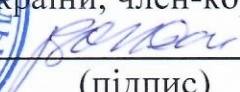


**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**  
**Інститут фізики НАН України**



**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Директором Інституту фізики НАН  
України, член-кор. НАНУ, д.ф.-м.н.

 **М.В. Бондар**

(підпис)

« 27 » жовтня 2023 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**ВК.01**

**Наноструктури і нанотехнології**

для аспірантів

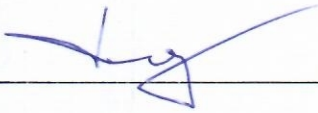
спеціальності: 104 Фізика і астрономія

третього (освітньо-наукового) рівня  
вищої освіти – доктор філософії

**Київ - 2023**

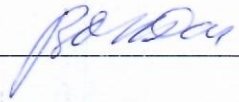
**Розробник:**

Завідувач лабораторії нелінійно-оптичної діагностики новітніх матеріалів Інституту фізики НАН України,

доктор фіз.-мат. наук., проф.  /В.Я. Гайворонський/

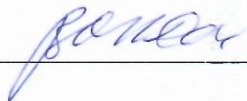
**Робочу програму узгоджено науково-методичною радою**

Протокол № 10-1 від 24 жовтня 2023 р.

Головою науково-методичної ради  /М.В. Бондар/

**Робочу програму затверджено Вченою радою Інституту фізики НАНУ**

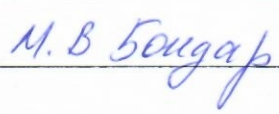
Протокол № 10 від 26 жовтня 2023 р.

Голова Вченої ради  /М.В. Бондар/

Робочу програму погоджено з гарантом освітньо-наукової програми зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія» 27 жовтня 2023р.

Гарант освітньої програми  /М.В. Бондар/

Пролонговано Вченою радою Інституту фізики НАН України:

| навчальні роки<br>продовження | Голова Вченої ради ІФ<br>НАН України                                                | підпис                                                                              | № протоколу | дата протоколу |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|
| 20 <u>24</u> /20 <u>25</u>    |  |  | 5           | 27.06.2024     |
| 20 ____ /20 ____              |                                                                                     |                                                                                     |             |                |
| 20 ____ /20 ____              |                                                                                     |                                                                                     |             |                |
| 20 ____ /20 ____              |                                                                                     |                                                                                     |             |                |

## 1. Загальні відомості

| Найменування показників                  | Характеристика дисципліни за денною формою навчання |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Вид дисципліни                           | вибіркова                                           |
| Мова викладання, навчання та оцінювання  | українська                                          |
| Загальний обсяг кредитів / годин         | 4/120                                               |
| Курс                                     | 2                                                   |
| Семестр                                  | 2                                                   |
| Кількість змістових модулів з розподілом | 1                                                   |
| Обсяг кредитів                           | 4                                                   |
| Обсяг годин,<br>В тому числі:            | 120                                                 |
| Лекції                                   | 30                                                  |
| Практичні заняття                        | 15                                                  |
| Самостійна робота                        | 75                                                  |
| Форма підсумкового контролю              | екзамен                                             |

## 2. Мета, завдання та очікувані результати навчальної дисципліни

Робоча програма навчальної дисципліни ВК.01 «Наноструктури і нанотехнології» є нормативним документом, який розроблений на основі освітньо-наукової програми, далі ОП, (затверджена Вченою радою Інституту фізики НАН України, протоколом № 10 від 26 жовтня 2023 року) підготовки здобувача третього рівня відповідно до навчального плану спеціальності 104 «Фізика та астрономія»

**Передумова вивчення.** Навчальний курс ВК.01 «Наноструктури і нанотехнології» є складовою циклу професійної підготовки фахівців третього освітньо-кваліфікаційного рівня “доктор філософії”. Програма курсу орієнтована на аспірантів, які вже знайомі з загальним курсом фізики, квантової механіки та фізики твердого тіла..

**Мета навчальної дисципліни.** ВК.01 «Наноструктури і нанотехнології»: сформувати загальне уявлення щодо нанотехнології як особливої галузі науки та виробництва; ознайомити з перспективами розвитку нанотехнологій та з спектром їх практичного впровадження з наголосом на їх застосування в галузях біомедицини та екології; пояснити специфіку змін фізико-хімічних властивостей різних класів нанорозмірних матеріалів та наносистем на базі комплексу основних понять та принципів нанотехнології; продемонструвати принциповість міждисциплінарного підходу у галузі нанотехнології.

**Зміст навчальної дисципліни.** Теоретичні та практичні знання, набуті при вивченні дисципліни ВК.01 «Наноструктури і нанотехнології», є сформувати базові уявлення щодо сучасного стану нанотехнологій та нанорозмірних систем/структур, показати специфіку прояву фізико-хімічних ефектів у наноскопічному діапазоні з метою адаптації корисних властивостей наноструктур, ознайомити з сучасними методами дослідження нанооб’єктів, сформувати підходи для застосовування згаданих технологій та методів у практичній та науковій роботі.

**Предметом навчальної дисципліни** ВК.01 «Наноструктури і нанотехнології» є фізичні та хімічні явища, які обумовлюють властивості наноскопічних матеріалів та систем, методи діагностики та технології отримання наносистем та наноматеріалів з заданими специфічними властивостями. Особливу увагу приділено взаємодії об’ємних та поверхневих ефектів, біосумісності сучасних наноматеріалів та їх застосуванні в галузях біомедицини та екології. Специфіку прояву просторово-розмірних ефектів у наноскопічних матеріалах/системах розглянуто на прикладі (1) наноструктурованого кремнію, (2) наночастинок напівпровідників  $A_2B_6$ , (3) наноматеріалів на основі  $TiO_2$  та оксидів металів, (4) нецентросиметричних нанокристалів різного складу, які перетворюють частоту лазерного випромінювання, (5) функціоналізованим карбоновим наноматеріалам (оксид графену, карбонові НЧ, нанодіаманти), (6) металеві НЧ. На прикладі плазмонного резонансу висвітлено сучасну тенденцію переходу від резонансного збудження струмів заряду до резонансів струмів зміщення - резонансів  $M_i$ .

**Основними завданнями навчальної дисципліни ВК.01 «Наноструктури і нанотехнології»** є формування розуміння механізмів виникнення розмірних фізичних/хімічних ефектів у наноскопічних системах та специфіку їх прояву в основних класах наносистем та наноматеріалів; ознайомлення з перспективами розвитку нанотехнологій та з спектром їх практичного впровадження з наголосом на застосування в галузях біомедицини та екології. Особливий наголос буде зроблено у застосуванні сучасних нелінійно-оптичних методик та надкоротких лазерних імпульсів як технологічного підґрунтя для характеристикації, модифікації та синтезу сучасних наносистем та наноматеріалів.

1) Сформувати принципи розуміння прояву просторового обмеження, взаємодії об'ємних та поверхневих ефектів, суттєвої нерівноважності протікання багатьох процесів на наноскопічному рівні.

2) Набути здатність робити оцінки/прогнози властивостей наносистем, що базуються на розумінні фізичних механізмів домінуючих ефектів у наноскопічних системах, розуміти засоби впливу на згадані механізми як під час створення/синтезу наноструктур, так і під час їх дослідження/використання.

3) Підвищити здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями в галузі нанофізики, опрацювати вміння до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел та формування власної експертної оцінки.

4) Сформувати фізичне мислення на підґрунті міждисциплінарного підходу у слухачів в межах матеріалу, що вивчається, розширення їх професійних здібностей у перспективних напрямках розвитку нанотехнологій

#### **Фахові програмні результати навчання (вимоги до знань та вмінь)**

В результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен

**Знати:** механізми виникнення розмірних фізичних та хімічних ефектів; основні класи наносистем та наноматеріалів; основні науково-технологічні проблеми нанотехнології та перспективи її розвитку; специфіку прояву фізичних/хімічних/біологічних властивостей наноскопічних матеріалів; методи та технології отримання наносистем та наноматеріалів з заданими специфічними властивостями (нанооб'єкти певної форми та розміру, з заданим станом інтерфейсу, нанокомпозитні та гібридні матеріали).

**Вміти:** застосувати набуті знання в науково-дослідних та навчальних установах. Зокрема:

1) вміти прогнозувати фізико-хімічні властивості певних класів наноскопічних матеріалів та нанокомпозитів з урахуванням їх складу, будови та розмірів.

2) вміти оцінювати ширину “оптичної” забороненої зони за спектрами поглинання та відбиття, аналізувати індикатриси пружного розсіювання світла для співставлення вкладів власного поглинання та пружного розсіювання світла.

3) вміти оцінити оптичні/електрофізичні властивості композитних наносистем у наближенні ефективного середовища.

4) вміти проаналізувати сучасні публікації у напрямку наносистем та нанотехнологій, підготувати презентацію з певного напрямку (бажано близького до напрямку досліджень слухача), зробити доповідь щодо проблематики, сучасного стану та перспектив розвитку, обґрунтувати свої положення під час дискусії.

**Завданням навчальної дисципліни (відповідно до переліку ОП) ВК.01 «Наноструктури і нанотехнології»** набути компетентності:

Загальні: ЗК1, ЗК2, ЗК3.

Спеціальні: СК1, СК2, СК5, СК6

Програмні результати навчання: РН1, РН4, РН5, РН6, РН7, РН8, РН9.

**3. Тематичний план**  
(структура залікового кредиту)  
з навчальної дисципліни ВК.01 «Наноструктури і нанотехнології»  
(2 курс – 1 семестр)

| №  | Зміст                                                                                                                                                                                                                            | Лекції,<br>год. | Практичні,<br>год. | Самостійна<br>робота, год. | Разом,<br>год. |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------|----------------------------|----------------|
| 1. | <b>Тема 1.</b><br>Вступ. Прояв ефектів просторового обмеження на властивості пористого кремнію                                                                                                                                   | 3               | 3                  | 7                          | 13             |
| 2. | <b>Тема 2.</b><br>Від пористого до чорного кремнію. Застосування нанорозмірного кремнію у сонячній енергетиці та тераностиці.                                                                                                    | 3               | 0                  | 7                          | 10             |
| 3. | <b>Тема 3.</b><br>Прояв розмірного ефекту у нанорозмірних матеріалах $A_2B_6$ . Підсилення світла у напівпровідникових нанокристалах.                                                                                            | 3               | 3                  | 8                          | 14             |
| 4. | <b>Тема 4.</b><br>Специфіка прояву квантово розмірного ефекту у $TiO_2$ . Власні дефекти, їх роль у формуванні властивостей матеріалу                                                                                            | 3               | 3                  | 7                          | 13             |
| 5. | <b>Тема 5.</b><br>Застосування нанорозмірних металооксидів у водневій та сонячній енергетиці та біомедицині.                                                                                                                     | 3               | 0                  | 7                          | 10             |
| 6. | <b>Тема 6.</b><br>Гармонічні НЧ - новий клас біомаркерів на основі перетворення частоти лазерного випромінювання                                                                                                                 | 3               | 3                  | 8                          | 14             |
| 7. | <b>Тема 7.</b><br>Сучасні карбонові наноматеріали на основі оксиду графену та відновленого оксиду графену. Нанодіаманти як біомаркери                                                                                            | 3               | 0                  | 8                          | 11             |
| 8. | <b>Тема 8.</b><br>Локальні поверхневі моди і поляритони в малих частинках. Перехід від резонансного збудження струмів зарядів до збудження струмів зміщення, резонанси $M_i$ .                                                   | 3               | 0                  | 8                          | 11             |
| 9. | <b>Тема 9.</b><br>Гібридні та композитні наноматеріали: як за допомогою НЧ $TiO_2$ можна реалізувати надщільний 3D запис інформації в полімерній матриці та підвищити ефективність перетворення частоти лазерного випромінювання | 3               | 0                  | 8                          | 11             |

|               |                                                                                                                                   |           |           |           |            |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 10.           | <b>Тема 10.</b><br>Біосумісність та токсичність наноматеріалів, їх застосування у біомедицині та для покращання екології довкілля | 3         | 3         | 7         | 13         |
| <b>Всього</b> |                                                                                                                                   | <b>30</b> | <b>15</b> | <b>75</b> | <b>120</b> |

#### **Методичне забезпечення навчальної дисципліни:**

презентації лектора, конспекти лекцій, бібліотечні та електронні джерела зі списку рекомендованої літератури, довідково-інформаційні інтернет-джерела тощо.

### **4. Зміст навчальної дисципліни** **ВК.01 «Наноструктури і нанотехнології»**

**1. Тема 1. Вступ. Прояв ефектів просторового обмеження на властивості пористого кремнію.** Вступ. Деякі властивості напівпровідників. Структура та властивості кремнію. Пористий кремній та його люмінесценція. Методи синтезу та модифікування поверхні наноструктурованого кремнію. Методи дослідження та контролю структури та властивостей нанокремнію. Квантоворозмірний ефект та екситонні ефекти у фотолюмінесценції пористого кремнію (ПК). Штучне двопротонезаломлення та анізотропія форми у ПК. Багатошарові фотонні кристали на основі ПК та їх застосування. Вплив процесів окиснення на властивості нанокремнію.

**Практичне заняття (3 год.)** Які одиниці вимірювання енергії використовують у нанофізиці. Мікро-, мезо- та макропористі структури. Моделі ефективного середовища, методики розрахунків оптичних параметрів складових нанокомпозитних систем. Прояв вкладу вільних носіїв у ІЧ діапазоні.

**Література:** 1-6

**Завдання для самостійної роботи (7 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції та практичного заняття 2. Мати уявлення про межі застосування моделей ефективного середовища Максвелла-Гарнетта, Бруггемана, Лоенгі. Оволодіти навичками пошуку оптичних констант напівпровідників та розрахунку оптичних параметрів мезопористих систем.

**2. Тема 2. Від пористого до чорного кремнію. Застосування нанорозмірного кремнію у сонячній енергетиці та тераностиці.** Використання ПК для генерації синглетного кисню. Флуоресцентні маркери на основі нанокремнію. Сонцезахисні засоби на основі нанокремнію, його біосумісність. Тераностичні застосування нанокремнію, різні підходи до лікування онкологічних захворювань. Застосування нанокремнію у сонячній енергетиці. “Чорний” кремній (Black Silicon).

**Література:** 2-5

**Завдання для самостійної роботи (7 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Зробити пошук та підготувати коротку презентацію про застосування у тераностиці нанорозмірних напівпровідникових матеріалів. Сформулювати уявлення щодо ефектів, які використовуються під час лікування онкологічних захворювань з застосуванням нанокремнію.

**3. Тема 3. Прояв розмірного ефекту у нанорозмірних матеріалах  $A_2B_6$ . Підсилення світла у напівпровідникових нанокристалах.**

Розмірний ефект зміни електронних/оптичних властивостей у нанорозмірних матеріалах  $A_2B_6$  на прикладі CdSe, електронні та діркові стани. Механізми надшвидкого нелінійно-оптичного відгуку, Штарк ефект. Динаміка депопуляції збуджених рівнів, вплив інтерфейсу НЧ. Оже-рекомбінація в умовах просторового обмеження – можливість збудження одним фотоном до 7 екситонів. Підсилення світла у напівпровідникових нанокристалах, поріг лазерної генерації, наноласери. Використання НЧ PbS та PbSe для сенсibilізації в ІЧ діапазоні.

**Практичне заняття (3 год.)** “Оптична” ширина забороненої зони, прямі та непрямі переходи у напівпровідниках, Урбахівський край. Використання зсуву краю поглинання та піку

фотолюмінесценції для оцінки розмірів НЧ, необхідні умови для застосування моделі Брюса при аналізі відгуку наносистем.

**Література:** 2, 7-9

**Завдання для самостійної роботи (8 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції та практичного заняття.
2. На основі публікацій та інтернет-ресурсів представити дані щодо аналізу положення прямих, непрямих, заборонених прямих переходів у наносистемах, ширини Урбахівського краю. Знайти 8 приклади застосування оцінки розміру наноскопічних об'єктів за величиною зсуву положення краю поглинання та піку крайової люмінесценції.

**4. Тема 4. Специфіка прояву квантово-розмірного ефекту у  $\text{TiO}_2$ . Власні дефекти, їх роль у формуванні властивостей матеріалу.**

Властивості та поліморфи  $\text{TiO}_2$ . Трансформація структури від кластеру до об'ємної речовини. Специфіка прояву квантово-розмірного ефекту у  $\text{TiO}_2$ . Підходи для звуження ширини забороненої зони. Прояв поляронних ефектів у рутилі та анатазі, “вертикальні” та “горизонтальні” (адіабатичні) переходи. Об'ємні та поверхневі дефекти. Механізми рекомбінації збуджених зарядів. “Чорний”  $\text{TiO}_2$ . (Black  $\text{TiO}_2$ ).

**Практичне заняття (3 год.)** Власні дефекти як складова частина нанорозмірного  $\text{TiO}_2$ , ефективність застосування нелінійно-оптичної діагностики. Відмінності властивостей поліморфів. Білі пігменти на ефекті пружного розсіювання світла. Індикатриса пружного розсіювання світла, перетини поглинання та розсіювання.

**Література:** 10-13, 38, 39.

**Завдання для самостійної роботи (7 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції та практичного заняття.
2. На основі інтернет-ресурсів підготувати коротку доповідь щодо практичних застосувань нанорозмірних поліморфів  $\text{TiO}_2$ . Опрацювати ефекти самовпливу лазерного випромінювання. Знати, як за даними індикатрис пружного розсіювання оцінити вклад власного поглинання у сильно дисперсному середовищі.

**5. Тема 5. Застосування нанорозмірних металооксидів у водневій та сонячній енергетиці та біомедицині.**

Застосування нанорозмірних металооксидів. Воднева та сонячна енергетика, комірка Гретцеля. Фотокаталіз та очистка довкілля. Амфіфільна поверхня  $\text{TiO}_2$ , перехід від гідрофобного стану до гідрофільного, застосування ефекту. Біомедичні застосування  $\text{TiO}_2$ . Порівняння властивостей наноматеріалів на основі  $\text{TiO}_2$  та  $\text{ZnO}$ .

**Література:** 10,11, 14-16

**Завдання для самостійної роботи (7 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції
2. На основі літературного/інтернет пошуку мати уявлення щодо сучасних тенденцій розвитку сонячної енергетики на базі нанорозмірних кремнієвих матеріалів, оксидів та перовскитів. Наноматеріали на основі  $\text{ZnO}$  та їх застосування.

**6. Тема 6. Гармонічні НЧ - новий клас біомаркерів на основі перетворення частоти лазерного випромінювання.**

Гармонічні НЧ (ГНЧ) - новий клас біомаркерів на основі перетворення частоти лазерного випромінювання. Генерація другої, третьої та вищих оптичних гармонік. Миттєвість, когерентність та перебудова частоти відгуку ГНЧ, використання вікон прозорості біологічних тканин. Залежність ефективності перетворення від розміру НЧ, підходи до її підсилення. Цитотоксичність. Формування мультимодального відгуку біомаркерів. Застосування ГНЧ у тераностиці та у лазерній фізиці.

**Практичне заняття (3 год.)** Довжина фазового синхронізму та перебудова довжини хвилі відгуку ГНЧ. Зміна ефективності перетворення частоти зі зменшенням розміру НЧ: використання поверхневих ефектів, резонансного підсилення та мультипольних вкладів у формування нелінійно-оптичного відгуку НЧ.

**Література:** 8, 17-19.

**Завдання для самостійної роботи (8 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції та практичного заняття.



2. За літературними даними пройти матеріал щодо механізмів квадратичного та кубічного нелінійно-оптичного відгуку, вміти оцінити довжину фазового синхронізму для розповсюджених кристалів нелінійної оптиці. Вміти пояснити відмінність механізмів відгуку ГНЧ (Harmonic NPs) та НЧ, що перетворюють частоту вгору (Up-conversion NPs).

**7. Тема 7. Сучасні карбонові наноматеріали на основі оксиду графену та відновленого оксиду графену. Нанодіаманти як біомаркери.**

Сучасні карбонові наноматеріали на основі оксиду графену та відновленого оксиду графену. Підходи до функціоналізації їх поверхні та методи контролю, застосування нелінійно-оптичних методик для оцінки ступеню окислення поверхні. Функціоналізовані карбонові НЧ (C-dots). Нанодіаманти, вплив об'ємних дефектів та інтерфейсних станів. “Червоні” та “зелені” біомаркери на основі нанодіамантів.

**Література:** 20-23.

**Завдання для самостійної роботи (8 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. За допомогою літературного пошуку сформувані уявлення про вплив дефектів на властивості графеноподібних матеріалів, про засоби зміни співвідношення вкладу нанодоменів з  $sp^2$  та  $sp^3$  гібридизацією. Власні дефекти ядра та оболонки НЧ діаманта.

**8. Тема 8. Локальні поверхневі моди і поляритони в малих частинках. Перехід від резонансного збудження струмів зарядів до збудження струмів зміщення, резонанси Мі.** Локальні поверхневі моди і поляритони в малих частинках, перерізи поглинання та розсіювання НЧ. Поверхневі плазмонні моди у металах, підсилення електричного поля. Вплив форми анізотропних НЧ на послання та комбінаційне розсіювання світла. Перехід від резонансного збудження струмів зарядів до збудження струмів зміщення, резонанси Мі. Генерація оптичних гармонік у НЧ кремнію.

**Література:** 6, 9, 13.

**Завдання для самостійної роботи (8 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Вміти показати відмінності локалізованих плазмових резонансів від резонансів Мі у наноматеріалах. Як вони впливають на підсилення/перерозподіл електричного поля, та знати приклади їх практичного застосування.

**9. Тема 9. Гібридні та композитні наноматеріали: як за допомогою НЧ  $TiO_2$  можна реалізувати надщільний 3D запис інформації в полімерній матриці та підвищити ефективність перетворення частоти лазерного випромінювання.**

Гібридні та композитні наноматеріали – огляд тенденцій. Надмалі НЧ  $TiO_2$  у полімерній матриці. Фотогенерація  $Ti^{3+}$  центрів – фотоіндуковані зміни оптичного поглинання у видимій області та показника заломлення у ІЧ області спектру. Трьохвимірний запис інформації за рахунок модуляції показника заломлення. Нанокompозитний матеріал на основі монокристалів дигідрофосфату калію (KDP) з інкорпорованими НЧ  $TiO_2$ . Підсилення ефективності перетворення частоти лазерного випромінювання.

**Література:** 11, 24-26

**Завдання для самостійної роботи (8 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Сформувані уявлення про сучасні тенденції розвитку гібридних та нанокompозитних матеріалів. Підготувати коротку доповідь для певного матеріалу, підкреслити прояв домінуючих розмірних ефектів.

**10. Тема 10. Біосумісність та токсичність наноматеріалів, їх застосування у біомедицині та для покращання екології довкілля.**

Біосумісність та токсичність наноматеріалів: вплив розмірів, вмісту іонів важких металів, здатності генерувати радикали. Біомедичні застосування наноматеріалів на основі  $TiO_2$ ,  $SiO_2$  та оксигідроксиду алюмінію. Наноматеріали для покращання екології довкілля.

**Практичне заняття (3 год.)** Обговорення презентацій слухачів, щодо наноскопічних матеріалів, з якими вони вже мали досвід роботи. Окреслити проблематику та перспективи розвитку/застосування, біосумісність та токсичність розглянутих матеріалів, обґрунтувати свої положення під час дискусії.



**Література:** 27-30

**Завдання для самостійної роботи (7 год.)**

1. Вивчення матеріалу лекції та практичного заняття.
2. Провести літературний пошук, проаналізувати дані інтернет-ресурсів та з використанням результатів власних спостережень/досліджень підготувати презентацію з певного класу наносистем/наноматеріалів, з якими вони вже мали досвід роботи. Презентація має висвітлювати проблематику та перспективи розвитку/застосування, біосумісність та токсичність розглянутих матеріалів.

## **5. Практичні заняття**

з навчальної дисципліни ВК.01 «Наноструктури і нанотехнології»

Практичне закріплення лекційного матеріалу та наукові доповіді аспіранта пов'язані з темами лекцій і є частиною змісту дисципліни.

## **6. Самостійна робота**

з навчальної дисципліни ВК.01 «Наноструктури і нанотехнології»

| №                                     | Зміст самостійної роботи аспірантів                        | Обсяг, годин |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------|
| 1.                                    | Вивчення матеріалу лекції                                  | 30           |
| 2.                                    | Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення | 45           |
| <b>Усього за навчальну дисципліну</b> |                                                            | <b>75</b>    |

## **7. Методи викладання:**

з навчальної дисципліни ВК.01 «Наноструктури і нанотехнології»

У процесі викладання дисципліни використовуються такі методи:

- 1) методи організації та здійснення навчально-пізнавальної діяльності (бесіда, лекція; ілюстрація; лабораторні роботи, реферати; самостійна робота студентів);
- 2) методи стимулювання й мотивації навчально-пізнавальної діяльності (навчальні дискусії, модульно-рейтингова система знань);
- 3) методи контролю (самоконтролю, взаємоконтролю), корекції (самокорекції, взаємокорекції) за ефективністю навчально-пізнавальної діяльності.

## **8. Рейтингова система оцінювання**

з навчальної дисципліни ВК.01 «Наноструктури і нанотехнології»

Основними формами організації контролю у процесі вивчення студентами даної дисципліни є індивідуальна, групова та фронтальна перевірка знань, вмінь та навичок студентів (усна та письмова). Рейтинг аспіранта складається з наступних отриманих балів:

1. Експрес-контроль – 20 балів. (усне опитування чи самостійні роботи під час навчального процесу)
2. Практичні заняття та самостійна робота – 40 балів.
3. Екзамен – 40 балів.

### **Заохочувальні та штрафні бали**

1. При відсутності на лекції/практичному занятті без поважних причин -2 бали
2. Подана в журнал стаття чи виступ на конференції за темою курсу +10 балів.

Сума як штрафних так і заохочуваних балів розраховується за формулою  $0,1R$ , де  $R$  – загальна кількість балів, і не має перевищувати в цілому 10 балів.

### **Шкала рейтингів.**

Загальна кількість балів, яку аспіранта може отримати під час вивчення курсу складається із суми вагових балів отриманих протягом вивчення дисципліни

$$R=20+40+40=100 \text{ (балів)}$$

### Шкала відповідності оцінок

| Рейтингова оцінка | Значення оцінки                                                                                                                                                                             | Рейтинг у відсотках, % |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>A</b>          | <b>Відмінно</b> – відмінний рівень знань (умінь) в межах обов’язкового матеріалу з, можливими незнаесними недоліками.                                                                       | 90-100                 |
| <b>B</b>          | <b>Дуже добре</b> – достатньо високий рівень знань (умінь) в межах обов’язкового матеріалу без суттєвих (грубих) помилок.                                                                   | 82-89                  |
| <b>C</b>          | <b>Добре</b> – добрий рівень знань (умінь) в межах обов’язкового матеріалу з незначною кількістю помилок.                                                                                   | 75-81                  |
| <b>D</b>          | <b>Задовільно</b> – посередній рівень знань (умінь) в межах обов’язкового матеріалу із значною кількістю недоліків, достатній для подальшого навчання або ж професійної діяльності.         | 69-74                  |
| <b>E</b>          | <b>Достатньо</b> - мінімально можливий допустимий рівень знань (умінь) в межах обов’язкового матеріалу.                                                                                     | 60-100                 |
| <b>FX</b>         | Незадовільно з можливістю повторного складання – незадовільний рівень знань (умінь) в межах обов’язкового матеріалу з можливістю повторного перескладання після самостійного доопрацювання. | 35-59                  |
| <b>F</b>          | Незадовільно з з обов’язковим повторним вивченням курсу – низький рівень знань (умінь) в межах обов’язкового матеріалу, що вимагає повторного вивчення матеріалів курсу.                    | 1-34                   |

### 9. Орієнтовний перелік екзаменаційних питань до курсу з навчальної дисципліни ВК.01 «Наноструктури і нанотехнології»

1. Розмірний ефект зміни електронних/оптичних властивостей у нанорозмірних матеріалах типу A2B6 на прикладі конкретного матеріалу, електронні та діркові стани. Використання НЧ PbS та PbSe для сенсифілізації в ІЧ діапазоні.
2. Підсилення світла у напівпровідникових нанокристалах, поріг лазерної генерації, наноласери.
3. “Оптична” ширина забороненої зони, прямі та непрямі переходи у напівпровідниках. Урбахівський край поглинання.
4. Використання зсуву краю поглинання та піку фотолюмінесценції для оцінки розмірів НЧ. Необхідні умови для застосування моделі Брюса при аналізі відгуку наносистем.
5. Специфіка прояву квантово-розмірного ефекту у TiO<sub>2</sub> . Підходи для звуження ширини забороненої зони.
6. Прояв поляронних ефектів у поліморфах TiO<sub>2</sub> - рутилі та анатазі, “вертикальні” та “горизонтальні” (адіабатичні) переходи. Об’ємні та поверхневі дефекти.
7. Застосування нанорозмірних металооксидів. Воднева та сонячна енергетика, комірка Гретцеля. Фотокаталіз та очистка довкілля.
8. Амфифільна поверхня TiO<sub>2</sub>, перехід від гідрофобного стану до гідрофільного, застосування ефекту. Біомедичні застосування TiO<sub>2</sub>.
9. Гармонічні НЧ (ГНЧ) - новий клас біомаркерів на основі перетворення частоти лазерного випромінювання. Генерація другої, третьої та вищих оптичних гармонік. Миттєвість, когерентність та перебудова частоти відгуку ГНЧ, використання вікон прозорості біологічних тканин.
10. Сучасні карбонові наноматеріали на основі оксиду графену та відновленого оксиду графену. Підходи до функціоналізації їх поверхні та методи контролю, застосування нелінійнооптичних методик для оцінки ступеню окиснення поверхні.
11. Функціоналізовані карбонові НЧ (C-dots). Нанодіаманти, вплив об’ємних дефектів та інтерфейсних станів. “Червоні” та “зелені” біомаркери на основі нанодіамантів.

12. НЧ, що підвищують частоту випромінювання (Up-Conversion NPs). Механізми конверсії, активатор та сенсibilізатор. Застосування таких НЧ у тераностиці.
13. Локальні поверхневі моди і поляритони в малих частинках, перерізи поглинання та розсіювання НЧ. Поверхневі плазмонні моди у металах, підсилення електричного поля.
14. Гібридні та композитні наноматеріали. Надмалі НЧ TiO<sub>2</sub> у полімерній матриці. Фотогенерація Ti<sup>3+</sup> центрів – фотоіндуковані зміни оптичного поглинання у видимій області та показника заломлення у ІЧ області спектру. Трьохвимірний запис інформації за рахунок модуляції показника заломлення.
15. Нанокompозитний матеріал на основі монокристалів дигідрофосфату калію (KDP) з інкорпорованими НЧ TiO<sub>2</sub>. Підсилення ефективності перетворення частоти лазерного випромінювання.
16. Біосумісність та токсичність наноматеріалів: вплив розмірів, вмісту іонів важких металів, здатності генерувати радикали. Біомедичні застосування наноматеріалів на основі TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> та оксигідроксиду алюмінію. Наноматеріали для покращання екологічного стану довкілля.
17. Пористий кремній та його люмінесценція. Методи синтезу та модифікації поверхні наноструктурованого кремнію. Методи дослідження та контролю структури та властивостей нанокремнію. Квантово-розмірний ефект та екситонні ефекти у фотолюмінесценції пористого кремнію (ПК).
18. Штучне двопротенезаломлення та анізотропія форми у ПК. Багатошарові фотонні кристали на основі ПК та їх застосування. Вплив процесів окиснення на властивості нанокремнію.
19. Використання ПК для генерації синглетного кисню. Флуоресцентні маркери на основі нанокремнію. Тераностичні застосування нанокремнію, різні підходи до лікування онкологічних захворювань.
20. Моделі ефективного середовища, методики розрахунків оптичних параметрів складових нанокompозитних систем. Прояв вкладу вільних носіїв у ІЧ діапазоні.
21. Механізми надшвидкого нелінійно-оптичного відгуку в нанорозмірних матеріалах типу A<sub>2</sub>B<sub>6</sub>, ефект Штарка. Динаміка депопуляції збуджених рівнів, вплив інтерфейсу НЧ. Ожерекомбінація в умовах просторового обмеження – можливість збудження одним фотоном до 7 екситонів.
22. Застосування нанокремнію у сонячній енергетиці. “Чорний” кремній (Black Silicon) та його властивості.
23. Власні дефекти як складова частина нанорозмірного TiO<sub>2</sub>. Відмінності властивостей поліморфів. Білі пігменти на ефекті пружного розсіювання світла. Індикатриси пружного розсіювання світла, перетини поглинання та розсіювання.
24. Сучасні тенденції розвитку сонячної енергетики на базі нанорозмірних кремнієвих матеріалів, оксидів та перовскитів.
25. Наноматеріали на основі ZnO та їх застосування. ФЛ та нелінійно-оптичні властивості матеріалу.

## **10.Рекомендована література:**

з навчальної дисципліни ВК.01 «Наноструктури і нанотехнології»

### **Основна:**

1. И.П. Суздалев. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: КомКнига, 2006. – 592 с. – ISBN 5-484-00243-5.
2. Пітер Ю, М. Кардона. Основы физики полупроводников. 3-е изд. М.: “Физматлит”, 2002. - 560 с. – ISBN 5-9221-0268-0.
3. А.А. Ищенко, Г.В. Фетисов, Л.А. Асланов. Нанокремний: свойства, получение, применение, методы исследования и контроля. М. : "Физматлит", 2011. - 648 с. - ISBN 978-5-9221-1369-4.
4. Л. А.Головань, В.Ю. Тимошенко, П.К. Кашкаров. Оптические свойства нанокompозитов на основе пористых систем. Успехи физических наук. **177** (2007) с. 619-638. <https://doi.org/10.3367/UFNr.0177.200706b.0619>
5. Handbook of Porous Silicon. Ed. L. Canham. Springer Int. Publ., 2018 – 1613 pp. – ISBN 978-3-319-71379-3

6. Венгер Є.Ф., Гончаренко А.В., Дмитрук М.Л. Оптика малих частинок і дисперсних середовищ. Київ: «Наукова думка», 1999. – 348 с. - ISBN 966-00-0644-6.
7. С.И. Покутний, В.А. Смынтына, А.П. Шпак, В.Н. Уваров. Оптика наносистем. Одесса: «Астропринт», 2007. – 304 с. - ISBN 978-966-318-755-6
8. И.Р. Шен. Принципы нелинейной оптики. М.: Наука. – 1989 - 560 с. – ISBN 5-02-014043-0
9. В.В. Климов. Наноплазмоника. М.: Физматлит. - 2009. - 480 с. - ISBN 978-5-9221-1030-3.
10. A. Fujishima, X. Zhang, D.A. Tryk. TiO<sub>2</sub> photocatalysis and related surface phenomena. *Surf. Science Rep.* **63** (2008) 515-582. <https://doi.org/10.1016/j.surfrep.2008.10.001>
11. L. Sang, Y. Zhao, C. Burda. TiO<sub>2</sub> nanoparticles as functional building blocks. *Chem. reviews.* **114** (2014) 9283-9318. <https://doi.org/10.1021/cr400629p>
12. V.K. Bui, V.V. Tran, J.-Y. Moon, D. Park, Y.-C. Lee. Titanium Dioxide Microscale and Macroscale Structures: A Mini-Review. *MDPI Nanomaterials* **10** (2020) 1190 (31 pp.). <https://doi.org/10.3390/nano10061190>
13. C.C. Evans, E. Mazur. Nanophotonics: Linear and nonlinear optics at the nanoscale. In: *Nano-Optics for Enhancing Light-Matter Interactions on a Molecular Scale: Plasmonics, Photonic Materials and SubWavelength Resolution*. – Springer, London, 2012. – P. 119-176. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-5313-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5313-6_7)
14. Yu Bai, I. Mora-Seró, F. De Angelis, J. Bisquert, P. Wang. Titanium dioxide nanomaterials for photovoltaic applications. *Chem. reviews.* **114** (2014) 10095–10130. <https://doi.org/10.1021/cr400606n>
15. T. Rajh, N.M. Dimitrijevic, M. Bissonnette et al. Titanium Dioxide in the Service of the Biomedical Revolution. *Chem. reviews.* **114** (2014) 10177-10216. <https://doi.org/10.1021/cr500029g>
16. Zinc Oxide Nanostructures: Synthesis and Characterization. Ed. S. Baskoutas. MDPI Basel – 2020 – 304 pp. - ISBN 978-3-03897-302-7
17. L. Bonacina. Nonlinear nanomedicine: harmonic nanoparticles toward targeted diagnosis and therapy. *Mol. Pharm.* **10** (2013) 783–792. <https://doi.org/10.1021/mp300523e>
18. R. Ladj, A. Bitar, R. Le Dantec et al. Individual inorganic nanoparticles: preparation, functionalization and in vitro biomedical diagnostic applications. *J. Mater. Chem. B.* **1** (2013) 1381-1396. <https://doi.org/10.1039/C2TB00301E>
19. A. Rogov, Y. Mugnier, L. Bonacina. Harmonic nanoparticles: noncentrosymmetric metal oxides for nonlinear optics. *J. Opt.* **17** (2015) 033001 (12pp). <https://doi.org/10.1088/2040-8978/17/3/033001>
20. V. Georgakilas, J.A. Perman, J. Tucek, R. Zboril. Broad Family of Carbon Nanoallotropes: Classification, Chemistry, and Applications of Fullerenes, Carbon Dots, Nanotubes, Graphene, Nanodiamonds, and Combined Superstructures. *Chem. Rev.* **115** (2015) 4744–4822. <https://doi.org/10.1021/cr500304f>
21. Е.А. Беленков, В.В. Ивановская, А.Л. Наноалмазы и родственные углеродные наноматериалы. 2008.- 169 с. – ISBN 5–7691–1958-6
22. W. Liu, G. Speranza. Functionalization of Carbon Nanomaterials for Biomedical Applications. *MDPI J. Carbon Res.* **5** (2019) 72 (59 pp.) <https://doi.org/10.3390/c5040072>
23. F. Treussart, I.I. Vlasov. Photoluminescence of color centers in nanodiamonds. In: *Nanodiamonds Advanced Material Analysis, Properties and Applications*. Elsevier -2017 - 155-181. <https://doi.org/10.1016/B978-0-32-343029-6.00007-6>
24. Композитные материалы на основе диэлектрических матриц KDP и SiO<sub>2</sub> для фотоники. Кристаллические материалы для оптики и электроники фотоники: Коллективная монография / Притула И. М., Косинова А. В., Безкровная О. Н., Гайворонский В. Я., Колыбаева М. И. Под ред. Пузикова В. М.– Харьков: НТК «Институт монокристаллов» НАНУ, 2012 – С. 126 – 224. ISBN 978-966-02-6636-025. L.A. Golovan, V.Yu. Timoshenko. Nonlinear-optical properties of porous silicon nanostructures. *J.Nanoelectronics and Optoelectronics.* **8** (2013) 223–239. <https://doi.org/10.1166/jno.2013.1473>
26. Interplay of quadratic and cubic nonlinear optical responses in KDP single crystals with incorporated TiO<sub>2</sub> nanoparticles/ Gayvoronsky V.Ya., Kopylovsky M.A., Brodyn M.S., Popov A.S., Yatsyna V.O., Pritula I.M. // *Nanomaterials Imaging Techniques, Surface Studies, and Applications*. – Springer New York, 2013. – P. 349-365. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7675-7\\_24](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7675-7_24)

27. Z. Peng, X. Liu, W. Zhang et al. Advances in the application, toxicity and degradation of carbon nanomaterials in environment: A review. *Environment Int.* 134 (2020) 105298 (14 pp.) <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105298>
28. Advanced Nanostructured Materials for Environmental Remediation. Eds. M. Naushad, S. Rajendran, F. Gracia. Springer, Cham 2019 - 391 p. – ISBN 978-3-030-04476-3.
29. L.A. Osminkina, V.Yu. Timoshenko. Porous Silicon as a Sensitizer for Biomedical Applications. *Open Material Sciences* 3 (2016) 39-48. <https://doi.org/10.1515/mesbi-2016-0005>
30. N.T. Padmanabhan, H. John. Titanium dioxide based self-cleaning smart surfaces: A short review. *J. Env. Chem. Eng.* 8 (2020) 104211 (21 pp.) <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104211>

#### Додаткова:

31. Handbook of Sol-Gel Science and Technology. Eds. L. Klein, M. Aparicio, A. Jitianu. Springer Int. Publ., 2018 – 1613 pp. – ISBN 978-3-319-32100-4
32. Гусев А.И. Наноматериалы, структуры, технологии. Москва: Физматлит, 2007 – 416 с. 33. Герасименко Н.Н., Пархоменко Ю.Н. Кремний - Материал Нанoeлектроники. М.: Техносфера, 2007 г. - 360 с. – ISBN 978-5-94836-101-7
34. А.П. Оксанич, В.А. Тербан, С.О. Волохов, М.І. Ключ, В.А. Скришевський, В.П. Костилюв, А.В. Макаров. Сучасні технології виробництва кремнію та кремнієвих фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії. Київ: ВПЦ "Київський університет", 2010 – 266 с. – ISBN 97896667830-IS-0
35. І.М. Дмитрук. Електронні процеси в наноструктура. Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка. - Київ : Четверта хвиля, 2013. - 207с. - ISBN 978-966-529-290-6
36. A.Y. Kharin, V.V. Lysenko, A. Rogov et al. Bi-modal nonlinear optical contrast from Si nanoparticles for cancer theranostics. *Adv. Opt. Materials* 7 (2019) 1801728 (8 pp.) <https://doi.org/10.1002/adom.201801728>
37. L. A. Osminkina, Timoshenko, I. P. Shilovsky et al. Porous silicon nanoparticles as scavengers of hazardous viruses. *Journal of Nanoparticle Res.* 16 (2014) 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11051-014-2430-2>
38. S. Monticone, R. Tufeu, A. Kanaev et al. Quantum Size Effect in TiO<sub>2</sub> Nanoparticles: Does It Exist? *Appl. Surf. Sci.* 162 (2000) 565-570. [https://doi.org/10.1016/S0169-4332\(00\)00251-8](https://doi.org/10.1016/S0169-4332(00)00251-8) 12
39. N. Satoh, T. Nakashima, K. Kamikura et al. Quantum size effect in TiO<sub>2</sub> nanoparticles prepared by finely controlled metal assembly on dendrimer templates. *Nature Nanotechnology* 3 (2008) 106-111. <https://doi.org/10.1038/nnano.2008.2>
40. A.V. Uklein, V.V. Multian, V.V. Lisnyak, V.Ya., Gayvoronsky et al. Characterization of oxidized carbon materials with photoinduced absorption response. *Appl. Phys. B* 122 (2016) 287-295. <https://doi.org/10.1007/s00340-016-6561-2>