок різних механізмів розсіювання електронів у елетропровідність			
2.3	отримувати в рамках методу ефективних мас вирази для енергії домішкових рівнів у напівпровідниках			
2.4	отримувати вирази для залежності концентрації носіїв у напівпровіднику від його зонних параметрів і від температури			
2.5	аналізувати причини відмінності властивостей низько вимірних матеріалів від об'ємних.			
3	**Комунікація**	лекційні заняття, заняття з використанням математичних пакетів		до 5
3.1	здатність грамотно будувати комунікацію, виходячи з мети і ситуації спілкування			
4	**Автономність та відповідальність**	лекційні заняття, заняття з використанням математичних пакетів	письмові модульні контрольні роботи, оцінювання виконання завдань для самостійної роботи	до 10
4.1	продемонструвати розуміння особистої/персональної відповідальності за професійні та/або управлінські рішення, які базуються на використанні математичних методів			

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	1.7	1.8	2.1	2.3	2.3	2.4	2.5	3.1	4.1
ПРН 1. Глибокі знання в галузі сучасної прикладної фізики і фізики наноматеріалів	+	+	+	+	+	+	+	+							
ПРН 3. Знання сучасних обчислювальних та інформаційних технологій	+							+							
ПРН 6. Знаходити і аналізувати науково-технічну інформацію з різних джерел з використанням сучасних інформаційних технологій.								+	+	+	+	+	+	+	
ПРН 9. Встановлювати та аргументувати нові залежності між параметрами та характеристиками фізичних систем.						+	+	+	+	+	+	+	+		+
ПРН 19. Проводити наукові дослідження в галузі прикладної фізики та ефективно використовувати їх результати для вирішення комплексних проблем або вивчення складних явищ на основі інтердисціплінарних знань.						+	+	+					+		

7. Схема формування оцінки

7.1. Форми оцінювання студентів: рівень досягнення всіх запланованих результатів навчання визначається за результатами написання письмових контрольних робіт і за результатами виконання самостійних завдань. Вклад результатів навчання у підсумкову оцінку, за умови їх опанування на належному рівні і успішної здачі всіх лабораторних робіт наступний:

- результати навчання 1.1 – 1.8 [**знання**] до 50 %;
- результат навчання 2.1 – 2.5 [**вміння**] – до 35%;
- результат навчання 3.1 [**комунікація**] – до 5%;
- результат навчання 4.1 [**автономність та відповідальність**] – до 10%.

Форми оцінювання студентів:

- **семестрове оцінювання**: контроль здійснюється за таким принципом. Навчальний семестр має два змістові модулі: у змістовий модуль 1 (ЗМ1) входять теми 1-4, у змістовий модуль 2 (ЗМ2) входять теми 5-9. Після завершення відповідних тем проводяться дві письмові модульні контрольні роботи. Для визначення рівня досягнення результатів навчання завдання для модульної контрольної роботи перевіряють уміння розв'язувати конкретні задачі функціональної електроніки та розбиратися в роботи конкретних приладів. Обов'язковим для допуску до заліку є написання 1-ї та 2-ї модульних контрольних робіт з кількістю балів не менше 15 балів.

- **підсумкове оцінювання (у формі заліку):** форма заліку – письмово-усна. Екзаменаційний білет заліку складається із 2 питань, кожне питання оцінюється від 0 до 20 балів. 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 результатами навчання 2 [вміння] і 4 [автономність та відповідальність] не може бути меншою ніж 50% від максимального рівня (15 і 5 балів відповідно), оцінка за залік не може бути меншою 24 балів.

- **умови допуску до підсумкового заліку:** умовою допуску до заліку є отримання студентом сумарно не менше, аніж *критично-розрахунковий мінімум 35 балів* за семестр. Студенти, які протягом семестру набрали сумарно меншу кількість балів, ніж критично-розрахунковий мінімум 35 балів, для одержання допуску до заліку обов'язково повинні написати на необхідну порогову кількість балів додаткову контрольну роботу за матеріалом відповідного семестру та доскладають домашні завдання для підвищення балів за виконання самостійної роботи.

У випадку відсутності студента з поважних причин відпрацювання та перездачі модульних контрольних робіт здійснюються у відповідності до „Положення про порядок оцінювання знань студентів при кредитно-модульній системі організації навчального процесу" від 1 жовтня 2010 року.

7.2. Організація оцінювання (*обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням орієнтованого графіку оцінювання*):

Оцінювання за формами контролю:

	ЗМ1		***ЗМ2***	
	Min. – балів	*Max. – балів*	*Min. – балів*	*Max. – балів*
Модульна контрольна робота 1	15	30		
Модульна контрольна робота 2			15	30
Виконання студентами			5	6

самостійних робіт				

Орієнтований графік оцінювання:

	Орієнтовний період для здійснення відповідної форма оцінювання
Модульна контрольна робота 1	жовтень
Модульна контрольна робота 2	кінець листопада-початок грудня
Виконання студентами самостійних робіт	Початок грудня
Добір балів/додаткова контрольна робота та/або доскладання домашніх завдань	грудень
Залік	друга половина грудня

Розрахунок балів, які студент отримує при успішній здачі заліку:

	Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2	Залік	Підсумкова оцінка
Мінімум	*15*	*15*	*24*	*60*
Максимум	**30**	**30**	**40**	**100**

7.3. Шкала відповідності оцінок

Оцінка (за національною шкалою) / National grade	Рівень досягнень, % / Marks, %
Відмінно / Excellent	90-100%
Добре / Good	75-89%
Задовільно / Satisfactory	60-74%
Незадовільно / Fail	0-59%

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекційних занять

№ п/п	Назва теми	У тому числі			
		Лекції	Практичні заняття	Лабораторні заняття	Самостійна робота
Змістовий модуль 1. Основи фізики конденсованих середовищ. Електро- та теплопровідність металів.					
1	Вступ. Основні поняття та уявлення. Основні класи конденсованих середовищ.	4	-	-	8
2	Квазічастинки. Електро- й теплопровідність конденсованих середовищ	5	-	-	10
3	Основи зонної теорії конденсованих середовищ	4	-	-	8
4	Надпровідність і надплинність	4	-	-	8
Змістовий модуль 2. Квантові явища у напівпровідниках і низьковимірних системах					
5	Парамагнетики, феромагнетики й антиферомагнетики. Спінтроніка	5	-	-	10
6	Зонна структура напівпровідників	4	-	-	8
7	Статистика носіїв у напівпровідниках	4	-	-	8
8	Нерівноважні процеси в напівпровідниках. Основи фізики напівпровідникових	5	-	-	10

	приладів				
9	Основи фізики низьковимірних систем. Графен	3	-	-	11
	Всього	**38**	**-**	**-**	**81**

Загальний обсяг ***120*** *год.*, в тому числі:
Лекцій – ***38*** *год.*
Консультація – *1 год.*
Самостійна робота **-** ***81*** *год.*

САМОСТІЙНА РОБОТА СТУДЕНТІВ

Індивідуальне завдання: за всіма темами за навчальним посібником М.В.Стріха. Фізика конденсованого середовища (http://phys-el.univ.kiev.ua/resources/CondMat.pdf); додатково з тем 1-8: за розділами підручника: М.А.Рувімський, Б.К.Остафійчук, М.О.Галущак, Д.М.Фреїк, М.М.Яцура. Курс загальної фізики. Квантова фізика атомів, молекул і конденсованих середовищ (Плай, Київ – Івано-Франківськ, 1998): за темами 6-8: визначені викладачем розділи монографії P.Y.Yu, M.Cardona. Fundamentals of Semiconductors (Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2001); за темою 9 – опрацювання огляду: Ю.О. Кругляк, М.В. Стріха. Узагальнена модель Ландауера-Датта-Лундстрома в застосуванні до транспортних явищ у графені // Український фізичний журнал. Огляди. – 2015. – т.10, №1. – С.3-32; та визначених викладачем розділів з монографій V.V.Mitin, V.A.Kochelap, M.A.Stroscio. Quantum Heterostructures (Cambridge University Press, Cambridge, 1999) та H.Kalt, M.Hetterich (Eds) Optics of Semiconductors and Their Nanostructures (Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2004).

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. М.В.Стріха. Фізика конденсованого середовища. К.: КНУ ім. Тараса Шевченка (2023). Режим доступу: http://phys-el.univ.kiev.ua/resources/CondMat.pdf .
2. P.Y.Yu, M.Cardona. Fundamentals of Semiconductors (Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2001).
3. V.V.Mitin, V.A.Kochelap, M.A.Stroscio. Quantum Heterostructures (Cambridge University Press, Cambridge, 1999).
4. A.M.Stoneham, Theory of Defects in Solids (Oxford University Press, Oxford, 2001)
5. C.Klingshirn. Semiconductor Optics (Springer, Berlin, Heidelberg, 2005).
6. H.Kalt, M.Hetterich (Eds) Optics of Semiconductors and Their Nanostructures (Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2004).
7. Deep Centers in Semiconductors, Ed. by S.T.Pantelidis (Gordon and Breach, Switzerland, 1992).
8. E.N.Economou, Green's Functions in Quantum Physics (Springer-Verlag, Berlin, 1983).
9. B.K.Ridley. Quantum processes in semiconductors (Clarendon Press, Oxford, 1982).
10. J.Callaway, Quantum Theory of the Solid State (Academic, New York, 1967).

11. Ю.О. Кругляк, М.В. Стріха. Узагальнена модель Ландауера-Датта-Лундстрома в застосуванні до транспортних явищ у графені // Український фізичний журнал. Огляди. – 2015. – т.10, №1. – С.3-32.

12. І.М.Дмитренко. Електроніка і надхолод. (Київ, Наукова думка, 1969).

13. В.В.Покропивний, Л.В.Поперенко. Фізика наноструктур. (Київ, КНУ ім.Т.Г.Шевченка, 2008).

14. М.А.Рувімський, Б.К.Остафійчук, М.О.Галущак, Д.М.Фреїк, М.М.Яцура. Курс загальної фізики. Квантова фізика атомів, молекул і конденсованих середовищ (Плай, Київ – Івано-Франківськ, 1998).