

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 29 серпня 2024 р.)

Завідувач кафедри 

Силабус з навчальної дисципліни
«Ядерна фізика та фізика елементарних частинок»,
що викладається в межах
ОПІ «Квантові комп'ютери і квантове програмування»
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для здобувачів
зі спеціальностей 104 «Фізика та астрономія»

Львів 2024 р.

Назва дисципліни	Ядерна фізика і фізика елементарних частинок
Адреса викладання курсу	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 / 104 Фізика та астрономія,
Викладачі курсу	Завідувач кафедри фізики твердого тіла, професор, д.ф.-м.н Капустяник Володимир Богданович
Контактна інформація викладачів	volodymyr.kapustianyk@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/kapustyanyk-volodymyr-bohdanovych
Консультації по курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/yaderna-fizyka-fizyka
Інформація про курс	Курс ядерної фізики та фізики елементарних частинок 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.
Коротка анотація курсу	Дисципліна «Ядерна фізика та фізика елементарних частинок» є нормативною дисципліною зі спеціальності 104 Фізика та астрономія (ОПП «Квантові комп'ютери і квантове програмування») для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, яка викладається у 5 семестрі в обсязі 5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS). В курсі розглядається основні закономірності фізики атомного ядра та фізики елементарних частинок.
Мета та цілі курсу	Мета курсу: ознайомити студентів з основними закономірностями та поняттями фізики атомного ядра та фізики елементарних частинок, сформулювати поняття єдності мікро- і макросвіту, виробити навички фізичного мислення. Основні цілі курсу: а) розглянути розвиток уявлень про будову і властивості атомного ядра; б) розширити науковий світогляд студентів; в) виробити навички до самостійної роботи.
Література для вивчення дисципліни	Базова: 1. О.Г. Ситенко, В.К. Тартаковський. Теорія ядра: Навч. посібник.- Київ.: Либідь, 2000.- 608 с. 2. Ніцук Ю.А. Ядерна фізика: Навч. посібник.- Одеса.: Видавництво ОДУ, 2008.- 168 с. 3. Вакарчук І.О. Квантова механіка: Підручник.- Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2007.- 784 с. 4. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики. Т.3. Оптика. Квантова фізика. К.: Техніка, 1999.- 520 с. 5. А.К. Вальтер, І.І. Залюбовський. Ядерна фізика.- Харків: Видавництво Харківського ун-ту, 1991.- 480 с. 6. Л.А. Булавін, В.К. Тартаковський. Ядерна фізика.- Київ, 2005.- 480 с.

	<p>7. В. Капустяник, Б. Кулик, М. Партика. Практикум з ядерної фізики для студентів фізичного факультету.- Львів: Видавн. центр фіз. ф-ту ЛНУ ім. І. Франка, 2012.-88 с.</p> <p>Допоміжна: 1. П.П. Чолпан. Фізика. К.: Вища школа, 2003.-567 с.</p> <p>Інформаційні ресурси: 1. Eric Weisstein's World of Physics http://scienceworld.wolfram.com/physics/ 2. Wikipedia. http://www.wikipedia.org 3. http://www.lbl.gov/abc/Contents.html#experiment</p>
Тривалість курсу	1 семестр
Обсяг курсу	150 годин, з яких 64 годин аудиторних занять, з них 32 годин лекцій, 16 годин лабораторних занять, 16 години практичних занять та 86 годин самостійної роботи
Очікувані результати навчання	<p>В результаті вивчення цього курсу здобувач має оволодіти такими компетентностями:</p> <p>Загальні компетентності (ЗК): ЗК 1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. ЗК 2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. ЗК 3. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій. ЗК 6. Навички міжособистісної взаємодії. ЗК 8. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.</p> <p>Спеціальні (фахові) компетентності (СК): СК 16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії. СК17. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів. СК 19. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень. СК 20. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем. СК 23. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи. СК 24. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації. СК 25. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей. СК 26. Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю. СК 27. Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень. СК 28. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.</p> <p>Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі програмні результати навчання: ПР 1. Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки,</p>

	<p>електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та/або астрономії.</p> <p>ПР 3. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.</p> <p>ПР 4. Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці та астрономії: з аналітичної геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання.</p> <p>ПР 5. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.</p> <p>ПР 6. Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії.</p> <p>ПР 7. Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації.</p> <p>ПР 8. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшуковувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.</p> <p>ПР 9. Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики або астрономії, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.</p> <p>ПР 10. Вміти планувати дослідження, обирати оптимальні методи та засоби досягнення мети дослідження, знаходити шляхи розв'язання наукових завдань та вдосконалення застосованих методів.</p> <p>ПР 11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.</p> <p>ПР 12. Вміти представляти одержані наукові результати, брати участь у дискусіях стосовно змісту і результатів власного наукового дослідження.</p> <p>ПР 13. Розуміти зв'язок фізики та/або астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень.</p> <p>ПР 14. Знати і розуміти основні вимоги техніки безпеки при проведенні експериментальних досліджень, зокрема правила роботи з певними видами обладнання та речовинами, правила захисту персоналу від дії різноманітних чинників, небезпечних для здоров'я людини.</p>
Ключові слова	Ядро атома, фізика елементарних частинок, прискорювачі заряджених частинок, ядерні моделі, нуклони, кварки, лептони, адрони, мезони, сильна ядерна взаємодія, слабка ядерна взаємодія.
Формат курсу	Очний: проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем
Теми	Наведено у таблицях нижче

Підсумковий контроль, форма	Іспит у 5 семестрі
Пререквізити	Вивчення курсу «Ядерної фізики та фізики елементарних частинок» ґрунтується на знаннях студентів, одержаних при вивченні загальних та спеціальних дисциплін: «Механіка», «Електрика і магнетизм», «Молекулярна фізика», «Оптика», «Атомна фізика», «Квантова механіка», «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, перевірки певних наукових гіпотез на рівні досліджень, узагальнень та аналізу та формування вмій і навичок інтерпретації результатів досліджень різноманітних об’єктів.
Необхідне обладнання	Персональний комп’ютер, операційні системи (Windows, Linux), загальноновживані комп’ютерні програми, проектор
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Контроль засвоєння матеріалу включає поточний контроль (контрольні роботи і колоквиум за двома змістовими модулями, $2 \times 5 = 10$ балів), оцінку відповідей та роботи на практичних (20 балів) і лабораторних (20 балів) заняттях — разом за семестр 50 балів — та іспит, що складається з теоретичної частини ($20 \times 2 = 40$ балів) і перевірки практичних знань (10 балів) — разом 50 балів. Сумарна оцінка, таким чином, виставляється за 100-бальною шкалою.</p> <p>Додаткові бали можна отримати за результатами неформального та/або інформального навчання по тематиці цього курсу. Визнання та зарахування результатів такого навчання відбувається відповідно до наданих документів про неформальне та/або інформальне навчання.</p> <p>Додаткові 5 балів можна отримати, наприклад, завдяки проходженню онлайн курсу Introduction to Particle Accelerators (https://www.coursera.org/learn/introduction-particle-accelerators) або подібного курсу за тематикою дисципліни за умови, що загальне число набраних балів не перевищуватиме 100 балів.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали, набрані на лабораторних заняттях та поточному тестуванні. При цьому обов’язково</p>

	<p>враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізнь 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.</p> <p>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання до екзамену</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ядерна модель атома. 2. Визначення розміру та заряду ядра. 3. Протонно-нейтронний склад ядра. 4. Енергія зв'язку ядер, ядерні сили. Формула Вайцзеккера. 5. Проходження електронів через поглинаючі середовища. Пружне розсіювання електронів ядрами. 6. Іонізаційні втрати для швидких електронів. Втрати на випромінювання. Ефект Черенкова. 7. Джерела нуклонів. Взаємодія нуклонів з речовиною. 8. Спіни і магнітні моменти нуклонів. 9. Структура нуклонів, досліди Хофштадтера. 10. Дейтрон, потенціали взаємодії. 11. Обмінні сили. Мезонна теорія ядерних сил. Потенціал Юкава. 12. Гамма-випромінювання ядер. 13. Внутрішня конверсія електронів. 14. Ефект Месбауера. 15. Магнітний момент ядра, метод Рабі. 16. Спін і магнітний момент ядра. 17. Ядерна ізомерія. 18. Модель рідкої каплі. 19. Альфа-частинкова модель. 20. Модель Фермі-газу. 21. Модель ядерних оболонок. 22. Узагальнена модель ядра. 23. Оптична модель ядра. 24. Електростатичний прискорювач. 25. Циклотрон. 26. Бетатрон. 27. Фазотрон, синхротрон. Синхрофазотрон. 28. Великий адронний колайдер. 29. Джерела променів та коефіцієнт послаблення. 30. Фотоефект. Класичне розсіяння. Ефект Комптона. 31. Утворення електрон-позитронних пар. 32. Фотонно-електронні зливи. 33. Повний коефіцієнт послаблення. 34. Основні види і особливості радіоактивного розпаду. Закон радіоактивного розпаду. 35. Природні радіоактивні ядра. Радіоактивні ряди. Штучні радіоактивні ядра. 36. Альфа-розпад. Тонка структура альфа-спектру. Теорія альфа-розпаду. 37. Бета-перетворення. 38. Досліди з виявлення нейтрино. 39. Втрата парності при бета-розпаді. Досліди Ву. 40. Методи реєстрації заряджених частинок і гамма-квантів. 41. Ядерні реакції під дією нейтронів. Поділ важких ядер. 42. Ланцюгові ядерні реакції. Використання енергії поділу. 43. Практичне здійснення ланцюгового ядерного процесу. Ядерні

	<p>реактори.</p> <p>44. Надважкі ядра.</p> <p>45. Фотоядерні реакції.</p> <p>46. Реакції термоядерного синтезу. Проблема керованої термоядерної реакції. Магнітна ізоляція плазми.</p> <p>47. Термоядерні реакції у Всесвіті. Протонно-протонний і вуглецево-азотний цикл.</p> <p>48. Критерій елементарності. Основні характеристики елементарних частинок.</p> <p>49. Закони збереження. Лептони, закон збереження лептонного заряду.</p> <p>50. Баріони, закон збереження баріонного заряду.</p> <p>51. Ізотопічний спіні. Ізотопічна інваріантність. Дивні частинки.</p> <p>52. Взаємодія елементарних частинок. Види взаємодії.</p> <p>53. Модель кварків. Експериментальні докази кварк-глюонної структури нуклонів.</p> <p>54. Дозиметричні одиниці.</p> <p>55. Біологічна дія випромінювання. Дозиметрія і захист від випромінювання.</p>
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Ядерна фізика та фізика елементарних частинок»

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1	Тема 1. Розвиток уявлень про атомне ядро	лекції – 2 год, самостійна робота – 4 год.	1 тиждень
2, 3	Тема 2. Електрони і нуклони	лекції – 3 год, самостійна робота – 6 год.	1,5 тижня
3, 4	Тема 3. Ядерні сили	лекції – 3 год, самостійна робота – 5 год.	1,5 тижня
5, 6	Тема 4. Квантування станів ядер	лекції – 4 год, самостійна робота – 7 год.	2 тижні
7, 8	Тема 5. Ядерні моделі	лекції – 4 год, самостійна робота – 7 год.	2 тижні
9, 10	Тема 6. Прискорювачі частинок	лекції – 3 год, самостійна робота – 5 год.	1,5 тижня
10, 11	Тема 7. Взаємодія гамма- і X-променів з речовиною	лекції – 3 год, самостійна робота – 5 год.	1,5 тижня
12, 13	Тема 8. Радіоактивний розпад	лекції – 3 год, самостійна робота – 5 год.	1,5 тижня
13, 14	Тема 9. Ядерні реакції синтезу та поділу	лекції – 3 год, самостійна робота – 5 год.	1,5 тижня
15, 16	Тема 10. Елементарні частинки. Фізика високих енергій	лекції – 3 год, самостійна робота – 5 год.	1,5 тижня
16	Тема 11. Дозиметрія	лекції – 1 год, самостійна робота – 2 год.	1 тиждень

Таблиця 2

Теми практичних занять

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1, 2	Енергія зв'язку нуклонів в ядрах. Використання формули Вайцзеккера.	практичне заняття – 1 год, самостійна робота – 1 год.	0,5 тижня
1, 2	Аналіз взаємодії протонів з речовиною. Обчислення обмінних сил.	практичне заняття – 1 год, самостійна робота – 1 год.	0,5 тижня
3, 4	Енергетичний розрахунок ядерних моделей.	практичне заняття – 1 год, самостійна робота – 1 год.	0,5 тижня
3, 4	Технічні характеристики прискорювачів елементарних частинок.	практичне заняття – 1 год, самостійна робота – 1 год.	0,5 тижня
5, 6	Вивчення ефекту утворення електрон-позитронних пар.	практичне заняття – 1 год, самостійна робота – 1 год.	0,5 тижня
5, 6	Аналіз радіоактивного закону розпаду.	практичне заняття – 1 год, самостійна робота – 1 год.	0,5 тижня
7, 8	Вивчення вікової радіоактивної рівноваги.	практичне заняття – 1 год, самостійна робота – 1 год.	0,5 тижня
7, 8	Вивчення альфа- та бета-розпадів.	практичне заняття – 1 год, самостійна робота – 1 год.	0,5 тижня
9, 10	Дозиметричні одиниці.	практичне заняття – 1 год, самостійна робота – 1 год.	0,5 тижня
9, 10	Ендотермічні та екзотермічні реакції.	практичне заняття – 1 год, самостійна робота – 1 год.	0,5 тижня
11, 12	Вивчення ланцюгових ядерних реакцій.	практичне заняття – 1 год, самостійна робота – 1 год.	0,5 тижня
11,12	Аналіз роботи ядерних реакторів.	практичне заняття – 1 год, самостійна робота – 1 год.	0,5 тижня
13, 14	Вивчення термоядерних реакцій у Всесвіті.	практичне заняття – 1 год, самостійна робота – 1 год.	0,5 тижня
13, 14	Вивчення можливості створення керованих термоядерних реакцій.	практичне заняття – 1 год, самостійна робота – 1 год.	0,5 тижня
15, 16	Розрахунок реакцій з участю частинок і античастинок.	практичне заняття – 1 год, самостійна робота – 1 год.	0,5 тижня
15, 16	Вивчення законів збереження при ядерних реакціях.	практичне заняття – 1 год, самостійна робота – 1 год.	0,5 тижня

Таблиця 3

Теми лабораторних занять

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1, 2	Вивчення роботи газорозрядного лічильника.	лаборатор. заняття – 2 год самостійна робота – 2 год.	1 тиждень
3, 4	Взаємодія гамма-випромінювання з речовиною.	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 2 год.	1 тиждень
5, 6	Вивчення ефективності газорозрядного лічильника під час реєстрації гамма-квантів.	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 2 год.	1 тиждень
7, 8	Визначення активності гамма-джерела.	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 2 год.	1 тиждень
9, 10	Визначення активності бета-джерела абсолютним методом.	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 2 год.	1 тиждень
11, 12	Визначення верхньої межі бета-спектру.	лаборатор. заняття – 2 год самостійна робота – 2 год.	1 тиждень

13, 14	Вивчення роботи сцинтиляційного гамма-спектрометра.	лаборатор. заняття – 2 год самостійна робота – 2 год.	1 тиждень
15, 16	Вивчення роботи дозиметрів.	лаборатор. заняття – 2 год самостійна робота – 2 год.	1 тиждень