



Розробники<sup>2</sup>: Овсієнко Ірина Володимирівна, кандидат фіз.-мат. наук, доцент,  
доцент кафедри загальної фізики  
(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(підпис)

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

Протокол № 10 від 7 травня 2019 р.

**Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету**

протокол №21 від 10 травня 2019 року

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_  
(підпис)

(Оліх О.Я.)  
(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 року

---

<sup>2</sup> 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 систематизованих знань з фізики нанорозмірних вуглецевих систем, засвоєння закономірностей утворення та механізмів формування властивостей нанорозмірних вуглецевих систем різної мірності, ознайомлення з методами отримання нанорозмірних вуглецевих систем та композиційних матеріалів на їх основі; методами хімічної та фізичної модифікації нановуглецевих матеріалів; механізмами формування електро-транспортних та магнітних властивостей нановуглецевих систем різної мірності та структурної досконалості.

**2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

1. Знання з курсів «Термодинаміка та молекулярна фізика», „Електрика та магнетизм”, „Квантова механіка”, „Електронна структура твердого тіла”, „Фізичне матеріалознавство”, «Низькорозмірні вуглецеві структури і композити».
2. Знання з курсів вищої математики та вміння їх застосовувати для розрахунків.
3. Знання з теорії похибок, вміння оцінювати точність вимірювання.

**3. Анотація навчальної дисципліни / референс:**

В рамках курсу «Фізика низькорозмірних вуглецевих систем» розглядаються фізико-хімічні закономірності утворення та структура нановуглецевих систем, зокрема, фулеренів, фулереноподібних структур, нанотрубок, нановолокон та нанографіту, термодинамічні та хімічні умови отримання нанорозмірних вуглецевих матеріалів, ознайомлення з процесами фізичної та хімічної модифікації нановуглецевих матеріалів та створення нанокомпозиційних матеріалів на їх основі, вивчення механізмів формування електротранспортних властивостей різних типів нановуглецевих матеріалів, оволодіння методами дослідження структурно-фазового складу та електротранспортних та магнітних властивостей нановуглецевих матеріалів. Вивчення дисципліни спрямоване на засвоєння засобів та методів розв'язання конкретних задач професійної діяльності, розвиток навичок самостійного вивчення науково-технічної літератури, набуття вміння формулювання практичних задач з врахуванням їх фізичної суті; розвинення наукового світогляду, сучасного фізичного мислення і формування вмінь аналітичного мислення. Методи викладання: лекції, лабораторні роботи, консультації. Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, контрольні роботи після основних розділів спецкурсу, оцінювання лабораторних робіт, екзамен. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та екзамену (40%).

**4. Завдання (навчальні цілі)** – ознайомлення студентів з закономірностями утворення, структурою та властивостями нанорозмірних вуглецевих систем, навчання методам визначення структурно-фазового складу нановуглецевого матеріалу за даними рентгенівської дифракції; визначення структурних параметрів нановуглецевого матеріалу за даними електронної мікроскопії та раманівської спектроскопії; дослідження електротранспортних, магнітних та механічних властивостей об'ємних зразків нановуглецевих матеріалів; проведення комплексного аналізу експериментальних даних з структурно-фазового складу та електротранспортних, магнітних і механічних властивостей нановуглецевих матеріалів.

Згідно вимог проекту Стандарту вищої освіти України (другий (магістрський) рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Фізика», спеціальність 104 «Фізика та астрономія», ОНП «Фізика наносистем») дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних **компетентностей**:

Інтегральних:

- Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі фізики наносистем, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань.

Загальних:

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

- Здатність до проведення самостійних досліджень на сучасному рівні.
- Здатність до пошуку, оброблення на аналізі інформації з різних джерел.
- Здатність працювати в міжнародному науковому просторі.
- Здатність використовувати професійно-профільовані знання в галузі фізики.
- Здатність використовувати основні методи програмування та моделювання у фізиці.
- Здатність застосовувати знання в галузі методів вимірювання у фізиці.

Фахових:

- Володіння методами створення наносистем.
- Здатність застосовувати сучасні експериментальні методи дослідження наносистем та діагностики наносистем.
- Здатність застосовувати знання теорій опису фізичних властивостей наносистем різних типів.
- Здатність застосовувати знання з фізики нанорозмірних нанокompозитних матеріалів та методів їх отримання.
- Здатність застосовувати знання методів отримання нанорозмірних нанокompозитних матеріалів.
- Здатність застосовувати знання з фізики нанорозмірних карбонових систем та композитних матеріалів на їх основі.
- Здатність застосовувати знання в галузі методів вимірювання фізичних властивостей наносистем.

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

| <i>Результат навчання</i><br>(1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*) |  | <i>Методи викладання і навчання</i> | <i>Методи оцінювання</i>                 | <i>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</i> |
|--|--|-------------------------------------|--|---|
| Код  | Результат навчання   |                                     |  |   |
| 1.1  | Знати закономірності утворення, структуру та властивості нанорозмірних вуглецевих систем   | <i>Лекції</i>                       | <i>Модульна контрольна робота, іспит</i> | 20  |
| 1.2  | Знати методи отримання нанокarбонових структур та нанокompозиційних матеріалів на їх основі;   | <i>Лекції</i>                       | <i>Модульна контрольна робота, іспит</i> | 20  |
| 1.3  | Знати основні методи дослідження структури, електротранспортних та магнітних властивостей нанокarбонових систем  | <i>Лекції</i>                       | <i>Модульна контрольна робота, іспит</i> | 20  |
| 2.1  | Вміти експериментально визначати структуру та фазовий склад нанокarбонових систем за даними рентгенівської дифракції, електронної мікроскопії та раманівської спектроскопії. | <i>Лабораторні роботи</i>           | <i>Захист лабораторних робіт</i>         | 15  |
| 2.2  | Вміти проводити комплексний аналіз експериментальних даних з   | <i>Лабораторні роботи</i>           | <i>Захист лабораторних</i>               | 15  |

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

|     |  |                                   |   |   |
|-----|--|-----------------------------------|---|---|
|     | структурно-фазового складу та електротранспортних, магнітних і механічних властивостей нановуглецевих матеріалів |                                   | <i>робіт</i>                            |   |
| 4.1 | Розвивати навички самостійного вивчення наукової літератури та інших джерел наукової інформації.                 | <i>Лекції, лабораторні роботи</i> | <i>Іспит, захист лабораторних робіт</i> | 5 |
| 4.2 | Вміти критично осмислювати джерела наукової інформації, оцінювати цінність джерел інформації та їх адекватність. | <i>Лекції, лабораторні роботи</i> | <i>Іспит, захист лабораторних робіт</i> | 5 |

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

| <b>Результати навчання дисципліни</b>   | <b>1.1</b> | <b>1.2</b> | <b>1.3</b> | <b>2.1</b> | <b>2.2</b> | <b>4.1</b> | <b>4.2</b> |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Програмні результати навчання</b>  |            |            |            |            |            |            |            |
| 1.7. Знати особливості структури та електронного спектру нанокарбонових систем різної мірності;   | +          |            | +          |            |            |            |            |
| 1.8. Знати методи отримання нанокарбонових структур та наноконпозиційних матеріалів на їх основі  |            | +          |            |            |            |            |            |
| 1.10. Знати механізми формування електротранспортних та магнітних властивостей нанокарбонових систем різної мірності та структурної досконалості.                                       | +          |            | +          |            |            |            |            |
| 2.6. Вміти експериментально визначати структуру та фазовий склад нанокарбонових систем;   |            |            |            | +          |            |            |            |
| 2.7. Вміти встановлювати причинно-наслідковий зв'язок між особливостями структурно-фазового складу та електротранспортними та магніто-транспортними властивостями нанокарбонових систем |            |            |            |            | +          |            |            |
| 4.1. Аналізувати наукові праці, виявляючи дискусійні та мало досліджені питання;  |            |            |            |            |            | +          | +          |
| 4.2. Здійснювати моніторинг наукових джерел інформації відносно досліджуваної проблеми;   |            |            |            |            |            | +          | +          |
| 4.3. Здійснювати процедуру встановлення цінності джерел наукової інформації шляхом порівняльного аналізу з іншими джерелами;  |            |            |            |            |            | +          | +          |

**7. Структура курсу**

Курс складається з 2-х змістових модулів: «Структура та методи отримання нанорозмірних вуглецевих систем різної мірності», який включає в себе 8 лекцій та 6 лабораторних робіт, та «Властивості нанорозмірних вуглецевих систем та композиційних матеріалів на їх основі», який складається з 7 лекцій та 6 лабораторних робіт.

**8. Схема формування оцінки:**

**8.1 Форми оцінювання студентів:** (зазначається перелік видів робіт та форм їх контролю / оцінювання із зазначенням *Min.* – *рубіжної* та *Max.* кількості балів чи відсотків)

**- семестрове оцінювання:**

1. Модульна контрольна робота 1 (12 балів).

2. Захист лабораторних робіт першого змістового модулю (6×3=18 балів).
  3. Модульна контрольна робота 2 (12 балів).
  4. Захист лабораторних робіт другого змістового модулю (6×3=18 балів).
- підсумкове оцінювання у формі екзамену

**Підсумкове оцінювання у формі екзамену<sup>3</sup>: (обов'язкове проведення екзаменаційного оцінювання в письмовій формі)**

|          | ЗМ1/Частина 1 (за наявності) | ЗМ2/Частина 2 (за наявності) | екзамен   | Підсумкова оцінка |
|----------|------------------------------|------------------------------|-----------|-------------------|
| Мінімум  | <b>18</b>                    | <b>18</b>                    | <b>24</b> | <b>60</b>         |
| Максимум | <b>30</b>                    | <b>30</b>                    | <b>40</b> | <b>100</b>        |

у випадку комплексного екзамену слід вказати питому вагу складових

Студент не допускається до екзамену, якщо під час семестру набрав менше 36 балів.<sup>4</sup>

(слід чітко прописати умови, які висувуються викладачами даної дисципліни).

Оцінка за іспит не може бути меншою **24 балів** для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

**8.2 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).

**Шкала відповідності**

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

<sup>3</sup> Семестрову кількість балів формують бали, отримані студентом у процесі теоретичного засвоєння матеріалу з усіх розділів дисципліни, семінарських занять, виконання практичних, лабораторних, індивідуальних, підсумкових контрольних робіт, творчих робіт впродовж семестру, передбачених робочою навчальною програмою (**100** балів - для залікових дисциплін, у випадку, якщо дисципліна завершується екзаменом, то розподіл здійснюється за таким алгоритмом: **60 балів (60%) – семестровий контроль і 40 балів (40%) – екзамен**).

<sup>4</sup> У випадку, коли дисципліна завершується екзаменом не менше – **20 балів**, а рекомендований мінімум **не менше 36 балів**, оскільки якщо студент на екзамені набрав менше **24 балів** (а це 60% від 40 балів, відведених на екзамен), то вони **не додаються** до семестрової оцінки незалежно від кількості балів, отриманих під час семестру, а в екзаменаційній відомості у графі «результуюча оцінка» переноситься лише кількість балів, отриманих під час семестру.

**СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ**

| № п/п  | Назва теми  | Кількість годин |             |                   |
|--|---|-----------------|-------------|-------------------|
|  |   | лекції          | лабораторні | Самостійна робота |
| <b>Частина 1.(ЗМ1) Структура та методи отримання нанорозмірних вуглецевих систем різної мірності</b> |   |                 |             |                   |
| 1  | <b>Тема 1.</b> Загальна класифікація нанорозмірних вуглецевих структур. Історія відкриття та основні визначення нових наноалотропних модифікацій вуглецю. Топологія замкнених вуглецевих кластерів –фулеренів.<br><b>Лаб.р.</b> Вступ до лабораторних робіт з курсу.”<br><b>С.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Наноалмази, та інші алотропи вуглецю із змішаними електронними конфігураціями   | 2               | 2           | 8                 |
| 2  | <b>Тема 2.</b> Будова вуглецевих нанотрубок. Хіральні та ахіральні вуглецеві нанотрубки, індекси хіральності. Морфологічні форми ниткоподібних вуглецевих наночастинок.<br><b>Лаб.р.</b> Визначення структурно-фазового складу модифікованого нановуглецевого матеріалу за даними рентгенівської дифракції.<br><b>С.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Нанорозмірні вуглецеві структури в біології та медицині. Оформлення звіту по лабораторній роботі. | 2               | 2           | 8                 |
| 3  | <b>Тема 3.</b> Загальний огляд методів отримання нанорозмірних вуглецевих структур. Моделі утворення оболонкових вуглецевих структур.<br><b>Лаб.р.</b> “Визначення параметрів структури нановуглецевого матеріалу за даними електронної мікроскопії.<br><b>С.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Розрахунок параметрів кристалічної структури дрібнокристалічного графіту.  | 2               | 2           | 8                 |
| 4  | <b>Тема 4.</b> Методи виділення та ідентифікації нанорозмірних вуглецевих структур.<br><b>Лаб.р.</b> Визначення структурно-фазового складу та розмірів модифікуючої магнітної компоненти нановуглецевого матеріалу за даними термомагнітометрії.<br><b>С.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Досліджень фулеренів методами мас-спектрометрії, хроматографічного аналізу та ЯМР. Оформлення звіту по лабораторній роботі.                                  | 2               | 2           | 8                 |
| 5  | <b>Тема 5.</b> Кристалічні структури з оболонкових вуглецевих молекул. Полімеризація оболонкових вуглецевих наноструктур.<br><b>Лаб.р.</b> Визначення параметрів вуглецевих нанотрубок за даними спектрів раманівського розсіювання.<br><b>С.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Полімеризація вуглецевих нанотрубок. Оформлення звіту по лабораторній роботі.  | 2               | 2           | 8                 |
| 6  | <b>Тема 6.</b> Особливості кристалічної та зонної структури графену та нанографіту. Методи отримання графену та нанографітів.<br><b>Лаб.р.</b> Визначення особливостей структури графену та нанографіту за даними спектрів раманівського розсіювання.<br><b>С.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Хімічні сенсори на основі нанорозмірних вуглецевих структур. Оформлення звіту по лабораторній роботі.   | 2               | 2           | 8                 |

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 7   | <p><b>Тема 7.</b> Терморозширений графіт (TRG) як низькорозмірний вуглецевий матеріал. Структура. Методи отримання TRG..</p> <p><b>Лаб.р.</b> Визначення якісного складу функціональних груп на поверхні нанографіту методом інфрачервоної спектроскопії.</p> <p><b>С.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Термодинамічна модель терморозширення. Оформлення звіту по лабораторній роботі.</p>   | 2 | 2 | 8 |
| 8   | <p><b>Тема 8.</b> Хімія нанорозмірних вуглецевих структур. Функціоналізація та модифікація фулеренів та вуглецевих нанотрубок.</p> <p><b>С.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до контрольної роботи.</p>  | 2 |   | 8 |
|   | <i>Контрольна робота 1</i>  |   | 2 |   |
| <b>Частина 2.(ЗМ2) Властивості нанорозмірних вуглецевих систем та композиційних матеріалів на їх основі</b> |   |   |   |   |
| 9   | <p><b>Тема 9.</b> Електронна будова нанорозмірних вуглецевих систем різної мірності</p> <p><b>Лаб.р.</b> Визначення механізмів провідності ВНТ за даними температурної залежності електроопору.</p> <p><b>С.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Вуглецеві нанотрубки як елементи наноелектроніки. Оформлення звіту по лабораторній роботі.</p>  | 2 | 2 | 8 |
| 10  | <p><b>Тема 10.</b> Інфрачервона та раманівська спектроскопія нанорозмірних вуглецевих систем.</p> <p><b>Лаб.р.</b> Дослідження магнітоопору нанокарбонового матеріалу, модифікованого магнітним металом.</p> <p><b>С.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Спектри поглинання фулеренів. Фотопровідність фулеренів. Фотолюмінісценція фулеренів. Оформлення звіту по лабораторній роботі.</p>   | 2 | 2 | 8 |
| 11  | <p><b>Тема 11.</b> Електротранспортні властивості нанорозмірних вуглецевих структур. Моделі провідності нанорозмірних вуглецевих структур.</p> <p><b>Лаб.р.</b> Дослідження механічних властивостей полімерних композитів з нановуглецевим наповнювачем.</p> <p><b>С.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Провідність полімеризованих фулеренів. Вплив кисню на провідність плівок фулеренів. Оформлення звіту по лабораторній роботі.</p> | 2 | 2 | 8 |
| 12  | <p><b>Тема 12.</b> Магнітні та магнітотранспортні властивості нанорозмірних вуглецевих структур.</p> <p><b>Лаб.р.</b> Побудова перколяційної кривої для композитів з нановуглецевим наповнювачем.</p> <p><b>С.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Ефект Кондо і магнітні кластери в нанотрубках. Оформлення звіту по лабораторній роботі.</p>   | 2 | 2 | 8 |
| 13  | <p><b>Тема 13.</b> Композити на основі нанорозмірних вуглецевих структур. Методи отримання, структура. Механічні властивості</p> <p><b>Лаб.р.</b> Дослідження теплопровідності та теплоємності полімерних композитів з нановуглецевим наповнювачем.</p> <p><b>С.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Модель сумішей. Оформлення звіту по лабораторній роботі.</p>  | 2 | 2 | 8 |
| 14  | <p><b>Тема 14.</b> Електро- та теплопровідність композитів на основі нановуглецевих структур. Перколяційна модель.</p> <p><b>Лаб.р.</b> Визначення дійсної та уявної частин діелектричної проникності полімерних композитів з нановуглецевим наповнювачем.</p>  | 2 | 2 | 8 |



|    |  |           |           |            |
|----|--|-----------|-----------|------------|
|    | <b>С.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Полімерні композити на основі нановуглецевих структур як матеріали для виготовлення електро-магнітних екранів. Оформлення звіту по лабораторній роботі. |           |           |            |
| 15 | <b>Тема 15.</b> Електродинамічні властивості полімерних композитів на основі нановуглецевих структур.<br><b>С.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Підготовка до контрольної роботи.              | 2         |           | 8          |
|    | <i>Підсумкова модульна контрольна робота</i>   |           | 2         |            |
|    | <b>ВСЬОГО</b>  | <b>30</b> | <b>30</b> | <b>120</b> |

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

**Загальний обсяг 180 год.<sup>5</sup>**, в тому числі:

Лекцій – **30 год.**

Семінари – **0 год.**

Практичні заняття – **0 год**

Лабораторні заняття **30 год.**

Тренінги – **0 год.**

Консультації – **2 год.**

Самостійна робота - **120 год.**

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА<sup>6</sup>:

### *Основна: (Базова)*

1. Э.Г. Раков. Нанотрубки и фуллерены: Учебн. пособие.-М.: Университетская книга, Логос, 2006.- 376 с.
2. П.Н. Дьячков. Электронные свойства и применение нанотрубок.- М.:БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 488с.
3. М.О. Боровий, І.В. Овсієнко. Рентгенівська дифрактометрія наноструктурних матеріалів. Вінниця. ТОВ «Нілан-ЛТД» 2018 – 86 стор.
4. Т.Л. Макарова. Оптические и электрические свойства мономерных и полимеризованных фуллеренов. Обзор // Физика и техника полупроводников.-2001.-т **35**. – вып. 3.- с.257-293.
5. Т.Л. Макарова. Магнитные свойства углеродных структур. Обзор. // Физика и техника полупроводников.- 2004.-т **38**. – вып. 6.- с.641-664.

### *Додаткова:*

1. П. Харрис. Углеродные нанотрубки и родственные структуры. Новые материалы XXI века. М.: Техносфера, 2003, 336 с.
2. Ф. П. Санін, Л. Д. Кучма, Є. О. Джур, А. Ф. Санін. Твердопаливні ракетні двигуни. Матеріали та технології. Д.: Видавництво Дніпропетровського університету, 1999, 318 с.
3. І. В. Овсієнко, Л. Л. Вовченко, Л. Ю. Мацуй. Вуглецеві матеріали та інтеркальовані сполуки на їх основі. Навчальний посібник. НВП “Видавництво “Наукова думка” НАН України”, 2009, 129 стор.

<sup>5</sup> Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.

<sup>6</sup> В тому числі Інтернет ресурси