

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кафедра _____ мікро- та наноелектроніки _____
(найменування кафедри)

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
ВСТУП ДО МЕЗОСКОПІЧНОЇ ФІЗИКИ
(назва навчальної дисципліни)

Освітня програма: _____ Мікро- та наноелектронні прилади і пристрої _____
(назва освітньої програми)

Спеціальність: _____ 153 Мікро- та наносистемна техніка _____
(найменування спеціальності)

Галузь знань: _____ 15 Автоматизація та приладобудування _____
(найменування галузі знань)

Ступінь вищої освіти: _____ магістр _____
(назва ступеня вищої освіти)

Затверджено на засіданні кафедри
_____ мікро- та наноелектроніки _____
(найменування кафедри)

Протокол № 1 від 17 серпня 2021 р.

Запоріжжя, 2021

1. Загальна інформація	
Назва дисципліни	<u>ВК</u> Вступ до мезоскопічної фізики Вибіркова навчальна дисципліна.
Рівень вищої освіти	другий (магістерський) рівень
Викладач	Погосов В.В., д-р. фіз.-мат. наук, професор
Контактна інформація викладача	7646733, телефон викладача 0957717794, e-mail: vpogosov@zntu.edu.ua
Час і місце проведення навчальної дисципліни	Згідно до розкладу занять
Обсяг дисципліни	Кількість годин – загальний обсяг 210 годин кредитів – 6 кредитів ЄКТС, з яких 1,5 кредити ЄКТС – курсовий проект, а 5 кредитів ЄКТС – на вивчення дисципліни 28 годин лекційних, 28 годин практичних занять, 94 години самостійна робота, 45 годин індивідуальна робота (курсний проект), вид контролю – екзамен
Консультації	Згідно з графіком консультацій https://zp.edu.ua/kafedra-mikro-ta-nanoelektroniki
2. Пререквізити і постреквізити навчальної дисципліни	
<p>Пререквізити Дисципліни за освітнім ступенем бакалавра: Вища математика, Фізика, Фізична хімія, Фізика твердого тіла, Квантова механіка, Статистична фізика, Фізика напівпровідників, Фізика низькорозмірних систем, Фізика нанокластерів і тонких плівок.</p> <p>Постреквізити Дисципліна: Методи діагностики та аналізу мікро- і наноприладів і пристроїв, Стажування (переддипломна практика), Магістерська робота.</p>	
3. Характеристика навчальної дисципліни	
<p>Термін «мезоскопічний» вживають для позначення фізичних систем, які мають проміжний розмір між мікроскопічним та макроскопічним. Це звичайно розміри порядку кількох нанометрів і системи з тисячами атомів. Мезоскопічні системи втрачають частину мікроскопічних характеристик і квантових ефектів, але водночас число частинок у них не досить велике для того, щоб коректно працювала статистична фізика, яка успішно описує макроскопічні системи. На мезоскопічному рівні макроскопічні характеристики системи сильно флюктуують. В мезоскопії принциповим є порівняння розміру системи з довжиною збою фази електрона. В системах, розмір яких не перевищує довжину збою фази, є необхідним розгляд інтерференції електронних хвиль, тобто ефекти слабкої локалізації та електрон-електронної взаємодії в мезоскопічній фізиці відіграють винятково важливу роль. Межі макроскопічної області суттєво залежать від температури і балістичного або дифузійного руху електронів. До мезоскопічних відносяться не тільки явища в пристроях з мезоскопічними</p>	

розмірами, а й явища в макроскопічних пристроях, які визначаються інтерференцією. До мезоскопічних завдань відносять знаходження квантових поправок до опору макроскопічних зразків. Комбінація квантового шуму, квантового зворотного впливу резистивного контуру та коливань провідності одноелектронного транзистора охоплює надзвичайно широкий спектр мезоскопічних явищ. Експерименти у вакуумі з використанням стандартного холодильника для розведення кріогенів, прокладають шлях до діапазону субмілікельвіна за допомогою додаткових технологій термалізації та охолодження. Тому вивчення навчальної дисципліни «Вступ до мезоскопічної фізики» дозволить студенту здійснити концептуальний виклад мети, змісту, методів дослідження, які забезпечують отримання максимально об'єктивної, точної, систематизованої інформації про процеси та явища.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент отримає

загальні компетентності:

- ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;
- ЗК2. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово;
- ЗК4. Здатність проводити дослідження на відповідному рівні;
- ЗК5. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел;
- ЗК6. Здатність генерувати нові ідеї (креативність),

фахові компетентності:

- СК5. Здатність аргументувати вибір методів розв'язання складних задач і проблем мікро- та наносистемної техніки, критично оцінювати отримані результати та аргументувати прийняті рішення;
- СК6. Здатність користуватися сучасними системами пошуку та аналізу науково-технічної інформації, проводити патентний пошук і дослідження та здійснювати захист інтелектуальної власності;
- СК7. Здатність розробляти і реалізовувати наукові та/або інноваційні проекти у сфері мікро- та наносистемної техніки, а також дотичні до неї міждисциплінарні проекти.

Очікувані програмні результати навчання:

- Р4. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері мікро- та наноелектроніки, для розв'язування складних задач професійної діяльності;
- Р5. Вільно спілкуватися державною та іноземною мовами усно і письмово для обговорення професійних проблем і результатів діяльності у сфері мікро- та наноелектроніки, презентації результатів досліджень та інноваційних проектів;
- Р6. Розробляти вироби та компоненти мікро- та наносистемної техніки, враховуючі вимоги до їх характеристик, технологічні та ресурсні обмеження; використовувати сучасні інструменти автоматизації проектування;
- Р8. Збирати необхідну інформацію, використовуючи науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела, аналізувати і оцінювати її;
- Р11. Досліджувати процеси у мікро- та наноелектронних системах, приладах й компонентах з використанням сучасних експериментальних методів та обладнання, здійснювати статистичну обробку та аналіз результатів експериментів;
- Р12. Будувати і досліджувати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі об'єктів та процесів мікро- та наноелектроніки.

4. Мета навчальної дисципліни

Підготовка спеціалістів, що зрозуміли і засвоїли фундаментальні фізичні закономірності, які визначають поверхневі властивості та транспорт мезосистем. Це дозволить майбутнім спеціалістам орієнтуватись та використовувати знання в різноманітних галузях техніки.

5. Завдання вивчення дисципліни

Пізнавальні – знати основні принципи фізики поверхні, нанофізики; розмірні та топологічні залежності електро- і теплопровідності, магнітні, резонансні і оптичні явища мезосистем тощо; методи фізичних досліджень, зв'язки між окремими розділами науки і техніки; числові значення фізичних величин; основні фізичні моделі.

Практичні – сформулювати практичні навички самостійної роботи з літературою для пошуку інформації про окремі визначення, поняття і терміни, пояснення їх застосування в практичних ситуаціях; розв'язання теоретичних і практичних задач; вміти проводити розрахунки поверхневої енергії та роботи виходу електронів методом функціоналу густини та використовувати фізичні моделі для рішення практичних задач.

6. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Електронні, магнітні та поверхневі властивості мезо-металічних зразків

Вступ. Останні новини за матеріалами Перст та Internet з мезофізики.

Тема 1. Властивості контакта метал-вакуум. Поверхнева енергія і робота виходу електронів. Елементи методу електронної густини. Теорема Хоенберга-Кона. Фотоефект та термоелектронна емісія електронів.

Тема 2. Електронна мікроскопія, роль флуктуацій магнітного поля на вимірювання топології металевих острівців.

Тема 3. Квантовий ефект Холла (КЕХ). Введення. Загальний розгляд. Локалізація в сильних магнітних полях і КЕХ. Дробовий КЕХ.

Тема 4. Мезоскопіка і надпровідність. Надпровідні кільця і тонкі дроти. Слабкозв'язані надпровідники. Ефект Джозефсона і SNS контакти. Андріївське відбиття.

Тема 5. Електронні властивості лужних, благородних і перехідних металів. Використання в наноелектроніці та біомедицині.

Тема 6. Електронно-топологічний перехід Ліфшиця $2 \frac{1}{2}$ роду в монокристалах металу під дією тиску. Метали при екстремально високих тисках. Тензоемісійні ефекти у нанокластерах.

Змістовий модуль 2. Транспортні властивості мезосистем

Тема 7. Квантовий транспорт, андерсонівська локалізація: основні принципи, ідеї локалізації. Термоактивована провідність в режимі локалізації. Теорія Таулесса, локалізація в тонких дротах і ефекти кінцевої температури. Скейлінгова теорія локалізації та її наслідки. Режим слабкої локалізації.

Тема 8. Механізми збою фази за рахунок взаємодії з оточенням: додаток до кулонівської взаємодії електронів в металах. Введення і огляд механізмів дефазировки. Збій фази за рахунок електрон-електронної взаємодії. Огляд результатів для різних розмірностей. Співвідношення між часом збою фази і часом електронного розсіювання.

Тема 9. Рівноважні мезоскопічні ефекти і статичні властивості. Введення в термодинамічні флуктуаційні ефекти. Квантова інтерференція і рівноважні властивості.

Тема 10. Квантова інтерференція і транспортні властивості. Формулювання Ландауера і його застосування. Загальні зауваження про провідності Кубо кінцевих систем. Формулювання Ландауера для кондактанса мезоскопічних систем.

Тема 11. Шум в мезоскопічних системах. Дробовий шум для випадку «випромінювання з резервуара». Низькочастотний шум. Елементи квантової теорії кореляторів шумів.

Тема 12. Динамічна ренормалізація провідності кулонівської блокади одноелектронного транзистора.

7. План вивчення навчальної дисципліни

№ тижня	Назва теми	Форми організації навчання	Кількість годин
1	Вступ. Огляд етапів розвитку. Властивості контакта метал-вакуум.	Лекція	2
		Практичне заняття	2
2	Гradientна версія теорії функціоналу густини. Метод Кона-Шема.	Лекція	2
		Практичне заняття	2
3	Електронна мікроскопія, роль флуктуацій магнітного поля на вимірювання топології металевих острівців.	Лекція	2
		Практичне заняття	2
4	Квантовий ефект Холла (КЕХ). Дробовий КЕХ.	Лекція	2
		Практичне заняття	2
5	Мезоскопіка і надпровідність. Ефект Джозефсона.	Лекція	2
		Практичне заняття	2

6	Електронні властивості лужних, благородних і перехідних металів. Використання в наноелектроніці та біомедицині.	Лекція Практичне заняття	2 2
7	Тензоємісійні ефекти у нанокластерах.	Лекція Практичне заняття	2 2
8	Квантовий транспорт, андерсонівська локалізація.	Лекція Практичне заняття	2 2
9	Механізми збою фази за рахунок взаємодії з оточенням: додаток до кулонівської взаємодії електронів в металах.	Лекція Практичне заняття	2 2
10	Рівноважні мезоскопічні ефекти і ведення в термодинамічні флуктуаційні ефекти. Квантова інтерференція.	Лекція Практичне заняття	2 2
11	Квантова інтерференція і транспортні властивості. Формулювання Ландауера і її застосування.	Лекція Практичне заняття	2 2
12	Формулювання Ландауера для кондактанса мезоскопічних систем.	Лекція Практичне заняття	2 2
13	Шум в мезоскопічних системах.	Лекція Практичне заняття	2 2
14	Динамічна ренормалізація провідності кулонівської блокади одноелектронного транзистора.	Лекція Практичне заняття	2 2

8. Самостійна робота

№ тижня	Назва теми	Види СР	Кільк. годин	Контрольні заходи
1	Вступ. Огляд етапів розвитку. Властивості контакта метал-вакуум.	Опрацювання літератури, підготовка до практичного заняття	2	Останні новини за матеріалами ПерсТ та Internet з нанотехнологій. Одноелектронні явища в наноструктурах.
2	Гradientна версія теорії функціоналу густини. Метод Кона-Шема.	Підготовка до практичного заняття, виконання курсового проекту	4	Усне опитування на практичному занятті
3	Електронна мікроскопія, роль флуктуацій магнітного поля на вимірювання топології металевих острівців.	Підготовка до практичного заняття, виконання курсового проекту	8	Усне опитування на практичному занятті
4	Квантовий ефект Холла (КЕХ). Дробовий КЕХ.	Підготовка до практичного заняття, виконання курсового проекту	8	Усне опитування на практичному занятті
5	Мезоскопіка і надпровідність. Ефект Джозефсона.	Підготовка до практичного заняття, виконання курсового проекту	8	Усне опитування на практичному занятті
6	Електронні властивості лужних, благородних і перехідних металів. Використання в наноелектроніці та	Підготовка до практичного заняття, виконання курсового проекту	8	Усне опитування на практичному занятті

	біомедицині.			
7	Тензоємісійні ефекти у нанокластерах.	Підготовка до практичного заняття, виконання курсового проєкту	8	Усне опитування на практичному занятті
8	Квантовий транспорт, андерсонівська локалізація.	Підготовка до практичного заняття, виконання курсового проєкту	6	Усне опитування на практичному занятті
9	Механізми збою фази за рахунок взаємодії з оточенням: додаток до кулонівської взаємодії електронів в металах.	Підготовка до практичного заняття, виконання курсового проєкту	4	Усне опитування на практичному занятті
10	Рівноважні мезоскопічні ефекти і введення в термодинамічні флуктуаційні ефекти. Квантова інтерференція.	Підготовка до практичного заняття, виконання курсового проєкту	4	Усне опитування на практичному занятті
11	Квантова інтерференція і транспортні властивості. Формулювання Ландауера і його застосування.	Підготовка до практичного заняття, виконання курсового проєкту	10	Усне опитування на практичному занятті
12	Формулювання Ландауера для кондактанса мезоскопічних систем.	Підготовка до практичного заняття, виконання курсового проєкту	8	Усне опитування на практичному занятті
13	Шум в мезоскопічних системах.	Підготовка до практичного заняття, виконання курсового проєкту	8	Усне опитування на практичному занятті
14	Динамічна ренормалізація провідності кулонівської блокади одноелектронного транзистора	Підготовка до практичного заняття, виконання курсового проєкту	16	Усне опитування на практичному занятті

Консультативна допомога студенту надається у таких формах:

- особиста зустріч викладача і студента за графіком консультацій (кожний тиждень та за попередньою домовленістю);
- використання системи дистанційного навчання Moodle:
<https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=1662>;
- відеоконференція на платформі Zoom (особиста або колективна за попередньою домовленістю).

9. Система та критерії оцінювання

Система оцінювання курсу.

Оцінка знань студентів здійснюється за кредитно-модульною системою. Навчальний семестр складається з двох змістових модулів.

Для студентів денної форми навчання кожен змістовий модуль оцінюється за 100-бальною шкалою. Підсумкова оцінка визначається як середня двох контролів за перший та другий змістові модулі. Студент має право додатково скласти іспит за 100-бальною шкалою. В цьому випадку підсумкова оцінка визначається як середня в цілому двох змістових модулів та іспиту.

Для студентів заочної форми навчання навчальна дисципліна в цілому оцінюється за 100-бальною шкалою.

Оцінка за 100-бальною шкалою переводиться відповідно у національну шкалу («відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно») та шкалу європейської кредитно-

трансферної системи (ЄКТС –А, В, С, D, E, FX, F).

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проєкту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
85-89	B	добре	
75-84	C		
70-74	D	задовільно	
60-69	E		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
1-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Критерії оцінювання курсу.

Для студентів денної форми навчання кожен змістовий модуль оцінюється за 100-бальною шкалою.

Під час контролю по першому змістовому модулю враховуються наступні види робіт та відповідні критерії:

- * повнота відповіді та активність роботи студента на практичному занятті оцінюється до 6 балів (7 практичних занять по 6 балів = 42 бали);

- * контрольна робота (тестування) – до 58 балів.

Під час контролю по другому змістовому модулю враховуються наступні види робіт та відповідні критерії:

- * повнота відповіді та активність роботи студента на практичному занятті оцінюється до 9 балів (7 практичних занять по 6 балів = 42 бали);

- * контрольна робота (тестування) – до 58 балів.

Підсумковий контроль визначається як середня двох контролів за перший та другий змістові модулі.

Якщо студент додатково складає іспит, то оцінювання на іспиту враховує наступні критерії:

- * студент отримує два питання, які потребують змістовної відповіді, кожне з них оцінюється від 0 до 50 балів;

- * 50–40 балів отримують студенти, які повністю розкрили сутність поняття, дали його чітке визначення або проаналізували і зробили висновок з конкретного теоретичного положення.

- * 39–29 балів отримують студенти, які правильно, але не повністю дали визначення поняття або поверхово проаналізували і зробили висновок з теоретичного положення.

- * 28–18 балів отримують студенти, які правильно, але лише частково визначили те чи інше поняття або частково проаналізували і зробили висновок з теоретичного положення.

- * 17–0 балів отримують студенти, які частково і поверхово визначили те чи інше поняття або сформулювали висновок з теоретичного положення, допустивши неточності та помилки.

В цьому випадку підсумкова оцінка визначається як середня в цілому двох змістових модулів та заліку.

Для студентів заочної форми навчання навчальна дисципліна оцінюється за 100- бальною шкалою.

Під час підсумкового контролю (іспиту) враховуються наступні види робіт та відповідні

критерії:

* правильність виконання, оформлення та повнота відповіді при захисті контрольної роботи студента оцінюється до 76 балів;

* тестування – до 24 балів.

Оцінювання курсового проєкту відбувається за результатами його захисту. Результати захисту курсового проєкту оцінюються за національною шкалою та шкалою ECTS:

Пояснювальна записка	Ілюстративна частина	Захист роботи	Сума
до <u>40</u>	до <u>20</u>	до <u>40</u>	<u>100</u>

10. Політика курсу

Політика щодо академічної доброчесності.

Складати всі проміжні та фінальні завдання самостійно без допомоги сторонніх осіб. Надавати для оцінювання лише результати власної роботи.

Не вдаватися до кроків, що можуть нечесно покращити ваші результати чи погіршити/покращити результати інших студентів.

Не публікувати відповіді на питання, що використовуються в рамках курсу для оцінювання знань студентів.

Політика щодо відвідування аудиторних занять (особиста присутність студента):

Студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, які здатні сформулювати загальні та фахові компетентності. Самостійну роботу студент може виконати у системі дистанційного навчання (<https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=832>) з подальшим захистом. За об'єктивних причин (наприклад, лікарняні, стажування, мобільність, індивідуальний графік, інше) аудиторні види занять та завдань також можуть бути трансформовані в систему дистанційного навчання (сервіс moodle).

Політика щодо дедлайнів.

Студент зобов'язаний дотримуватись крайніх термінів (дата для аудиторних видів робіт або час в системі дистанційного навчання), до яких має бути виконано певне завдання. За наявності поважних причин (відповідно до інформації, яку надано деканатом) студент має право на складання індивідуального графіку вивчення окремих тем дисципліни.

Політика щодо оскарження результатів контрольних заходів.

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто. Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються.

Політика щодо дотримання прав та обов'язків студентів.

Права і обов'язки студентів відображено у п.7.5 Положення про організацію освітнього процесу в Національному університеті «Запорізька політехніка» (https://zp.edu.ua/uploads/dept_nm/Polozhennia_pro_organizatsiyu_osvitnoho_protseesu.pdf).

Політика щодо конфіденційності та захисту персональних даних.

Обмін персональними даними між викладачем і студентом в межах вивчення дисципліни, їх використання відбувається на основі Закону України «Про захист персональних даних» (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2297-17#Text>). Стаття 10, п. 3.