

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І.І.МЕЧНИКОВА
Кафедра фізики та астрономії

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Проректор науково-педагогічної роботи
Олександр ЗАПОРОЖЧЕНКО
“ _____ ” 2022 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ВБ 10.2 «Основи нанофізики»

Рівень вищої освіти	перший (освітньо-професійний)
Галузь знань	10 – Природничі науки
Спеціальність	104 - Фізика та астрономія
Освітньо-професійна програма	Фізика та астрономія

ОНУ
Одеса
2022

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, Спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		Очна (денна) форма навчання
Загальна кількість кредитів – 3, годин – 90, змістовних модулів - 2	Галузь знань 10 – Природничі науки Спеціальність: 104 – Фізика та астрономія Рівень вищої освіти: <u>Перший (освітньо-професійний)</u>	Вибіркова дисципліна
		Рік підготовки:
		4-й
		Семестр
		7-й
		Лекції
		44 год.
		Практичні, семінарські
		0 год.
		Лабораторні
		0 год.
		Самостійна робота
		46 год.
Форма підсумкового контролю: залік		

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є:

- підготовка фахівців, які здатні розв'язувати складні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, що пов'язані зі створенням та дослідженнями наноматеріалів і наноструктур, вивченням фізичних процесів і явищ у них та їх технічними застосуваннями;

- підготовка фахівців, здатних розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з нанофізики та нанотехнологій у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що характеризуються комплексністю і невизначеністю умов та передбачають застосування певних теорій і методів нанофізики.

Завдання – ознайомити здобувачів першого рівня вищої освіти з особливостями властивостей наноматеріалів і структур, фізичними основами роботи скануючих зондових мікроскопів та основами нанотехнології, що дозволить студентам успішно працювати в сфері нанофізики та проводити дослідження з використанням сучасного високотехнологічного обладнання.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних **компетентностей**.

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та/або астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та/або астрономії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності:

К2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

К4. Здатність бути критичним і самокритичним.

К5. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

Спеціальні (фахові) компетентності:

К16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

К24. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

К25. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

K26. Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю.

K27. Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень.

K28. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти повинен знати:

- класифікацію нанооб'єктів;
- вплив поверхні на властивості нанооб'єктів;
- класичні розмірні ефекти у нанооб'єктах;
- квантово-розмірні ефекти у нанооб'єктах;
- енергетичний спектр і щільність станів 2D, 1D, 0D-об'єктів;
- квантування опору балістичних нановимірних дротів;
- механізм гігантського магнітоопору;
- фазові переходи у нанорозмірних феромагнетиках;
- фазові переходи у нанорозмірних сегнетоелектриках;
- фізичні основи роботи скануючого тунельного мікроскопу;
- фізичні основи роботи скануючого атомно-силового мікроскопу;
- методи створення нанооб'єктів;
- властивості низьковимірних вуглецевих систем.

Вміти:

- визначати розміри нанооб'єктів, при яких можливо спостереження класичних і квантово – розмірних ефектів;
- розраховувати енергетичний спектр електронів у 2D, 1D, 0D - нанооб'єктах;

- розраховувати залежність щільності станів електронів від енергії у 2D, 1D, 0D - наноб'єктах;
- розраховувати залежності енергії електронів від розмірів 2D, 1D, 0D - об'єктів;
- визначати характеристики скануючих мікроскопів, що використовуються в нанотехнології;
- здійснювати пошук навчальної, наукової, довідникової літератури та інформаційних ресурсів у галузі нанofізики.

Що забезпечують наступні **програмні результати навчання**:

ПР01. Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та/або астрономії.

ПР03. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.

ПР08. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшуковувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.

ПР09. Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики або астрономії, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.

ПР22. Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства.

ПР23. Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії.

2. Зміст навчальної дисципліни

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 1.

ОСНОВИ НАНОФІЗИКИ І НАНОТЕХНОЛОГІЇ.

Тема 1. Знайомство зі світом нанооб'єктів. Місце нанооб'єктів у шкалі характерних розмірів. Типи наноматеріалів і наноструктур. Поняття нанотехнології. Нанотехнологія у природі. Історія нанотехнології. Внесок Р. Фейнмана у розвиток нанонауки.

Тема 2. Вплив поверхні на властивості нанооб'єктів. Питома площа поверхні різних нанооб'єктів. Поверхнева енергія і натяг. Лапласовський тиск для наночастинки.

Тема 3. Розмірні ефекти. Класичні розмірні ефекти. Квантово-розмірні ефекти. Довжина хвилі де Бройля у металах і напівпровідниках. Внутрішні розмірні ефекти. Зовнішні розмірні ефекти. Розмірний ефект, обумовлений рівнем легування.

Тема 4. Класичні внутрішні розмірні ефекти. Фазові зміни і структурні перебудови у наночастинках. Зменшення параметру кристалічної ґратки. Зменшенні теплопровідності. Збільшення коефіцієнту дифузії. Збільшення напруги пластичної деформації і твердості полікристалів.

Тема 5. Класичні зовнішні розмірні ефекти при взаємодії електромагнітного поля з речовиною. Скін-ефект у нанооб'єктах. Аномальний скін-ефект. Умови спостереження зовнішніх розмірних ефектів. Магнітна поляризація ізотопного провідного циліндру в однорідному періодичному магнітному полі.

Тема 6. Фізичні основи квантово-розмірних ефектів. Розміри і розмірність нанооб'єктів. Рівняння Шредингера для 3D-електронного газу.

Енергетичний спектр і густина станів 3D-електронного газу. Рівняння Шредингера для 2D-електронного газу. Енергетичний спектр і густина станів 2D-електронного газу. Енергетичний спектр і густина станів 1D-електронного газу. Енергетичний спектр і густина станів 0D-електронного газу.

Тема 7. Вплив квантово-розмірних ефектів на характеристики нанооб'єктів. Енергетичні діаграма квантової ями в реальному просторі та в просторі хвильового вектору. Зміна ширини забороненої зони. Оптичні переходи у квантових ямах. Гетеропереходи з квантовими ямами. Надгратки. Квантування опору балістичних нанорозмірних дротів. Квант провідності. Фазові переходи у феромагнетиках і сегнетоелектриках. Суперпарамагнетик. Суперпараелектрик. Гігантський магнітоопір (ГМО) гетероструктур з нанорозмірними шарами магнітного і немагнітного металів. Використання ГМО-елементів для запису інформації.

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 2.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СТВОРЕННЯ НАНООБ'ЄКТІВ.

Тема 8. Зондова нанотехнологія. Загальні питання візуалізації нанооб'єктів. Роздільна здатність різних методів візуалізації. Загальні принципи скануючої зондової мікроскопії. Скануючий тунельний мікроскоп та його використання у нанотехнології. Скануючий атомно-силовий мікроскоп (АСМ). Нанолітографія на основі АСМ.

Тема 9. Методи створення нанооб'єктів. Загальні характеристики підходу зверху і підходу знизу. Механічне подрібнення. Топохімічні реакції. Метод газофазного осадження. Методи диспергування. Методи складання та збирання. Молекулярно-пучкова епітаксія. Метод метал-органічного газофазного осадження. Золь-гель метод. Шаблонний синтез. Самозбірка і самоорганізація. Питання безпеки та зберігання нанооб'єктів.

Тема 10. Властивості та технології виготовлення низьковимірних вуглецевих наноб'єктів. Алотропні форми вуглецю. Фулерени. Фулерити. Вуглецеві нанотрубки та їх властивості. Застосування нанотрубок.

4. Структура навчальної дисципліни «Основи нанофізики»

Назва тем	Кількість годин				
	Очна (денна) форма навчання				
	Усього	У тому числі			
		Лек	Пр.	Лаб.	СР
1	2	3	4	5	6
Змістовний модуль 1. Основи нанофізики та нанотехнології.					
Тема 1. Знайомство зі світом наноб'єктів.	8	4			4
Тема 2. Вплив поверхні на властивості наноб'єктів.	10	4			6
Тема 3. Розмірні ефекти.	8	2			6
Тема 4. Класичні внутрішні розмірні ефекти.	12	8			4
Тема 5. Класичні зовнішні розмірні ефекти при взаємодії електромагнітного поля з речовиною.	8	2			6
Тема 6. Фізичні основи квантово-розмірних ефектів.	10	4			6
Тема 7. Вплив квантово-розмірних ефектів на характеристики наноб'єктів.	12	8			4

Змістовний модуль 2. Методи дослідження та створення наноб'єктів.					
Тема 8. Зондова нанотехнологія.	8	4			4
Тема 9. Методи створення наноб'єктів.	8	4			4
Тема 10. Властивості та технології виготовлення низьковимірних вуглецевих наноб'єктів.	6	4			2
Усього годин	90	44			46

5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені навчальним планом.

6. Теми практичних занять

Практичні заняття не передбачені навчальним планом.

7. Теми лабораторних робіт

Лабораторні роботи не передбачені навчальним планом.

8. Самостійна робота

№	Назва теми	Кількість годин
1.	Механічні властивості нанотрубок.	3
2.	Космічний ліфт.	2
3.	Надпровідність у нанотрубках.	3
4.	Нанотори з нанотрубок.	3
5.	Діелектрична проникність нанотрубок	3

6.	Невуглецеві нанотрубки.	3
7.	Застосування нанотрубок	3
8.	Властивості нанопоруватого кремнію.	4
9.	Використання надграток.	4
10.	Фотонні кристали.	3
11.	Застосування наночастинок у медицині.	3
12.	Одноелектронне тунелювання та його використання у електроніці.	4
	<p>Індивідуальне науково-дослідне завдання (ІНДЗ): Доповідь та мультимедійна презентація за темами:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Методи створення нанооб'єктів за допомогою диспергування (механічне подрібнення, топомімічні реакції, високоенергетичні методи газофазного осадження PVD); 2. Методи складання та збирання нанооб'єктів (метод газофазного осадження CVD, метод молекулярно – пучкової епітаксії, метод метал – органічного газофазного осадження, золь – гель метод, шаблонний синтез, самоскладання); 3. Роздільна здатність різних методів візуалізації поверхні. Загальні принципи скануючої зондової мікроскопії. 4. Скануючий тунельний мікроскоп та його використання у нанотехнології. 5. Скануючий атомно-силовий мікроскоп (АСМ) та його використання у нанотехнології. 	8
	Разом	46

9. Методи навчання

Під час викладання дисципліни використовуються методи:

- словесні: лекції, пояснення, бесіди, дискусії;
- наочні: мультимедійні презентації;
- самостійна робота.

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 самостійної роботи використовується дослідницький метод. Самостійна робота передбачає роботу з літературними джерелами (підручниками, навчальними посібниками, періодичною літературою, електронними джерелами), а також консультації з викладачем.

10. Форми контролю та методи оцінювання

1. Поточний контроль – усне опитування на лекціях; перевірка студентських рефератів, захист індивідуального навчально-дослідного завдання.
2. Періодичний контроль - 2 модульні контрольні роботи та тестування за змістовними модулями;
3. Підсумковий семестровий контроль: залік (7 семестр).

Критерії оцінювання поточного та підсумкового контролю.

Поточний контроль здійснюється шляхом усного опитування попереднього матеріалу на початку кожної лекції, написання та захисту реферату, виконаного здобувачем навчально-дослідного завдання.

Активність студентів на лекціях – усне опитування, оцінюється до 5 балів. Написання реферату та його захист, виконання навчально-дослідницького завдання оцінюються до 15 балів. Результати індивідуального завдання представляються у вигляді доповіді тривалістю до

10 хвилин, що супроводжується презентацією (10 - 15 слайдів). Критеріями оцінювання є: повнота представленого матеріалу, якість доповіді, презентації та відповідей на запитання викладача та однокурсників.

Максимальна загальна оцінка за індивідуальну самостійну роботу та опитування складає 20 балів.

Періодичний (модульний) контроль здійснюється за допомогою письмової модульної контрольної роботи та тесту, які оцінюються максимально в 20 балів за кожний компонент.

Модульна контрольна робота складається з 2 питань, кожне з яких оцінюється за 10 бальною шкалою.

Критерії оцінювання кожного питання з контрольної роботи:

10-9 балів – здобувач правильно і точно відповів на питання, обґрунтовано і логічно виклав матеріал, володіє термінами з екології, робить висновки, виявляє причинно-наслідкові зв'язки;

8-7 балів – здобувач достатньо повно відповів на питання, знає матеріал, володіє термінологією, оцінює причинно-наслідкові зв'язки, але при викладанні не вистачає певної глибини та аргументації, допускає незначні помилки;

6-5 балів – здобувач не в повному обсязі відповів на запитання, відповідь розпливчата, нечітка, допускає помилки;

4-0 балів – здобувач, виявив низький рівень володіння матеріалом, практично не відповів на питання, допустив грубі помилки. Самий низький бал ставиться за відсутність відповіді.

Тест за змістовним модулем може здійснюватися як у формі комп'ютерного тестування, так і письмово в аудиторії. Тест містить 20 тестових завдань з однією правильною відповіддю. Кожна правильна відповідь на 1 тестове завдання оцінюється в 1 бал, неправильна відповідь – 0 балів.

Кількість балів, які здобувач отримав на заліку, є сумою балів, що були отримані за всі види контролю. (наведено в таблиці 12).

11. Питання для підготовки до поточного контролю.

1. Типи наноматеріалів і наноструктур.
2. Питома площа поверхні різних нанооб'єктів.
3. Лапласовський тиск для наночастинки.
4. Класичні та квантові розмірні ефекти.
5. Довжина хвилі де Бройля у металах, напівпровідниках і напівметалах.
6. Внутрішні та зовнішні розмірні ефекти.
7. Розмірний ефект, обумовлений рівнем легування.
8. Фазові зміни у нанооб'єктах.
9. Структурні перебудови у нанокристалах.
10. Зміна сталої кристалічної ґратки.
11. Зменшенні теплопровідності.
12. Збільшення коефіцієнту дифузії.
13. Збільшення напруги пластичної деформації і твердості полікристалів з нанорозмірними зернами.
14. Скін-ефект у нанооб'єктах. Аномальний скін-ефект.
15. Магнітна поляризація ізотропного провідного циліндру в однорідному періодичному магнітному полі.
16. Розміри і розмірність нанооб'єктів.
17. Рівняння Шредінґера для 3D-електронного газу. Енергетичний спектр і густина станів 3D-електронного газу.
17. Рівняння Шредінґера для 2D-електронного газу. Енергетичний спектр і густина станів 2D-електронного газу.
18. Енергетичний спектр і густина станів 1D-електронного газу.
19. Енергетичний спектр і густина станів 0D-електронного газу.
20. Квантування опору балістичних нанорозмірних дротів. Квант провідності.
21. Зміна ширини забороненої зони у нанооб'єктах. «Блакитний» зсув у спектрах фотолюмінесценції.

22. Причини «червоного» зсуву.
23. Енергетичні діаграми квантової ями в реальному просторі та в просторі хвильового вектору.
24. Оптичні переходи у квантових ямах. Гетеропереходи з квантовими ямами.
25. Надгратки.
26. Фазові переходи у ферромагнетиках і сегнетоелектриках.
27. Суперпарамагнетик. Суперпараелектрик.
28. Гігантський магнітоопір (ГМО) гетероструктур з нанорозмірними шарами магнітного і немагнітного металів.
29. Використання ГМО-елементів для запису інформації.
30. Скануючий туннельний мікроскоп та його використання.
31. Скануючий атомно-силовий мікроскоп (АСМ).
32. Нанолітографія на основі АСМ.
33. Методи диспергування у нанотехнології.
34. Методи складання та збирання у нанотехнології.
35. Алотропні форми вуглецю.
36. Застосування фулеренів.
37. Структура вуглецевих нанотрубок.
38. Теплофізичні властивості вуглецевих нанотрубок.
39. Механічні властивості вуглецевих нанотрубок.
40. Електропровідність вуглецевих нанотрубок.

12. Розподіл балів, які отримують здобувачі

Поточний та періодичний контроль				Індивідуальне самостійне завдання, опитування	Сума балів
Змістовний модуль 1. Теми 1-7		Змістовний модуль 2. Теми 8-10			
Контрольна робота	Тест	Контрольн а робота	Тест	20	100
20	20	20	20		

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ЄКТС	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботу), 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	не зараховано
1-34	F	но	

13. Навчально-методичне забезпечення

Навчально-методичне забезпечення: робоча програма навчальної дисципліни, силабус, конспекти лекцій, презентації.

<http://onu.edu.ua/uk/structure/faculty/fmfit/dystsypliny>, <http://phys.onu.edu.ua>.

14. Рекомендована література

Основна

1. Покропивний В. В. Фізика наноструктур. / Покропивний В. В., Поперенко Л. В. / Київ.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». – 2008. – 220с.
2. Азаренков М. О. Наноматеріали і нанотехнології. / Азаренков М. О., Неклюдов І. М., Береснів В. М., Воєводін В. М., Погребняк О.Д., Ковтун Г. П., Соболев О.В., Удовицький В.Г., Литовченко С.В., Турбін П.В.,

- Чишкала В.О. / Харків: Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна. – 2014. – 323 с.
3. Погосов В.В., Нанофізика і нанотехнології. / Погосов В.В., Куницький Ю.А., Бабіч А.В., Коротун А.В., Шпак А.П. / Запоріжжя: ЗНТУ. – 2011. – 380 с.
 4. Поплавко Ю.М. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка. / Поплавко Ю.М., Борисов О.В., Якименко Ю.І./ Київ.: НТУУ «КПІ». – 2012. – 300 с.

Додаткова

1. Кущевська Н.Ф. Наноматеріали та нанотехнології: методи аналізу та контролю. / Кущевська Н.Ф., Терещенко О.Я., Папроцька О.А., Малишев В.В. / Київ: Університет «Україна». – 2018. – 81 с.
2. Кущевська Н.Ф. Наноматеріали та нанотехнології. / Кущевська Н.Ф., Терещенко О.Я., Папроцька О.А., Малишев В.В. / Київ: Університет «Україна». – 2018. – 135 с.
3. Авраменко О.В. Основи нанофізики, наноелектроніки, нанотехнології: навчально – методичний посібник. / Авраменко О.В., Ільницька К.С., Краснобокий Ю.М. – Умань: ВПЦ «Візаві». – 2018. – 138 с.
4. Чекман І.С. Нанонауки: медико – біологічні основи. / Видавничий дім. Медкнига. – 2017. – 220 с.
5. Пилипчук Л.Л. Наноматеріали в хімії та фармації. / Пилипчук Л.Л., Близнюк В.М./ Одеса.: Олді +. – 2020. – 168 с.
6. Уварова І.В. Наноматеріали медичного призначення. / Уварова І.В., Горбик П.П., Горобець С.В., Іващенко О.А., Ульянович Н.В. / Київ: Наукова думка. – 2014 – 416 с.

15. Електронні інформаційні ресурси

1. <http://dspace.onu.edu.ua/>
2. <https://phys.onu.edu.ua>
3. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/44787>
4. <https://www.imp.kiev.ua/nanosys/ru/articles/index.html>