

Розробники²: Оліх Олег Ярославович, доктор фіз.-мат. наук, доцент,
доцент кафедри загальної фізики
(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри _____

_____ (Боровий М.О.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Протокол № 12 від 21 травня 2020 р.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

протокол №33 від 11 червня 2020 року

Голова науково-методичної комісії _____ (Оліх О.Я.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

« _____ » _____ 2020 року

² Розробляється лектором. Робоча програма навчальної дисципліни розглядається на засіданні кафедри (циклової комісії – для коледжів), науково-методичної комісії факультету/інституту (радї навчального закладу - коледжу), підписується завідувачем кафедри (головою циклової комісії), головою науково-методичної комісії факультету/інституту (головою ради) і затверджується заступником декана/директора інституту з навчальної роботи (заступником директора коледжу).

ВСТУП

1. Мета дисципліни – отримання глибоких та систематичних знань щодо принципів роботи та можливих шляхів реалізації електронних приладів, розміри яких знаходяться у нанометровому діапазоні.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

1. Знати основи квантової механіки, фізику напівпровідників, загальну фізику (розділи «Електрика та магнетизм», «Атомна фізика»), принципи роботи класичних електронних пристроїв, структуру електронних оболонок як ізольованих атомів, так і при їх включенні в періодичні структури.
2. Вміти застосовувати попередні знання з курсів математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, квантової механіки для розв'язку рівнянь та для опису систем зниженої розмірності, аналізувати зонні схеми.
3. Володіти елементарними навичками побудови зонної схеми, обчислення коефіцієнта тунелювання, оцінки величини струму.

3. Анотація навчальної дисципліни / референс:

В рамках курсу «Напівпровідникова наноелектроніка» розглядаються вплив обмеженої розмірності на процеси перенесення заряду, та шляхи реалізації функції, передбачених в класичних електронних пристроях, за допомогою структур зменшеного розміру. Метою вивчення дисципліни є отримання глибоких та систематичних знань щодо принципів роботи та можливих шляхів реалізації електронних приладів, розміри яких знаходяться у нанометровому діапазоні. Навчальна задача курсу полягає у засвоєнні принципів роботи одно електронних, молекулярних, спінових та вуглецевих наноелектронних елементів. Методи викладання: лекції, консультації. Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, модульні контрольні роботи, іспит. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (40%) та іспиту (60%).

4. Завдання (навчальні цілі) – засвоєння студентами основних особливостей квантового перенесення заряду, особливостей скейлінгу, механізмів молекулярної провідності, принципів роботи спітронних пристроїв.

Дисципліна спрямована на досягнення таких *компетентностей* як:

- знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК02);
- здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК04);
- здатність використовувати закони та принципи фізики у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ (СК01);
- здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях (СК05);
- здатність застосовувати теорії опису фізичних властивостей наносистем різних типів (СК012)

5. Результати навчання за дисципліною: (описуються з детальною достовірністю для розробки заходів оцінювання)

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)		Методи викладання і навчання	Методи оцінювання	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1.1	знати механізми перенесення заряду в структурах з обмеженою розмірністю	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування	15
1.2	знати розмірні ефекти, які виникають при виготовленні напівпровідникових електронних пристроїв	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування	10
1.3	знати фізичні принципи, на яких ґрунтується робота приладів молекулярної та вуглецевої наноелектроніки	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування	15
1.4	знати особливості перенесення заряду у низько розмірних вуглецевих структурах	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування	10
2.1	вміти оцінити максимальну швидкодію та енергоспоживання низькорозмірних транзисторів	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування	10
2.2	вміти розраховувати коефіцієнти заломлення електронних лінз при балістичному перенесенні заряду	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування	10
2.3	вміти оцінити висоту внутрішніх бар'єрів за вольт-амперною характеристикою двобар'єрних одно електронних структур	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування	10
2.4	вміти визначати гібридизацію та характер зв'язків у вуглецевих структурах	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування	10
4.1	знаходити інформацію щодо новітніх вуглецевих електронних пристроїв	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування	5
4.2	аналізувати взаємозв'язок технології виробництва транзисторів з їх максимальною швидкодією	лекції	модульна контрольна робота, усне опитування	5

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін)

Програмні результати навчання	Результати навчання дисципліни										
	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	4.1	4.2	
PH05. Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних явищ, об'єктів і процесів.	+			+	+	+	+	+			
PH10. Відшукувати інформацію і дані, необхідні для розв'язання складних задач			+					+	+	+	

* заповнюється за необхідністю, наприклад для практик, лабораторних курсів тощо.

фізики, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отримані інформацію та дані.										
РН20. Знати механізми формування електротранспортних та магнітних властивостей нанокарбонових систем різної мірності та структурної досконалості.	+	+	+	+	+					
РН25. Знати методи отримання та особливості структури наносистем, а також вміти встановлювати причинно-наслідковий зв'язок між особливостями їхнього складу та властивостей.		+		+	+			+		+

7. Схема формування оцінки:

7.1 Форми оцінювання студентів: (зазначається перелік видів робіт та форм їх контролю / оцінювання із зазначенням Міп. – рубіжної та Мах. кількості балів чи відсотків)

- семестрове оцінювання:

1. Опитування під час першого змістового модуля – 10 балів/ 6 балів
2. Модульна контрольна робота 1 – 20 балів/ 12 балів
3. Опитування під час другого змістового модуля – 10 балів/ 6 балів
4. Модульна контрольна робота 2 – 20 балів/ 12 балів

Модуль 1: оцінка за відповіді при усному опитуванні та за модульну контрольну роботу з теми «Перенесення заряду в структурах з обмеженою розмірністю» – 30 балів (рубіжна оцінка 18 балів).

Модуль 2: оцінка за відповіді при усному опитуванні та за модульну контрольну роботу з теми «Молекулярна та вуглецева електроніка» – 30 балів (рубіжна оцінка 18 балів).

Для студентів, які упродовж семестру не досягли мінімального рубіжного рівня оцінки (60% від максимально можливої кількості балів) проводиться заключна семестрова контрольна робота, максимальна оцінка за яку не може перевищувати 20% підсумкової оцінки (до 20 балів за 100-бальною шкалою).

- підсумкове оцінювання у формі іспиту, максимальна оцінка 40 балів (рубіжна оцінка 24 бали). Підсумкова кількість балів з дисципліни (максимум 100 балів), яка визначається як сума балів за систематичну роботу впродовж семестру та за результатами проведення іспиту. *Результатами навчання, які оцінюються під час іспиту, є РН 1.1. - 4.2.*

При простому розрахунку отримаємо:

	ЗМ1	ЗМ2	іспит	Підсумкова оцінка
<i>Мінімум</i>	18	18	24	60
Максимум	30	30	40	100

Студент не допускається до іспиту, якщо під час семестру набрав менше 24 балів. Для допуску до екзамену студент обов'язково має написати передбачені програмою контрольні роботи або написати заключну семестрову контрольну роботу. Оцінка за залік не може бути

меншою 36 балів для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

Умовою отримання позитивної результуючої оцінки з дисципліни є досягнення не менш як 60% від максимально можливої кількості балів.

7.2 Організація оцінювання: (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням, у тому числі, результатів навчання, опанування яких перевіряється конкретним оцінюванням).

Рівень досягнення запланованих результатів навчання визначається за результатами написання та захисту письмових контрольних робіт, відповідей при усному опитуванні.

Питома вага результатів навчання у підсумковій оцінці за умови її опанування на належному рівні:

– результати навчання 1.1. – 1.4 (знання) – до 50% ;

– результати навчання 2.1. – 2.4 (вміння) – до 40% ;

– результати навчання 4.1. – 4.2 (автономність і відповідальність) – до 10% .

У курсі передбачено 2 змістові модулі. Після завершення відповідних тем проводяться модульні контрольні роботи. Передбачено також усне опитування під час лекцій.

7.3 Шкала відповідності

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

СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ

№ п/п	Назва теми	Кількість годин		
		лекції	лабораторні	Самостійна робота
Частина 1. Перенесення заряду в структурах з обмеженою розмірністю				
1	Тема 1. Вступ. Етапи розвитку електроніки. Типи квантово-розмірних структур. Характеристичні довжини в мезоскопічних системах. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Еволюція величини проектної норми.	2		4
2	Тема 2. Особливості роботи нанорозмірних класичних транзисторів. Скейлінг. Швидкодія. Споживання енергії. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Струми втрат в нанорозмірних транзисторах.	2		4
3	Тема 3. Пристрої на балістичних електронах. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Особливості 4-х зондового методу при його застосуванні до балістичних структур.	2		4
4	Тема 4. Квантові інтерференційні транзистори. Дисперсійні співвідношення в двовимірних системах. Наноелектронні діоди. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Основні механізми розсіяння носіїв заряду в двовимірних системах.	2		6

5	Тема 5. Пристрої з селективним легуванням. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Побудова зонної діаграми структури широкозонний напівпровідник- вузькозонний напівпровідник на прикладі системи AlGaAs-GaAs.	2		4
6	Тема 6. Явище кулонівської блокади, умови спостереження. Кулонівська блокада у двобар'єрних структурах, форма вольт-амперної характеристики. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Вплив дискретизації енергетичного спектру квантової точки на ВАХ двобар'єрної структури.	2		4
7	Тема 7. Принцип роботи одноелектронного транзистора. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Темп тунелювання в одноелектронному транзисторі.	2		4
8	Тема 8. Методи реалізації одноелектронного транзистора. Одноелектронні пристрої. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Квантово-точкові клітинні автомати.	2		4
	<i>Модульна контрольна робота 1</i>			2
Частина 2. Молекулярна та вуглецева електроніка				
9	Тема 9. Гібридизація орбіталей атому вуглецю. Механізми молекулярної провідності. Використання органічних плівок у електронних елементах. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Солітони.	2		4
10	Тема 10. Методи формування контактів до окремих молекул. Елементи молекулоники. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Молекулярні логічні елементи.	2		4
11	Тема 11 Явище гігантського магнітоопору. Спінний польовий транзистор. Спін-вентильний транзистор. Спінтронне збереження та зчитування інформації. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Матеріали спінтроніки.	2		4
12	Тема 12. Структура та фізичні властивості графену. Вектор хіральності. Транзистори з графеновими шарами. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Дисперсійні співвідношення в графені.	2		4
13	Тема 13. Вуглецеві нанотрубки. Наноелектронні пристрої на вуглецевих нанотрубках. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Нанокатоли на вуглецевих нанотрубках.	2		4
14	Тема 14. Типи резонансно-тунельних діодів. Резонансно-тунельний транзистор. Транзистори на гарячих електронах. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. RHET-транзистор.	4		2
	<i>Модульна контрольна робота 2</i>			2
	ВСЬОГО	30	0	60

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

Загальний обсяг 90 год.³, в тому числі:

Лекцій – **30 год.**

Семінари – **0 год.**

Практичні заняття – **0 год.**

Лабораторні заняття – **0 год.**

Тренінги – **0 год.**

Консультації – **1 год.**

³ Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА⁴:

Основна: (Базова)

1. Мартинес-Дуарт Дж.М., Мартин-Палма Р.Дж., Агулло-Руеда Ф. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники, М., «Техносфера», 2009, 368 с.
2. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники. М., «Университетская книга», «Логос», «Физматкнига», 2006, 496 с.
3. Наноэлектроника. Часть I. Введение в наноэлектронику. Под ред. А.А. Орликовского, М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009, 720 с.
4. Щука А.А. Наноэлектроника. М., «Физматкнига», 2007, 464 с.
5. Герасименко Н.Н., Пархоменко Ю.Н. Кремний – материал наноэлектроники. М., «Техносфера», 2007, 352 с.
6. Лозовский В.Н., Константинова Г.С., Лозовский С.В. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность. Спб., «Лань», 2008, 336 с.
7. Зебрев Г.И. Физические основы кремниевой наноэлектроники. М., «БИНОМ. Лаборатория знаний», 2011, 240 с.

Додаткова:

1. Елисеев А.А., Лукашин А.В. Функциональные наноматериалы. М., «Физматлит», 2010, 456 с.
2. Кравченко А.Ф., Овсяк В.Н. Электронные процессы в твердотельных системах пониженной размерности, Новосибирск, Изд-во Новосиб. ун-та, 2000, 448 с.
3. Минько М.И., Строкова В.В., Жерновский И.В., Нарцев В.М. Методы получения и свойства нанобъектов. М., «Флинта: Наука», 2009, 168 с.
4. Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А. Физика низкоразмерных систем. Спб., «Наука», 2001, 160 с.
5. Поплавко Ю.М., Борисов О.В., Ильченко В.І., Якименко Ю.І. Мікроелектроніка та наноелектроніка. Вступ до спеціальності. Київ, НТУУ «КПІ», 2010, 160 с.
6. Неверов В.Н., Титов А.Н. Физика низкоразмерных систем. Екатеринбург, 2008, 233 с.

⁴ В тому числі Інтернет ресурси