**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**Львівський національний університет імені Івана Франка**
**Фізичний факультет**
**Кафедра фізики твердого тіла**

Затверджено на засіданні
кафедри фізики твердого тіла
фізичного факультету
Львівського національного
університету імені Івана Франка
(протокол № 1 від 25 серпня 2023 р.)
Завідувач кафедри
Володимир КАПУСТЯНИК

# Силабус
## з навчальної дисципліни «Ядерна фізика»,
## що викладається в межах
## ОПП *Комп'ютерні технології у прикладній фізиці*
## першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
## для здобувачів зі спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»

**Львів 2023**

| | |
|---|---|
| **Назва дисципліни** | **Ядерна фізика** |
| **Адреса викладання дисципліни** | Вул. Драгоманова 50, 79005 Львів |
| **Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна** | Фізичний факультет, кафедра фізики твердого тіла |
| **Галузь знань, шифр та назва спеціальності** | 10 Природничі науки<br>105 «Прикладна фізика та наноматеріали» |
| **Викладачі дисципліни** | Завідувач кафедри фізики твердого тіла, професор, д.ф.-м.н Капустяник Володимир Богданович: практичні заняття проводить доц. Тузяк О.Я., лабораторні заняття – доц. Турко Б.І. |
| **Контактна інформація викладачів** | volodymyr.kapustianyk@lnu.edu.ua<br>https://physics.lnu.edu.ua/employee/kapustyanyk-volodymyr-bohdanovych |
| **Консультації по дисципліні відбуваються** | Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту. |
| **Сторінка дисципліни** | https://physics.lnu.edu.ua/course/yaderna-fizyka-fizyka |
| **Інформація про дисципліну** | Дисципліна «Ядерна фізика» є нормативною дисципліною зі спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, яка викладається у 6 семестрі в обсязі 5,5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS). |
| **Коротка анотація дисципліни** | Курс ядерної фізики є одним з основних розділів загальної фізики. В курсі розглядаються основи фізики ядра, його склад і будова, основні ядерні моделі. Значне місце в курсі відведене аналізу експериментальних методів дослідження атомних ядер і ядерних частинок, а також фізиці високих енергій. Проаналізовані різні види ядерних реакцій, розглядається класифікація елементарних частинок і властивості кварків. Набуті в рамках курсу знання є необхідною основою для успішної професійної діяльності випускників фізичного факультету. |
| **Мета та цілі курсу** | **Мета курсу:** ознайомити студентів з основними закономірностями та поняттями фізики атомного ядра та фізики високих енергій, сформулювати поняття єдності мікро- і макросвіту, виробити навички фізичного мислення.<br>**Основні цілі курсу:**<br>а) розглянути розвиток уявлень про будову і властивості атомного ядра;<br>б) розширити науковий світогляд студентів;<br>в) виробити навички до самостійної роботи. |
| **Література для вивчення дисципліни** | **Базова:**<br>1. Ситенко О.Г., Тартаковський В.К. Теорія ядра: Навч. посібник.- Київ.: Либідь, 2000.- 608 с.<br>2. Ніцук Ю.А. Ядерна фізика: Навч. посібник.- Одеса.: Видавництво ОДУ, 2008.- 168 с.<br>3. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики. Т.3. Оптика. Квантова фізика. К.: Техніка, 1999.- 520 с.<br>4. Вальтер А.К., Залюбовський І.І. Ядерна фізика.- Харків: Видавництво Харківського ун-ту, 1991.- 480 с.<br>5. Булавін Л.А., Тартаковський В.К. Ядерна фізика.- Київ, 2005.- 480 с.<br>6. Каденко І.М., Плюйко В.А. Фізика атомного ядра та частинок : підручник. 2-ге вид., переробл. і доповн. Електронна версія. К. : 2019. 467 с. |

| | |
|---|---|
| | 7. Вакарчук І.О. Квантова механіка: Підручник.- Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2007.- 784 с.<br>8. Капустяник В., Кулик Б., Партика М. Практикум з ядерної фізики для студентів фізичного факультету.- Львів: Видавн. центр фіз. ф-ту ЛНУ ім. І. Франка, 2012.- 88 с.<br><br>**Допоміжна:**<br>1. Білинський І. Теорія ядра та процеси в ньому. Фізика атомного ядра : навчальний посібник. Дрогобич : Видавничий відділ ДДПУ ім. І. Франка, 2021. 75 с.<br>2. П.П. Чолпан. Фізика. К.: Вища школа, 2003.-567 с.<br><br>**Інформаційні ресурси:**<br>1. Eric Weisstein's World of Physics http://scienceworld.wolfram.com/physics/<br>2. Wikipedia. http://www.wikipedia.org<br>3. http://www.lbl.gov/abc/Contents.html#experiment |
| **Тривалість курсу** | один семестр |
| **Обсяг курсу** | 165 годин, з яких 96 годин аудиторних занять, з них 32 годин лекцій, 32 годин лабораторних занять, 32 години практичних занять та 69 годин самостійної роботи |
| **Очікувані результати навчання** | В результаті вивчення цього курсу здобувач має оволодіти такими компетентностями:<br>**Загальні компетентності (ЗК):**<br>**ЗК 1.** Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.<br>**ЗК 2.** Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.<br>**ЗК 9** Здатність працювати автономно.<br>**Спеціальні (фахові) компетентності (СК):**<br>**СК 5.** Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.<br>**СК_7.** Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.<br>Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі **програмні результати навчання**:<br>**ПРН 1.** Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.<br>**ПРН 2.** Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.<br>**ПРН 3.** Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.<br>**ПРН 12.** Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем. |
| **Ключові слова** | Ядро атома, фізика високих енергій, прискорювачі заряджених частинок, ядерні моделі, нуклони, кварки, лептони, адрони, мезони, сильна ядерна взаємодія, слабка ядерна взаємодія. |
| **Формат курсу** | Очний |
| **Теми** | Наведено у таблицях нижче |
| **Підсумковий контроль, форма** | Іспит у 6 семестрі |

| | |
|---|---|
| **Пререквізити** | Вивчення курсу «Ядерної фізики» ґрунтується на знаннях студентів, одержаних під час вивчення навчальних дисциплін: «Механіка», «Молекулярна фізика», «Електрика і магнетизм», «Оптика», «Атомна фізика», «Математичний аналіз» і «Диференціальні рівняння». |
| **Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу** | Використовуються такі методи навчання: а) словесні – лекція, пояснення, бесіда, інструктаж (вступний та поточний) під час виконання лабораторних робіт; б) наочні – ілюстрування лекційного матеріалу презентаціями, що включають в себе таблиці, схеми та графіки; в) лабораторні – виконання лабораторних робіт, г) практичні заняття – розв'язування задач, що передбачає організацію навчальної роботи для отримання нових знань. |
| **Необхідне обладнання** | Персональний комп'ютер, операційні системи (Windows, Linux), загальновживані комп'ютерні програми, проектор, радіометр-дозиметр гамма-бета-випромінювання РКС-01 "СТОРА-ТУ", дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА», дозиметр-радіометр гамма-бета-випромінювання пошуковий МКС-07 "ПОШУК", спектрометр енергій гамма-випромінювання сцинтиляційний СЕГ-001 "АКП-С-63", лічильники Гейгера-Мюллера, набір ізотопів. |
| **Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)** | Контроль засвоєння матеріалу включає<br>- *поточний контроль* (контрольні роботи за двома змістовими модулями, 2×5 = 10 балів), оцінку відповідей та роботи на практичних (20 балів) і лабораторних (20 балів) заняттях — разом за семестр 50 балів<br>- *іспит*, що складається з теоретичної частини (20×2 = 40 балів) і перевірки практичних знань (10 балів) — разом 50 балів.<br>Бали нараховуються за таким співвідношенням:<br>• лабораторні заняття (виконання кожної з лабораторних робіт №1-9 оцінюється в 2 бали, а лабораторних робіт №10, 11 – 1 бал; максимальна оцінка за лабораторний практикум – 20 балів;<br>• на практичних заняттях бали нараховуються за результатами контрольних робіт і індивідуальних відповідей студентів: максимальна кількість балів 20;<br>• робота на лекціях (тестове опитування лекційного матеріалу в середині і в кінці семестру): максимальна кількість балів 10;<br>• іспит: максимальна кількість балів 50.<br>Сумарна оцінка — 100 балів.<br>**Академічна доброчесність** здобувачами вищої освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій чи усній роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману.<br>**Відвідання занять** є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і практичні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх термінів, визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.<br>**Література**. Усю література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих. |

| | |
|---|---|
| | **Політика виставлення балів**. Враховуються бали, набрані на лабораторних і практичних заняттях та поточному тестуванні. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізнень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.<br>**Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.** |
| **Питання до екзамену** | 1. Ядерна модель атома.<br>2. Визначення розміру та заряду ядра.<br>3. Протонно-нейтронний склад ядра.<br>4. Енергія зв'язку ядер, ядерні сили.<br>5. Формула Вайцзеккера.<br>6. Проходження електронів через поглинаючі середовища. Пружне розсіювання електронів ядрами.<br>7. Іонізаційні втрати для швидких електронів.<br>8. Втрати на випромінювання. Ефект Черенкова.<br>9. Джерела нуклонів. Взаємодія нуклонів з речовиною.<br>10. Спіни і магнітні моменти нуклонів.<br>11. Структура нуклонів, досліди Хофштадтера.<br>12. Дейтрон, потенціали взаємодії.<br>13. Обмінні сили.<br>14. Мезонна теорія ядерних сил. Потенціал Юкава.<br>15. Місце ядерних сил серед взаємодії у природі.<br>16. Гамма-випромінювання ядер.<br>17. Внутрішня конверсія електронів.<br>18. Ефект Месбауера.<br>19. Магнітний момент ядра, метод Рабі.<br>20. Спін і магнітний момент ядра.<br>21. Ядерна ізомерія.<br>22. Модель рідкої каплі.<br>23. Альфа-частинкова модель.<br>24. Модель Фермі-газу.<br>25. Модель ядерних оболонок.<br>26. Узагальнена модель ядра.<br>27. Оптична модель ядра.<br>28. Електростатичний прискорювач.<br>29. Циклотрон.<br>30. Бетатрон.<br>31. Фазотрон, синхротрон. Синхрофазотрон.<br>32. Джерела променів та коефіцієнт послаблення.<br>33. Фотоефект. Класичне розсіяння. Ефект Комптона.<br>34. Утворення електрон-позитронних пар.<br>35. Фотонно-електронні зливи.<br>36. Повний коефіцієнт послаблення.<br>37. Основні види і особливості радіоактивного розпаду.<br>38. Закон радіоактивного розпаду. Вікова радіоактивна рівновага.<br>39. Природні радіоактивні ядра. Радіоактивні ряди.<br>40. Штучні радіоактивні ядра.<br>41. Альфа-розпад. Тонка структура альфа-спектру. Теорія альфа-розпаду.<br>42. Бета-перетворення.<br>43. Досліди з виявлення нейтрино.<br>44. Втрата парності при бета-розпаді. Досліди Ву. |

| | |
|---|---|
| | 45. Методи реєстрації заряджених частинок і гамма-квантів.<br>46. Ендотермічні та екзотермічні реакції. Переріз ядерної реакції.<br>47. Ядерні реакції під дією нейтронів. Поділ важких ядер.<br>48. Ланцюгові ядерні реакції. Використання енергії поділу.<br>49. Практичне здійснення ланцюгового ядерного процесу. Ядерні реактори.<br>50. Надважкі ядра. Фотоядерні реакції.<br>51. Реакції термоядерного синтезу. Проблема керованої термоядерної реакції. Магнітна ізоляція плазми.<br>52. Термоядерні реакції у Всесвіті. Протонно-протонний і вуглецево-азотний цикл.<br>53. Критерій елементарності.<br>54. Основні характеристики елементарних частинок.<br>55. Закони збереження. Лептони, закон збереження лептонного заряду.<br>56. Баріони, закон збереження баріонного заряду.<br>57. Ізотопічний спін. Ізотопічна інваріантність.<br>58. Дивні частинки.<br>59. Взаємодія елементарних частинок. Види взаємодії.<br>60. Резонансні частинки.<br>61. Модель кварків.<br>62. Дозиметричні одиниці.<br>63. Біологічна дія іонізаційного випромінювання.<br>64. Дозиметрія і захист від випромінювання. |
| **Опитування** | Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу. |

Таблиця 1

Схема курсу **«Ядерна фізика»**

| Тиждень | Назва теми | Форма діяльності та обсяг годин | Література | Термін Виконання |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Тема 1. Розвиток уявлень про атомне ядро | лекції – 2 год, самостійна робота – 2 год. | Б: 1-6<br>Д: 2 | 1 тиждень |
| 2, 3 | Тема 2. Електрони і нуклони | лекції – 3 год, самостійна робота – 2 год. | Б: 1-8<br>Д: 1 | 1,5 тижня |
| 3, 4 | Тема 3. Ядерні сили | лекції – 3 год, самостійна робота – 2 год. | Б: 1-6 | 1,5 тижня |
| 5, 6 | Тема 4. Квантування станів ядер | лекції – 4 год, самостійна робота – 2 год. | Б: 1-7 | 2 тижні |
| 7, 8 | Тема 5. Ядерні моделі | лекції – 4 год, самостійна робота – 2 год. | Б: 1-6 | 2 тижні |
| 9, 10 | Тема 6. Прискорювачі частинок | лекції – 3 год, самостійна робота – 2 год. | Б: 1-6 | 1,5 тижня |
| 10, 11 | Тема 7. Взаємодія гамма- і Х-променів з речовиною | лекції – 3 год, самостійна робота – 2 год. | Б: 1-6, 8 | 1,5 тижня |
| 12, 13 | Тема 8. Радіоактивний розпад | лекції – 2 год, самостійна робота – 3 год. | Б: 1-6, 8<br>Д: 2 | 1 тижня |
| 13, 14 | Тема 9. Ядерні реакції синтезу та поділу | лекції – 3 год, самостійна робота – 3 год. | Б: 1-6, Д: 1 | 1,5 тижня |
| 15, 16 | Тема 10. Фізика високих енергій | лекції – 3 год, самостійна робота – 3 год. | Б: 1-6<br>Д: 2 | 1,5 тижня |
| 16 | Тема 11. Дозиметрія. Біологічна дія іонізаційного випромінювання. | лекції – 2 год, самостійна робота – 3 год. | Б: 1-6, 8 | 1 тиждень |

Таблиця 2

Теми практичних занять

| Тиждень | Назва теми | Форма діяльності та обсяг годин | Термін виконання |
|---|---|---|---|
| 1 | Енергія зв'язку нуклонів в ядрах. Використання формули Вайцзеккера. | практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год. | 1 тиждень |
| 2 | Аналіз взаємодії протонів з речовиною. Обчислення обмінних сил. | практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год. | 1 тиждень |
| 3 | Енергетичний розрахунок ядерних моделей. | практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год. | 1 тиждень |
| 4 | Технічні характеристики прискорювачів елементарних частинок. | практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год. | 1 тиждень |
| 5 | Вивчення ефекту утворення електрон-позитронних пар. | практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год. | 1 тиждень |
| 6 | Аналіз радіоактивного закону розпаду. | практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год. | 1 тиждень |
| 7 | Вивчення вікової радіоактивної рівноваги. | практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год. | 1 тиждень |
| 8 | Вивчення альфа- та бета-розпадів. | практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год. | 1 тиждень |
| 9 | Дозиметричні одиниці. | практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год. | 1 тиждень |
| 10 | Ендотермічні та екзотермічні реакції. | практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год. | 1 тиждень |
| 11 | Вивчення ланцюгових ядерних реакцій. | практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год. | 1 тиждень |
| 12 | Аналіз роботи ядерних реакторів. | практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год. | 1 тиждень |
| 13 | Вивчення термоядерних реакцій у Всесвіті. | практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год. | 1 тиждень |
| 14 | Вивчення можливості створення керованих термоядерних реакцій. | практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год. | 1 тиждень |
| 15 | Розрахунок реакцій з участю частинок і античастинок. | практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год. | 1 тиждень |
| 16 | Вивчення законів збереження при ядерних реакціях. | практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год. | 1 тиждень |

Таблиця 3

Теми лабораторних занять

| Тиждень | Назва теми | Форма діяльності та обсяг годин | Термін виконання |
|---|---|---|---|
| 1, 2 | Вивчення роботи газорозрядного лічильника. | лаборатор. заняття – 3 год самостійна робота – 2 год. | 1,5 тижня |
| 2, 3 | Вивчення статистичного характеру радіоактивного розпаду. | лаборатор. заняття – 3 год, самостійна робота – 1 год. | 1,5 тижня |
| 4, 5 | Взаємодія гамма-випромінювання з речовиною. | лаборатор. заняття – 3 год, самостійна робота – 1 год. | 1,5 тижня |
| 6, 7 | Визначення мертвого часу газорозрядного лічильника. | лаборатор. заняття – 3 год, самостійна робота – 1 год. | 1,5 тижня |
| 7, 8 | Вивчення ефективності газорозрядного лічильника під час реєстрації гамма-квантів. | лаборатор. заняття – 3 год, самостійна робота – 1 год. | 1,5 тижня |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 9, 10 | Визначення активності гамма-джерела. | лаборатор. заняття – 3 год, самостійна робота – 1 год. | 1,5 тижня |
| 10, 11 | Визначення активності бета-джерела абсолютним методом. | лаборатор. заняття – 3 год, самостійна робота – 1 год. | 1,5 тижня |
| 11, 12 | Визначення верхньої межі бета-спектру. | лаборатор. заняття – 3 год самостійна робота – 1 год. | 1,5 тижня |
| 13 | Вивчення роботи сцинтиляційного гамма-спектрометра. | лаборатор. заняття – 3 год самостійна робота – 1 год. | 1,5 тижня |
| 14, 15 | Визначення потужності дози іонізаційного випромінювання. | лаборатор. заняття – 3 год самостійна робота – 1 год. | 1,5 тижня |
| 15, 16 | Вивчення роботи дозиметрів. | лаборатор. заняття – 2 год самостійна робота – 1 год. | 1 тиждень |