




Програму рекомендовано до затвердження Вченою Радою факультету математики, фізики та інформаційних технологій «3» вересня 2020 року, Протокол №1

Розробники програми:

доктор фізико-математичних наук, професор Ніцук Ю.А.,

Програма затверджена на засіданні кафедри експериментальної фізики Протокол № 1 від “31” серпня 2020 року

Завідувач кафедри

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

Сминтина В.А.  
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено навчально-методичною комісією (НМК) ФМФІТ:

Протокол № 1 від “ 3 ” вересня \_\_\_\_\_ 2020 року

Голова НМК

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

Ніцук Ю.А.  
(прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Явища переносу у напівпровідниках» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти (доктор філософії). Галузь знань: 10 – «Природничі науки». Спеціальність: 104 – «Фізика та астрономія».

Освітньо-наукова програма: « Фізика та астрономія».

### 1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є: надати майбутнім докторам філософії з фізики та астрономії необхідного мінімуму попередніх відомостей з особливостей технології отримання напівпровідникових матеріалів для різних напрямів сучасної фізики.

Засвоєння фундаментальних фізичних складових, отримання практичних навичок, що здобуваються в межах дисципліни «Технологія напівпровідникових матеріалів» є умовою для подальшого засвоєння дисциплін за вибором з циклу професійної підготовки, успішного виконання експериментальної наукової роботи.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є: засвоєння аспірантами основ технології отримання об'ємних, тонкошарових та наноструктурованих напівпровідникових наноматеріалів та напівпровідникових структур. Інтегральна компетентність (ІК) - здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та/або дослідницько інноваційної діяльності, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики. Загальні компетентності:

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК1),
- Здатність управління інформацією (пошук, оброблення та аналіз інформації з різних джерел) (ЗК2),
- Здатність проведення самостійних досліджень (ЗК 9),

Фахові компетентності:

- Здатність застосовувати знання фізики напівпровідників для дослідження властивостей об'ємних та низько розмірних напівпровідників (ФК 4),
- Усвідомлення мети й завдань сучасної фізики та астрономії, здатність вирішувати проблеми й задачі інноваційного характеру в одній із галузей фізики або астрономії (ФК - 9).

1.3. Кількість кредитів 3

1.4. Загальна кількість годин 90

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
Нормативна/ <u>за вибором</u>
Денна форма навчання
Рік підготовки
1-й
Лекції
16 год.
Практичні/семінарські
14 год.
Лабораторні
-
Самостійна робота
60 год.
У тому числі індивідуальні завдання
-

#### 1.6. Заплановані результати навчання:

Згідно з освітньо-науковою програмою «Фізика та астрономія»

спеціальності 104 – «Фізика та астрономія» аспіранти можуть досягти наступних результатів навчання:

- Володіти різноманітними методами одержання напівпровідникових матеріалів і структур; вміти здійснювати технологічні процеси одержання напівпровідникових структур для напівпровідникової сенсорики та фотоніки та визначати їх основні характеристики;
- Знати актуальні напрями наукових досліджень з фізики і астрономії та аналізувати історію розвитку фізики та астрономії в порівнянні з сучасною проблематикою науки;

### 2. Тематичний план навчальної дисципліни

1 рік

#### Розділ 1. Кінетичні явища у напівпровідниках

*Тема 1. Кінетичні рівняння Больцмана. Механізми розсіювання носіїв заряду у напівпровідниках.* Нерівноважна функція розподілу в рівнянні Больцмана. Час релаксації. Розсіювання носіїв заряду на іонізованих домішках. Диференціальний ефективний переріз і інтегральний переріз розсіювання. Формула Резерфорда. Зв'язок між часом релаксації і перерізом розсіювання. Формула Конуелла-Вайскопфа. Розсіювання на нейтральних домішках. Розсіювання на теплових коливаннях ґратки. Розсіювання на дислокаціях. Залежність довжини вільного пробігу і рухливості носіїв струму від енергії.

*Тема 2. Електропровідність напівпровідників.* Отримання формули для питомої електропровідності з кінетичного рівняння Больцмана. Електропровідність в слабких електричних полях. Вплив концентрації домішок на електропровідність. Залежність електропровідності від температури. Вплив температури на концентрацію носіїв струму та їх рухливість. “Гарячі” електрони. Польова іонізація. Ударна іонізація. Термоелектронна іонізація, стимульована полем по Френкелю. Шоттківська емісія електронів. Ефект Ганна. Вплив магнітного поля на електропровідність напівпровідників. Тензорезистивний ефект.

*Тема 3. Теплопровідність напівпровідників.*

Електронна теплопровідність. Закон Відемана-Франца. Відхилення від закону Відемана-Франца. Теплопровідність кристалічної ґратки та її температурна залежність. Фононна теплопровідність.

*Тема 4. Термоелектричні явища в напівпровідниках.*

Явища Зеебека, Пельтьє і Томсона. Виведення коефіцієнту термо-едс. Залежність термо-едс від температури і концентрації домішок.

*Тема 5. Гальваномагнітні і термомагнітні явища у напівпровідниках.*

Гальваномагнітні явища. Слабкі і сильні поля. Ефект Холла. Холлівська рухливість і її зв'язок з дрейфовою рухливістю носіїв струму. Ефект Еттінгсгаузена. Повздовжні ефекти. Ефект Нернста. Термомагнітні явища. Поперечні ефекти Рігі-Ледюка і Нернста- Еттінгсгаузена і повздовжні ефекти Маджі-Рігі-Ледюка і Нернста- Еттінгсгаузена.

### 3. Структура навчальної дисципліни

	Кількість годин
--	-----------------

Тема	Усього	Лек.	Пр.	Лаб.	Інд.	СР
1	2	3	4	5	6	7
<b>Розділ 1. Кінетичні явища у напівпровідниках</b>						
1. Кінетичні рівняння Больцмана. Механізми розсіювання носіїв заряду у напівпровідниках.	18	2	4	-	-	12
2. Електропровідність напівпровідників.	18	2	4	-	-	12
3. Теплопровідність напівпровідників.	18	4	2	-	-	12
4. Термоелектричні явища в напівпровідниках.	18	4	2	-	-	12
5. Гальваномагнітні і термомагнітні явища у напівпровідниках.	18	4	2	-	-	12
Усього годин	90	16	14	-	-	60

#### 4. Теми практичних занять

1. Механізми розсіювання носіїв заряду у напівпровідниках.
2. Зв'язок формули для питомої електропровідності з кінетичним рівнянням Больцмана.
3. Електронна теплопровідність.
4. Явища Зеебека, Пельтьє і Томсона.
5. Гальваномагнітні явища. Слабкі і сильні поля. Ефект Холла.

#### 5. Завдання для самостійної роботи

1. Вплив концентрації домішок та температури на електропровідність.
2. Теплопровідність кристалічної ґратки та її температурна залежність. Фононна теплопровідність.
3. Методи визначення концентрації носіїв та домішок в напівпровідниках.
4. Холлівська рухливість і її зв'язок з дрейфовою рухливістю носіїв струму.

#### 6. Індивідуальні завдання

1. Домішкова електропровідність.
2. Вироджені напівпровідники.
3. Механізми розсіювання у власних і домішкових напівпровідниках
4. Обчислення концентрації за допомогою коефіцієнта термо-ЕРС.
5. Визначення концентрації носіїв за допомогою ефекту Холла.
6. Ефект Нернста.

#### Методи навчання

При викладанні дисципліни використовуються словесні методи навчання, наочні методи навчання. Головним словесним методом навчання є лекція. Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод або інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція - відтворення); метод проблемного викладу; частково-пошуковий, або евристичний метод.

Під час практичних занять використовуються наступні методи навчання частково-пошуковий, або евристичний метод; дискусійний метод. Під час самостійної роботи використовуються наступні методи навчання: дослідницький метод.

### 8. Методи контролю

Для кожної теми формами контролю навчальних здобутків студентів можуть бути поточний контроль: конспект з лекцій; оцінка активності роботи на лекціях; аудиторне поточне опитування; домашні завдання. Підсумковий семестровий контроль (залік). Підсумкові бали для оцінки знань студентів за розділ розраховуються таким чином:

№	Вид роботи	Форма контролю	Число балів
1.	Відвідування лекцій	Конспект	3
2.	Активність на семінарах		3
3.	Сумма		6

### 9. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання					Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Індивідуальні завдання	Разом	Залікова робота	Сума
Розділ 1									
T1	T2	T3	T4	T5					
6	6	6	6	6		10	40	60	100

### 9. Критерії оцінювання навчальних досягнень

Підсумковий семестровий контроль (залік) проводиться у письмовій формі. Екзаменаційний білет містить два теоретичних питання, кожне з яких оцінюється окремо за 30 бальною шкалою

Критерії оцінювання теоретичного питання:

- повна розгорнута відповідь – 30 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь – 25 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність – 26 балів, за кожен наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;
- неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей – 20 балів, за кожен наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;
- відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Кількість балів, що аспірант отримав назаліку, є сумою балів, що були отримані за кожне завдання з екзаменаційного білету.

Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю за шкалою, що наведена нижче.

### Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка		
	За шкалою ЄКТС	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання

90 – 100	A	відмінно	зараховано
85-89	B	добре	
75-84	C		
70-74	D	задовільно	не зараховано
60-69	E		
35-59	FX	незадовільно	
1-34	F		

## **10. Рекомендована література**

### **Перелік навчально-методичної літератури**

#### **1. Основна література**

1. В.И.Фистуль. «Введение в физику полупроводников». 1984г.
2. Б.М.Аскеров. Электронные явления переноса в полупроводниках. –М.: Наука, 1985.
3. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников// М: Наука.- 1977.
4. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. –М.: Л.:, 1962.
5. В.А. Пастернак. Методическое пособие к спецкурсу «Кинетические явления в полупроводниках», - ОНУ, 2011.
6. В.А.Пастернак, Ю.Н.Каракис. Методические указания к лабораторным работам по спецпрактикуму «Кинетические явления в полупроводниках», - ОНУ, 2017.

#### **2. Додаткова література**

1. Киреев П.С. Физика полупроводников. –М.: Высшая школа, 1969.
2. Сильбанс Л.С. Физика полупроводников. –М.:Советское радио, 1967.

## **11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення**

1. [https://radfiz.org.ua/files/k4/medu/s8\\_info/s8\\_microelEdx.org](https://radfiz.org.ua/files/k4/medu/s8_info/s8_microelEdx.org)
2. <https://library.kre.dp.ua/Books/2-4%20kurs/>
3. <https://www.ferra.ru/review/techlife/semiconductor-technology-part-1.htm>