

# КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Кафедра фізичної електроніки

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана з навчальної роботи

\_\_\_\_\_ Олексій НЕЧИПОРУК

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

“Фізика плазми”

для студентів

|                           |  |
|---------------------------|--|
| галузь знань              | <b>10 Природничі науки</b>                   |
| спеціальність             | <b>105 Прикладна фізика та наноматеріали</b> |
| рівень вищої освіти       | <b>бакалавр</b>                              |
| освітньо-наукова програма | <b>“Еконофізика”</b>                         |
| вид дисципліни            | <b>вибіркова</b>                             |

|                           |                   |
|---------------------------|-------------------|
| Форма навчання            | <b>денна</b>      |
| Навчальний рік            | <b>2022/2023</b>  |
| Семестр                   | <b>7</b>          |
| Кількість кредитів ECTS   | <b>5</b>          |
| Мова викладання           | <b>українська</b> |
| Форма заключного контролю | <b>залік</b>      |

### Викладачі:

Ігор АНІСІМОВ, доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем

Анатолій ВЕКЛИЧ, доктор ф.-м.н., професор, завідувач кафедри фізичної електроніки

Пролонговано: на 20\_\_/20\_\_ н. р. \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ ) « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

на 20\_\_/20\_\_ н. р. \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ ) « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КИЇВ – 2022**

**Розробник:**

**Ігор АНІСІМОВ**, доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем

**«ЗАТВЕРДЖЕНО»**

**Завідувач кафедри фізичної електроніки**

\_\_\_\_\_ **Анатолій БЕКЛИЧ**

**Протокол № \_\_ від « \_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.**

Схвалено науково-методичною комісією факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Протокол № \_\_ від « \_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

Голова науково-методичної комісії

**Сергій РАДЧЕНКО**

« \_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року.

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – ознайомлення студентів з основними властивостями плазми (у першу чергу, газової) як середовища, в якому реалізуються колективні явища, методами її опису, ефектами, які їй притаманні, а також основними застосуваннями (керований термоядерний синтез, плазмові технології, тощо).

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

Навчальна дисципліна “Фізика плазми” базується на циклі обов’язкових дисциплін бакалавра відповідної спеціальності, а саме: “Математичний аналіз”, “Диференціальні рівняння”, “Методи математичної фізики”, “Механіка”, “Молекулярна фізика”, “Електродинаміка”, “Оптика”, “Квантова механіка”, “Коливання та хвилі”.

Попередні вимоги:

*студент повинен знати:* основні закони, рівняння та співвідношення механіки, молекулярної фізики, електрики та магнетизму;

*студент повинен вміти:* користуватися апаратом вищої математики (математичний аналіз, лінійна алгебра, диференціальні рівняння).

### **3. Анотація навчальної дисципліни:**

Вивчення дисципліни “Фізика плазми” дозволяє зрозуміти сутність плазми як стану речовини й таких явищ: максвелізація плазми, процеси перенесення в плазмі, магнітне утримання плазми, керований термоядерний синтез, коливання і хвилі в плазмі, нелінійні ефекти в плазмі, методи діагностики плазми та інші.

### **4. Завдання навчальної дисципліни (навчальні цілі):**

1. Засвоєння основних методів опису плазми – кінетичного та гідродинамічного.
2. Розуміння основних видів явищ, які можуть відбуватися в плазмі.
3. Знання основних застосувань плазми.
4. Розуміння основних методів експериментальної діагностики плазми.

Дисципліна спрямована на формування програмних компетентностей:

**ЗК 1.** Здатність реалізувати свої права і обов’язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського (вільного демократичного) суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина в Україні

**ЗК 2.** Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.

**ЗК 3.** Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

**ЗК 5.** Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

**ЗК 6.** Здатність спілкуватися іноземною мовою.

**ЗК 10.** Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

**ЗК 11.** Здатність працювати в команді.

**ЗК 12.** Навички міжособистісної взаємодії.

**ФК 3.** Здатність брати участь у проведенні експериментальних досліджень властивостей фізичної системи, фізичних явищ і процесів

**ФК 4.** Здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об’єктів дослідження, підготовці даних з різних форм економічної діяльності

**ФК 5.** Здатність брати участь у розробці засобів фінансового моніторингу

**ФК 6.** Здатність брати участь у обробленні та оформленні результатів експерименту

**ФК 7.** Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії, економіки та комп’ютерних технологій.

**ФК 10.** Здатність використовувати знання про природу об’єктів у роботах по створенню нових методик розрахунків.

## 5. Результати навчання за дисципліною:

| Результат навчання (1, знати; 2, вміти; 3, комунікація; 4, автономність та відповідальність) |  | Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання | Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності) | Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни |
|--|--|--|--|--|
| Код  | Результат навчання   |  |  |  |
| <b>1</b>   | <b>знати:</b>  | лекційні заняття   | колоквіуми   | до 45                                      |
| 1.1  | Природна та лабораторна плазма. Основні моделі плазми.   | <i>лекція</i>  | <i>колоквіуми</i>  | 4  |
| 1.2  | Кінетичний та гідродинамічний опис плазми.   | <i>лекція</i>  | <i>колоквіуми</i>  | 4  |
| 1.3  | Процеси релаксації в плазмі.   | <i>лекція</i>  | <i>колоквіуми</i>  | 4  |
| 1.4  | Процеси перенесення в плазмі.  | <i>лекція</i>  | <i>колоквіуми</i>  | 4  |
| 1.5  | Магнітне утримання плазми.   | <i>лекція</i>  | <i>колоквіуми</i>  | 4  |
| 1.6  | Керований термоядерний синтез.   | <i>лекція</i>  | <i>колоквіуми</i>  | 5  |
| 1.7  | Коливання і хвилі в ізотропній плазмі.   | <i>лекція</i>  | <i>колоквіуми</i>  | 5  |
| 1.8  | Коливання і хвилі в магнітоактивній плазмі.  | <i>лекція</i>  | <i>колоквіуми</i>  | 5  |
| 1.9  | Нелінійні явища в плазмі.  | <i>лекція</i>  | <i>колоквіуми</i>  | 5  |
| 1.10   | Основні методи діагностики плазми.   | <i>лекція</i>  | <i>колоквіуми</i>  | 5  |
| <b>2</b>   | <b>вміти:</b>  | практичні заняття  | письмові модульні контрольні роботи                                  | до 45                                      |
| 2.1  | Розраховувати властивості термодинамічно рівноважної плазми.   | <i>практичні заняття</i>                                 | МКР  | 15   |
| 2.2  | Розраховувати властивості основних типів коливань і хвиль у плазмі.  | <i>практичні заняття</i>                                 | МКР  | 15   |
| 2.3  | Розраховувати процеси перенесення в плазмі.  | <i>практичні заняття</i>                                 | МКР  | 15   |
| <b>3</b>   | <b>комунікація:</b>  | практичні заняття  | колоквіуми   | до 5                                       |
| 3.1  | Здатність грамотно будувати наукову комунікацію як в усній так і письмовій формах, підбирати правильну термінологію.                 | <i>практичні заняття</i>                                 | <i>колоквіуми</i>  | 5  |
| <b>4</b>   | <b>автономність та відповідальність:</b>   | практичні заняття  | практичні заняття  | до 5                                       |
| 4.1  | Здатність до самостійного пошуку наукової літератури або інших джерел інформації для розв'язання поставленої перед студентом задачі. | <i>практичні заняття</i>                                 | <i>практичні заняття</i>   | 5  |

**6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання**

| Результати навчання дисципліни  | Код |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
|   | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 1.10 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 3.1 | 4.1 |
| <b>Програмні результати навчання (назва)</b>  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |
| ПРН 1. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики, прикладної економіки.   | +   | +   | +   | +   | +   | +   | +   | +   | +   | +    |     |     |     | +   |     |
| ПРН 2. Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики, методи розрахунків при розв'язанні економічних задач. | +   |     |     |     |     |     |     |     |     | +    |     |     |     |     | +   |
| ПРН 7. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, економічних процесів, розробки приладів і наукоємних технологій  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      | +   | +   | +   |     |     |
| ПРН 8. Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      | +   | +   | +   |     |     |
| ПРН 14. Оцінювати фінансові, матеріальні та інші витрати, пов'язані з реалізацією проектів у сфері прикладної фізики, соціальні, екологічні та інші потенційні наслідки реалізації проектів.  |     |     |     |     | +   | +   |     |     |     |      |     |     |     |     |     |

## 7. Схема формування оцінки

### 7.1. Форми оцінювання

Рівень досягнення всіх запланованих результатів навчання визначається за результатами складання колоквіумів та написання письмових контрольних робіт. Внесок результатів навчання у підсумкову оцінку, за умови їх опанування на належному рівні:

- результати навчання 1.1 – 1.10 [знання] – до 45 %;
- результат навчання 2.1 – 2.3 [вміння] – до 45%;
- результат навчання 3.1 [комунікація] – до 5%;
- результат навчання 4.1 [автономність та відповідальність] – до 5%.

Форми оцінювання:

- **семестрове оцінювання:** Навчальний семестр має три змістовні модулі. Після завершення їх вивчення проводяться колоквіуми, за підсумками практичних занять проводиться модульна контрольна робота. Обов'язковим для допуску до іспиту є: отримання не менше 36 балів семестрового рейтингу.
- **підсумкове оцінювання (у формі заліку):** форма іспиту – письмово-усна. Екзаменаційний білет складається з 4 питань, питання оцінюються по 10 балів. Всього за іспит можна отримати від 0 до 40 балів. Умовою досягнення позитивної оцінки за дисципліну є отримання не менш ніж 60 балів, оцінка за іспит не може бути меншою за **24 бали**.
- **умови допуску до підсумкового заліку:** умовою допуску до заліку є отримання студентом сумарно не менше, ніж *36 балів* за семестр. Студенти, які протягом семестру сумарно набрали меншу кількість балів, для одержання допуску до заліку обов'язково повинні написати додаткову контрольну роботу або скласти колоквіум.

У випадку відсутності студента з поважних причин відпрацювання та перескладання модульних контрольних робіт та колоквіумі здійснюються у відповідності до „Положення про організацію освітнього процесу у Київському національному університеті”

### 7.2. Організація оцінювання;

Оцінювання за формами контролю:

| Семестрова робота          | Кількість балів |           |
|----------------------------|-----------------|-----------|
|                            | Min. – 9        | Max. – 15 |
| Модульна контрольна робота | 9               | 15        |
| Колоквіум 1                | 9               | 15        |
| Колоквіум 2                | 9               | 15        |
| Колоквіум 3                | 9               | 15        |

Орієнтований графік оцінювання:

| Форма оцінювання                                      | Орієнтовний період для здійснення відповідної форми оцінювання |
|---|--|
| Колоквіум 1   | вересень   |
| Колоквіум 2   | жовтень  |
| Колоквіум 3   | листопад   |
| Модульна контрольна робота                            | листопад   |
| Добір балів/додаткова контрольна робота або колоквіум | грудень  |
| Іспит   | грудень  |

Розрахунок балів, які отримують при успішній здачі іспиту:

| Значення | Змістовні модулі | Залік | Підсумкова оцінка |
|----------|------------------|-------|-------------------|
| Мінімум  | 36               | 24    | 60                |
| Максимум | 60               | 40    | 100               |

### 7.3. Шкала відповідності оцінок

|  |                                |
|--|--------------------------------|
| Оцінка (за національною шкалою) / National grade | Рівень досягнень, % / Marks, % |
| <b>Відмінно</b> / Excellent                      | 90-100%                        |
| <b>Добре</b> / Good                              | 75-89%                         |
| <b>Задовільно</b> / Satisfactory                 | 60-74%                         |
| <b>Незадовільно</b> / Fail                       | 0-59%                          |

### 8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекційних занять

| № з/п | Назва теми  | Кількість годин |                   |                   |
|-------|---|-----------------|-------------------|-------------------|
|       |   | Лекції          | Практичні заняття | Самостійна робота |
| 1     | Природна і лабораторна плазма   | 2               | 1                 | 4                 |
| 2     | Означення та класифікація плазми                                      | 1               |                   | 4                 |
| 3     | Кінетичний опис плазми. Рівняння Власова                              | 2               | 1                 | 4                 |
| 4     | Дворідинна та однорідинна плазмова гідродинаміка                      | 1               |                   | 4                 |
| 5     | Магнітна гідродинаміка плазми. Вмороженість магнітного поля в плазму. | 2               | 1                 | 4                 |
| 6     | Процеси перенесення в ідеальному газі.                                | 1               |                   | 4                 |
| 7     | Рівняння Больцмана в $\tau$ -наближенні. Максвеллізація плазми.       | 2               | 1                 | 4                 |
| 8     | В'язкість, теплопровідність та електропровідність плазми.             | 1               |                   | 4                 |
| 9     | Дрейф заряджених частинок в електричних та магнітних полях.           | 2               | 1                 | 4                 |
| 10    | Дифузія плазми.   | 1               |                   | 4                 |
| 11    | Умови рівноваги плазми в магнітному полі.                             | 2               | 1                 | 3                 |
| 12    | Нестійкості плазми в моделі ідеальної магнітної гідродинаміки.        | 1               |                   | 3                 |
| 13    | Нестійкості плазми з урахуванням її скінченної провідності.           | 2               | 1                 | 3                 |
| 14    | Токамаки та стеларатори.  | 1               |                   | 3                 |
| 15    | Лазерний керований термоядерний синтез.                               | 2               | 1                 | 3                 |
| 16    | Діелектрична проникність плазми та її властивості.                    | 1               |                   | 3                 |
| 17    | Електромагнітні хвилі в плазмі без магнітного поля.                   | 2               | 1                 | 3                 |
| 18    | Ленгмюрівські хвилі, згасання Ландау. Іонний звук.                    | 1               |                   | 3                 |
| 19    | Електромагнітні хвилі в магнітоактивній плазмі.                       | 2               | 1                 | 3                 |
| 20    | Альвенівські хвилі в магнітоактивній плазмі.                          | 1               |                   | 3                 |

|               |  |           |           |           |
|---------------|--|-----------|-----------|-----------|
| 21            | Магнітозвукові хвилі в магнітоактивній плазмі.                                   | 2         | 1         | 3         |
| 22            | Швидка нелінійність у плазмі. Іонно-звукові солітони та ударні хвилі в плазмі.   | 1         |           | 3         |
| 23            | Повільна нелінійність у плазмі. Ленгмюрівські солітони. Модуляційна нестійкість. | 2         | 1         | 3         |
| 24            | Параметричний розпад хвиль у плазмі.   | 1         |           | 3         |
| 25            | Турбулентність плазми.   | 2         | 1         | 3         |
| 26            | Плазмово-пучкова нестійкість.  | 1         |           | 3         |
| 27            | Діагностика плазми: зондові методи.  | 2         | 1         | 3         |
| 28            | Діагностика плазми: радіофізичні та оптичні методи.                              | 1         |           | 3         |
| <b>Всього</b> |  | <b>42</b> | <b>14</b> | <b>94</b> |

Загальний обсяг **150** год., в тому числі:  
 Лекції **42** год.  
 Практичні заняття **14** год.  
 Самостійна робота **94** год.

## 9. Рекомендована література:

### Основні джерела:

1. Ситенко О.Г., Мальнев В.М. Основи теорії плазми. К., Наукова думка, 1994.
2. Chen F.F. Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion. Springer. 2016
3. Анісімов І.О. Фізика плазми. Конспект лекцій. К., 2018. [105 Prykladna fizyka ta nanomaterialy bakalavr.pdf](#)

### Додаткові і джерела:

4. Загородній А.Г., Момот А.І. Вступ до кінетичної теорії плазми. К., Наукова думка, 2015.
5. Boyd T.J.M., Sanderson J.J. The Physics of Plasmas. Cambridge University Press, 2005.